

УДК 621.89:532.13:544.773

**Е. В. Овчинников**, д-р техн. наук, проф.

Гродненский государственный университет им. Янки Купалы, Беларусь

Тел./Факс: +375 (152) 684108; E-mail: [ovchin@grsu.by](mailto:ovchin@grsu.by)

## ИССЛЕДОВАНИЕ ВЯЗКОСТНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК НАНОЖИДКОСТЕЙ В ЗАВИСИМОСТИ ОТ КОНЦЕНТРАЦИИ ГИБРИДНОГО МАТЕРИАЛА

*В статье представлены результаты исследований реологических, триботехнических свойств смазочных материалов на основе полярных и неполярных жидкостей, модифицированных нанодисперсными углеродными частицами, получаемыми методом самораспространяющегося высокотемпературного синтеза. Установлено, что введение нанодисперсных углеродных частиц в смазочную среду приводит к изменению вязкостных и триботехнических характеристик, причем при малых концентрациях модификатора наблюдаются наиболее существенные снижения значений коэффициента трения по сравнению с исходной смазкой.*

**Ключевые слова:** смазочный материал, морфология, модификация, вязкость, жидкость, наноклерод.

**Y. V. Auchynnika**

## STUDY OF THE VISCOSITY CHARACTERISTICS OF NANOFLUIDS DEPENDING ON THE CONCENTRATION OF THE HYBRID MATERIAL

*The article presents the results of studies of the rheological and tribotechnical properties of lubricants based on polar and nonpolar liquids modified by nanodisperse carbon particles obtained by self-propagating high-temperature synthesis. It was found that the introduction of nanodispersed carbon particles into the lubricant medium leads to changes in the viscosity and tribotechnical characteristics, and at low concentrations of the modifier, the most significant decreases in the values of the coefficient of friction are observed in comparison with the initial lubricant.*

**Keywords:** lubricant, morphology, modification, viscosity, liquid, nanocarbon.

### 1. Введение.

Основным видом дефектов, приводящим к выходу деталей и изделий в машиностроении являются механические отказы при эксплуатации, связанные с трением и износом. Применение смазочных материалов является высокоэффективным способом повышения энергоэффективности, снижения интенсивности изнашивания. В инженерных приложениях смазочные материалы оказывают значительное влияние на механическую долговечность трибосистемы, при этом позволяют регулировать давление в контакте трущихся тел, выполняют функции охлаждающих систем, повышают стабильность работы трибоузла и минимизируют значение силы трения и износа между контактирующими телами [1]. Применение твердых углеродных наночастиц в качестве присадок к смазочным материалам может значительно увеличить износостойкость трущихся тел, существенно снизить коэффициент трения. Данный эффект может быть объяснен исходя из формирования устойчивого разделительного слоя способного выдерживать большие контактные нагрузки без разрушения и способностью к заполнению микронеровностей трущихся тел, что приводит к стабилизации процесса трения. В последние годы много исследований посвящено изучению антифрикционных свойств различных твердых модификаторов таких как: MoS<sub>2</sub>, WS<sub>2</sub>, графен и фуллерен, нанодисперсные алмазы детонационного синтеза, различного типа функционализированные нанодисперсные частицы (глины, алмазы, металлы, оксиды металлов и керамика). В частности большое количество работ посвящено частицам дисульфида молибдена, применяемого в каче-

стве присадки к различным видам смазки (пластичным, жидким и т.п.). В частности исследовались частицы  $\text{MoS}_2$  диаметром, находящимся в области 1 мкм, причем данные частицы обладали развитой поверхностью. Введение данных частиц в смазочное масло концентрацией ~ 2 масс.% приводит к снижению объемного износа на 10-30%.

Однако хотя твердые модификаторы приводят к существенному улучшению триботехнических характеристик, но сложность технологии изготовления, экологическая небезопасность, высокая стоимость ограничивают область применения данных модификаторов [2-4].

