

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ СЛОЖНЫХ ЭФИРОВ В КАЧЕСТВЕ ДИСПЕРСИОННОЙ СРЕДЫ ПОЛИМОЧЕВИННЫХ ПЛАСТИЧНЫХ СМАЗОК

Б.П. Тонконогов, Р.З. Сафиева, О.П. Паренаго, О.В. Попова, А.Ю. Килякова, С.З. Шумакаева, В.А. Винокуров

Борис Петрович Тонконогов, Анастасия Юрьевна Килякова *, Сабина Зинуровна Шумакаева, Владимир Арнольдович Винокуров

Кафедра химии и технологии смазочных материалов и химмотологии, РГУ нефти и газа (НИУ) им. И.М. Губкина, Ленинский проспект, 65, Москва, Российская Федерация, 119991
E-mail: bpt@gubkin.ru, anakil@yandex.ru*, sabinashumakaeva@mail.ru, vinok_ac@mail.ru

Рафия Загидулловна Сафиева, Ольга Владимировна Попова

Кафедра физической и коллоидной химии, РГУ нефти и газа (НИУ) им. И.М. Губкина, Ленинский проспект, 65, Москва, Российская Федерация, 119991
Некоммерческое партнерство «Губкинский технопарк», Ленинский проспект, 65, Москва, Российская Федерация, 119991
E-mail: safieva.r@gubkin.ru, o.popova@list.ru

Олег Павлович Паренаго

Институт нефтехимического синтеза им. А.В. Топчиева РАН, Ленинский проспект, 29, Москва, Российская Федерация, 119991
E-mail: parenago@ips.ac.ru

В работе приведены первые результаты исследования физико-химических и эксплуатационных свойств композиций пластичных смазок, полученных с использованием в качестве дисперсионной среды сложных эфиров различной природы, а в качестве загустителя полимочевины, в том числе, с добавлением в ее состав наноцеллюлозы. Выбор сложноэфирной основы для получения смазок обусловлен, с одной стороны, удачным сочетанием важных физико-химических свойств (высокий индекс вязкости, малая летучесть, высокая температура вспышки и воспламенения, низкая температура застывания, высокая термоокислительная стабильность, хорошие противоизносные свойства). С другой стороны, при получении смазок с хорошими экологическими характеристиками большое значение имеет биоразлагаемость ее компонентов, что в данном случае обеспечивается применением сложных эфиров в качестве масляной основы и органического загустителя - наноцеллюлозы в качестве компонента дисперсной фазы полимочевины. Показано, что из исследованных эфиров дикарбоновых кислот более высокой температурой каплепадения и лучшей коллоидной стабильностью обладают полимочевинные смазки на основе диоктиладипината по сравнению с диоктилсебацинатом и дибутилсебацинатом. Чем меньше молекула эфира, тем более прочной будет структура полимочевинной смазки. Аналогичным образом для разветвленных эфиров смазки на основе трехосновных спиртов более эффективны по сравнению с четырехосновными спиртами. Продемонстрирована возможность использования наноцеллюлозы в качестве компонента загустителя. Увеличение содержания наноцеллюлозы до 3,5% повышает коллоидную стабильность и температуру каплепадения синтезированных смазок. Полученные образцы обладают более широким диапазоном рабочих температур, лучшими реологическими показателями, чем импортные и отечественные аналоги.

Ключевые слова: полимочевинные смазки, сложные эфиры, наноцеллюлоза, биоразлагаемые компоненты

USING OF ESTERS AS DISPERSION MEDIUM OF POLYUREA PLASTIC GREASES

B.P. Tonkonogov, R.Z. Safieva, O.P. Parenago, O.V. Popova, A.Yu. Kilyakova, S.Z. Shumakaeva, V.A. Vinokurov

Boris P. Tonkonogov, Anastasiya Yu. Kilyakova*, Sabina Z. Shumakaeva, Vladimir A. Vinokurov
Department of Chemistry and Technology of Lubricants and Chemotology, Gubkin University, Leninsky ave., 65, Moscow, 119991, Russia
E-mail: bpt@gubkin.ru, anakil@yandex.ru*, sabinashumakaeva@mail.ru, vinok_ac@mail.ru

Ravilya Z. Safieva, Olga V. Popova
Department of Physical and Colloid Chemistry, Gubkin University, Leninsky ave., 65, Moscow, 119991, Russia
Non-Profit Partnership Technopark of Gubkin University, Leninsky ave., 65, Moscow, 119991, Russia
E-mail: safieva.r@gubkin.ru, o.popova@list.ru

