

УДК 620.178.162.43+621.892.84+532.783

В. В. Терентьев¹, О. Б. Аكوпова², И. А. Телегин¹

ВЛИЯНИЕ МЕЗОГЕННОЙ ПРИСАДКИ БЕГЕНАТА МЕДИ НА РЕОЛОГИЧЕСКИЕ И ТРИБОТЕХНИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ПЛАСТИЧНЫХ СМАЗОК

¹Ивановская государственная сельскохозяйственная академия им. Д. К. Беляева, ул. Советская, д. 45, 153012 Иваново, Россия. E-mail: vladim-terent@yandex.ru

²Ивановский государственный университет, ул. Ермака, д. 39, 153025 Иваново, Россия. E-mail: akopov@dsn.ru

С целью изучения влияния дискотической присадки – длинноцепочечного карбоксилата меди производного бегеновой кислоты на триботехнические характеристики пластичных смазок получены экспериментальные данные реологических и трибологических свойств элементов пары трения в присутствии смазочных материалов на кальциевой и литиевой основе. Установлено положительное изменение реологических свойств смесевых композиций с включением мезогенного бегената меди, что позволяет улучшать триботехнические характеристики пластичных смазок на кальциевой или литиевой основе. Обнаружено, что введение бегената меди в литиевые и в кальциевые смазки повышает их температуру каплепадения. Анализ триботехнических характеристик показывает, что бегенат меди снижает коэффициент трения на 36 % при введении его в литиевые смазки, а введение его в кальциевые смазки понижает износ элементов пары трения в 3,7 раза. Полученные результаты дают основание рекомендовать мезогенный бегенат меди в качестве антифрикционной присадки для литиевых смазочных материалов и в качестве противоизносной присадки – для кальциевых смазок.

Ключевые слова: карбоксилаты меди, бегенат меди, коэффициент трения, износ, смазка, жидкие кристаллы, пенетрация, температура каплепадения, реология.

DOI: 10.18083/LCAppl.2017.1.93

V. V. Terentyev¹, O. B. Akopova², I. A. Telegin¹

INFLUENCE OF THE COPPER BEHENATE MESOGENIC ADDITIVE ON RHEOLOGICAL AND TRIBOTECHNICAL CHARACTERISTICS OF PLASTIC LUBRICANTS

¹Ivanovo State Agricultural Academy named after D. K. Belyaev, 45 Soviet St., Ivanovo, 153012, Russia.

E-mail: vladim-terent@yandex.ru. E-mail: telegin.igor1989@yandex.ru

²Ivanovo State University, 39 Ermak St., Ivanovo, 153025, Russia.

E-mail: akopov@dsn.ru

To explore the effect of the discotic additive (the long chain copper carboxylate, which is a derivative of behenic acid) on the tribological characteristics of plastic lubricant, the experimental data of the rheological and tribological properties of friction elements in the presence of lubricants on the basis of calcium and lithium salts were obtained. The positive change in the rheological properties of the blend compositions containing the mesogenic copper behenate has been found. It was established that this additive improves tribological characteristics of calcium and lithium-based greases. It was defined that the addition of copper behenate into both type greases increases their dropping temperature. Analysis of the tribological characteristics shows that the addition of copper behenate into the lithium-based lubricant reduces the friction coefficient by 36 %, and its

addition into calcium-based lubricant reduces wear of friction pairs in 3.7 times. The obtained results give reason to recommend the mesogenic copper behenate as anti-friction additive for lithium-based lubricants, and as anti-wear additive – for calcium based-greases.

Key words: copper carboxylates, copper behenate, friction coefficient, wear, lubrication, liquid crystals, penetration, dropping point, rheology.

Введение

Ресурс элементов пар трения сельскохозяйственного оборудования зачастую определяется величиной износа трущихся поверхностей деталей. Для снижения износа особенно открытых пар трения широко применяются различные пластичные смазки.

Пластичные (консистентные) смазки являются одним из видов смазочных материалов, используемых в технике, и представляют коллоидные системы, состоящие из дисперсионной среды и дисперсной фазы загустителя в жидком смазочном материале [1].

От вариации состава дисперсионной среды выделяют смазки на минеральных (нефтяных) и синтетических маслах. В зависимости от входящего в состав загустителя различают мыльные смазки, где в качестве загустителя применяют мыла жирных кислот и, прежде всего, 12-оксистеариновую кислоту, а также немые смазки, где в качестве загустителя используются модифицированные неорганические порошки или полимочевины [1].

