

Научный обзор  
УДК 621.893

## Исследование материалов, применяемых для модернизации пластичных смазок методом введения наночастиц

**Игорь Дмитриевич Колесников**

Московский автомобильно-дорожный государственный технический университет (МАДИ),  
Москва, Россия

idkolesnikov@mail.ru

**Аннотация.** Консистентная смазка Литол-24 является одной из самых распространённых на территории стран СНГ. Она обладает хорошими триботехническими свойствами, но недостаточными для работы шарниров дорожно-строительных машин в тяжёлых условиях. В связи с этим применяют модернизацию смазки Литол-24 методом введения в её состав наночастиц. Рассмотрено влияние наночастиц различной химической природы на изменение таких триботехнических характеристик, как размеры износовых пятен, маслоудерживающая способность, критическая нагрузка в парах трения, температура в зоне трения, коэффициент трения, противоизносные свойства, интенсивность изнашивания.

**Ключевые слова:** смазка, Литол-24, наночастицы, износ, трение, триботехнические свойства.

**Для цитирования:** Колесников И.Д. Исследование материалов, применяемых для модернизации пластичных смазок методом введения наночастиц // Автомобиль. Дорога. Инфраструктура. 2025. № 4 (46).

Original article

## Investigation of materials used for the modernization of greases by the nanoparticle injection method

**Igor D. Kolesnikov**

Moscow Automobile and Road Construction State Technical University (MADI), Moscow, Russia

idkolesnikov@mail.ru

**Abstract.** Litol-24 grease is one of the most widespread in the CIS countries. It has good tribotechnical properties, but insufficient for the operation of road construction machinery joints in harsh conditions. In this regard, the modernization of the Litol-24 lubricant is used by introducing nanoparticles into its composition. The influence of nanoparticles of various chemical nature on changes in such tribotechnical characteristics as the size of wear spots, oil retention capacity, critical load in friction pairs, temperature in the friction zone, coefficient of friction, anti-wear properties, and wear intensity is considered.

№ 4(46)

декабрь 2025

**Keywords:** lubricant, Litol-24, nanoparticles, wear, friction, tribotechnical properties.

**For citation:** Kolesnikov I.D. Investigation of materials used for the modernization of greases by the nanoparticle injection method. *Avtomobil'. Doroga. Infrastruktura*. 2025. № 4 (46).

**Введение.** В настоящее время интенсивность работ дорожно-строительных машин повышается, наряду с этим увеличивается и нагрузка на различные узлы трения: шарниры, подшипники качения и скольжения. Следовательно, возникла необходимость в улучшении свойств смазочных материалов. В области модернизации пластичных смазок применяют различные методы повышения их триботехнических свойств, таких как противозадирные, противоизносные, антифрикционные свойства.

В основном модернизация заключается во внедрении различными способами в смазку наночастиц таких материалов, как серпентинит и тальк [1], позволяющих уменьшить размеры износных пятен; алмазная шихта, способствующая повышению маслоудерживающей способности; плазмообработанный графит, позволяющий снизить коэффициент трения; полититанат калия, обеспечивающий повышение противоизносных свойств; карбоксилаты меди, способствующие снижению интенсивности изнашивания; никель, позволяющий снизить температуру в зоне трения и достичь восстановительного эффекта; валерат и ундецилат меди, обеспечивающих снижение коэффициента трения.

**Цель работы** заключается в определении наиболее перспективных классов нанодобавок для улучшения триботехнических характеристик консистентной смазки Литол-24 на основе обобщения литературных данных.

**Матрица соответствий модификаторов и их влияние на триботехнические характеристики**

В таблицу 1 сведены все нанодобавки, которые вводятся в консистентную смазку Литол-24, а также изменяющиеся при этом триботехнические характеристики.

Матрица соответствий

Модификатор	Триботехнические показатели					
	Коэф. трения	Износ	Интенсивность изнашивания	Температура в зоне трения	Масса элементов пар трения	Шероховатость
Тальк	-	↓	-	-	↓	-
Серпентинит	-	↓	-	-	↓	-
Полититанат калия	-	↓	-	-	↓	-
Никель	-	↓	-	-	↑	-
Сплав железо-цинк	-	↓	-	-	↑	-
Микрокерамика и сплав медь-олово (совместно)	-	↓	-	-	↓	-
Алмазно-графитовая шихта	-	↓	-	-	↓	-
Валерат меди	↓	↓	-	-	↓	-
Ундецилат меди	↓	↓	-	-	↓	-
Плазмообработанный графит	↓	↓	-	-	↓	-
Медь и графит (совместно)	↓	↓	↓	-	↓	-
Омеднённый графит	↓	↓	↓	-	↓	-
Карбоксилаты меди	-	-	↓	-	↓	-

Примечание: ↑ – показатель повышается;

↓ – показатель снижается;

- – в работе не рассмотрено.

