

Транспортные системы Transport systems

Научная статья
Статья в открытом доступе
УДК 621.89.099.6
doi: 10.30987/2782-5957-2024-7-30-39

РАЗРАБОТКА ВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНОГО СМАЗОЧНОГО МАТЕРИАЛА ДЛЯ ТРАНСПОРТА

Ильшат Ришатович Нигматуллин^{1✉}, Виталий Игоревич Зубер², Маргарита Акововна Пшеничная³, Ольга Сергеевна Морозова⁴

¹ Уфимский государственный нефтяной технический университет, Уфа, Россия

² АО «Газпромнефть МНПЗ», Москва, Россия

^{3,4} Хозрасчётный творческий центр уфимского авиационного института, Уфа, Россия

¹ nigmatullin@himmotolog.ru

² support@himmotolog.ru

³ rosoil@rosoil.ru

⁴ rosoil@rosoil.ru

Аннотация

Исследована разработка модифицированных геонаполнителей смазочных материалов на основе неокисленных и окисленных (оксидатов) индустриального масла И-40А и нефтяного пластификатора ПН-6. В качестве геонаполнителей использовали серпентиниты и двуокись марганца. На основе результатов получен высокотемпературный антифрикционный смазочный материал с ремонтно-восстановительными свойствами, который представляет собой смазочную композицию на основе оксидата нефтяного пластификатора ПН-6 с геонаполнителем – серпентинитом и кристаллизатором – двуокисью марганца. В разработанном смазочном материале оптимальное количество серпентинита – 0,3 %; двуокиси марганца – 0,05%; оксидата – 99,65%.

Высокотемпературные смазочные материалы на основе окисленных масел (оксидатов) и геонаполнителей рекомендуются к использованию в высокотемпературных и высоконагруженных узлах трения машиностроительного оборудования, в подшипниках скольжения паровых машин, транспортных тележек, используемых при обжиге кирпича и другой технике. Полученные в результате исследований смазки повышают ресурс техники благодаря своим хорошим смазывающим свойствам в условиях высоких нагрузок и температур в узлах трения.

Ключевые слова: триботехнические характеристики, нефтяной пластификатор, масло, оксидат, серпентиниты, кристаллизатор, анализ, свойства.

Ссылка для цитирования:

Нигматуллин И.Р. Разработка высокотемпературного смазочного материала для транспорта / И. Р. Нигматуллин, В. И. Зубер, М. А. Пшеничная, О. С. Морозова // Транспортное машиностроение. – 2024. - № 7. – С. 30-39. doi: 10.30987/2782-5957-2024-7-30-39.

Original article
Open Access Article

DEVELOPMENT OF HIGH-TEMPERATURE LUBRICANT FOR TRANSPORT

Ilshat Rishatovich Nigmatullin^{1✉}, Vitaly Igorevich Zuber², Margarita Akobovna Pshenichnaya³, Olga Sergeevna Morozova⁴

¹ Ufa State Petroleum Technological University, Ufa, Russia

² Gazpromneft MNPZ, Moscow, Russia

^{3,4} Technopark “KHTC of the Ufa Aviation Institute”, Ufa, Russia

¹ nigmatullin@himmotolog.ru

² support@himmotolog.ru

³ rosoil@rosoil.ru

⁴ rosoil@rosoil.ru

Abstract

The development of lubricants modified with geofillers based on non-oxidized and oxidized (oxidates) industrial oil И-40А and ПН-6 petroleum plasticizer is studied. Serpentinites and manganese dioxide are used as geofillers. Based on the results, a high-temperature antifriction lubricant with repair and recovery properties was obtained, which is a lubricating composition based on ПН-6 petroleum plasticizer oxidate with a geofiller - serpentinite and a crystallizer – manganese dioxide. The developed lubricant contains an optimal amount of serpentinite - 0.3%; manganese dioxide – 0.05%; oxidate -99.65%.

Reference for citing:

Nigmatullin IR, Zuber VI, Pshenichnaya MA, Morozova OS. Development of high-temperature lubricant for transport. Transport Engineering. 2024;7:30-39. doi: 10.30987/2782-5957-2024-7-30-39.