Oleg P. Parenago
A.V. Topchiev Institute of Petrochemical Synthesis, RAS, Leninsky ave., 29, Moscow, 119991, Russia
E-mail: parenago@ips.ac.ru

This article presents first results of the investigated physico-chemical and operational parameters of composition greases obtained with the use of esters of different nature as a dispersion medium and the polyurea as a thickening agent, including the addition of nanocellulose. The choice of the ester base for the production of greases is possible due, on the one hand, to good combination of the physico-chemical properties (high viscosity index, low volatility, high flash and ignition temperature, low pour point, good anti-wear properties). On the other hand, in the production of greases with good ecological characteristics biodegradability of its components is of great importance, which in this case is provided by the use of esters as an oil base and an organic thickener, nanocellulose, as a component of the polyurea dispersed phase. It has been shown that from the dicarboxylic acid esters studied, the polyurea greases based on dioctyl adipate are superior to the dropping point and better colloidal stability as compared to dioctyl sebacate and dibutyl sebacate. The smaller size of the ether molecule provides the stronger structure of the polyurea grease. Similarly, for branched ethers, the grease based on tri-basic alcohols is more effective than the four-basic alcohols. The possibility of using nanocellulose as a thickener component was demonstrated. An increase in the content of nanocellulose to 3.5% increases the colloidal stability and the dropping temperature of the synthesized greases. The obtained samples have a wider range of operating temperatures, better rheological indicators than imported and domestic analogues.

Key words: polyurea greases, esters, nanocellulose, biodegradable components

Для цитирования:

Тонконогов Б.П., Сафиева Р.З., Паренаго О.П., Попова О.В., Килякова А.Ю., Шумакаева С.З., Винокуров В.А. Использование сложных эфиров в качестве дисперсионной среды полимочевинных пластичных смазок. *Изв. вузов. Химия и хим. технология*. 2019. Т. 62. Вып. 9. С. 73–78

For citation:

Tonkonogov B.P., Safieva R.Z., Parenago O.P., Popova O.V., Kilyakova A.Yu., Shumakaeva S.Z., Vinokurov V.A. Using of esters as dispersion medium of polyurea plastic greases. *Izv. Vyssh. Uchebn. Zaved. Khim. Khim. Tekhnol.* 2019. V. 62. N 9. P. 73–78

ВВЕДЕНИЕ

Известно, что сложные эфиры как основа смазочных композиций применяются более 50 лет. Можно отметить, что в последние годы наметилась тенденция увеличения числа публикаций относительно возможностей перехода к применению сложных эфиров как альтернативы минеральным и другим синтетическим базовым основам пластичных смазок [1-3]. Дело в том, что сложные эфиры

двухосновных карбоновых кислот и эфиры многоатомных спиртов относятся к биологически быстро разлагаемым материалам [4] и обладают удачным сочетанием комплекса важных физико-химических свойств. Эфиры производятся из относительно чистых и простых исходных веществ, что обеспечивает их определенный молекулярный дизайн, предполагающий хорошие смазывающие свойства и отсутствие нежелательных и нестабильных примесей, которые обычно присутствуют в

минеральных маслах. Физикохимия молекул эфиров достаточно подробно изучена [2-4]. По сравнению с минеральными маслами многие эфиры имеют такие преимущества, как: высокий индекс вязкости (около 160), текучесть при низких температурах (ниже минус 30 °С), малые потери при испарении, высокую температуру вспышки (более 260 °С) и термическую стабильность, а также хорошие антифрикционные и противоизносные свойства, совместимость и биодegradуемость. Как следствие, пластичные смазки на основе сложных эфиров по сравнению со смазками на нефтяных маслах имеют лучшую прокачиваемость при отрицательных температурах, лучшие противоизносные свойства, проявляют также более высокую стабильность при повышенных температурах, что гарантирует работоспособность смазки при перепадах температур в узлах трения и внешней среде. Широкое применение сложных эфиров карбоновых кислот несколько сдерживается вследствие их высокой стоимости 1,7-3,5 долл. США за 1 кг при стоимости лучших минеральных масел сорта 1010 и 1100 не более 0,7-0,75 долл. При этом, однако, следует учитывать, что расход синтетических масел обычно в 3-5 раз меньше, чем минеральных.