Более того, ограниченная механическая и химическая стабильность в смазочной среде данных модификаторов может привести к ухудшению свойств смазочной композиции при длительной эксплуатации. Например, неорганические модификаторы типа  $\text{MoS}_2$  или  $\text{WS}_2$  разрушаются при трении в режиме граничной смазки. Кроме того, некоторые добавки, содержащие серу, могут создавать в процессе трения кислотные соединения в смазочной среде, ускоряющие коррозию контактирующих тел.

Таким образом, разработка оптимальных составов присадок к смазочным материалам для улучшения триботехнических характеристик крайне необходима, особенно при экстремальных режимах трения. Углеродные частицы получаемые СВС-синтезом из природного сырья представляют интерес как добавки в смазочные материалы различной природы из-за их уникальных свойств, таких как технологическая простота получения, высокая дисперсность, химическая стабильность. Эти характеристики углеродных частицы, полученные СВС-синтезом делают их весьма перспективным модификатором для получения экологически чистых смазок и могут заменить добавки, содержащие серу и фосфор [5-6].

Целью данной работы является изучение вязкостных и физико-механических характеристик жидкостей, модифицированных нанодисперсными углеродными частицами и их композициями.

## 2. Методика эксперимента.

Триботехнические исследования проводились на машине трения типа FT-2, которая работает по схеме возвратно-поступательного движения, длина хода индентора 5 – 50 мм в условиях сухого трения (контртела), выполненного из стали и отшлифованного на ровной плоской поверхности наждачной шкуркой или шлифовальной пастой до среднего арифметического отклонения профиля поверхности  $R_a=0,1 - 0,3$  мкм.

Образцы закреплялись в зажиме машины трения, протирали тканью «бязь», отбеленной, смоченной в этиловом спирте, рабочую сферу и рабочую поверхность полимерного диска (контртела), после чего сушили две минуты при комнатной температуре. Испытания проводились при нормальной нагрузке на образец до 20 Н, линейной скорости скольжения 0,036 м/с, температуре поверхности полимерного образца ( $20\pm 5^\circ\text{C}$ ). Подвод наносмазки осуществлялся в зону трения таким образом, чтобы обеспечить смешанный режим смазки.

Реологические характеристики образцов определялась методом Энглера. Данным методом вязкость определяется по времени истекания исследуемой жидкости из вискозиметра типа ВЗ-4 жидкости объемом 200 мл при определенной температуре при сравнении со временем истекания из вискозиметра такого же типа количества дистиллированной воды при  $20^\circ\text{C}$  (постоянная вискозиметра). В ходе измерений добиваются, чтобы тестируемая жидкость вытекала непрерывной струей.

