ОРИГИНАЛЬНАЯ СТАТЬЯ
УДК 621.89.099.6:621.892.84
https://doi.org/10.26897/2687-1149-2025-3-74-80

Улучшение трибологических характеристик твердых смазок модификацией фторсодержащими ПАВ

С.М. Гайдар[1], ***А.М. Пикина***[2]✉, ***А.С. Барчукова***[3]

[1, 2, 3] Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева; г. Москва, Россия

[1, 2, 3] Российский государственный университет им. А.Н. Косыгина (Технологии. Дизайн. Искусство); г. Москва, Россия

[1] techmash@rgau-msha.ru; https://orcid.org/0000-0003-4290-2961

[2] pikina@rgau-msha.ru✉; https://orcid.org/0000-0001-7116-3526

[3] barchukova@rgau-msha.ru; https://orcid.org/0000-0001-7202-291X

Аннотация. Дефицит эффективных отечественных смазок с высокими эксплуатационными свойствами обусловлен необходимостью разработки технологии производства твердых смазок. В процессе волочения на стане применяют твердые смазочные материалы, которые препятствуют контакту трущихся поверхностей и локализации сдвиговых деформаций в слое смазки. Исследования проведены с целью разработки технологии производства конкурентоспособной смазки с высокими адгезионными свойствами, способной непрерывно разделять трущиеся поверхности, предотвращать образование задиров, рисок и обрывов проволоки. В качестве компонентов выбрали кальциевое мыло, модифицированный графит ГС-1 и гидроксид кальция. Графит модифицировали фторсодержащим ПАВ. Количество компонентов в составе смазки корректировали в зависимости от результатов трибологических исследований на машине трения ЧМТ-1. Изготовленную смазку для волочения сравнивали с итальянским прототипом Panlube. Смазку наносили на вращающийся ролик с помощью сконструированной рычажной системы. Синхронное измерение скорости изнашивания и момента сил трения проводили на модернизированной машине трения типа «Амслер МИ-1» согласно ГОСТ 23216-84. Результаты показали, что у полученной смазки на основе модифицированного графита трибологические характеристики выше, чем у зарубежного аналога: при одинаковых пятнах износа нагрузка сваривания для разработанного нами образца составила 700 кгс, а для зарубежного – 400 кгс. Промышленные испытания смазки на волочильном стане подтвердили ее соответствие требованиям технического задания, при скорости волочения более 5 м/с получили качественную продукцию при прогнозируемом снижении износа канала волока.

Ключевые слова: волочильный стан; твердые смазочные материалы; смазка; модифицированный графит; фторсодержащие ПАВ; трибологические характеристики

Для цитирования: Гайдар С.М., Пикина А.М., Барчукова А.С. Улучшение трибологических характеристик твердых смазок модификацией фторсодержащими ПАВ // Агроинженерия. 2025. Т. 27, № 3. С. 74-80. https://doi.org/10.26897/2687-1149-2025-3-74-80

ORIGINAL ARTICLE

Improving tribological characteristics of solid lubricants by modification with fluorinated surfactants

S.M. Gaidar[1], ***A.M., Pikina***[2]✉, ***A.S. Barchukova***[3]

[1,2,3] Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy; Moscow, Russia

[1,2,3] Kosygin Russian State University (Technology. Design. Art); Moscow, Russia

[1] techmash@rgau-msha.ru; https://orcid.org/0000-0003-4290-2961

[2] pikina@rgau-msha.ru✉; https://orcid.org/0000-0001-7116-3526

[3] barchukova@rgau-msha.ru; https://orcid.org/0000-0001-7202-291X

Abstract. The deficit of effective domestic lubricants with high performance properties urges the need to develop the technology of producing solid lubricants. The mill drawing technology requires solid lubricants to prevent the contact of rubbing surfaces and localization of shear deformations in the lubricant layer. The authors carried out research to develop a technology of producing competitive lubricant with high adhesive properties, capable of continuous separation of the rubbing surfaces, preventing the formation of scoring, ricks and wire breaks. Calcium soap, modified graphite GS-1 and calcium hydroxide were selected as lubricant components. Graphite was