Введение

Требования к смазочным материалам растут в связи с совершенствованием техники, включая транспортную, и условиями её эксплуатации [1-4]. Это послужило поводом для проведения исследований по повышению высокотемпературных и триботехнических свойств смазочных материалов на основе оксидатов нефтяного пластификатора ПН-6 и индустриального масла И-40А. Результаты исследования физико-химических и триботехнических характеристик нефтяного пластификатора ПН-6, индустриального масла И-40А, модифицированных серпентинитом и кристаллизатором смазочных материалов на

Методика исследований

Окисление сераорганических соединений, содержащихся в индустриальном масле И-40А и нефтяном пластификаторе ПН-6, компаундирование их с геонаполнителем и кристаллизатором, исследовали по авторской методике [4]. Испытания образцов смазочных материалов проводили на четырехшариковой машине трения ЧМТ-1

Результаты и обсуждение

Результаты исследования и трибологические испытания на четырехшариковой машине трения ЧМТ-1 нефтяного пластификатора ПН-6, индустриального масла И-40А, смазочных материалов на основе неокисленных и оксидатов нефтяного пластификатора ПН-6, масла И-40А с серпентинитом и кристаллизатором приведены в табл. 1.

High-temperature lubricants based on oxidized oils (oxidates) and geo-fillers are recommended for use in high-temperature and high-loaded friction units of machine-building equipment, in sliding bearings of steam engines, transport trolleys used in brick firing and other equipment. The lubricants obtained as a result of the research increase the service life of the equipment due to their good lubricating properties under conditions of high loads and temperatures in friction units.

Keywords: tribotechnical characteristics, petroleum plasticizer, oil, oxidate, serpentinites, crystallizer, analysis, properties.

основе неокисленных и оксидатов нефтяного пластификатора ПН-6, индустриального масла И-40А подтвердили предположения по приданию смазкам высокотемпературных свойств [1]. В качестве масляных основ для смазочных материалов были выбраны индустриальное масло И-40А и нефтяной пластификатор ПН-6. В качестве геонаполнителей использовали серпентиниты и двуокись марганца. В ходе исследований получены высокотемпературная масляная основа и смазка с геонаполнителем и кристаллизатором для высоконагруженных узлов трения техники.

по ГОСТ 9490 [10] и демонстраторе трения по методу Тимкена по АСТМ-2782. Металлографические исследования поверхностей трения выполняли с помощью современной методики исследования структур поверхностей трения на растровом электронном микроскопе *NANO SEM 200*.

Из табл.1 видно, что трибологические характеристики у оксидатов нефтяного пластификатора ПН-6 и индустриального масла И-40А выше чем у неокисленного нефтяного пластификатора ПН-6 и индустриального масла И-40А. А смазочные материалы на основе оксидатов нефтяного пластификатора ПН-6 и индустриального масла И-40А с серпентинитом и кристал-

лизатором имеют преимущества по сравнению с оксидатами нефтяного пластификатора и индустриального масла И-40А [4]. Добавление в смазочный материал кристаллизатора – двуокиси марганца способствует повышению его триботехнических свойств. Наилучшие триботехнические свойства показал смазочный материал на основе оксидата нефтяного пластификатора ПН-6 + серпентинит (0,3 %) + MnO₂ (0,05 %). При окислении сераорганических

соединений серы в сульфоксиды и сульфоны улучшаются у оксидатов пластификатора ПН-6 и И-40А, диспергирующие свойства по отношению к наполнителям (серпентинитам, двуокиси марганца), а увеличение вязкости оксидата из-за частичного окисления углеводородной части масла улучшает седиментационную устойчивость смазки при эксплуатации и хранении.

Таблица 1

Результаты испытаний нефтяного пластификатора ПН-6, индустриального масла И-40А и смазочных материалов на основе неокисленных и оксидатов нефтяного пластификатора и индустриального масла И-40А с геонаполнителем и кристаллизатором на четырехшариковой машине трения ЧМТ-1

Table 1

Test results of ПН-6 petroleum plasticizer, И-40А industrial oil and lubricants based on non-oxidized and oxidants of petroleum plasticizer and И-40А industrial oil with a geofiller and a crystallizer on a four-ball friction machine ЧМТ-1

Названия материалов	Результаты испытания на ЧМТ-1			
	Нагрузка сваривания, Н	Диаметр пятна износа, мм при нагрузке 400 Н в течение 1 часа	Критическая нагрузка, Н	Индекс задира
Индустриальное масло И-40А	1260	0,90	560	20
Оксидат И-40А	2370	0,70	800	31
Оксидат И-40А + серпентинит (0,3 %)	2660	0,65	840	34
Оксидат И-40А + серпентинит (0,3 %) + MnO ₂ (0,05 %)	2660	0,60	890	36
Нефтяной пластификатор ПН-6	1330	0,85	750	32
Оксидат ПН-6	2990	0,63	1000	45
Оксидат ПН-6 + серпентинит (0,3 %)	3350	0,54	1060	47
Оксидат ПН-6 + серпентинит (0,3 %) + MnO ₂ (0,05 %)	3760	0,45	1120	49

