

ИССЛЕДОВАНИЕ СВОЙСТВ МАГНИТНЫХ СМАЗОЧНЫХ МАТЕРИАЛОВ НА ОСНОВЕ КРЕМНИЙОРГАНИЧЕСКОЙ ЖИДКОСТИ

Терентьев Владимир Викторович, кандидат технических наук, доцент, заведующий кафедрой «Технический сервис и механика»

Баусов Алексей Михайлович, доктор технических наук, профессор кафедры «Технический сервис и механика»

Торопов Михаил Владиславович, аспирант кафедры «Технический сервис и механика»
ФГБОУ ВО Ивановская ГСХА им. Д.К. Беляева
153012, г. Иваново, ул. Советская, 45; тел.: +79038882538,
E-mail: vladim-terent@yandex.ru

Ключевые слова: смазка, надежность оборудования, срок службы, магнитное поле, адгезия

Представлены результаты исследований смазочных материалов, представляющих из себя магнитные жидкости. Отмечено положительное действие на характеристики смазочного материала пандемоторной силы, возникающей при наложении внешнего магнитного поля. Цель работы – исследование свойств магнитных смазочных материалов на основе полиэтилсилоксановых жидкостей и подтверждение ранее изложенных теоретических предположений. Основные задачи исследования: разработка состава смазочного материала на основе полиэтилсилоксановой магнитной жидкости, определение характеристик сцепления данного материала с металлической основой, получение адекватной математической модели, описывающей характеристики сцепления смазочного материала с поверхностью, определение его стабильности при работе. Разработаны экспериментальные установки и методики определения характеристик сцепления магнитных жидкостей с поверхностью трения, а также стабильности самой магнитной жидкости при работе. Отмечена перспективность введения в кремнийорганическую основу магнитной жидкости олеиновой кислоты. Выявлено снижение коэффициента сцепления при увеличении частоты вращения образцов при нагрузках от 160 Н до 320 Н в среднем в 1,6...2,7 раза. Доказано более прочное сцепление магнитной смазки с металлической основой по сравнению с Литолом-24 в среднем в 6 раз, предотвращающее проскальзывание тел качения при работе образцов. Отмечена различная закономерность изменения сцепления с металлическими поверхностями литола-24 и магнитных жидкостей. Установлен рост коэффициента сцепления магнитных жидкостей в условиях наложения постоянного магнитного поля при нагрузках на образцы от 480 Н до 800 Н за счет магнитореологического эффекта на 20...30 %. Получена математическая модель, адекватно описывающая изменение коэффициента сцепления полученного магнитного смазочного материала. Рекомендован состав магнитной жидкости, состоящий из полиэтилсилоксановой жидкости-носителя, поверхностно-активного вещества – олеиновой кислоты, ферромагнитной фазы – магнетита с размером частиц 7,5 нм. Экспериментально установлена высокая стабильность разработанных магнитных жидкостей при длительном режиме эксплуатации. Отмечено снижение коэффициента стабильности магнитной жидкости за 366 часов в 2,51 раза.

Введение

Повышение надежности сельскохозяйственной техники является сложной и актуальной задачей на современном этапе. Одной из основных и наиболее важных причин ухудшения технического состояния машины является изнашивание ее трущихся поверхностей. Эффективное решение снижения интенсивности изнашивания на современном этапе возможно применением различных видов смазочных материалов. Перспективным направлением при этом является использование магнитно-восприимчивых смазочных материалов. Известно применение материалов, содержащих жидкокристаллические соединения - металлмезогены [1, 2, 3, 4, 5]. Смазочные композиции с такими соединениями являются эффективными для уз-

лов трения автотракторной техники. Эффективность данных соединений определяется возможностью формирования ими на поверхности трения определенных упорядоченных структур, эффективно разделяющих трущиеся поверхности. Образование упорядоченных структур при этом ускоряется при наложении электрических и магнитных полей.

Также одним из перспективных направлений повышения долговечности трибосопряжений является применение высокоэффективных смазочных материалов на основе различных магнитных жидкостей.

Особенностью магнитных жидкостей является возможность их структурирования при наложении постоянного или переменного магнитного поля. Усиление магнитного поля по-

зволяет формировать более прочную структуру смазки, что позволяет получать при трении прочный смазочный слой, предотвращающий контакт элементов трибосопряжения.