### **Влияние модификаторов смазки на величину износа**

На основе триботехнических испытаний, описанных в работе [1], установлено, что введение частиц талька и серпентинита в пластическую смазку Литол-24 приводит к уменьшению диаметра пятна износа. При концентрации присадки (5%) пятно износа уменьшается почти в 2 раза [1].

При использовании смазки Литол-24, модифицированной этими материалами, образуется местный поверхностный защитный слой в зоне непосредственного контакта пар трения.

Таким образом, на поверхности трения при фрикционном взаимодействии образуются и разрушаются вторичные структуры, которые реализуют дискретное экранирование поверхностей, дополнительно разделяя материалы наряду с окисными плёнками [1].

Использование в качестве нанодобавки полититаната калия в концентрации 3% [2] позволяет повысить противоизносные свойства на 22%, что выше, чем при применении серпентинита в концентрации 5% [1]. При этом увеличиваются антифрикционные свойства на 17%.

По результатам исследований работы [2] выявлено, что экспериментальные смазочные композиции, полученные модернизацией пластичной смазки Литол-24 наноразмерным порошком полититаната калия, обладают улучшенными трибологическими свойствами. При этом в зависимости от концентрации нанодобавки могут улучшаться свойства пластичных смазок, которые имеют преимущественное влияние на ресурс подшипников качения оборудования топливно-энергетического комплекса, работающих в каждом конкретном случае режимов нагружения [2].

Введение в смазку наночастиц никеля в пластичную смазку способствовало повышению массы элементов трения [3], чего не наблюдалось при применении других нанодобавок [1, 2, 4-9]. Следовательно, полученные результаты говорят о восстановительном эффекте.

Также в работе [3] рассматривалось введение частиц сплава железо-цинк, что также способствовало увеличению массы элементов трения на 0,4 г.

По результатам работы [3] было выявлено, что Литол-24, модифицированный используемыми наноразмерными компонентами, имеет повышенные противоизносные свойства от 1,9 до 17 раз, что выше, чем в работе [2]. Наилучшие результаты получены при использовании никеля и сплава железо-цинк, которые на примере модельной пары трения «ролик-ролик» позволили реализовать восстановительный эффект [3].

Одновременное введение частиц микрокерамики концентрацией мас. 0,25% и частиц сплава медь-олово концентрацией мас. 0,40% [4] способствует уменьшению износа на 2,4% (в 1,024 раза). Также в работе [4] представлены результаты исследований при повышении концентрации частиц микрокерамики (мас. 2,50%). Это способствовало повышению износа на 50%.

При применении алмазно-графитовой шихты обеспечивается большая маслоудерживающая способность и, следовательно, большая несущая способность смазочного материала [5]. В работе наночастицы алмазно-графитовой шихты вводятся в состав смазочной композиции до начала процесса формирования структурного каркаса дисперсной фазы и выступают в качестве активных центров структурообразования дисперсной фазы.

### **Влияние модификаторов смазки на величину износа и коэффициент трения**

Введение частиц валерата и ундецилата меди способствовало снижению коэффициента трения в 1,4...4,8 раза в зависимости от нагрузки (200, 300, 400 Н) [6], что при максимальной нагрузке в 400 Н выше, чем при применении в качестве модификатора смазки плазмообработанного графита (снижение 2,67) [7] и омеднённого порошка графита (снижение в 3 раза) [8].

Износ образцов снижается в 1,4...2 раза, в зависимости от нагрузки (200, 300, 400 Н) [6], что выше, чем при применении плазмообработанного графита (снижение в 1,44 раза) [7].

Применение плазмообработанного графита в качестве модификатора смазки Литол-24 способствует снижению коэффициента трения в 2,67 раза [7], что выше, чем при использовании меди и графита (снижение в 1,65 раза) [13], но ниже, чем при применении омеднённого порошка графита (снижение в 3 раза) [8].

Также снижение износа составило 1,44 раза [7], что выше, чем при применении микрокерамики и частиц сплава медь-олово (снижение в 1,024 раза).

Таким образом была установлена перспективность обработки графита в плазме диафрагменного разряда атмосферного давления [7].

Сравнение коэффициентов трения при применении нанодобавок представлено на рис. 1.