Образцы нефтяного пластификатора ПН-6, индустриального масла И-40А, их оксидатов и приготовленных на их основе образцов смазочных материалов испытали на демонстраторе трения по методу «Тимкен». Результаты испытания приведены в табл. 2.

Из табл. 2 видно, что оксидаты нефтяного пластификатора и индустриального масла И-40А с серпентинитом (0,3%) и кристаллизатором - двуокисью марганца

(0,05 %) имеют преимущества по противозносным свойствам перед остальными образцами. Наличие в оксидатах сульфоксидов и сульфонов, а также повышенная вязкость оксидатов ПН-6 и масла И-40А придают повышенные противозносные и противозадирные и высокотемпературные свойства смазкам. При этом значительно повышается седиментационная устойчивость смазок при хранении и работе в узлах трения техники.

Из рис. 1, 2 видно, что противозносные свойства у оксидатов нефтяного пластификатора ПН-6 и индустриального масла И-40А выше, чем у неокисленного нефтяного пластификатора ПН-6 и индустриального масла И-40А, в тоже время оксидаты нефтяного пластификатора ПН-6 и индустриального масла И-40А, значительно уступают по трибологическим ха-

рактеристикам оксидатам нефтяного пластификатора ПН-6 и индустриального масла И-40А с добавками серпентинита и кристаллизатора. Наибольшую износостойкость обеспечивает смазочный материал: оксидат нефтяного пластификатора ПН-6 с серпентинитом – 0,3 % и с кристаллизатором MnO_2 -0,05 %.

Результаты испытаний на демонстраторе трения по методу «Тимкен»

Таблица 2

Table 2

Test results on a friction demonstrator using Timken method

Названия материалов	$S_{и}$ – площадь пятна износа в mm^2 после испытания на изнашиваемость в течение 15 мин работы демонстратора трения				
	Нагрузка 0,5 кг	Нагрузка 1 кг	Нагрузка 1,5 кг	Нагрузка 2 кг	Нагрузка 2,5 кг
Индустриальное масло И-40А	3,20	заклинило	–	–	–
Оксидат индустриального масла И-40А	1,60	2,20	2,80	3,10	заклинило
Оксидат индустриального масла И-40А полученный озонированием + серпентинит (0,3 %)	1,40	2,05	2,60	2,80	заклинило
Оксидат индустриального масла И-40А полученный озонированием + серпентинит (0,3 %) + MnO_2 (0,05 %)	1,30	1,95	2,30	2,50	2,90
Нефтяной пластификатор ПН-6	2,65	2,90	заклинило	–	–
Оксидат нефтяного пластификатора ПН-6 полученного окислением озоном	1,25	1,70	2,45	2,70	заклинило
Оксидат нефтяного пластификатора ПН-6 полученного окислением озоном+ серпентинит (0,3 %)	1,15	1,45	1,65	1,90	2,60
Оксидат нефтяного пластификатора ПН-6 полученного окислением озоном+ серпентинит (0,3 %) + MnO_2 (0,05 %)	0,90	1,30	1,55	1,70	2,00

Получив положительные результаты по износостойкости стальных роликов и обоймы на демонстраторе трения по методу «Тимкен» провели испытания на наличие у разработанных образцов смазочных материалов ремонтно-восстановительных свойств. Для определения более точного изменения веса обоймы и ролика при тре-

нии, испытания проводили с предварительно изношенными роликами для того, чтобы трение образцов происходило по площадке, во избежание точечного или линейного контакта. Измерения веса ролика и обоймы проводили на аналитических лабораторных весах 4 класса точности. Результаты испытаний приведены в табл. 3.