Магнитные жидкости представляют из себя коллоидные растворы частиц магнитных материалов и различных жидкостей-носителей. Для стабилизации составов в них дополнительно вводят различные поверхностно-активные вещества (ПАВ), которые адсорбируются на частицах, образуя ионные слои. В качестве поверхностно-активных частиц чаще всего используют жирные кислоты.

В работе [6] представлены результаты исследования смазочных материалов на основе магнитных жидкостей различного состава. Представленные результаты показывают перспективность применения в качестве смазочного материала для высокоскоростных узлов трения магнитной жидкости, состоящей из трансформаторного масла и магнетита. Авторами работы [7] отмечена перспективность использования магнитной присадки к маслу на основе мицелл из магнетита и олеиновой кислоты. Применение магнитной присадки позволило уменьшить интенсивность изнашивания элементов трибосопряжения в 1,5...3 раза в зависимости от марки масла, нагрузки и температуры в зоне трения. Доказана эффективность применения смазочной композиции на основе магнитной жидкости и графита [8] при механической обработке металлов.

Таким образом, разработка новых составов смазочных магнитоуправляемых материалов и исследование их свойств является актуальным направлением на современном этапе.

При контакте жидкости с твердой поверхностью возникает адгезионное взаимодействие. Одновременно жидкость смачивает эту поверхность [9].

Способность ПАВ образовывать сольватные оболочки в коллоидных растворах на границе раздела фаз «твердое тело - жидкость» во многом определяет характеристику всей магнитной смазки.

При наложении магнитного поля в объеме самой жидкости возникает пондемоторная сила, способствующая адгезии частиц магнитного тела, которая возникает в результате взаимодействия магнитного момента частицы со своим зеркальным отражением в теле сплошного ферромагнетика. Эту силу определяют по формуле:

$$F = (3/16) \cdot ((\mu - 1)/(\mu + 2)) \cdot m^2 \cdot (1 + \cos \alpha) \cdot r^{-2} \quad (1)$$

где μ – магнитная проницаемость ферро-

магнитной подложки, Гн/м; m – магнитный момент частицы, Дж/Тл; α – угол, образуемый магнитным моментом с нормалью к поверхности подложки, град.; r – расстояние между частицей и поверхностью ферромагнитной подложки, м.

Отсюда следует, что при ориентации внешнего магнитного поля нормально к поверхности сила F будет расти пока угол α не станет равным 0, дальнейшее повышение напряженности внешнего магнитного поля к изменению силы не приводит. При этом сила F убывает по мере роста толщины немагнитной подложки (пленки смазки), которая определяет расстояние между частицей и поверхностью ферромагнитной подложки.

Таким образом, пондемоторная сила во многом определяет вязкость магнитной жидкости и прочность слоя смазочной пленки, разделяющей поверхности трения.

Следовательно, при использовании магнитной жидкости в качестве смазочного материала наибольшая прочность слоя смазки будет в зоне максимальной концентрации магнитного поля. Сила взаимодействия магнитной смазки с поверхностью трения в зоне подвижной поверхности в основном определяется адгезионными характеристиками жидкости-носителя, ферромагнитной фазы и ПАВ.

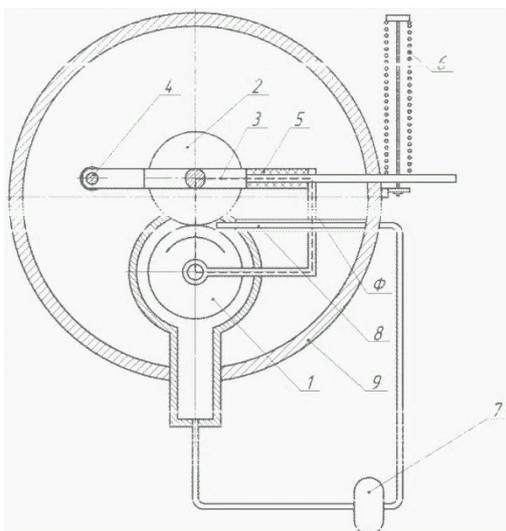
При этом адгезионное взаимодействие между жидкой и твердой фазами распространяется на небольшое расстояние, определяемое размерами молекул. В этом случае энергия молекулярного взаимодействия и сила этого взаимодействия между смазкой и поверхностью трения определяются в соответствии с теорией молекулярного взаимодействия конденсированных макротел С.М. Лифшица [9]:

$$E_{\text{э}} = (-2/3) \cdot \pi \cdot V \cdot r \cdot \gamma / H^2, \quad (2)$$

$$F_{\text{э}} = (4/3) \cdot \pi \cdot V \cdot r \cdot \gamma / H^3, \quad (3)$$

где $E_{\text{э}}$ – энергия взаимодействия, Дж; $F_{\text{э}}$ – сила взаимодействия, Н; V – константа Ван-дер-Ваальса, учитывающая электромагнитное запаздывание, Дж·м; r – радиус частиц, м; H – зазор между частицами, м.

Ввиду того, что на поверхности трения образуется слой смазочного материала из нескольких рядов частиц смазки, связанной аутогезионным взаимодействием, то в процессе трения чаще всего происходит не адгезионный, а аутогезионный, или смешанный (адгезионно-аутогезионный) отрыв частиц смазочного материала. Это обусловлено более сильным адгезионным взаимодействием по сравнению с аутогезионным. Следовательно, усилив аутогезионную со-



1 – ведущий диск; 2 – ведомый диск; 3 – магнитопровод; 4 – ось; 5 – катушка намагничивания; 6 – нагрузочное устройство; 7 – гидронасос; 8 – форсунка; 9 – магнитопровод дополнительный; Φ – магнитный поток

Рис. 1 – Схема установки для определения сцепляющих свойств магнитной жидкости

ставляющую смазочного материала можно существенно улучшить его характеристики.

В магнитных смазочных материалах этого можно достичь за счет наложения внешнего магнитного поля. В зоне трения «обойма подшипника - тело качения» такой прием является эффективным, так как пленка надежно удерживается на неподвижной поверхности, разделяя подвижную и неподвижную поверхности. В зоне взаимодействия с подвижной поверхностью пониженная прочность магнитной жидкости улучшает процесс трения за счет снижения проскальзывания образцов и замены трения скольжения на трения качения.

Таким образом, можно предположить, что при использовании магнитной жидкости в качестве смазочного материала в подшипниковых узлах при наложении магнитного поля за счет совместного действия адгезионной и ponderomotive сил будет обеспечено эффективное разделение трущихся поверхностей.

Цель работы – исследование свойств магнитных смазочных материалов на основе полиэтилсилоксановых жидкостей и подтверждение раннее изложенных теоретических предположений.

Основными задачами данного исследования являлись: разработка состава смазочного материала на основе полиэтилсилоксановой магнитной жидкости; определение характери-

стик сцепления данного материала с металлической основой; получение адекватной математической модели, описывающей характеристики сцепления смазочного материала с поверхностью, и определение его стабильности при работе.

Материалы и методы исследований

Исследования, проведенные ранее, доказывают перспективность применения в качестве жидкости носителя – полиэтилсилоксана (ПЭС) [10]. Эффективность применения магнитной жидкости в качестве смазочного материала во многом определяется адгезионными свойствами жидкости-носителя и ее способностью закрепляться на поверхности трения, образуя защитную пленку, предотвращающую сближение поверхностей трения. Несущая способность самой магнитной жидкости при этом определяется образованием структурных слоев магнитной составляющей под действием магнитного поля. Исследуемая жидкость – носитель ПЭС-5. Данная жидкость обладает низкой испаряемостью и высоким временем релаксации. В качестве ферромагнитной фазы использовали порошок магнетита (размер частиц 7,5 нм), а также смесь магнетита (размер частиц 7,5 нм) и карбонильного железа (размер частиц 5 нм). Сцепляющие свойства жидкости-носителя определяли по коэффициенту проскальзывания роликов испытательного стенда. Для стабилизации магнитной фазы в ПЭС-5 дополнительно вводили в качестве ПАВ олеиновую кислоту. Эта кислота хорошо смешивается с кремнийорганическими жидкостями и образует прочные поверхностные соединения с окислами железа за счет высокой адгезии. Коэффициент сцепления жидкости с дисками определяли с помощью разработанной экспериментальной установки (рисунок 1).