На мировом рынке смазочных материалов существует несколько видов высококачественных биоразлагаемых пластичных смазок, однако произведенные объемы остаются весьма низкими. Согласно результатам исследования производства смазочных масел в 2012 году NLGI (Национальный институт смазочных материалов), только 0,42% от общего объема произведенной продукции в мире изготовлено с применением базовых жидкостей, в состав которых входит до 35,0% биоразлагаемых компонентов с условным названием «биобаза». В Европе эта доля выше и составляет 2,48%. Можно сделать формальный вывод, что ввиду отсутствия точных определений и сведений по биодegradации смазочных композиций, содержание биоразлагаемых компонентов выше 35% в составе базовой жидкости в первом приближении отвечает понятию «биоразлагаемая пластичная смазка».

Согласно тестам ASTM (American Standard and Testing Materials) и OECD (Organization for Economic Cooperation and Development) для оценки степени биодegradации, испытуемый продукт выдерживается в водной среде в присутствии микроорганизмов/бактерий при контролируемых условиях в течение 28 дней. При этом проводится мониторинг убыли кислорода или прироста содержания углекислого газа как степени биодegradации. Большинство растительных масел показывают степень биодegradации более 70% в течение этого периода по сравнению с нефтяными маслами, для которых она колеблется от 15 до 35%. Тест на биодegradацию считается пройденным, если достигается

степень биодegradации более, чем 60%. По способности к биодegradации эфиры (%) характеризуются показателем 55-100, а минеральные масла, как уже отмечено, существенно меньше 15-35 [5].

Отмеченные выше низкотемпературные свойства сложных эфиров являются залогом потенциальной работоспособности пластичных смазок при пониженных температурах, что особенно важно при их применении в технике на территориях Крайнего Севера и Арктической зоны. Действительно, в этих условиях имеются большие сложности, связанные с увеличением динамической вязкости смазок, ухудшением прокачиваемости при низких температурах и возможными отрицательными последствиями при попадании отработанных пластичных смазок в окружающую среду. В то же время, с 1955 г. известны хорошо себя зарекомендовавшие полимочевинные консистентные смазки, для которых предпочтительными загустителями являются органические диамочевины [6]. Полимочевинные смазки обладают широким интервалом работоспособности при низких (ниже минус 40 °С) и высоких температурах (до 180 °С) и могут быть приготовлены на различных базовых основах за исключением полиорганосилоксанов [7].

С учетом требований по биоразлагаемости к пластичным смазкам, предполагаемым к применению в условиях Крайнего Севера и Арктики, фокус внимания направлен на исследования в области низкотемпературных пластичных смазок с использованием как органических загустителей, так и биоразлагаемой базовой основы. В этой связи следует отметить серию работ зарубежных авторов по вовлечению органических загустителей, в том числе целлюлозы и ее производных, в состав пластичных смазок на базовой основе преимущественно из растительных масел [8-16]. Одним из наиболее перспективных кандидатов на роль органического загустителя пластичных смазок является наноцеллюлоза, в отношении которой наблюдается всплеск исследовательской активности [17-20]. Подытоживая, можно обозначить необходимость проведения на первом этапе исследований в области синтеза композиций пластичных полимочевинных смазок на сложноэфирной основе, чему и посвящена преимущественно данная статья.

МЕТОДИКА ЭКСПЕРИМЕНТА

Объектом исследования являлись сложные эфиры: диоктиладипинат (ДОА), диоктилсебацнат (ДОС), дибутилсебацнат (ДБС), эфир карбоновой кислоты триметилпропана (Nucobase 8317), сложный эфир триметилпропанового спирта и одноосновных алифатических карбоновых кислот (Nucobase 7300), сложный эфир пентаэритритового спирта и смеси одноосновных алифатических карбоновых кислот C₅-C₁₀ (Nucobase 5750), слож-

ный эфир пентаэритритового спирта и смеси основных алифатических карбоновых кислот C₅-C₁₀ (ПЭТ Б).

В качестве загустителя были использованы полимочевина (ПМ) и 20 % водная нанофибриллярная целлюлоза (НФЦ) (пр-во Daicel Corp., Япония). Поэтому одной из основных задач работы было обеспечение хорошего диспергирования НФЦ в среде базового эфира. Для этого была проведена модификация поверхности НФЦ методом последовательной замены растворителей с понижением их полярности [20].