Широкое применение в сельскохозяйственном машиностроении нашли пластичные смазки на основе кальциевых и литиевых мыл (солидолы и литолы). Известно, что эффективность смазочных материалов определяется возможностью формирования на поверхности трения прочного несущего смазочного слоя, который позволяет реализовывать гидродинамический режим смазывания. При этом работоспособность и эффективность самого смазочного материала во многом зависит от его реологических характеристик.

Результаты исследований, проведенные ранее как авторами [2–8], так и рядом других исследователей [9–11], доказывают перспективность применения в качестве эффективных присадок к пластичным смазкам каламитных и дискотических жидкокристаллических соединений (ЖК) различной природы. При этом отмечается [12, 13] эффективность применения именно термотропных дискотических металлмезогенов,

где в качестве центрального атома выступает атом меди.

Известно, что концевые углеводородные радикалы молекул играют существенную роль в формировании мезофазы [7]. При увеличении номера члена гомологического ряда обнаруживается заметное периодическое изменение ряда свойств ЖК-соединения (например, четно-нечетный эффект). При этом с увеличением длины цепи растет их гибкость [7], что, в свою очередь, сказывается на реологических и трибологических характеристиках смазочного материала с мезогенной присадкой. Ранее нами был изучен гомологический ряд карбоксилатов меди в качестве присадок к солидолу [14]. Было показано, что при постепенном увеличении длины углеводородного радикала (с n от 4 до 10) в основном наблюдается снижение коэффициента трения независимо от величины нагрузки, дальнейший рост углеводородной цепи карбоксилата меди приводит к росту коэффициента трения вплоть до шестнадцатого гомолога. При дальнейшем росте числа звеньев углеводородной цепи до 22 гомолога коэффициент трения выравнивается и становится практически не зависимым от величины нагрузки на образец в исследованном диапазоне [14].

В развитие этих исследований и для получения сравнительных данных по трибологическому поведению мезогенной присадки карбоксилата меди в различных пластичных смазках нами выбран длинноцепочечный бегенат меди, который вводился как в пластичную смазку солидол, так и в Литол-24.

Эксперимент

Синтез бегената меди проводили методом сплавления бегеновой кислоты с гидроокисью меди [15]. После очистки полученный мезоген (рис. 1) добавлялся в качестве присадки к солидолу и Литолу-24. Процентное содержание бегената меди в базовых смазках составляло 1–20 мас. %.

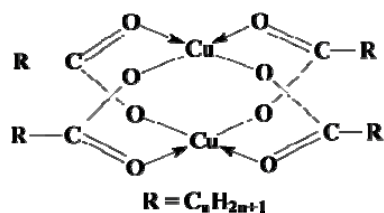


Рис. 1. Структура бегената меди.

Брутто формула ($n = 21$): $C_{88}H_{172}O_8Cu_2$; ММ = 1485,70; Элементный анализ (%), вычислено: С 71,14; Н 11,69; Cu 8,56; найдено: С 71,11; Н 11,80; Cu 8,52. УФ-спектр, диоксан, λ , нм / I ϵ : 667 / 2,74. Cr 122 Col_h 230 I [12]

Fig. 1. The structure of copper behenate.

Brutto formula ($n = 21$): $C_{88}H_{172}O_8Cu_2$; ММ = 1485,70 Element analysis (%), calculated: С 71,14; Н 11,69; Cu 8,56; found: С 71,11; Н 11,80; Cu 8,52. UV-spectrum, dioxane λ , nm / I ϵ : 667 / 2,74. Cr 122 Col_h 230 I [12]

Одними из основных стандартизированных реологических характеристик пластичных смазок, влияющих на их эксплуатационные характеристики, являются коэффициент пенетрации и температура каплепадения.

В данной работе для исследования реологических характеристик полученных смазочных материалов пенетрация определялась в соответствии с ГОСТ 5346-78 «Смазки пластичные. Методы определения пенетрации пенетрометром с конусом» и ASTM D217-10 «Стандартные методы определения пенетрации консистентной смазки методом погружения конуса». Температура каплепадения определялась в соответствии с ГОСТ ISO 2176-2013

«Нефтепродукты. Смазки пластичные. Определение температуры каплепадения».

Фазовое поведение полученных смазочных материалов и возможность проявления ими мезоморфизма определялись с помощью поляризационного микроскопа МИН-8 в циклах нагрева и охлаждения смазок.