Определение сцепляющих свойств жидкости-носителя проводили в следующем порядке. Исследуемая жидкость-носитель помещалась в емкость (на рисунке расположена под ведущим диском). Далее с помощью нагрузочного устройства ведущий диск прижимали к ведомому. Затем включали электродвигатели привода насоса и привода ведущего диска. На выходном валу ведомого диска создавали тормозной момент, который плавно увеличивали до момента проскальзывания образцов.

За критерий количественной оценки сцепляющих свойств жидкости-носителя принят коэффициент сцепления жидкости с поверхностью дисков, определяемый по тормозному моменту, при котором происходило проскальзывание

Результаты определения коэффициента сцепления

Тип жидкости	Частота вращения ведущего диска, мин ⁻¹	Коэффициент сцепления при радиальной нагрузке на образцы, Н				
		160	320	480	640	800
ПЭС-5	360	0,6	0,63	0,88	0,96	0,98
ПЭС-5 + олеиновая кислота		0,8	0,83	0,8	0,94	0,95
ПЭС-5	720	0,38	0,44	0,86	0,95	0,98
ПЭС-5 + олеиновая кислота		0,7	0,57	0,84	0,93	0,95
ПЭС-5	1080	0,33	0,38	0,85	0,93	0,98
ПЭС-5 + олеиновая кислота		0,61	0,46	0,85	0,93	0,95
ПЭС-5	1440	0,26	0,33	0,91	0,95	0,98
ПЭС-5 + олеиновая кислота		0,53	0,4	0,83	0,92	0,95
ПЭС-5	1800	0,22	0,28	0,90	0,96	0,98
ПЭС-5 + олеиновая кислота		0,48	0,37	0,8	0,92	0,94

между ведущим и ведомым дисками.

При исследовании магнитной жидкости (с введенным в жидкость-носитель ферромагнетиком) дополнительно катушкой намагничивания создавался магнитный поток, величину и направление которого меняли в соответствии с намеченной программой.

Результаты исследований

Одним из негативных факторов при работе подшипника качества является проскальзывание тела вращения (шарика или ролика) в процессе работы. Это приводит к замене трения качения на трение скольжения, росту температуры в подшипнике, повышению интенсивности изнашивания тела вращения и беговой дорожки и, в конечном счете, снижает ресурс подшипника. Поэтому на начальном этапе исследований на специально разработанном экспериментальном стенде исследовали величину проскальзывания образцов, по которой определяли коэффициент сцепления жидкости с поверхностью дисков.

Результаты определения коэффициента сцепления при различной частоте вращения образцов представлены в таблице 1.

Проведенные исследования показали, что при увеличении скорости скольжения сцепляющие свойства полиэтилсилоксановой жидкости изменяются.

На основании полученных результатов были синтезированы два типа магнитной жидкости, одна из которых состоит из жидкости-но-

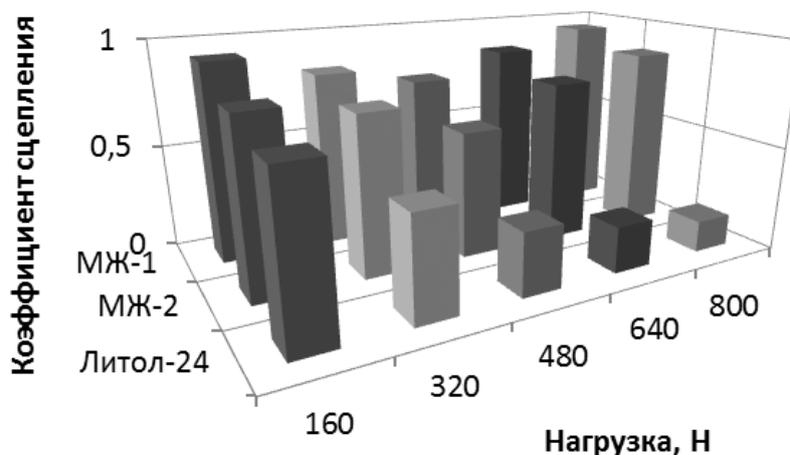


Рис. 2 – Результаты определения коэффициента сцепления магнитных жидкостей

сителя ПЭС-5 с олеиновой кислотой и магнитной фазы (магнетита) МЖ-1, а другая - из жидкости-носителя ПЭС-5 с олеиновой кислотой и магнитной фазы (магнетита и карбонильного железа) МЖ-2.