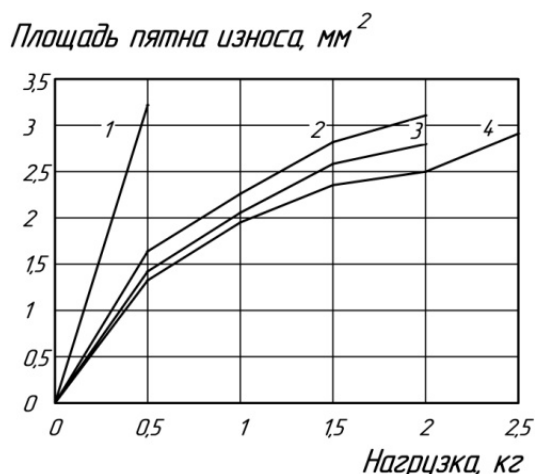


Рис. 1. Изменение площади пятна износа от нагрузки в узле трения для смазочных материалов на основе индустриального масла И-40А (время работы демонстратора в течение 15 мин): 1 – И-40А; 2- Оксидат – И-40А; 3 – Оксидат И-40А с 0,3% серпентинита; 4 – Оксидат И-40А с 0,3% серпентинита и с 0,05% кристаллизатора MnO₂

Fig. 1. The change in the area of the wear spot from the load in the friction unit for lubricants based on industrial oil I-40A (operating time of the demonstrator for 15 minutes): 1 – I-40A; 2 – I-40A oxidate; 3 – I-40A oxidate with 0.3% serpentine; 4 – I-40A oxide with 0.3% serpentine and 0.05% MnO₂ crystallizer

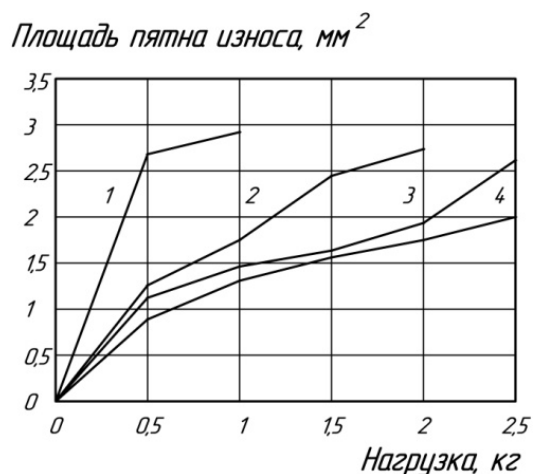


Рис. 2. Изменение площади пятна износа от нагрузки в узле трения для смазочных материалов на основе нефтяного пластификатора ПН-6 (время работы демонстратора трения 15 мин): 1 – Нефтяной пластификатор ПН-6; 2 – Оксидат ПН-6; 3 – Оксидат ПН-6 с серпентинитом -0,3%; 4 – Оксидат ПН-6 с серпентинитом -0,3% и кристаллизатором MnO₂ -0,05%

Fig. 2. Change in the area of the wear spot from the load in the friction unit for lubricants based on the PN-6 oil plasticizer (the operating time of the friction demonstrator is 15 minutes): 1 – Petroleum plasticizer PN-6; 2 – Oxidate PN-6; 3 – Oxidate PN-6 with serpentine -0.3%; 4 – Oxidate PN-6 with serpentine -0.3% and crystallizer MnO₂ -0.05%

Таблица 3

Изменение веса обоймы и ролика после проведения испытаний с различными образцами смазочных материалов (время работы демонстратора трения в течение 15 мин)

Table 3

Changing the weight of the cage and roller after testing with various samples of lubricants (operating time of the friction demonstrator is 15 minutes)

Смазочный материал	вес обоймы, граммы	вес ролика, граммы
Оксидат И-40А	-0,25*	-0,15
Оксидат ПН-6	-0,15	0,08
Оксидат И-40А + серпентинит (0,3 %) + MnO ₂ (0,05 %)	+0,10*	+0,02
Оксидат ПН-6 + серпентинит (0,3 %) + MnO ₂ (0,05 %)	+0,17	+0,05

*уменьшение веса минус, увеличение веса плюс

Результаты испытания на демонстраторе трения подтверждают образование защитного слоя на поверхностях трения ролика и обоймы, который обладает антифрикционными и противоизносными свойствами. При работе демонстратора трения

на смазочном материале, приготовленного на основе оксидата и геонаполнителей, снизилась температура узла трения и сила трения, уменьшился износ ролика и обоймы [3].

Для установления образования за-

щитного слоя на поверхности трения обоймы и ролика, испытания провели без смазочного материала: в начале пара трения работала в течение 15 мин со смазкой, затем с трущихся поверхностей смазка

удалялась, и работа узла трения осуществлялась без смазочного материала до образования задира. Результаты испытаний приведены в табл. 4.