Трибологические характеристики полученных смазок исследовались на машине трения 2070 СМТ-1 по схеме «вращающийся диск–неподвижный шар». Условия эксперимента: частота вращения диска – 500 мин⁻¹, диаметр диска 40 мм, диаметр шара 10 мм, материал пары трения: диск–сталь 45 с твердостью 60 HRC, шар–сталь ШХ-15. Нагрузка на образцы – 300 Н. Пробег при каждой нагрузке составлял 1 км. Перед приложением нагрузки на диск однократно наносился смазочный материал, что определяло граничный режим смазки. На машине определялся момент трения, который затем пересчитывался в коэффициент трения.

Для оценки противоизносных свойств изучаемых присадок замерялись пятно износа на шаре и ширина дорожки трения на ролике с помощью микроскопа МПБ-2.

Целью настоящей работы является исследование влияния на реологические и трибологические характеристики пластичных смазок введения бегената меди.

Результаты и их обсуждение

На рис. 2 представлены результаты определения величины пенетрации смазочных материалов.

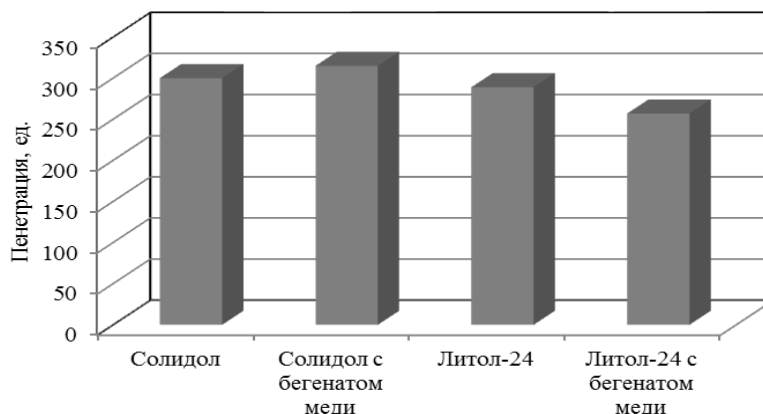


Рис. 2. Результаты определения величины пенетрации смазочных материалов

Fig. 2. The results of determining the value of penetration of lubricants

Как показывают результаты исследований реологических характеристик, введение бегената меди (БМ) как в солидол, так и в литол приводит к изменению структуры самой смазки. При этом при введении БМ в солидол смазка становится более рыхлой, снижается ее прочность (рис. 2). При введении БМ в Литол-24 прочность смазки, наоборот, возрастает на 11 %. Это связано с природой загустителя смазки и различием химического взаимодействия молекул бегената меди с загустителем, выполняющим роль каркаса смазочного материала. Полученные результаты

подтверждают результаты ранее проведенных исследований [12, 13], свидетельствующих о некотором разупрочнении пластичного смазочного материала при введении в него жидкокристаллических соединений различной природы.

Изменение структуры смазочного материала после введения в него бегената меди влияет и на такую важнейшую реологическую характеристику смазочного материала, как температура каплепадения. Результаты определения температуры каплепадения представлены на рис. 3.

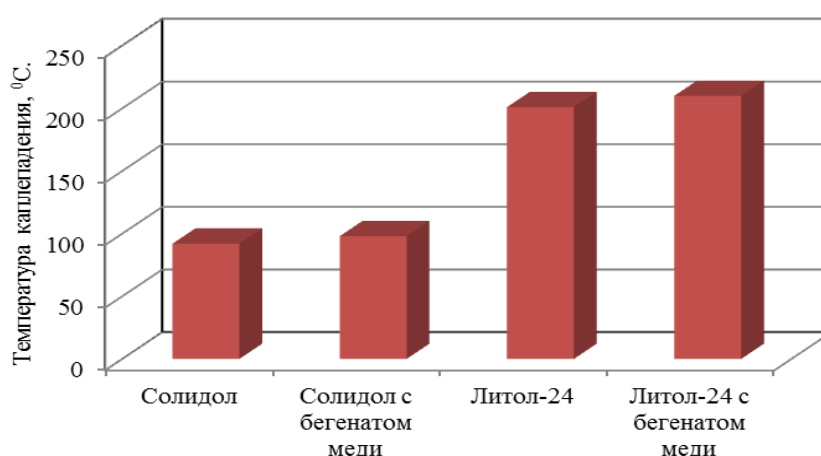


Рис. 3. Результаты определения температуры каплепадения смазочных материалов

Fig. 3. The results of the temperature dropping point lubricants

Из приведенных на рис. 3 результатов исследований следует, что введение бегената меди в базовые пластичные смазки приводит к увеличению температуры каплепадения (для солидола на 6 %, а для литола на 4 %). Повышение температуры каплепадения является положительным фактором, позволяющим в дальнейшем повысить температурный диапазон их применимости в узлах трения, что особенно актуально для солидолов.