© Гайдар С.М., Пикина А.М., Барчукова А.С., 2025

modified with a fluorine-containing surfactant. The quantity of components in the grease composition was adjusted depending on the results of tribological studies on the ChMT-1 friction machine. The produced grease for drawing was compared with the Italian prototype Panlube. The authors used a designed lever system to apply the grease to the rotating roller. A modernized friction machine of "Amsler MI-1 type was used for synchronous measurement of wear rate and moment of friction forces according to GOST 23216-84. The results showed that the obtained grease based on modified graphite has higher tribological characteristics than its foreign counterpart: at the same wear spots, the welding load for the tested sample amounted to 700 kgf, while for the foreign one – 400 kgf. Industrial tests of the lubricant on the drawing mill confirmed its compliance with the requirements of the technical specifications. At the drawing speed of more than 5 m/s, it was possible to obtain high quality products with the predictable wear reduction of the drawing die channel.

Keywords: drawing mill; solid lubricants; grease; modified graphite; fluorinated surfactants; tribological characteristics

For citation: Gaidar S.M., Pikina A.M., Barchukova A.S. Improving tribological characteristics of solid lubricants by modification with fluorinated surfactants. *Agricultural Engineering* (*Moscow*). 2025;27(3):74-80 (In Russ.). https://doi.org/10.26897/2687-1149-2025-3-74-80

Введение

Твердые смазочные материалы вводят между трущимися поверхностями с целью предупреждения их непосредственного контакта и локализации сдвиговых деформаций в слое смазки. Это приводит к снижению энергетических потерь в процессе трения, поскольку сопротивление сдвигу в этих условиях значительно ниже, чем в материале подложки. Твердые смазочные материалы применяют в технологическом процессе на волочильном стане. Фильеры, используемые для волочения проволоки, эксплуатируются при высоких нагрузках, в результате чего происходит их интенсивное изнашивание. Образование задиров и обрывов проволоки накладывает ограничение на скорость волочения [1, 2].

Наиболее распространенным твердым смазочным материалом является графит [3, 4]. Эффективность смазочного действия графита определяется его слоистой структурой, в которой связи между параллельными плоскостями базиса существенно слабее, чем между атомами в плоскостях базиса. Снижению трения способствует адсорбция молекул паров влаги и газов на базовых плоскостях, которая снижает энергию связи между плоскостями скольжения. При этом адгезия частиц графита к металлическим поверхностям превосходит адгезию между плоскостями скольжения, на которых адсорбировались молекулы паров воды или газа. Однако при повышении температуры до 100 °С и выше коэффициент трения графита увеличивается в 4-5 раз, и он теряет свои высокие триботехнические свойства[1]. Решить данную проблему позволяет модификация поверхности графита адсорбированными молекулами фторсодержащего ПАВ[2] [5, 6].

К смазкам для волочения, кроме трибологических характеристик, предъявляются такие требования, как низкая стоимость и отсутствие следов смазки на поверхности проволоки на финишной операции. Для этого в смазки для волочения добавляют кальциевые или натриевые мыла, то есть соли жирных кислот этих металлов [7]. А.А Труханович и А.А. Леднева, обращаясь к работе Л.А. Красильникова «Волочильщик проволоки» (1987), цитируют следующее высказывание: «Жирные кислоты, используемые при изготовлении смазок для волочения, должны иметь большую молекулярную массу, так как это повышает смазочные свойства» [8]. «Обычно содержание солей жирных кислот в смазках находится в пределах 70…85%. Смазки на основе солей жирных кислот выполняют функцию основного смазывающего компонента ввиду высокой их поверхностной активности к металлической поверхности, обусловленной наличием функциональной группы -C=O. Кроме того, для улучшения разделения поверхностей волоки и обрабатываемого металла в смазки добавляют наполнители: известь, различные соли, мел и другие вещества» [8].

Цель исследований: получить твердую смазку с высокими адгезионными свойствами, способную непрерывно разделять трущиеся поверхности и, как следствие, минимизировать износ канала волок, обеспечивающую стабильную скорость волочения не менее 5 м/с, предотвращающую образование задиров, рисок и обрывов проволоки, исключающую спекание, разложение или расслоение при эксплуатации; разработать технологию производства смазки для волочения.