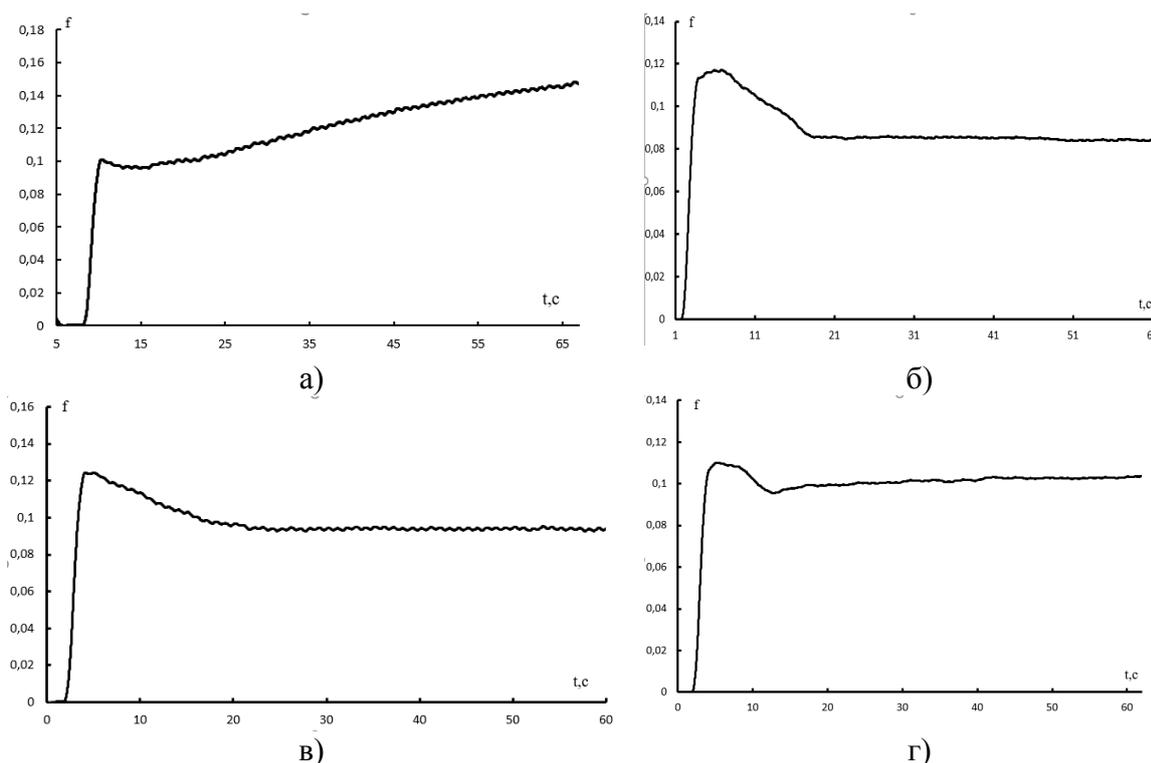
Вязкость в единицах Энглера при температуре  $T$  определяется по формуле:

$$E_t = \frac{J_t}{J_{t1}}, \quad (1)$$

где  $J_t$  – время (в секундах) истечения 200 мл исследуемого образца жидкости при температуре  $T$ ;  $J_{tl}$  – время (в секундах) истечения 200 мл контрольной жидкости при температуре  $T$ .

### 3. Основное содержание и результаты работы.

Проведенные предварительные исследования по изучению триботехнических характеристик пары трения ПА6-ШХ15, испытываемых в смазочной среде состава масло И-20А, содержащее до 10 масс.% углеродных частиц, полученных СВС-синтезом показали уменьшение коэффициента трения для данной пары трения (рис.1). Испытания проводили на машине трения FT-2 по методике изложенной выше.



а – исходная пара трения, испытанная без подвода внешней смазки, б – пара трения, испытанная с подводом внешней смазки И-20, в - пара трения, испытанная с подводом внешней смазки И-20 и модифицированная 10 масс.% ультрадисперсного алмазосодержащего графита, г- пара трения, испытанная с подводом внешней смазки И-20 и модифицированная 10 масс.% углеродсодержащими частицами, синтезируемыми методом самораспространяющегося высокотемпературного синтеза.

Рисунок 1. Зависимость коэффициента трения от времени триботехнических испытания для пары сталь ШХ-15-полиамид 6 при трении со смазкой: а – исходная пара трения, испытанная без подвода внешней смазки, б – пара трения, испытанная с подводом внешней смазки И-20, в - пара трения, испытанная с подводом внешней смазки И-20 и модифицированная 10 масс.% ультрадисперсного алмазосодержащего графита, г- пара трения, испытанная с подводом внешней смазки И-20 и модифицированная 10 масс.% углеродсодержащими частицами, синтезируемыми методом самораспространяющегося высокотемпературного синтеза.

Исходя из полученных данных видно, что введение смазочной среды в зону трения приводит к уменьшению значений коэффициента трения на 30-40%. Однако, введение в смазочный состав углеродсодержащих частиц различной природы приводит к некоторому возрастанию коэффициента трения, что возможно обусловлено наличием твердого алмазного ядра для ультрадисперсного алмазосодержащего графита, а также наличием твердых аллотропных модификаций углерода для нанодисперсных частиц углерода, получаемых СВС-синтезом.