Ранее в работах [14, 16] было показано, что введение карбоксилатов металлов в пластичные смазки приводит к улучшению трибологических

характеристик, и это объясняется способностью ЖК-присадок в смазочных материалах при трении в приграничном слое формировать упорядоченную фазу с определенной ориентацией молекул. Было установлено также [14], что наиболее ярко выраженное проявление мезоморфизма в тонком слое наблюдается у смесей солидола с ундецилатом и миристалом меди, но при концентрациях больше 10 %.

Здесь мы приводим текстуры образцов смесей пластичных смазок солидола и Литол-24 с добавкой одного (рис. 4) и пяти процентов бегената меди (рис. 5).

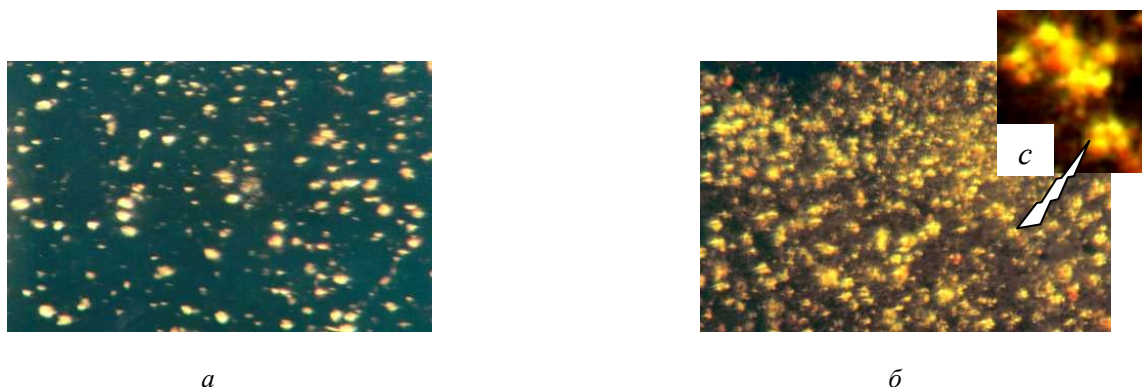


Рис. 4. Текстуры смеси солидол + 1 % бегената меди, $T = 20\text{ }^{\circ}\text{C}$, поляриды скрещены, увеличение ~ 180 :
 а – до нагрева; б – после нагрева и охлаждения; с – выделен отдельный сферолит мезофазы, увеличение ~ 500

Fig. 4. Textures of Solidol mixture with 1 % of the copper behenate, $T = 20\text{ }^{\circ}\text{C}$, the polaroids crossed, an increase ~ 180 :
 a – before heating; b – after heating and cooling; c – allocated a separate the spherulite of mesophase, an increase ~ 500

До нагрева смесь солидол + 1 % бегената меди имеет коричнево-зеленоватый цвет (рис. 4, а), бегенат меди виден в виде двулучепреломляющих анизотропных частиц неправильной формы, наряду с анизотропными ориентационно упорядоченными частицами вытянутой правильной формы, которые погасают одновременно при повороте поляридов, что указывает на жидкокристаллическую данную части образца. Следовательно, образец при комнатной температуре является смесью мезофазы с кристаллической фазой. После нагрева образца до изотропной жидкости в поле микроскопа видно черное поле с включением анизотропных частиц. При охлаждении смеси появляется мезофаза, ориентированная на границе раздела фаз. В объеме видны анизотропные участки в виде сферолитов (4, с) наряду с твердокристаллической фазой (рис. 4, б).