Материалы и методы

На основе литературно-патентного анализа выбрали материалы, которые включили в состав рецептуры смазки для волочения: кальциевое мыло, модифицированный графит ГС-1, гидроксид кальция.

[1] Чичинадзе А.В., Берлинер Э.М., Браун Э.Д. Трение, износ и смазка (трибология и триботехника) / Под общ. ред. А.В. Чичинадзе. М.: Машиностроение, 2003. 576 с.

[2] Вильнав Жан-Жак. Клеевые соединения. М.: Техносфера, 2007. 384 с.

Для улучшения трибологических характеристик графита ГС-1 использовали фторсодержащие ПАВ (эпилам «Автокон-0,5» ТУ 2229-008-27991970-95). Количество эпилама, используемого для модификации графита ГС-1, определяли из уравнения:

$$\frac{(\rho_{ПЭ} - \rho_{П})}{п} \cdot 100\% \sim N \cdot S \cdot \delta \cdot \rho_{Э} \cdot 100\%,$$

где $\rho_{ПЭ}$ – плотность эпиламированного пористого материала (порошка), кг/м^3; $\rho_{П}$ – плотность пористого материала (порошка) до эпиламирования, кг/м^3; N – число пропиток эпиламом; S – удельная площадь поверхности пористого материала включая поры, м^2/кг; δ – толщина пленки эпилама после высыхания и термообработки, м; $\rho_{Э}$ – плотность эпилама, кг/м^3.

Способ получения негигроскопичного, пористого модифицированного графита включал в себя обработку его импрегнатом, высушивание и последующую термофиксацию [9, 10].

Далее, с целью улучшения трибологических свойств, изготовленную опытную партию оптимизировали по количеству модифицированного графита. Для решения этой задачи в рецептуру поэтапно добавляли модифицированный графит (начиная с 1,2%) и на машине трения ЧМТ-1, увеличивая нагрузку, определяли нагрузку сваривания.

Количество компонентов в составе смазки корректировали в зависимости от результатов трибологических исследований [11-13].

При изготовлении смазки использовали лабораторное оборудование: сушильный шкаф, пропиточный автоклав, весы, смеситель, шаровую мельницу, машину трения ЧМТ-1 и Амслер МИ-1, микроскоп оптический ADF1350.

Формирование зоны трения проводили в присутствии графита ГС-1, графита ГС-1 модифицированного, опытного образца и прототипа смазки для волочения Panlube. Изготовленную смазку для волочения сравнивали с итальянским прототипом Panlube.

С целью повышения точности, достоверности и уменьшения сроков проведения экспериментов использовали модернизированную машину трения типа «Амслер МИ-1», снабженную системами создания, поддержания и измерения температур, нормальных сил, линейных скоростей скольжения, моментов сил трения, скоростей изнашивания и т.д. [14]. Основные исследуемые параметры – трение и износ – регистрировались с помощью двухканального самописца уровня модели «2309» фирмы «Брюль и Кьер».

С целью достоверности получаемых экспериментальных результатов использовали схему трения «Колодка-ролик» (диск изготовлен из стали 40 ГОСТ 1050-88, колодка – из чугуна марки СЧ21 ГОСТ 1412-85) с постоянными величинами коэффициентов взаимного перекрытия ($К_{ВЗ}$) и площади соприкосновения независимо от износа.

Подготовку исследуемых материалов к испытаниям проводили в соответствии с технологической инструкцией «Приготовление и нанесение графитовых смазок».

Смазку наносили на вращающийся ролик с помощью специально сконструированной рычажной системы, имеющей самоустановку относительно цилиндрической поверхности ролика. Повышенная сложность данной конструкции обусловлена важностью соблюдения неизменности нагрузки и ее распределения (эпюры) на поверхности ролика в течение всей процедуры нанесения. Разработка высокоэффективного, простого и не требующего много времени метода нанесения материала – это отдельная проблема, которая должна решаться параллельно с экспериментальными исследованиями эффективности смазочных материалов с точки зрения трения и износа [15].