В соответствии с программой исследований определяли сцепляющие свойства магнитных жидкостей и сравнивали их с товарной пластичной смазкой литол-24.

На рисунке 2 представлены результаты экспериментальных исследований коэффициента сцепления магнитных жидкостей при наложении на них магнитного поля при частоте вращения вала ведущего диска 1440 мин⁻¹.

Сравнивая характеристики исследованных магнитных жидкостей с характеристиками товарной пластичной смазки литол-24 можно отметить различную закономерность влияния нагрузки на коэффициент сцепления. Для литола-24 он снижается при увеличении нагрузки со 160 Н до 800 Н на 80 %, что приводит при повы-

шенных нагрузках на тело качения к его скольжению, а не перекачиванию.

При использовании магнитных жидкостей увеличение нагрузки на образцы с 160 Н до 800 Н приводит к росту коэффициента сцепления на 2...7 %. Причем при нагрузке от 160 Н до 480 Н коэффициент снижается на 8...26 %, а при дальнейшем росте нагрузки он повышается на 20...30 % за счет магнитореологического эффекта (повышения вязкости под действием магнитного поля).

Сравнивая магнитные жидкости с литом-24 можно отметить, что коэффициент сцепления магнитных жидкостей при высоких нагрузках выше в среднем в 6 раз. Таким образом, используя высокие реологические свойства магнитных жидкостей можно значительно снизить проскальзывание тел вращения, и за счет этого повысить эффективность их работы.

При исследовании влияния характеристик смазочного материала и режимов работы узла трения на коэффициент сцепления был реализован полнофакторный эксперимент 23. В результате математической обработки экспериментальных данных была получена математическая модель в кодированных значениях факторов, которая имеет следующий вид:

$$Y = 0,92 + 0,1463X_1 + 0,21X_2 + 0,3266X_3 - 0,0291 X_1X_2 + 0,0541 X_1 X_3 - 0,1402X_1 + 0,0979 X_2 + 0,0812X_3, \quad (4)$$

где Y - коэффициент сцепления; X_1 - частота вращения вала; X_2 - радиальная нагрузка; X_3 - вязкость магнитной жидкости.

Все коэффициенты уравнения регрессии при проверке по коэффициенту Стьюдента оказались значимы. Расчетное значение коэффициента детерминации R^2 составило 0,975. Табличное значение коэффициента детерминации $R^2_{табл} = 0,75$. Следовательно, $R^2 > R^2_{табл}$ и модель работоспособна.

Анализ уравнения (4) показал, что наибольшее влияние на коэффициент сцепления оказывает вязкость магнитной жидкости.

Так как магнитная жидкость является коллоидным раствором, то для нее важнейшей характеристикой является стабильность (отсутствие во времени коагуляции частиц магнитной фазы, выпадения их в осадок и расслоения жидкости). С целью определения стабильности полученных магнитных жидкостей были проведены исследования по определению ресурсных характеристик этих жидкостей.

В качестве ресурсной характеристики магнитных жидкостей принят коэффициент ста-

бильности. Для его определения был разработан стенд, включающий в себя установленную на раме емкость с магнитной жидкостью. В боковой стенке емкости было изготовлено технологическое отверстие, в которое установлено одноступенчатое однополюсное магнитно-жидкостное уплотнение. В уплотнение установлен вал, один конец которого находился в емкости с жидкостью. В емкость подавали сжатый воздух до момента, когда уплотнение теряло свою герметичность и жидкость появлялась на выходном конце вала. Давление в емкости контролировали по установленному в крышке манометру.

Коэффициент стабильности магнитной жидкости

$$K_{ст} = 100 (\Delta P_{max} - P_{ст}) / P_{ст}, \quad (2)$$

где ΔP_{max} - максимальное изменение критического перепада давлений, МПа; $P_{ст}$ - изменение критического перепада давлений через определенное время работы уплотнения, МПа.