На рис. 5 приведена текстура смеси литола с 5 % бегената меди в цикле нагрева. Наблюдения показывают, что образец неоднороден (рис. 5), видны отдельные анизотропные участки мезофазы в смеси с кристаллитами. При нагревании анизотропия сохраняется вплоть до $160\text{ }^{\circ}\text{C}$, когда происходит переход в изотропную жидкость с частичным разложением образца при $168\text{ }^{\circ}\text{C}$. Следует обратить внимание, что в случае смесей бегената меди с солидолом и Литолом-24, в сравнении с добавками других карбоксилатов меди, при меньшей концентрации (1 % и 5 %) обнаруживается мезоморфизм пластичной смазки.

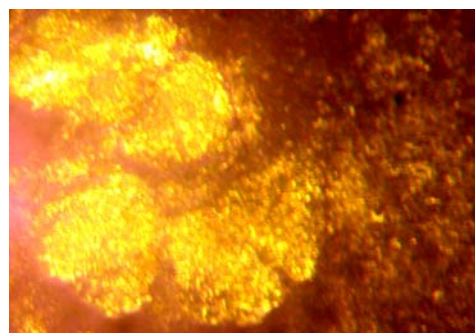


Рис. 5. Анизотропный участок (смесь мезофазы с кристаллитами) образца смазки Литол-24 + 5 % бегената меди, $T = 120\text{ }^{\circ}\text{C}$, поляриды скрещены, увеличение ~ 200 , цикл нагрева

Fig. 5. The anisotropic plot (mesophase mixture with the crystallites) of lubricant sample Litol-24 + 5% copper behenate, $T = 120\text{ }^{\circ}\text{C}$, the polaroids crossed, an increase of ~ 200 , the heating cycle

Нами установлено также, что введение бегената меди как в солидол, так и в литол позволяет получать смазочные композиции с проявлением мезоморфизма в различном температурном и сдвиговом режимах. При сдвиговой деформации частицы бегената меди в смазке образуют ориентационно упорядоченные слои. А создание таких слоев, особенно в условиях граничного трения, позволяет эффективно разделять поверхности трения, снижать коэффициент трения и уменьшать износ трущихся поверхностей.

Затем были определены коэффициенты трения (рис. 6) и износные характеристики (рис. 7) для испытуемых смесей бегената меди с солидолом и Литолом-24.

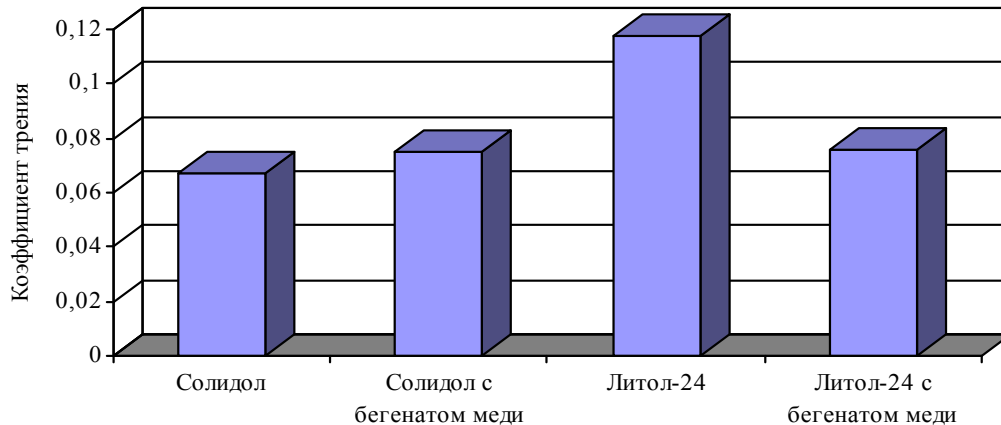


Рис. 6. Результаты определения коэффициента трения

Fig. 6. The results of determination of the friction coefficient

На основании полученных результатов по определению коэффициента трения (рис. 6) было установлено, что для повышения антифрикционных характеристик более эффективно введение бегената меди в литол, чем в солидол. Так, введение бегената меди в солидол в количестве 5 % мас. привело даже к небольшому повышению коэффициента трения по сравнению с базовой смазкой солидолом (рис. 6). Тогда как при введении бегената меди в литол произошло

значительное снижение коэффициента трения, оно составило 36 %. Это позволяет в дальнейшем рекомендовать его как эффективную антифрикционную присадку для литолов, позволяющую снижать мощность на холостой привод механизмов, связанных с трибосопряжениями.

Для повышения ресурсных характеристик деталей трибосопряжений важную роль играют противоизносные характеристики смазочных материалов.