После нанесения на поверхность ролика исследуемого смазочного материала при вращении ролика и приложения нормальной силы контактирования колодки с рабочей поверхностью ролика в течение всего опыта осуществляли синхронное измерение скорости изнашивания и момента сил трения без разъединения зоны трения[3].

Экспериментальные исследования проводили в два этапа. На первом этапе на машине трения определили диаметр пятна износа для различных нагрузок и нагрузку сваривания для итальянского прототипа Panlube. Значение нагрузки сваривания смазки Panlube было критерием для оптимизации состава нашего опытного образца смазки. На втором этапе провели испытания на волочильном стане в условиях промышленного производства.

Результаты и их обсуждение

В результате анализа источников литературы для приготовления смазки выбрали сульфат натрия (ГОСТ 21458-75), стеарат кальция (ТУ 2432-005-10269039-05), графит смазочный (ГС-1 ГОСТ 8295-73) [5, 6].

Формирование испытательного контакта (зоны трения) на машине трения Амслер МИ-1 – длительный процесс, в течение которого скорость изнашивания колодки постоянно снижается, коэффициент сил трения в процессе приработки, как правило, тоже снижается, хотя бывают исключения.

[3] ГОСТ 23216-84 и методические указания «Обеспечение износостойкости изделий. Метод оценки служебных свойств смазывающих масел и присадок к ним с использованием роликовых испытательных установок».

После завершения приработки пары трения «Колодка-ролик» при увеличении штатной скорости скольжения модифицированного графита ГС-1 наблюдали снижение коэффициента трения (рис. 1).

Для графита ГС-1 коэффициент трения в течение 26 мин постоянно снижался и достиг значения 0,12, однако затем стал повышаться и достиг в течение 5 мин значения 0,17. Работа машины трения при этом характеризовалась исключительно мягким ходом и низким шумом.

Для модифицированного графита ГС-1 коэффициент трения в течение 48 мин постоянно возрастал и достиг значения 0,065. Работа машины трения, как и в случае с просто графитом ГС-1, характеризовалась исключительно мягким ходом и низким шумом.

Результаты испытаний зависимости диаметра пятна износа от нагрузки показали, что при содержании модифицированного графита в составе смазки до 3,6% нагрузка сваривания соответствует зарубежному аналогу и равна 400 кгс. Увеличение концентрации до 4,8% позволило получить результат, превышающий зарубежный аналог. Нагрузка сваривания составила 700 кгс.

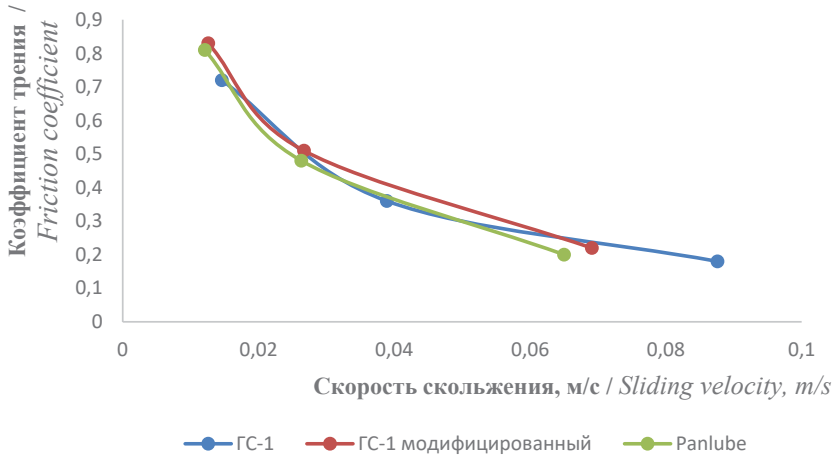

Рис. 1. Коэффициент трения после приработки графита ГС-1, модифицированного графита ГС-1 и прототипа смазки для волочения Panlube

Fig. 1. Coefficient of friction after running-in of graphite GS-1, modified graphite GS-1, and Panlube prototype lubricant used for drawing