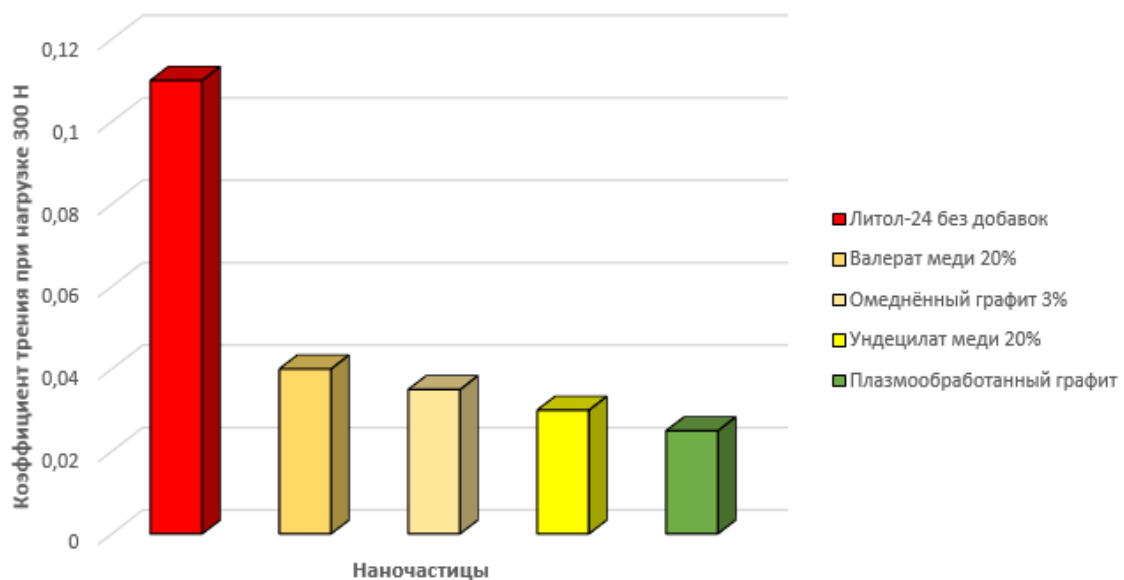


Рис. 1. Диаграмма влияния модификаторов на изменение коэффициента трения при нагрузке 300 Н [6, 7]

Из рисунка 1 видно, что наибольший положительный эффект на снижение коэффициента трения оказывают наночастицы плазмообработанного графита (0,025). Следующими по положительному эффекту выступают ундецилат меди и омеднённый графит (0,03 и 0,035 соответственно).

### **Влияние модификаторов смазки на интенсивность изнашивания**

Одновременное введение наночастиц меди и графита [8] в пластичную смазку Литол-24 позволяют достичь коэффициента трения 0,056. Коэффициент трения снижается в 1,65 раза или на 40% при концентрации нанопорошка 3 мас. %. При этом снижение интенсивности изнашивания составляет 2,5 раза [8].

Применение омедненного порошка графита [8] (3 мас. %) в качестве модификатора смазки снижает коэффициент трения в 3 раза. Интенсивность изнашивания при этом снижается в 3,5 раза.

Применение карбоксилатов меди [9] в качестве модификатора смазки Литол-24 позволило снизить интенсивность изнашивания более чем в 2 раза.

Сравнительные производственные испытания разработанной смазочной композиции, состоящей из пластичной смазки Литол-24 и смеси карбоксилатов меди в подшипниковых узлах катков дисковой прицепной модульной бороны [9], показали, что интенсивность изнашивания при использовании экспериментального смазочного материала по сравнению с серийным снижается в среднем в 2,39 раза, что приводит к повышению ресурса подшипников.

Снижение интенсивности изнашивания повышает ресурс трибосопряжения. Дальнейшей перспективой развития этой темы является поиск еще более эффективных присадок и наполнителей различного строения [9], а также исследование их характеристик различными оптическими, электрофизическими и другими методами.

Сравнение снижения величины интенсивности изнашивания при применении нанодобавок представлено на рисунке 2.