Другим аспектом, влияющим на незначительное возрастание коэффициента трения для нефтяных смазочных материалов является достаточно высокая концентрация модификатора в композиции (10 масс.%), которая приводит к загущению смазочного материала, т.е. увеличению вязкости модифицируемого жидкого материала. Проведенные эксперименты по исследованию триботехнических характеристик смазочных материалов при концентрации модификатора в пределах от 0,1-5 масс.% показал уменьшение значений коэффициента трения пары металл-полимера. Необходимо отметить, что для всех композиций на основе масла И-20А, модифицированного нанодисперсными углеродными частицами, в том числе полученными методом самораспространяющегося высокотемпературного синтеза наблюдается уменьшение интенсивности изнашивания на 14-32 %. Исследования вязкостных характеристик различного типа жидкостей показали снижение вязкости модифицируемых жидкостей в диапазоне от 0,01 масс.% до 1 масс.%. Увеличение концентрации модификатора выше 1 масс.% приводит к возрастанию значений вязкости исследуемых жидкостей измеренных в градусах Энглера (рис. 2-3).

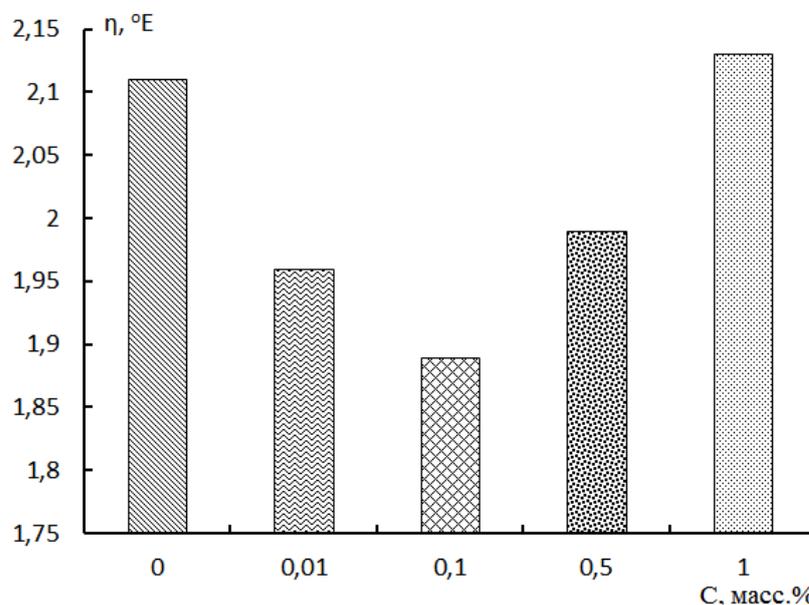


Рисунок 2. Зависимость вязкости масла И-20А, модифицированного нанодисперсными графеноподобными частицами.