Как известно, реакция образования полимочевины протекает путем взаимодействия диизоцианатов с аминами. В нашем случае в качестве исходных компонентов использовали 4,4'-дифенилметандиизоцианат, анилин и *n*-октадециламин. Получение смазок осуществляли взаимодействием эфиров, диизоцианата и аминов *in situ*. При выборе концентрации полимочевинного загустителя исходили из того, что ранее были исследованы свойства полимочевинных смазок на минеральной основе

при содержании полимочевинного загустителя 13 масс.% [16].

При изучении эксплуатационных и физико-химических свойств пластичных смазок проводили определение стандартными методами: пенетрации (ГОСТ 5346-78), коллоидной стабильности (ГОСТ 7142-74), температуры каплепадения (ГОСТ 6793-74) и динамической вязкости при минус 50 °С (ГОСТ 7163-84).

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

На первом этапе были синтезированы образцы смазок на основе эфиров двухосновных эфиров ДОС, ДОА и ДБС с разным содержанием полимочевинного соединения в качестве загустителя. Было показано, что при содержании полимочевинного загустителя до 10 масс.% коллоидная структура в среде указанных эфиров не образуется. Как видно из табл. 1, при более высоком содержании загустителя наилучшими свойствами обладает смазка на основе ДОА, по-видимому, благодаря меньшим размерам молекулы ДОА по сравнению с ДОС и ДБС.

Таблица 1

Эксплуатационные показатели полимочевинных смазок на разных дисперсионных средах
Table 1. Operational parameters of greases on different dispersion medium

Состав смазки	Пенетрация, мм	Коллоидная стабильность, %	Температура каплепадения, °С
85% ДОС+15% ПМ	309	10,51	221
80% ДОС+20% ПМ	187	6,73	230
85% ДОА+15% ПМ	280	8,10	247
80% ДОА+20% ПМ	174	4,10	>250
85% ДБС+15% ПМ	351	11,02	210
80% ДБС+20% ПМ	214	7,18	231

Далее для изучения влияния строения эфира на эксплуатационные свойства смазок были приготовлены и изучены образцы на основе разветвленных эфиров: трехосновных (NucoBase 8317, NucoBase 7300) и четырехосновных (NucoBase 5750 и эфира ПЭТ Б) при содержании загустителя 20%. (табл. 2).

Таблица 2

Эксплуатационные показатели смазок на основе разветвленных эфиров, загуститель – полимочевина (20%)
Table 2. Operational parameters of greases based on branched ethers, thickener - polyurea (20%)

Дисперсионная среда	Пенетрация, мм	Коллоидная стабильность, %	Температура каплепадения, °С
NucoBase 8317	307	8,0	230
NucoBase 7300	271	6,8	238
NucoBase 5750	357	14,00	230
ПЭТ Б	331	10,5	226

Как видно из полученных данных, смазки с использованием трехосновных эфиров в качестве дисперсионной среды образуют более прочную структуру с молекулой полимочевины, чем смазки с использованием четырехосновных эфиров. По-

видимому, меньший размер молекул трехосновных эфиров по сравнению с четырехосновными обеспечивает формирование компактной и, как следствие, более прочной структуры смазки.

Для увеличения степени биоразлагаемости смазки, а также для улучшения ее реологических показателей проведена работа по частичной замене полимочевинного соединения на наноцеллюлозу. В этом случае в качестве дисперсионной среды был выбран эфир ДОА, т.к. он производится в России, а смазки на его основе обладают высокой температурой каплепадения и хорошей коллоидной стабильностью. Для сравнения была приготовлена суспензия на основе ДОА, содержащая наноцеллюлозу НФЦ, без добавления полимочевинного соединения. Результаты измерения эксплуатационных показателей экспериментальных смазок, полученные при различном соотношении полимочевинного загустителя и НФЦ, приведены в табл. 3.

Полученные результаты показывают, что лучшими свойствами обладает смазка с составом 76,5% ДОА, 20% полимочевины и 3,5% наноцеллюлозы. Сравнение свойств этой смазки с отечественными и зарубежными аналогами представлено в табл. 4.