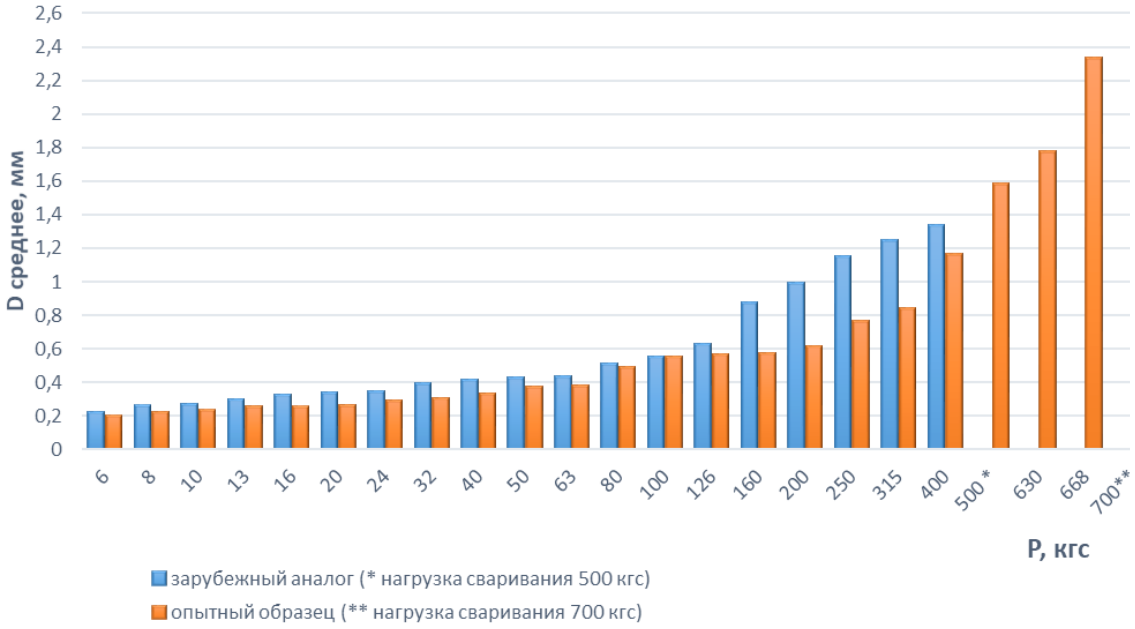

Рис. 2. Зависимость диаметра пятна износа (D) от нагрузки (P) зарубежного аналога и опытного образца смазки

Fig. 2. Relationship between the wear spot diameter (D) and the load (P) of the foreign counterpart and the prototype grease

Рис. 3. Перемешивание компонентов

Fig. 3. Mixing of components

а

б

Рис. 4. Термическая обработка состава смазки:
а – до обработки; б – после нее

Fig. 4. Thermal treatment of grease composition:
a – before: b – after

Рис. 5. Измельчение полученного состава

Fig. 5. Grinding of the obtained composition

Технология изготовления смазки включает в себя следующие операции:

1. Взвешивание компонентов смазочного состава и загрузка их в смеситель.

2. Перемешивание компонентов в течение 2 ч (рис. 3).

3. Термическая обработка состава смеси в течение 2 ч при температуре 175°С (рис. 4).

4. Измельчение полученного состава в шаровой мельнице (перемешивание в течение 2 ч) (рис. 5).

5. Фасовка.

Для подтверждения эксплуатационных параметров смазки провели промышленные испытания на волочильном стане (рис. 6).

В эксперименте применяли заготовку плакировальной проволоки диаметром 6,35 мм. Сердечник – стальная проволока марки 70 КК диаметром 5,5 мм производства ОАО «Северсталь МЕТИЗ», г. Череповец. Волочение проводили до диаметра 2,7 мм. На запуске скорость линии составила 2 м/с, смазка ложилась ровным слоем, сдиров и обрывов не наблюдали. На рабочей скорости 5 м/с наработано 10600 м проволоки диаметром 2,7 мм, сдиры и обрывы зафиксированы не были.

Рис. 6. Волочильный стан

Fig. 6. Drawing mill

Выводы

1. Трибологические испытания на машине трения ЧМТ-1 показали лучшие характеристики разработанной нами смазки для волочения, чем у зарубежного аналога: при почти одинаковых пятнах износа нагрузка сваривания для отечественного образца составила 700 кгс, а для зарубежного – 400 кгс.