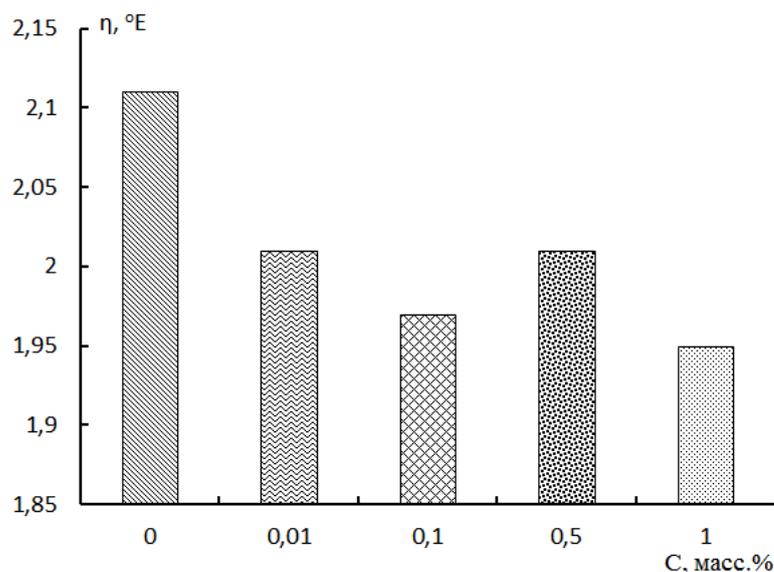


Рисунок 3. Зависимость вязкости масла И-20А, модифицированного нанодисперсными углеродными частицами, полученными методом СВС-синтеза.