Таблица 3

Эксплуатационные показатели пластичных смазок с использованием в качестве загустителя смеси полимочевины и НФЦ

Table 3. Operational parameters of greases on base of dioctyl adipate (DOA) with the use as a thickener of a mixture of polyurea and NFC

Состав смазки	Пенетрация, мм	Коллоидная стабильность, %	Температура каплепадения, °С
97% ДООА + 3% НФЦ	-	43	140
84,3% ДООА + 12,7 ПМ + 3% НФЦ	289	12	175
82% ДООА + 15% ПМ + 3% НФЦ	270	10	184
77% ДООА + 20% ПМ + 3% НФЦ	265	8,5	193
76,5% ДООА + 20% ПМ + 3,5% НФЦ	260	2,5	>250

Таблица 4

Сравнение свойств лучшего образца смазки с аналогами
Table 4. Comparison of properties of the best sample of grease with analogues

Наименование	Пенетрация, мм	Коллоидная стабильность, %	Температура каплепадения, °С	Динамическая вязкость при минус 50 °С, Па·с
Политерм (многоцелевая)	260	4,27	224	2038
Mobil Polyrex EM 103	270	1,5	250	1817
Shell Gadus S3 T460 1.5	305	2,0	250	1893
76,5% ДООА + 20% ПМ + 3,5% НФЦ	260	2,5	>250	1647

Полученный образец экспериментальной смазки практически не уступает по заявленным показателям импортным и отечественным аналогам. Кроме этого, он имеет более широкий диапазон рабочих температур и обладает улучшенными экологическими свойствами, поскольку содержит в своем составе, в основном, биоразлагаемые исходные компоненты.

ВЫВОДЫ

Таким образом, в работе показано, что сложные эфиры являются хорошей альтернативой другим дисперсионным средам полимочевинных пластичных смазок. Наилучшие показатели (более высокая температура каплепадения и лучшая коллоидная стабильность) экспериментальных образцов полимочевинных смазок на основе эфиров дикарбоновых кислот обнаружены для ДООА по сравнению с ДООС и ДБС. Чем меньше молекула эфира, тем образуется более прочная структура полимочевинной смазки.

Аналогичным образом для разветвленных эфиров смазки на основе трехосновных спиртов более эффективны по сравнению с четырехосновными спиртами.

Продемонстрирована возможность использования наноцеллюлозы в качестве компонента загустителя. Увеличение содержания наноцеллюлозы до 3,5% повышает коллоидную стабильность и температуру каплепадения синтезированных смазок. Полученные образцы обладают более широким диапазоном рабочих температур, лучшими реологическими показателями, чем импортные и отечественные аналоги по динамической вязкости при минус 50 °С и по температуре каплепадения. Можно предположить, что для улучшения триботехнических характеристик необходимо вводить в смазки соответствующие присадки и наполнители.

Работа выполнена при финансовой поддержке Минобрнауки России (Уникальный идентификатор работ (проекта) RFMEFI60717X0181, соглашение № 14.607.21.0181).

ЛИТЕРАТУРА

1. Евдокимов А.Ю., Фукс И.Г., Шабалина Т.Н., Багдасаров Л.Н. Смазочные материалы и проблемы экологии. М.: Нефть и газ. 2000. 423 с.
2. Nagendramma P., Kaul S. Development of ecofriendly/biodegradable lubricants: An overview. *Renewable and sustainable energy reviews*. 2012. V. 16. N 1. P. 764-774. DOI: 10.1016/j.rser.2011.09.002.
3. Mang Th., Dresel W. Lubricants and lubrication. John Wiley & Sons. 2007. 890 p.
4. Honary L., Richter E. Biobased lubricants and greases: Technology and products. Britain. John Wiley & Sons. 2011. V. 17. 238 p.

REFERENCES

1. Evdokimov A.Yu., Fuks I.G., Shabalina T.N., Bagdasarov L.N. Lubricants and environmental problems. M.: Neft i Gaz. 2000. 423 p.
2. Nagendramma P., Kaul S. Development of ecofriendly/biodegradable lubricants: An overview. *Renewable and sustainable energy reviews*. 2012. V. 16. N 1. P. 764-774. DOI: 10.1016/j.rser.2011.09.002.
3. Mang Th., Dresel W. Lubricants and lubrication. John Wiley & Sons. 2007. 890 p.
4. Honary L., Richter E. Biobased lubricants and greases: Technology and products. Britain. John Wiley & Sons. 2011. V. 17. 238 p.