Таблица 4

Время работы узла трения «обойма-ролик» без смазочного материала до образования задира

Table 4

Operating time of "race-roller" friction unit without lubricant before tear formation

Смазочный материал	Работа узла трения без смазочного материала
Оксидат масла И-40А	32 сек
Оксидат ПН-6	50 сек
Оксидат И-40А с серпентинитом -0,3 % и с кристаллизатором MnO_2 -0,05 %	3 мин 43 сек
Оксидат ПН-6 с серпентинитом -0,3 % и с кристаллизатором MnO_2 (0,05 %)	4 мин 48 сек

Из табл. 3 и 4 видно, что веса обоймы и ролика, а также длительность работы узла трения без смазочного материала при использовании оксидатов нефтяного пластификатора и масла с серпентинитом и кристаллизатором увеличились, что свидетельствует об образовании защитной сер-

вовитной пленки на поверхностях трения ролика и обоймы.

У образцов (роликов) измерили микротвердость поверхностей трения до и после испытаний до образования задира. Результаты приведены в табл. 5.

Таблица 5

Микротвердость поверхностей трения ролика и обоймы

Table 5

Microhardness of the friction surfaces of the roller and the race

Образцы смазочных материалов	Микротвердость			
	Микротвердость до испытаний		Микротвердость после испытаний	
	HV	HRC	HV	HRC
Индустриальное масло И-40А	694	58	649	56
Оксидат нефтяного пластификатора ПН-6	694	58	694	58
Оксидат И-40А с серпентинитом - 0,3 % с кристаллизатором MnO_2 - 0,05 %	694	58	746	59
Оксидат ПН-6 с серпентинитом -0,3 % с кристаллизатором MnO_2 -0,05 %	694	58	803	61

Из табл. 5 видно, что микротвердости трущихся поверхностей роликов при использовании оксидатов масла И-40А и ПН-6 с серпентинитом – 0,3 % с кристаллизатором MnO_2 – 0,05 % увеличилась, что также свидетельствует о ремонтно-восстановительных свойствах смазок с

серпентинитом и кристаллизатором из-за образования сервовитной плёнки на поверхностях трения.

Снижение износа, увеличение веса обоймы и ролика, увеличение времени работы узла трения без смазочного материала, повышение микротвердости поверхно-

сти образцов происходит из-за образования защитного антифрикционного слоя (сервовитной пленки), при этом наилучшие результаты работы узла трения обойма-ролик получены при использовании смазочного материала состава оксидат ПН-6 с серпентинитом – 0,3 % и кристаллизатором MnO_2 (0,05 %).

Преимущество составов на базе оксидата ПН-6 объясняется тем, что ПН-6 является более высоковязким продуктом и содержит наибольшее количество сульфонов. Поэтому оксидат нефтяного пластификатора ПН-6 выбран для определения влияния температуры и давления на параметры адгезионного взаимодействия и металлографических исследований поверхностей трения ролика [2].

Для оценки способа окисления содержащихся в нефтяном пластификаторе сераорганических соединений до сульфонов на его высокотемпературные свойства исследовали следующие образцы нефтяного пластификатора ПН-6: не окисленный; оксидат полученный окислением кислородом; полученный окислением перекисью водорода; полученный окислением кислородом и озоном. Результаты испытаний образцов нефтяного пластификатора приведены на рис. 3. На этом рисунке: p_{rn} – предельные нормальные давления при упругом контакте; τ_{nn} – соответствующие этим давлениям прочность на срез адгезионных связей и молекулярная составляющая коэффициента трения ($\mu_m = \tau_{nn} / p_{rn}$).