2. Промышленные испытания смазки на волочильном стане подтвердили ее соответствие требованиям технического задания; при скорости волочения более 5 м/с получили качественную продукцию при прогнозируемом снижении износа канала волока.

Список источников

1. Кравченко И.Н., Карелина М.Ю., Зубрилина Е.М., Коломейченко А.А. Ресурсосберегающие технологии получения функциональных наноструктурированных покрытий высокоскоростными методами нанесения // Вестник Донского государственного технического университета. 2015. Т. 15, № 3 (82). С. 19-27. https://doi.org/10.12737/12590

2. Карелина М.Ю. Влияние фторорганических поверхностно-активных веществ на эксплуатационные характеристики ДВС // Технико-технологические проблемы сервиса. 2015. № 1 (31). С. 12-16. EDN: UNWQEJ

3. Янкилевич А.М. Сухие адаптивные смазочные материалы Modengy™ // Трубопроводная арматура и оборудование. 2022. № 1 (118). С. 8. EDN: HEASVE

4. Зеленина А.В., Гилета В.П., Самуль А.Г. Ультразвуковое поверхностное пластическое деформирование сплава ВТ3-1 с использованием смазки на основе графита // Интеллектуальный потенциал Сибири: Материалы 32-й Региональной научной студенческой конференции: В 5 ч. Новосибирск, 20-25 мая 2024 г. Новосибирск: Новосибирский государственный технический университет, 2024. С. 149-151. EDN: LXOOTT

5. Карелина М.Ю., Гайдар С.М. Исследование эффективности триботехнических препаратов на основе наноматериалов // Грузовик. 2015. № 4. С. 17-29. EDN: TSZVBP

6. Гайдар С.М., Волков А.А., Карелина М.Ю. Адсорбция фтор-ПАВ и ее влияние на смазку трибосопряжений в условиях граничного и гидродинамического трения // Труды ГОСНИТИ. 2015. Т. 118. С. 113-124. EDN: TODFDP

7. Топилина С.В. Разработка способа производства высокотемпературной пластичной смазки на основе сульфонат кальциевого загустителя // Сборник материалов XXIX Региональной конференции молодых ученых и исследователей Волгоградской области, Волгоград, 16 сентября 2024 г. Волгоград: Волгоградский государственный технический университет, 2024. С. 43-44. EDN: LHFLDO

8. Труханович А.А., Леднева А.А. Основные характеристики смазок для сухого волочения проволоки под металлокорд, их влияние на качество волочения // Литье и металлургия. 2008. № 2 (46). С. 72-74. EDN: TWQWZF

9. Эпиламированный графит и способ его получения: Патент RU2329946 C1, МПК C01B31/00, C08J 5/00, C08K 7/00 / С.М. Гайдар; заявка № 2006146311/15; заявл. 26.12.2006; Опубл. 27.07.2008. EDN: VOUYIB

10. Противоизносная и противозадирная добавка к пластичным смазкам: Патент на изобретение U2266315 C1, 20.12.2005 / Н.А. Рябинин, А.Н. Рябинин, С.М. Гайдар, М.Н. Ляшенко, Г.И. Паркова; заявка № 2004115714/04 от 25.05.2004 г. EDN: ZFUHOQ

11. Карелина М.Ю., Костюк И.В., Черепнина Т.Ю., Рогов В.Р. Некоторые особенности расчета долговечности узлов и деталей машин // Вестник ИжГТУ имени М.Т. Калашникова. 2020. Т. 23, № 3. С. 25-30. https://doi.org/10.22213/2413-1172-2020-3-25-30

12. Изотова А.И., Тимошенко В.М., Кирьянов Ю.И., Изотов С.А. Снижение износа щеток за счет применения твердой смазки на основе дисульфида молибдена // Наука – производство – технологии – экология: Сборник материалов: В 8 т. Т. 4. Киров, 11-15 сентября 2006 г. Киров: Вятский государственный университет, 2006. С. 232-234. EDN: RWLBQZ