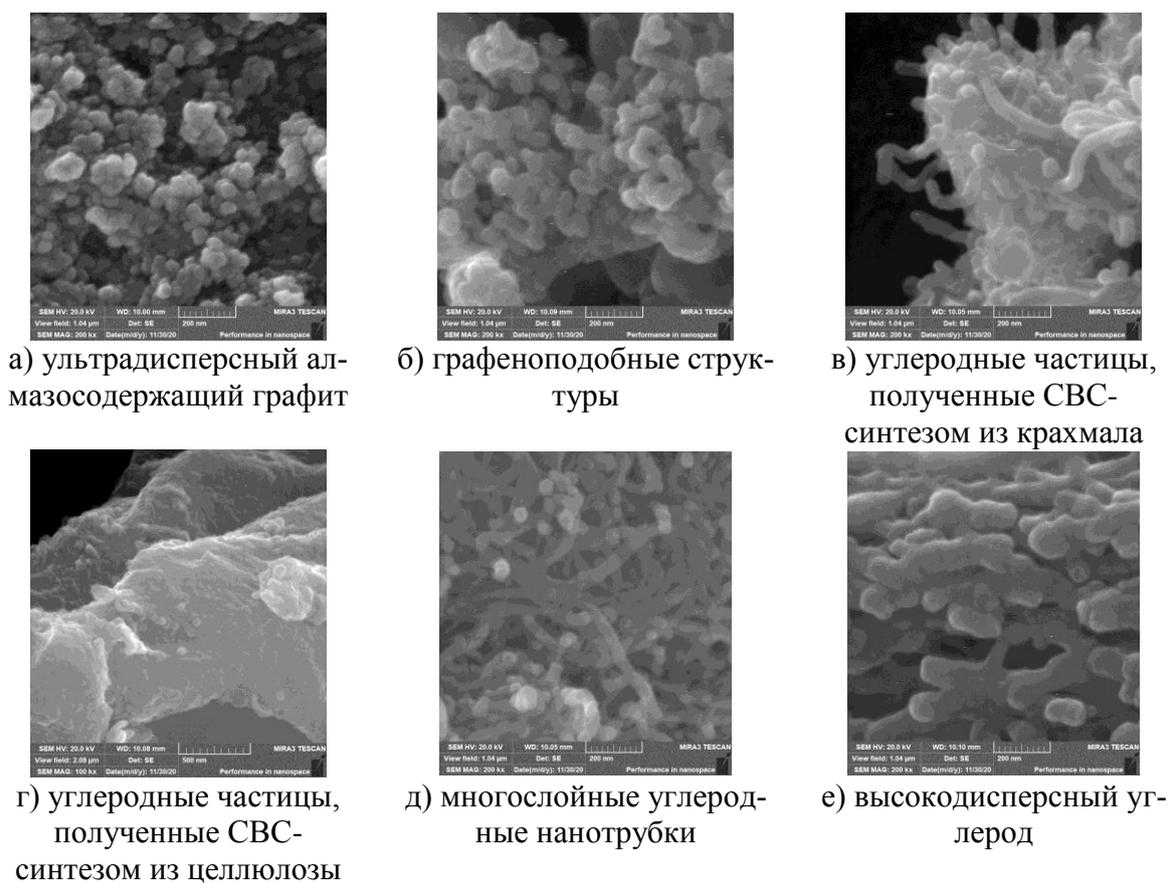
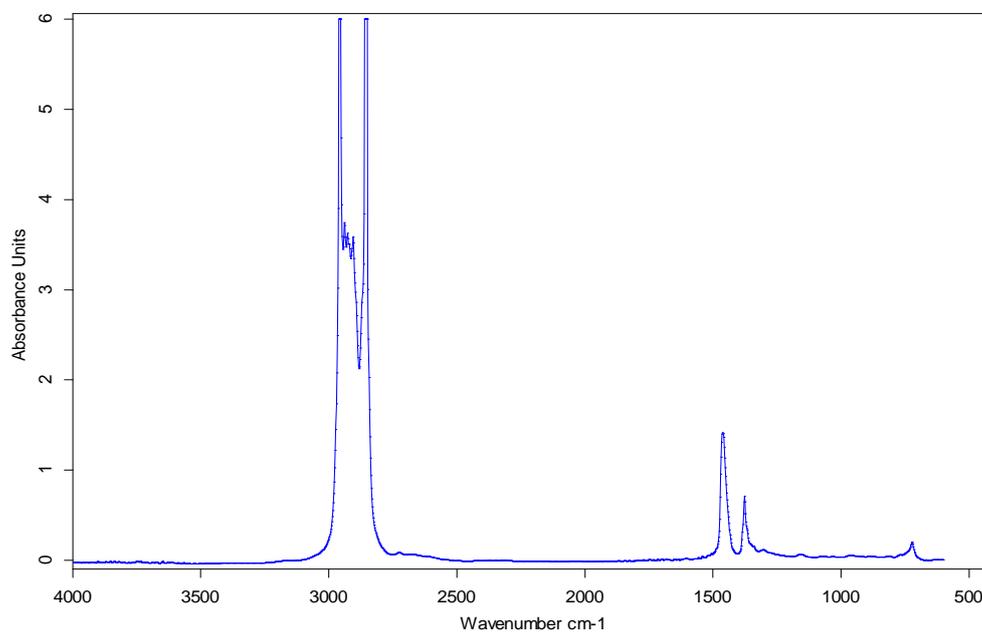
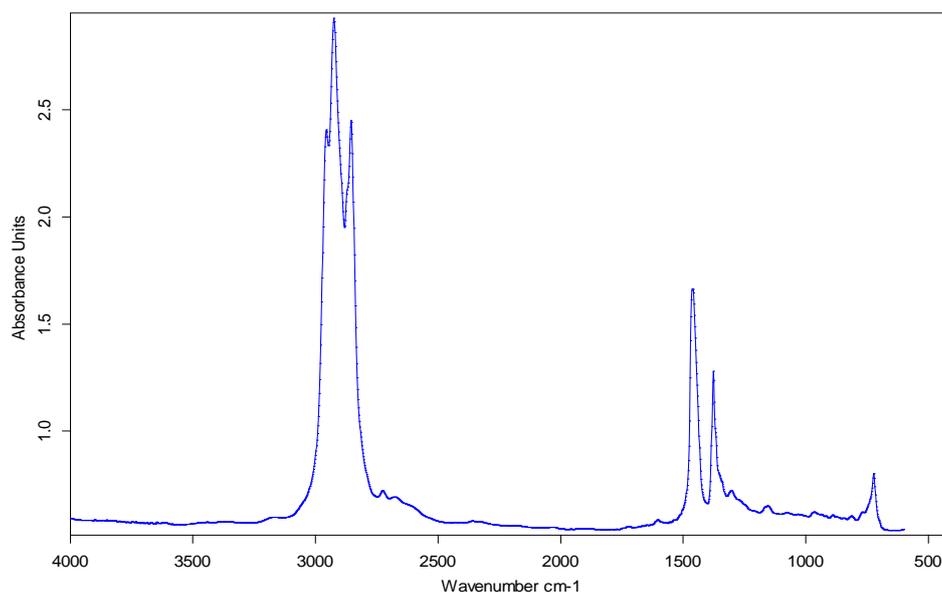


Рисунок 4. Морфология нанодисперсных углеродных частиц, полученных по различным технологиям.