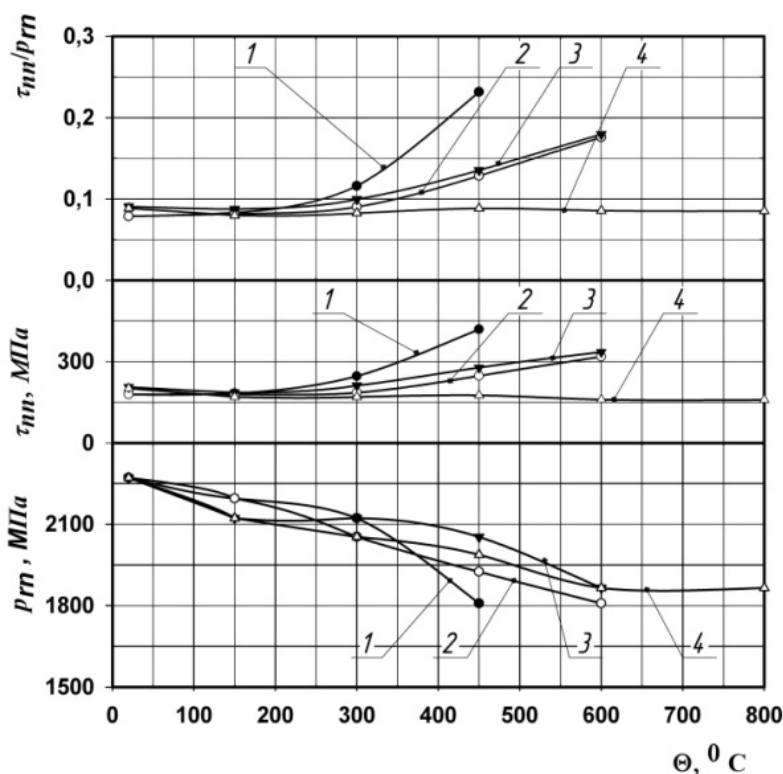


Рис. 3. Влияние температуры контакта на триботехнические характеристики смазочных материалов: 1 – нефтяной пластификатор ПН-6; 2 – оксидат ПН-6 окисленный кислородом; 3 – оксидат ПН-6, окисленный пероксидом водорода; 4 – оксидат ПН-6, окисленный кислородом и озоном
 Fig. 3. Influence of the contact temperature on the tribotechnical characteristics of lubricants: 1 – ПН-6 petroleum plasticizer; 2 – ПН-6 oxidized with oxygen; 3 – ПН-6 oxidized with hydrogen peroxide; 4 – ПН-6 oxidized with oxygen and ozone

Как видно из рис. 3, что оксидат нефтяного пластификатора ПН-6, полученный окислением кислородом и озоном, сохраняет высокие триботехнические

свойства вплоть до 800 °С, поэтому может служить масляной основой высокотемпературной смазки с геонаполнителями. Для сравнения и определения оптимального

количества геонаполнителей, используемых в качестве наполнителей в смазочном материале, исследовались разные по концентрации составы: неокисленное нефтяное масло ПН-6 + серпентинит (0,3 %) + MnO₂ (0,05 %), окисленное кислородом и озоном нефтяное масло ПН-6 + серпентинит (0,3 %) + MnO₂ (0,05 %), окисленное кислородом и озоном нефтяное масло ПН-6 + серпентинит (1 %) + MnO₂ (0,15 %).

По итогам испытаний Смазочный материал из оксидата окисленного кислородом и озоном нефтяного масла ПН-6 показал лучший результат в сравнении со смазочным материалом из неокисленного нефтяного масла. Увеличение содержания серпентинита и окиси марганца в смазоч-

ном материале практически не изменяет показатели адгезионного взаимодействия.

Металлографические исследования позволили выявить и определить состав вторичных структур, появившихся на поверхностях трения образцов из стали 20. Металлографические исследования включали в себя: микрохимический анализ состава поверхности (элементный анализ) и структурно-фазовый анализ.

Микрохимический анализ состава выполнен на двух лунках поверхности образца, образовавшихся при исследовании влияния температуры и давления на параметры адгезионного взаимодействия при использовании нефтяного пластификатора с геонаполнителем. Полученные результаты представлены в табл. 6.

Таблица 6

Химический состав участков поверхности трения

Table 6

Chemical composition of the friction surface areas

Хим. элементы, %	Mg	Si	Cr	Mn	Fe	Ni	Br	W	Итого
Спектр лунки 1	36,01	36,84	0,53	0,32	25,24		1,05		100
Спектр лунки 2		0,4	1,3	1,23	95,03	0,25		1,79	100

На поверхностях трения наблюдаются образования, в которых присутствуют химические элементы, характерные для кремне-магниевого гидросиликатов входящих в состав горной породы – серпентинита.

Оксиды выявленных химических элементов, входящих в состав сервоитной пленки, повысили её микротвердость и снизили коэффициент теплопроводности (для оксидов железа $\lambda = 67$ Вт/м·гр; а для MgO – $\lambda = 34$ Вт/м·гр; SiO₂ – $\lambda = 7$ Вт/м·гр; нефтяных масел $\lambda = 0,12$ Вт/м·гр).