13. Гайдар С.М., Лапсарь О.М., Пикина А.М., Ветрова С.М. Экспериментальное исследование влияния эпиламированого

References

1. Kravchenko I.N., KarelinaM.Yu., Zubrilina E.M., Kolomeychenko A.A. Resource-saving technologies of derivatization of functional nanostructured coatings by high-speed application methods. *Vestnik of Don State Technical University*. 2015;15(3):19-27. (In Russ.) https://doi.org/10.12737/12590

2. Karelina M.Y. Influence of fluoride-containing organic surfactants on the performance of the engine. *Techniko-tekhnologicheskie problemy servisa*. 2015;1:12-16. (In Russ.)

3. Yankilevich A.M. Dry adaptive lubricants Modengy™. *Truboprovodnaya armature i oborudovanie.* 2022;1(118):8. (In Russ.)

4. Zelenina A.V., Gileta V.P., Samul A.G. Ultrafine surface plastic deformation of the VT3-1 alloy using a graphite-based lubricant. *Intellektualniy potentsial Sibiri*: *The 32nd Regional Scientific Student Conference*: *Conference Proceedings*. In 5 parts, Novosibirsk, May 20-25, 2024. Novosibirsk: Novosibirsk State Technical University, 2024. Pp. 149-151. (In Russ.)

5. Karelina M.Yu., Gaidar S.M. Research of efficiency of tribotechnical preparations on the basis of nanomaterials. *Gruzovik*. 2015;4:17-29. (In Russ.)

6. Gaidar S.M., Volkov A.A., Karelina M.Yu. Fluoro-surfactant adsorption and its effect on tribo-coupling lubrication under boundary and hydrodynamic friction conditions. *Trudy GOSNITI*. 2015;118:113-124. (In Russ.)

7. Topilina S.V. Development of a method for the production of high-temperature grease based on a calcium sulfonate thickener. *XXIX Regional Conference of Young Scientists and Researchers of the Volgograd region*: *Conference proceedings*, Volgograd, September 16, 2024. Volgograd: Volgograd State Technical University, 2024. Pp. 43-44. (In Russ.)

8. Trukhanovich A.A., Ledneva A.A. The main characteristics of lubricants for wire drawing for metal cord, their influence on drawing quality. *Foundry Production and Metallurgy*. 2008;2:72-74. (In Russ.)

9. Gaidar S.M. Epilamated graphite and method of its obtaining: Patent RU2329946 C1, IPC C01B31/00, C08J 5/00, C08K 7/00; application No. 2006146311/15, 2008. (In Russ.)

10. Ryabinin N.A., Ryabinin A.N., Gaidar S.M., Lyashenko M.N., Parkova G.I. Antiwear and antiscoring additive for plastic greases: Patent for invention U2266315 C1, application No. 2004115714/04, 2005. (In Russ.)

11. Karelina M.Yu., Kostyuk I.V., Cherepnina T.Yu., Rogov V.R. Some features of calculating durability of machine components and parts. *Vestnik IzhGTU imeni M.T. Kalashnikova*. 2020;23(3):25-30. (In Russ.) https://doi.org/10.22213/2413-1172-2020-3-25-30

12. Izotova A.I., Timoshenko V.M., Kiryanov Yu.I., Izotov S.A. Reducing the brush wear due to the use of solid lubricants based on molybdenum disulfide. *Nauka – Proizvodstvo – Tekhnologiya – Ekologiya*: Collection of materials: in 8 volumes, Kirov, September 11-15, 2006, Vol. 4. Kirov: Vyatka State University, 2006. Pp. 232-234. (In Russ.)

13. Gaidar S.M., Lapsar O.M., Pikina A.M., Vetrova S.M. Experimental study of effect of epilamed graphite on tribological characteristics of tribocoupling. *Tekhnologia Metallov*. 2024;12:22-25. (In Russ.)