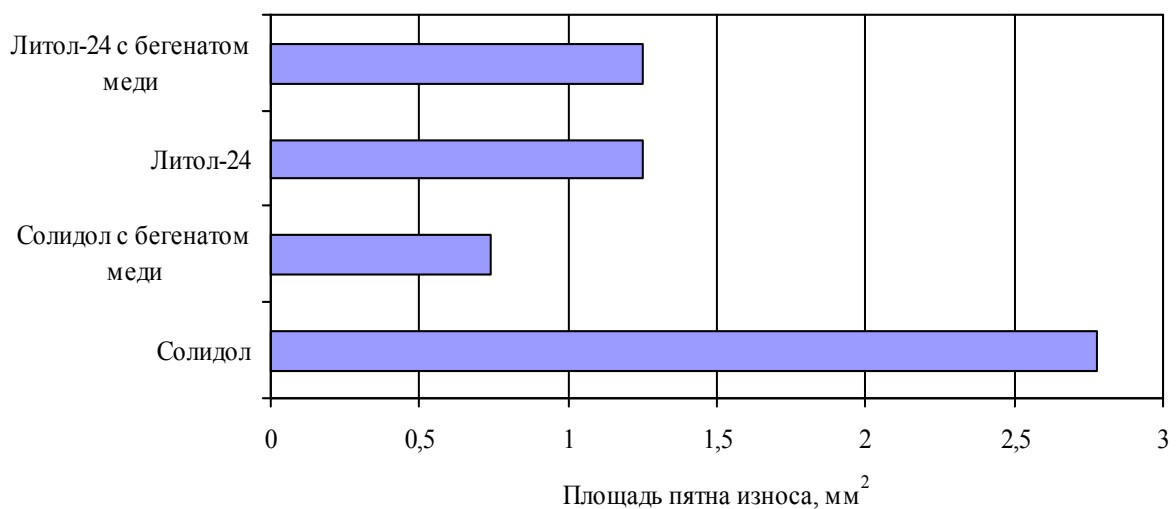


Рис. 7. Результаты определения износа неподвижного образца

Fig. 7. The results of determination of the fixed specimen wear

Исследования испытуемых смесей показали (рис. 7), что введение бегената меди в солидол значительно снижает износ элементов пар трения (износ сократился в 3,7 раза). Напротив, введение бегената в Литол-24 практически не меняет противоизносных характеристик последнего.

Улучшение триботехнических характеристик исследованных пластичных смазочных материалов связываем с перестройкой сплошной пространственной структуры смазочного материала после введения в него бегената меди, ее упрочнением, т. е. изменением подвижности молекул, а соответственно и скорости восстановления разрушенной масляной пленки при трении. Изменение антифрикционных и противоизносных характеристик также связано с определенной ориентационной упорядоченностью самого бегената меди на поверхностях трения.

В результате проведенные исследования показали, что бегенат меди можно использовать для улучшения эксплуатационных характеристик как кальциевых, так и литиевых пластичных смазочных материалов, выпускаемых серийно. При этом в литиевых смазочных материалах он будет работать как антифрикционная присадка, а в кальциевых как противоизносная.

Заключение

Экспериментально установлено, что введение бегената меди в пластичные смазочные материалы на основе литола и солидола влияет положительно на реологические характеристики последних. При этом температура каплепадения повышается: для Литол-24 на 4 %, для солидола на 6 %. Такое изменение реологических характеристик позволяет улучшать триботехнические показатели смазочных композиций.

Установлено также, что введение бегената меди в Литол-24 позволяет улучшать его антифрикционные свойства, а введение в солидол – противоизносные. При этом коэффициент трения при введении бегената меди в Литол-24 снижается на 36 %, а износ образца при его введении в солидол снижается в 3,7 раза.

Таким образом, бегенат меди, так же как и другие длинноцепочечные карбоксилаты меди, изученные нами ранее, является высокоэффективной мезогенной присадкой, позволяющей улучшать основные триботехнические характеристики пластичных смазочных материалов.

Работа выполнена при частичной поддержке гранта Минобрнауки РФ (проектная часть) № 4.1929.2017/ПЧ.