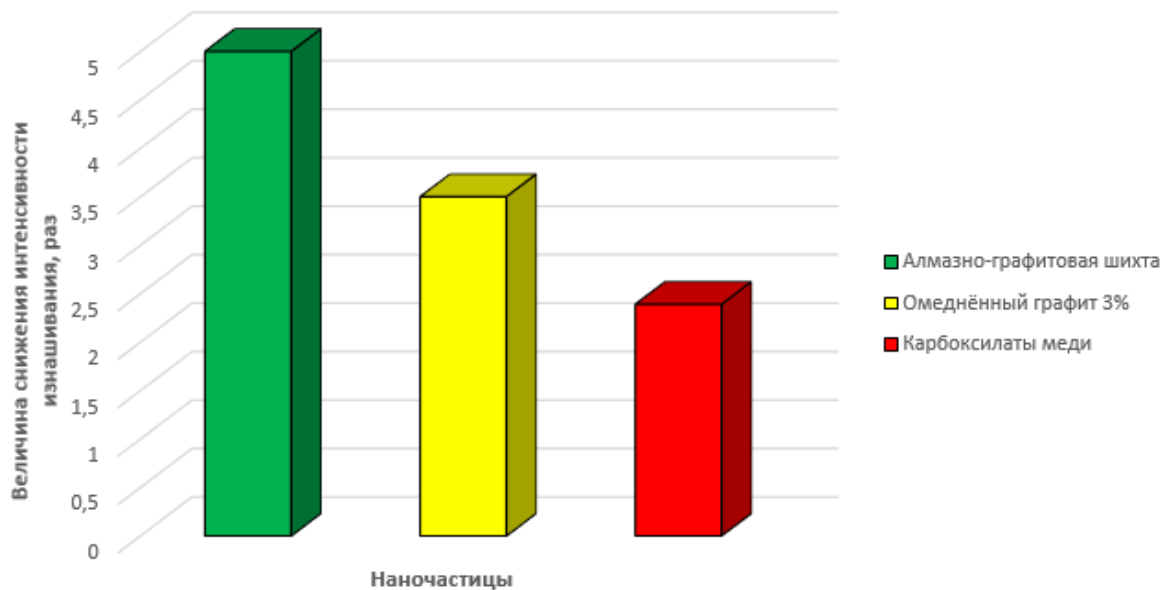


Рис. 2. Диаграмма влияния модификаторов на изменение интенсивности изнашивания [5, 8, 9].

Из рисунка 2 видно, что наиболее существенно интенсивность изнашивания снижается при применении алмазно-графитовой шихты (снижение в 5 раз), а омеднённый графит способствует снижению интенсивности изнашивания в 3,5 раза.

**Заключение.** Модернизация пластичных смазок осуществляется путём введения в состав смазки различных присадок. Введение части присадок осуществляется в готовую смазку Литол-24. Материалы, которые вводятся в готовую смазку Литол-24: серпентинит и тальк [1], которые позволяют уменьшить размеры износных пятен; алмазная шихта, способствующая повышению маслостойкости; плазмообработанный графит, позволяющий снизить коэффициент трения; полититанат калия, обеспечивающий повышение противоизносных свойств; карбоксилаты меди, способствующие снижению интенсивности изнашивания; никель, позволяющий снизить температуру в зоне трения и достичь восстановительного эффекта; валерат и ундецилат меди, обеспечивающие снижение коэффициента трения.

Наночастицы плазмообработанного графита ( $K_{тр} = 0,025$ ), ундецилат меди ( $K_{тр} = 0,03$ ) и омеднённый графит ( $K_{тр} = 0,035$ ) обеспечивают наиболее низкие значения коэффициента трения.

Существенное снижение интенсивности изнашивания достигается при применении алмазно-графитовой шихты (снижение в 5 раз); омеднённого графита, способствующего снижению интенсивности изнашивания в 3,5 раза.

Также стоит отметить, что при введении частиц никеля было обнаружено повышение массы образца на 0,4 г. Следовательно, наблюдается восстановительный эффект.

### Список источников

1. Жидкие и консистентные смазочные композиционные материалы, содержащие дисперсные частицы гидросиликатов магния, для узлов трения управляемых систем / А. Д. Бреки, В. В. Медведева, Н. А. Крылов [и др.]. – Тула : Тульский государственный университет, 2016. – 158 с. – ISBN 978-5-7679-3479-9. – EDN WASTFP.
2. Сафонов, В. В. Трибологические свойства модификаций пластичных смазок / В. В. Сафонов, А. С. Азаров // Мехатроника, автоматика и робототехника. – 2019. – № 4. – С. 39-41. – DOI 10.26160/2541-8637-2019-4-39-41. – EDN GQJHPQ.
3. Сафонов, В. В. Повышение противоизносных свойств трансмиссионных масел и пластичных смазок / В. В. Сафонов, А. С. Азаров, Е. Ю. Халов // Известия Самарской государственной сельскохозяйственной академии. – 2015. – № 3. – С. 73-77. – EDN UONKDP.
4. Азаров, А. С. Сравнительный анализ противоизносных свойств смазочных сред подшипников качения, модифицированных металлическими наночастицами и микрокерамикой / А. С. Азаров // Аграрный научный журнал. – 2024. – № 11. – С. 107-112. – DOI 10.28983/asj.y2024il1pp107-112. – EDN LCJEDX.
5. Жорник, В. И. Пластичные смазки с приработочным эффектом / В. И. Жорник // Актуальные вопросы машиноведения. – 2012. – Т. 1. – С. 344-347. – EDN YMDHTR.
6. Разработка и исследование антифрикционных и противоизносных дискотических мезогенных присадок для пластичных смазок машин и оборудования / В. В. Терентьев, О. Б. Аكوпова, А. М. Баусов [и др.] // Известия Самарской государственной сельскохозяйственной академии. – 2014. – № 3. – С. 53-56. – EDN SFOUKH.
7. Повышение противоизносных и антифрикционных характеристик пластичных смазок посредством применения плазмообработанного графита / В. В. Терентьев, И. К. Наумова, А. М. Баусов [и др.] // Известия Самарской государственной сельскохозяйственной академии. – 2015. – № 3. – С. 77-81. – EDN UONKDZ.