Проведенные исследования легли в основу получения высокотемпературного, антифрикционного смазочного материала с ремонтно-восстановительными свойствами [6-9].

Применение смазок на основе оксидатов с геонаполнителями повышает термоустойчивость подшипников до 800 °С и время их работы за счет восста-

новительных свойств.

На основе разработанного в ходе исследований способа определения вязкости и плотности смазывающих материалов получен патент РФ [5], издан лабораторный практикум «Методы диагностики машин по анализу работающего масла» по дисциплине «Контроль и диагностика ресурса работы объектов реновации». Лабораторный практикум содержит описание лабораторных работ, по техническим методам диагностики машин – контролю работающего в двигателе масла экспресс-устройством. Предназначен для студентов, обучающихся по направлению подготовки дипломированных специалистов 150200-«Машиностроительные технологии и оборудование» специальности 150207-«Реновация средств и объектов материального производства в машиностроении».

Заключение

1. Оксидаты нефтяного пластификатора и индустриального масла с серпентинитом и двуокисью марганца обладают повышенными противоизносными свойствами. Повышенную износостойкость узлу трения придаёт смазочный материал на основе оксидата ПН-6, полученного окислением кислородом и озоном + серпентинит (0,3%) + MnO_2 (0,05%). Образующаяся в процессе трения сервопитная плёнка имеет повышенную микротвёрдость, экранирует зону трения, снижая изнашивание за счёт компенсации износа в узлах трения.

2. Модификация смазочного материала на основе оксидатов нефтяного пла-

стификатора и индустриального масла модифицированных геонаполнителями в 1,5-1,6 раза уменьшает адгезионную составляющую коэффициента трения.

3. Металлографические исследования и микрохимический анализ поверхностей трения, выявили наличие на этих поверхностях образований, в которых присутствуют химические элементы, характерные для кремне-магниевого гидросиликатов (серпентинов). Наличие образований свидетельствует о формировании на поверхностях трения сервопитной плёнки, коэффициент теплопроводности которой существенно меньше, чем у железа.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Шолом В.Ю. Методы оценки эффективности технологических смазочных материалов для процессов металлообработки / В.Ю. Шолом, А.М. Казаков, Д.Г. Тюленев // Приводная техника. 2004. № 1. С. 5-12.
2. Нигматуллин Р.Г., Шолом В.Ю., Шустер Л.Ш., Нигматуллин И.М. Повышение эффективности смазочных материалов с геомодификаторами трения // Вестник УГАТУ. 2012. т. 16, № 1 (46). с. 51-56.
3. Шустер Л.Ш., Нигматуллин Р.Г., Тюленев Д.Г., Нигматуллин И.М. Высокотемпературный смазочный материал, обладающий ремонтно-восстановительными свойствами // Мавлютовские чтения: Всероссийская молодежная научная конференция: сб. трудов в 5 т. Том 3 / Уфимск. гос. авиац. техн. ун-т. Уфа: УГАТУ, 2011. С. 211-218.
4. Шарипов А.Х., Нигматуллин В.Р. Каталитическое окисление сульфидов масляных фракций пероксидом водорода // Нефтехимия. 2005. Т.45. №5. С. 351-354.
5. Патент РФ 2457461 Российская Федерация, МПК 01N 9/10 (2006.01) Способ и устройство для определения плотности жидкости: заявл.24.02.2011: опубл. 27.07.12.2012 / В.Р. Нигматуллин, И.Р. Нигматуллин, И.М. Нигматуллин; Заявитель ООО «Химмотолог».

6. Патент РФ 2457461 Российская Федерация, МПК C10M 161/00 (2006.01) заявл.10.04.2015: опубл. 10.11.2016. Смазочный материал на основе композиции технического углерода для тяжело нагруженных узлов трения. / Галиев Р.Ф., Емаев И.И.
7. Патент РФ №2454451 Российская Федерация. Смазочный материал с повышенной термостойкостью, обладающий ремонтно-восстановительными свойствами Заявл. 23.11.2010, опубл. 27.06.2012. Бюл. №18, 9 с. Нигматуллин В.Р., Нигматуллин И.М., Шустер Л.Ш.
8. Емаев И.И., Шустер Л.Ш. Повышение триботехнических свойств окисленных смазочных материалов, модифицированных геонаполнителем. Москва, Журнал Вестник машиностроения №3, с.57-60, 2021г.
9. Криони Н.К., Мигранов М.Ш., Смазочные материалы в машинах и при лезвийной обработке (Учебное пособие). Москва. ООО «Издательство инновационное машиностроение», 2018г., 203 с.
10. ГОСТ 9490-75 «Материалы смазочные жидкие и пластичные. Метод определения трибологических характеристик на четырехшариковой машине».