14. Selkin V.P., Grigoriev F.A., Sterekhov O.S. The effect of the introduction of single-walled carbon nanotubes into a mineral- and vegetable-based lubricant on the friction coefficient of a steel-steel contact pair. *New Technologies. Science, Engineering, Pedagogics*: *Proceedings of the All-Russian scientific and practical conference*, Moscow, February

графита на трибохарактеристики трибосопряжений // Технология металлов. 2024. № 12. С. 22-25. EDN: BMDAIB

14. Селькин В.П., Григорьев Ф.А., Стерехов О.С. Влияние введения одностенных углеродных нанотрубок в смазки на минеральной и растительной основе на коэффициент трения контактной пары сталь-сталь // Новые технологии. Наука, техника, педагогика = New Technologies. Science, Engineering, Pedagogics: Материалы Всероссийской научно-практической конференции = Proceedings of the All-Russian scientific-practical conference, Москва, 19-26 февраля 2024 г. М.: Московский Политех, 2024. С. 263-267. EDN: JHBMUE

15. Узлов А.А., Гайдар С.М. Исследование влияния эпиламированного молибдена на трибохарактеристики трибосопряжений // Чтения академика В.Н. Болтинского: Сборник статей. Семинар. Москва, 22-23 января 2025 г. М.: ООО «Сам Полиграфист», 2025. Ч. 2. С. 335-338. EDN: OAQYHP

19-26, 2024. Moscow: Moscow Polytechnic Institute, 2024. Pp. 263-267. (In Russ.)

15. Uzlov A.A., Gaidar S.M. Investigation of the effect of epilamated molybdenum on tribocoupling characteristics. *Chteniya akademika V.N. Boltinskogo*: *Collection of papers*. Seminar (Moscow, January 22-23, 2025. Moscow: OOO "Sam Polygraphist", 2025. Pp. 335-338. (In Russ.)

Информация об авторах

[1] **Гайдар Сергей Михайлович,** д-р техн. наук, профессор; techmash@rgau-msha.ru; https://orcid.org/0000-0003-4290-2961; SPIN-код: 6714-3698, AuthorID: 574130

[2] **Пикина Анна Михайловна,** канд. техн. наук, доцент; pikina@rgau-msha.ru; https://orcid.org/0000-0001-7116-3526; SPIN-код: 3187-8973, AuthorID: 1093671

[3] **Барчукова Алина Сергеевна,** аспирант; barchukova@rgau-msha.ru; https://orcid.org/0000-0001-7202-291X; SPIN-код: 2129-7541, AuthorID: 1176021

[1, 2, 3] Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева; 127434, Российская Федерация, г. Москва, Тимирязевская ул., 49

[1, 2, 3] Российский государственный университет им. А.Н. Косыгина (Технологии. Дизайн. Искусство); 119071, Российская Федерация, г. Москва, ул. Малая Калужская, 1

Author Information

Sergey M. Gaidar [1], DSc (Eng), Professor; techmash@rgau-msha.ru, https://orcid.org/0000-0003-4290-2961; ScopusAuthorID: 57191589797; ResearcherID: I-4723-2018

Anna M. Pikina [2], CSc (Eng), Associate Professor; pikina@rgau-msha.ru✉, https://orcid.org/0000-0001-7116-3526

Alina S. Barchukova [3], postgraduate student; barchukova@rgau-msha.ru; https://orcid.org/0000-0001-7202-291X

[1,2,3] Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy; 127434, Russian Federation, Moscow, Timiryazevskaya Str., 49

[1,2,3] Kosygin Russian State University (Technology. Design. Art); 119071, Russian Federation Moscow, Malaya Kaluzhskaya Str., 1

Вклад авторов

С.М. Гайдар – научное руководство, формулирование основных направлений исследований, формулирование общих выводов;
А.М. Пикина – анализ литературы, обработка результатов исследований, подготовка рукописи;
А.С. Барчукова – анализ литературы, обработка результатов исследований, подготовка рукописи.

Статья поступила 19.09.2024, после рецензирования и доработки 28.04.2025; принята к публикации 29.04.2025

Author Contribution

S.M. Gaidar – research supervision, conceptualization, general conclusions;
A.M. Pikina – literature review, data curation, formal analysis, writing – original draft;
A.S. Barchukova – literature review, data curation, formal analysis, writing – original draft.

Received 19.09.2024; Revised 28.04.2025; Accepted 29.04.2025