8. Мельников, В. Г. Исследование триботехнических свойств пластичных смазочных материалов наполненных порошками твердых смазок / В. Г. Мельников, Х. А. Аль-Сабти // Современные наукоемкие технологии. Региональное приложение. – 2007. – № 4. – С. 62-67. – EDN MLIVDJ.
9. Спектральные свойства карбоксилатов меди и опыт их применения в узлах трения сельскохозяйственной техники / В. В. Терентьев, О. Б. Аكوпова, И. А. Телегин [и др.] // Аграрный вестник Верхневолжья. – 2019. – № 1(26). – С. 79-84. – EDN СММТВQ.

### References

1. Breki A.D., Medvedeva V.V., Krylov N.A. Alexandrov S.E., Gvozdev A.E., Sergeev A.N., Starikov N.E., Provotorov D.A., Sergeev N.N., Maliy D.V. *Zhidkie i konsistentnye smazochnye kompozicionnye materialy, sodержashchie dispersnye chasticy gidrosilikatov magniya, dlya uzlov treniya upravlyaemyh sistem* (Liquid and greasy lubricating composite materials containing dispersed particles of magnesium hydrosilicates for friction units of controlled systems), Tula, ul'skiy gosudarstvennyy universitet, 2016, 158 p. ISBN 978-5-7679-3479-9.
2. Safonov V.V., Azarov A.S. *Mekhatronika, avtomatika i robototekhnika*, 2019, no. 9, pp. 39-41, doi 10.26160/2541-8637-2019-4-39-41.
3. Safonov V.V., Azarov A.S., Halov E.YU. *Izvestiya Samarskoj gosudarstvennoj sel'skohozyajstvennoj akademii*, 2015, no. 3, pp. 73-77.
4. Azarov A.S. *Agrarnyj nauchnyj zhurnal*, 2024, no. 11, pp. 107-112, doi 10.28983/asj.y2024i11pp107-112.
5. Zhornik, V. I. *Aktual'nyye voprosy mashinovedeniya*, 2012, vol. 1, pp. 344-347
6. Terent'ev V.V., O. B. Akopova O.B., Bausov A.M. Gerasimov A.I., Telegin I.A. *Izvestiya Samarskoj gosudarstvennoj sel'skohozyajstvennoj akademii*, 2014, no. 3, pp. 53-56.
7. Terent'ev V.V., Naumova I.K., Bausov A.M., Telegin I.A., Galkin I.M. *Izvestiya Samarskoj gosudarstvennoj sel'skohozyajstvennoj akademii*, 2015, no. 3, pp. 77-81.
8. Mel'nikov V.G., Al'-Cabti H.A. *Sovremennye naukoemkie tekhnologii. Regional'noe prilozhenie*, 2007, no. 4, pp. 62-67.
9. Terent'ev V.V., Akopova O.B., Telegin I.A., Elnikova L.V., Parunova Yu.M. *Agrarnyj vestnik Verhnevolzh'ya*, 2019, no. 1(26), pp. 79-84.

Рецензент: Е.А. Косенко, д-р техн. наук, доц., МАДИ

### *Информация об авторе*

**Колесников Игорь Дмитриевич**, магистрант, МАДИ.

### *Information about the author*

**Kolesnikov Igor D.**, undergraduate, MADI.

Статья поступила в редакцию 04.09.2025; одобрена после рецензирования 17.09.2025; принята к публикации 26.09.2025.

The article was submitted 04.09.2025; approved after reviewing 17.09.2025; accepted for publication 26.09.2025.

№ 4(46)

декабрь 2025