Список литературы / References

1. Патент РФ № 2483100. Способ увеличения температуры каплепадения пластичной литиевой комплексной смазки / Волохов К. И., Кузьмин В. Н., Пенджиев Э. Д. О.; заявл. 7.12.2011; опубл. 27.05.2013, Бюл. №15. [Russian patent № 2483100. Method of raising the temperature of the plastic dropping point lithium complex grease / Volokhov K.I., Kuzmin V.N., Pendzhiev E.D.O.; stated 7.12.2011; published 27.05.2013, Bull. № 15 (in Russ.)].
2. Терентьев В. В., Аكوпова О. Б., Телегин И. А., Боброва Н. В. Повышение надежности сельскохозяйственной техники за счет использования пластичных смазочных материалов с мезогенными присадками-карбоксилатами меди // *Жидк. крист. и их практич. использ.* 2014. Т. 14, № 4. С. 97–102. [Terentyev V.V., Akopova O.B., Telegin I.A., Bobrova N.V. Increasing reliability of agricultural machinery by using plastic lubricant additives with mesogenic-copper carboxylates. *Zhidk. krist. ikh prakt. ispol'z = Liq. Cryst. and their Appl.* 2014, **14** (4), 97–102 (in Russ.)].
3. Терентьев В. В., Аكوпова О. Б., Телегин И. А. Влияние присадок из смесей карбоксилатов меди на трибологические характеристики пластичных смазок // *Жидк. крист. и их практич. использ.* 2015. Т. 15, № 4. С. 96–101. [Terentyev V.V., Akopova O.B., Telegin I.A. Influence of additives of mixtures of carboxylates of copper on tribological characteristics of greases. *Zhidk. krist. ikh prakt. ispol'z = Liq. Cryst. and their Appl.* 2015, **15** (4), 96–101 (in Russ.)].
4. Терентьев В. В., Лапшин В. Б., Субботин К. В., Богданов В. С. Повышение ресурса узлов трения почвообрабатывающей техники // *Научное обозрение.* 2011. № 6. С. 27–31. [Terentyev V.V., Lapshin V.B., Subbotin K.V., Bogdanov V.S. Increase of a resource of knots of a friction of technics for soil processing. *Science review.* 2011, 6, 27–31 (in Russ.)].
5. Терентьев В. В., Аكوпова О. Б., Телегин И. А. Влияние карбоксилатов меди на основе валериановой и изовалериановой кислот на трибологические характеристики пластичных смазок // *Жидк. крист. и их практич. использ.* 2016. Т. 16, № 2. С. 100–105. [Terentyev V.V., Akopova O.B., Telegin I.A. Influence of valeric and isovaleric acids copper carboxylates on tribological characteristics of plastic greasings. *Zhidk. krist. ikh prakt. ispol'z = Liq. Cryst. and their Appl.* 2016, **16** (2), 100–105 (in Russ.)].
6. Аكوпова О. Б. Влияние молекулярного и надмолекулярного строения дискотических мезогенов на их трибологические характеристики // *Успехи в изуче-*