REFERENCES

1. Sholom VYu, Kazakov AM, Tyulenev DG. Methods for evaluating the effectiveness of technological lubricants for metalworking. Privodnaya Tekhnika. 2004;1:5-12.
2. Nigmatullin RG, Sholom VYu., Shuster LSh, Nigmatullin IM. Improving the effectiveness of lubricants with friction geo-modifiers. Vestnik UGATU. 2012;16(1(46)):51-56.

3. Shuster LSh, Nigmatullin RG, Tyulenev DG, Nigmatullin IM. High-temperature lubricant with repair and restoration properties. Collection of Papers of All-Russian Youth Scientific Conference: Mavlyutov Readings. Ufa: UGATU; 2011.
4. Sharipov AKh, Nigmatullin VR. Catalytic oxidation of sulfides of oil fractions with hydrogen per-

- oxide. *Petroleum Chemistry (Neftekhimiya)*. 2005;45(5):351-354.
5. Nigmatullin VR, Nigmatullin IR, Nigmatullin IM. RF Patent for invention МПК 01N 9/10 (2006.01) Method and device for determining the density of a liquid. 2012 July 27.
 6. Galiev RF, Emaev II. RF Patent for invention МПК C10M 161/00 (2006.01) Lubricant based on a composition of technical carbon for heavily loaded friction units. 2016 Nov 10.
 7. Nigmatullin VR, Nigmatullin IM, Shuster LSh. RF Patent of the Russian Federation No. 2454451. Lubricant with increased heat resistance, having repair and restoration properties. 2012 Jun 27.

8. Emaev II, Shuster LS. Improving the tribotechnical properties of oxidized lubricants modified with a geofiller. *Herald of the Bauman Moscow State Technical University. Series Mechanical Engineering*. 2021;3:57-60.
9. Krioni NK, Migranov MSh. *Lubricants in machines and for edge cutting machining: textbook*. Moscow: Publishing House of Innovative Machine-building; 2018.
10. GOST 9490-75 Liquid lubricating and plastic materials. Method of test for lubricating properties on four ball machine.

Информация об авторах:

Нигматуллин Ильшат Ришатович – кандидат техн. наук, доцент УГНТУ, тел. +79173443509.

Зубер Виталий Игоревич – кандидат техн. наук, руководитель АО «Газпромнефть МНПЗ», тел. +7(347)2563636.

Nigmatullin Ilshat Rishatovich – Candidate of Technical Sciences, Associate professor of USPTU; phone: +79173443509.

Zuber Vitaly Igorevich – Candidate of Technical Sciences, Head of Gazpromneft MNPZ; phone: +7(347)2563636.

Пшеничная Маргарита Акобовна – инженер исследователь ООО «ХТЦ УАИ», тел. 8 (347) 272-47-88.

Морозова Ольга Сергеевна – инженер исследователь ООО «ХТЦ УАИ», тел. 8 (347) 272-47-88.

Pshenichnaya Margarita Akobovna – Research Engineer at KHTC of the Ufa Aviation Institute; phone: 8 (347) 272-47-88.

Morozova Olga Sergeevna – Research Engineer at KHTC of the Ufa Aviation Institute; phone: 8 (347) 272-47-88.

Вклад авторов: все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации.

Contribution of the authors: the authors contributed equally to this article.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

The authors declare no conflicts of interests.

Статья опубликована в режиме Open Access.

Article published in Open Access mode.

Статья поступила в редакцию 21.05.2024; одобрена после рецензирования 11.06.2024; принята к публикации 26.06.2024. Рецензент – Шалыгин М.Г., доктор технических наук, доцент Брянского государственного технического университета, член редсовета журнала «Транспортное машиностроение».

The article was submitted to the editorial office on 21.05.2024; approved after review on 11.06.2024; accepted for publication on 26.06.2024. The reviewer is Shaligin M.G., Doctor of Technical Sciences, Associate Professor of Technical Sciences, Associate Professor of Bryansk State Technical University, member of the Editorial Council of the journal *Transport Engineering*.