5. The Advantages and Disadvantages of Biodegradable Lubricants: [Электронный ресурс]. URL: <https://www.machinerylubrication.com/Read/28760/advantages-disadvantages-of-biodegradable-lubricants-> (дата обращения 9 ноября 2018).
6. **Лядов А.С., Максимова Ю.М., Шахматова А.С., Кириллов В.В., Паренаго О.П.** Уреатные (полимоочевинные) пластичные смазки (обзор). *Журн. приклад. химии*. 2018. Т. 91. № 6. С. 761-771.
7. Classification and Characteristics of Grease: [Электронный ресурс]. URL: <https://www.kyodoyushi.co.jp/english/knowledge/grease/category/>. (Дата обращения: 16.11.2018).
8. **Любинин И.А.** Состояние и перспективы производства пластичных смазок в России и за рубежом. *Наука и технология в пром-ти*. 2011. № 3. С. 98-100.
9. **Salimon J., Salih N., Yousif E.** Biolubricants: Raw materials, chemical modifications and environmental benefits. *Eur. J. Lipid Sci. Technol.* 2010. 112(5). P. 519–530. DOI: 10.1002/ejlt.200900205.
10. **Marcovich N.E., Auad M.L., Bellesi N.E., Nutt S.R., Aranguren M.I.** Cellulose micro/nanocrystals reinforced polyurethane. *J. Mater. Res.* 2006. 21(04). P. 870–881. DOI: 10.1557/jmr.2006.0105.
11. **Кошелев В.Н., Тонконогов Б.П., Килиякова А.Ю., Алексанян К.Г., Мовсумзаде Э.М., Алексанян Д.Р., Гличева К.Р.** Исследование влияния пигментов различного происхождения на антифрикционные свойства полимоочевинных смазок. *Изв. вузов. Химия и хим. технология*. 2016. Т. 59. Вып. 7. С. 68.
12. **García-Zapateiro L.A., Franco J.M.** Formulation of lubricating greases from renewable base stocks and thickener agents: A rheological approach. *Indust. Crop. Prod.* 2014. V. 54. P. 115–121. DOI: 10.1016/j.indcrop.2014.01.020.
13. **Núñez N., Martín-Alfonso J.E., Valencia C., Sanchez M.C., Franco J.M.** Rheology of new green lubricating grease formulations containing cellulose pulp and its methylated derivative as thickener agents. *Indust. Crop. Product.* 2012. V. 37. P. 500–507. DOI: 10.1016/j.indcrop.2011.07.027.
14. **Sánchez R., Franco J.M., Delgado M.A., Valencia C., Gallegos C.** Rheological and mechanical properties of oleogels based on castor oil and cellulosic derivatives potentially applicable as biolubricating greases: Influence of cellulosic derivatives concentration ratio. *J. Indust. Eng. Chem.* 2011. V. 17. N 4. P. 705–711. DOI: 10.1016/j.jiec.2011.05.019.
15. **Martín-Alfonso J.E., Núñez N., Valencia C., Franco J.M., Díaz M.J.** Formulation of new biodegradable lubricating greases using ethylated cellulose pulp as thickener agent. *J. Indust. Eng. Chem.* 2011. V. 17. P. 818–823. DOI: 10.1016/j.jiec.2011.09.003.
16. **Liu L., Sun H. W.** Impact of polyurea structure on grease properties. *Lubricat. Sci.* 2010. V. 22. N 9. P. 405–413. DOI: 10.1002/ls.140.
17. **Rudnik E.** Biodegradability Testing of Compostable Polymer Materials. In: *Handb. Biopolym. Biodegrad. Plast. Prop. Process. Appl.* 2012. P. 213–263. DOI: 10.1016/B978-1-4557-2834-3.00011-2.
18. **Mishra R.K., Sabu A., Tiwari S.K.** Materials chemistry and the futurist eco-friendly applications of nanocellulose: Status and prospect. *J. Saudi Chem. Soc.* 2018. V. 22. N 8. P. 949-978. DOI: 10.1016/j.jscs.2018.02.005.
19. **Dufresne A.** Nanocellulose: a new ageless bionanomaterial. *Mater. Today*. 2013. V. 16. P. 220-227. DOI: 10.1016/j.matod.2013.06.004.
20. **Wang S., Lu A., Zhang L.** Recent advances in regenerated cellulose materials. *Prog. Polym. Sci.* 2016. V. 53. P. 169-206. DOI: 10.1016/j.progpolymsci.2015.07.003.