- нии жидкокристаллических материалов / под ред. Н. В. Усольцевой. Иваново : Иван. гос. ун-т, 2007. С. 73–79. [Akopova O.B. Effect of molecular and supramolecular structure of discotic mesogens in their tribological characteristics. *Advances in the study of liquid crystal materials* / ed. by N.V. Usol'tseva. Ivanovo : IvSU, 2007, 73–79 (in Russ.)].
7. Акопова О. Б., Лапшин В. Б., Терентьев В. В., Богданов В. С. Карбоксилаты меди. Моделирование, синтез, мезоморфизм и трибологические свойства // *Жидк. крист. и их практич. использ.* 2012. Вып. 2. С. 20–28. [Akopova O.B., Lapshin V.B., Terentyev V.V., Bogdanov V.S. Copper carboxylates. Modeling, synthesis, mesomorphism and tribological properties. *Zhidk. krist. ikh prakt. ispol'z = Liq. Cryst. and their Appl.*, 2012, 2, 20–28 (in Russ.)].
 8. Терентьев В. В., Лапшин В. Б., Акопова О. Б., Субботин К. В. Применение присадок на основе дискотических мезогенных соединений, полученных механоактивацией, в узлах трения сельскохозяйственной техники // *Тезисы XXV Международной Чугаевской конференции по координационной химии и II Молодежной конференции-школы «Физико-химические методы в химии координационных соединений»*. Россия, Суздаль, 2011. С. 455. [Terent'yev V.V., Lapshin V.B., Akopova O.B., Subbotin K.V. The use of additives based on the discotic mesogenic compounds obtained by mechanical activation, in the friction units of agricultural machinery. *XXV international conference on Chugaevskaya coordinating chemistry and II Youth conference-school «Physical-chemical methods in the chemistry of coordination compounds»*. Russia, Suzdal', 2011. Abstract book. P. 455 (in Russ.)].
 9. Колбашов М. А., Новиков В. В., Сырбу С. А. Улучшение триботехнических свойств смазочных материалов путем введения мезогенных соединений холестерина с химически активными латеральными заместителями // *III Международный семинар «Техника и технологии трибологических исследований : трибология и проблемы МЧС»*. Иваново, 2012. С. 59. [Kolbashov M.A., Novikov V.V., Syrbu S.A. Improvement of the tribological properties of lubricants by introducing mesogenic compounds of cholesterol with chemically active lateral substituents. *III international seminar «Equipment and technology of tribology : tribology and problems of the Ministry of emergency situations»*. Ivanovo, Russia, 2012. Abstract. P. 59 (in Russ.)].
 10. Усольцева Н. В., Акопова О. Б. Трибология и мезоморфизм // *Физика, химия и механика трибосистем*. 2011. Вып. 10. С. 14–23. [Usol'tseva N.V., Akopova O.B. Tribology and mesomorphism. *Physics, chemistry and mechanics of tribosystem*, 2011, 10, 14–23 (in Russ.)].
 11. Латышев В. Н. Трибология резания металлов. Иваново : Иван. гос. ун-т, 2000. Ч. 1. 68 с. [Latyshev V.N. Tribology of metal cutting. Ivanovo : IvSU, 2000, Part 1. 68 p. (in Russ.)].
 12. Чандрасекар С. Жидкие кристаллы : Пер. с англ. Л. Г. Шалтыко / под ред. А. А. Веденова, И. Г. Чистякова. М. : Мир, 1980. 344 с. [Chandrasekhar S. Liquid crystals. Cambridge University Press, 1977, 342 p.
 13. Берёзина Е. В., Годлевский В. А., Корсаков М. Н., Павлов А. С., Фомичев Д. С. Поляризационно-микроскопические исследования пластичных смазочных материалов // *Материаловедение и надежность триботехнических систем* : Сб. научн. трудов под ред. В. А. Годлевского, Б. Р. Киселева. Иваново, 2009. С. 35–38. [Berjozina E.V., Godlevskij V.A., Korsakov M.N., Pavlov A.S., Fomichev D.S. Polarization-microscopic study of plastic lubricants. *Materials Science and Reliability of tribotechnical systems* : Collection of scientific papers / ed. by V.A. Godlewski, B.R. Kiselev. Ivanovo, 2009, 35–38 (in Russ.)].
 14. Терентьев В. В., Акопова О. Б., Лапшин В. Б., Субботин К. В. Влияние строения дискотических мезогенных присадок-карбоксилатов меди на свойства синтетических кальциевых смазок // *Ремонт, восстановление, модернизация*. 2011. № 4. С. 31–33. [Terent'yev V.V., Akopova O.B., Lapshin V.B., Subbotin K.V. Structure influence of disk-like mesogene additives- copper carboxylates on properties synthetic calcium greases. *Repair, restoration, modernization*, 2011, 4, 31–33 (in Russ.)].
 15. Лапшин В. Б., Рязанцева А. В., Акопова О. Б., Гуюмджян П. П. Механохимический синтез смазочных композиций жидкокристаллической природы // *Явления безызносности и основы триботехнологии*. 2004. № 1. С. 29–33. [Lapshin V.B., Ryzantseva A.V., Akopova O.B., Guyumjyan P.P. Mechanochemical synthesis of liquid-crystal lubricant compositions. *The phenomena of wear-free and basis tribotechnologii*, 2004, 1, 29–33].
 16. Терентьев В. В., Акопова О. Б., Баусов А. М., Герасимов А. И., Телегин И. М. Разработка и исследование антифрикционных и противоизносных дискотических мезогенных присадок для пластичных смазок машин и оборудования // *Известия Самарской ГСХА*. 2014. № 3. С. 53–56. [Terent'yev V.V., Akopova O.B., Bausov A.M., Gerasimov A.I., Telegin I.M. Development and research of discotic mesogenic anti-friction and anti-wear additives for plastic lubricants of machines and equipment. *Izvestiya Samarskoy GSKhA*, 2014, 3, 53–56 (in Russ.)].

Поступила в редакцию 26.12.2016 г.
Received 26 December 2016