Наличие нанодисперсных частиц в исследуемых углеродных модификаторах было определено с применением метода растровой электронной микроскопии (рис. 4). Исходя из представленных данных видно, что исследуемые частицы обладают высокими значениями удельной поверхности, различаются друг от друга морфологией.



а)



б)

а – исходное масло И-20А, б – масло И-20А, модифицированное углеродными частицами, полученными СВС-синтезом из целлюлозы (10 масс.%).

Рисунок 5. ИК-спектры масла И-20А, модифицированного нанодисперсными углеродными частицами, полученными методом СВС-синтеза.

Проведенные исследования по влиянию модификаторов на межмолекулярное взаимодействие с модифицируемой жидкостью показали отсутствие взаимодействия с образованием новых химических соединений при введении добавок в исходный смазочный материал (рис. 5).

#### 4. Заключение.

Таким образом, исходя из полученных данных видно, что введение нанодисперсных углеродных частиц в матрицу смазочного материала (масло И-20А, дистиллированная вода, этиленгликоль) при малых концентрациях модификатора до 1 масс.% приводит к снижению значений вязкости. Увеличение концентрации модификатора свыше 1 масс.% увеличивает вязкостные характеристики исследуемых жидких сред. Введение модификаторов в смазочные материалы не приводит к химическому взаимодействию с модифицируемым материалом. Нанодисперсные углеродные частицы обладают развитой морфологией и высокими значениями удельной поверхности, что сказывается на триботехнических характеристиках исследуемых смазочных сред. Введение исследуемых нанодисперсных частиц в матрицу смазочного материала приводит к незначительному возрастанию коэффициента трения при концентрациях свыше 10 масс.% по отношению к значениям коэффициента трения для базового смазочного материала. При содержании модификатора в области от 0,1 до 5 масс.% значения коэффициента трения уменьшаются на 14-32% по отношению к значениям коэффициента трения базового смазочного материала.

#### ЛИТЕРАТУРА:

1. Виппер, А. Б., Зарубежные масла и присадки / А.Б. Виппер, А. В. Виленкин – М.:Химия, 1981. – 354 с.
2. Пластичные смазки для узлов трения универсальных шарниров / В.И. Воропай, Е. В. Овчинников, Г. А. Костюкович, Д. В. Буряков, Ю. В. Авдюнина // Машиностроение и техносфера XXI века: сб. трудов международной научно-технической конференции, Севастополь, 13-18 сент. 2004г. – Донецк: ДонНТУ, 2004. – Т.1. – С.143-146. – ISBN 978-3-319-30197-6
3. Овчинников, Е. В. Применение наноразмерных модификаторов в технологии получения композиционных смазочных материалов / Е. В. Овчинников и др. // Инновационные технологии в машиностроении: материалы междунар. науч.-техн. конф., Новополюк, 29–30 окт. 2013 г. – Новополюк: ПГУ, 2013. – С. 196-199. – ISBN 978-985-531-404-3.
4. Struk, V. A. Carbon modifier for mineral oils. / Struk, V. A., Ovchinnikov E.V., Kukla S.U. // International conference BALTRIB'99. – Kaunas, 1999. – P.124-126.
5. Воробьева, С. А. Влияние высокодисперсных металлоплакирующих присадок на антифрикционные и противоизносные свойства моторного масла / С.А. Воробьева, Е. А. Лавринович, В.В. Мушинский, А.И. Лесникович // Трение и износ. –1996. – №6. – С. 827-831. – ISSN 0202-4977.

Поступила в редколлегию 25.03.2021 г.