5. The Advantages and Disadvantages of Biodegradable Lubricants: [Electronic resource] URL: <https://www.machinerylubrication.com/Read/28760/advantages-disadvantages-of-biodegradable-lubricants->.
6. **Lyadov A.S., Maksimova Yu.M., Shakhmatova A.S., Kirillov V.V., Parenago O.P.** Ureate (polyurea) greases (review). *Zhurn.Ppriklad. Khimii*. 2018. V. 91. N 6. P. 761-771 (in Russian).
7. Classification and Characteristics of Grease: [Electronic resource]. URL: <https://www.kyodoyushi.co.jp/english/knowledge/grease/category/>.
8. **Lyubinin I.A.** State and prospects of production of greases in Russia and abroad. *Nauka Tekhnol. Prom-ti*. 2011. N 3. P. 98-100 (in Russian).
9. **Salimon J., Salih N., Yousif E.** Biolubricants: Raw materials, chemical modifications and environmental benefits. *Eur. J. Lipid Sci. Technol.* 2010. 112(5). P. 519–530. DOI: 10.1002/ejlt.200900205.
10. **Marcovich N.E., Auad M.L., Bellesi N.E., Nutt S.R., Aranguren M.I.** Cellulose micro/nanocrystals reinforced polyurethane. *J. Mater. Res.* 2006. 21(04). P. 870–881. DOI: 10.1557/jmr.2006.0105.
11. **Koshelev V.N., Tonkonogov B.P., Kilyakova A.Yu., Aleksanyan K.G., Movsumzade E.M., Aleksanyan D.R., Glicheva K.R.** Investigation of the effect of pigments of different origin on the antifriction properties of polyurea lubricants. *Izv. Vyssh. Uchebn. Zaved. Khim. Khim. Tekhnol.* 2016. V. 59. N 7. P. 68 (in Russian).
12. **García-Zapateiro L.A., Franco J.M.** Formulation of lubricating greases from renewable base stocks and thickener agents: A rheological approach. *Indust. Crop. Prod.* 2014. V. 54. P. 115–121. DOI: 10.1016/j.indcrop.2014.01.020.
13. **Núñez N., Martín-Alfonso J.E., Valencia C., Sanchez M.C., Franco J.M.** Rheology of new green lubricating grease formulations containing cellulose pulp and its methylated derivative as thickener agents. *Indust. Crop. Product.* 2012. V. 37. P. 500–507. DOI: 10.1016/j.indcrop.2011.07.027.
14. **Sánchez R., Franco J.M., Delgado M.A., Valencia C., Gallegos C.** Rheological and mechanical properties of oleogels based on castor oil and cellulosic derivatives potentially applicable as biolubricating greases: Influence of cellulosic derivatives concentration ratio. *J. Indust. Eng. Chem.* 2011. V. 17. N 4. P. 705–711. DOI: 10.1016/j.jiec.2011.05.019.
15. **Martín-Alfonso J.E., Núñez N., Valencia C., Franco J.M., Díaz M.J.** Formulation of new biodegradable lubricating greases using ethylated cellulose pulp as thickener agent. *J. Indust. Eng. Chem.* 2011. V. 17. P. 818–823. DOI: 10.1016/j.jiec.2011.09.003.
16. **Liu L., Sun H. W.** Impact of polyurea structure on grease properties. *Lubricat. Sci.* 2010. V. 22. N 9. P. 405–413. DOI: 10.1002/ls.140.
17. **Rudnik E.** Biodegradability Testing of Compostable Polymer Materials. In: *Handb. Biopolym. Biodegrad. Plast. Prop. Process. Appl.*, 2012. P. 213–263. DOI: 10.1016/B978-1-4557-2834-3.00011-2.
18. **Mishra R.K., Sabu A., Tiwari S.K.** Materials chemistry and the futurist eco-friendly applications of nanocellulose: Status and prospect. *J. Saudi Chem. Soc.* 2018. V. 22. N 8. P. 949-978. DOI: 10.1016/j.jscs.2018.02.005.
19. **Dufresne A.** Nanocellulose: a new ageless bionanomaterial. *Mater. Today*. 2013. V. 16. P. 220-227. DOI: 10.1016/j.matod.2013.06.004.
20. **Wang S., Lu A., Zhang L.** Recent advances in regenerated cellulose materials. *Prog. Polym. Sci.* 2016. V. 53. P. 169-206. DOI: 10.1016/j.progpolymsci.2015.07.003.

Поступила в редакцию (Received) 15.10.2018

Принята к опубликованию (Accepted) 17.07.2019