Коэффициент $K_{ст}$ определяли через 12 и 366 часов работы стенда. В качестве допустимых принимали $K_{ст} 12 < 35 \%$; $K_{ст} 366 \leq 5 \%$.

Результаты определения коэффициентов стабильности магнитных жидкостей через 12 и 366 часов работы стенда представлены на рисунке 3.

Обсуждение

В результате проведенных исследований определено, что введение в полиэтилсилоксановую жидкость ПЭС-5 ПАВ в виде олеиновой кислоты благоприятно сказывается на характеристиках синтезированной в дальнейшем магнитной жидкости. При введении олеиновой кислоты повышается коэффициент сцепления и значительно увеличивается коэффициент стабильности.

Управляя реологическими характеристиками магнитной жидкости путем приложения магнитного поля можно эффективно решать задачи по снижению интенсивности изнашивания элементов подшипниковых узлов за счет снижения величины проскальзывания тел вращения.

Введение в ПЭС-5 в качестве ПАВ олеиновой кислоты приводит к увеличению коэффициента сцепления роликов при небольших нагрузках на 25...55 %.

Проанализировав полученные данные по определению ресурсных характеристик полученных магнитных жидкостей, можно отметить, что в начальный период эксплуатации исследованные магнитные жидкости показали достаточно высокую стабильность. Однако по истече-

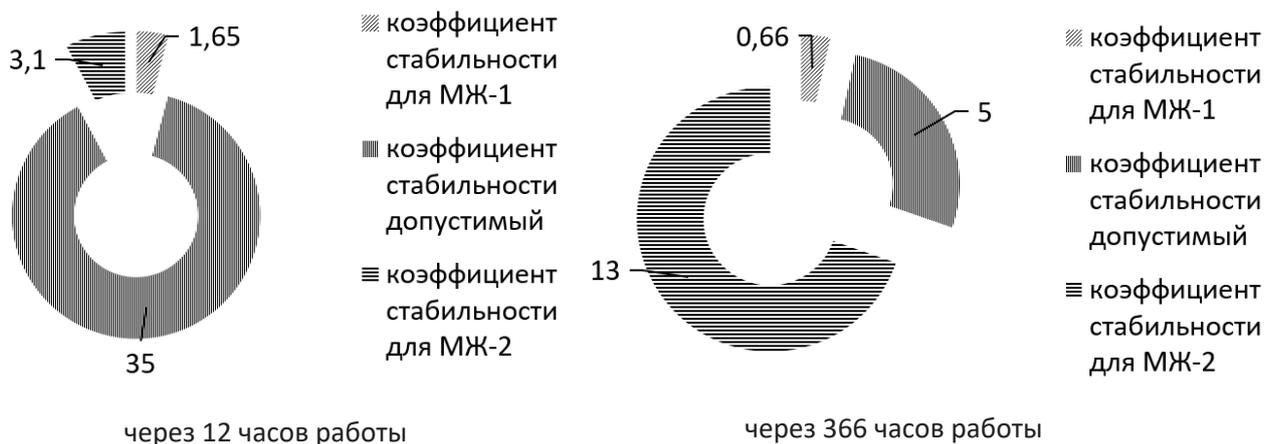


Рис. 3 – Изменение коэффициентов стабильности магнитных жидкостей

нии более продолжительного периода времени (366 часов) коэффициент стабильности для магнитной жидкости МЖ-2 выходил за пределы допустимого. Полученные данные позволяют обосновать периодичность замены магнитной жидкости в узле трения в процессе его эксплуатации. Магнитная жидкость МЖ-1 показала высокую стабильность в процессе длительной эксплуатации.

Заключение

Анализ полученной математической модели, адекватно описывающей влияние характеристик смазочного материала и режимов работы узла трения на коэффициент сцепления, показал, что наибольшее влияние на параметр оптимизации оказывает вязкость магнитной жидкости.

Выявлено, что при увеличении частоты вращения образцов при нагрузках от 160 Н до 320 Н коэффициент сцепления снижается в среднем в 1,6...2,7 раза. При использовании магнитной смазки достигается более прочное сцепление с металлической основой по сравнению с Литолом-24 в среднем в 6 раз.

Полученный состав магнитной жидкости эффективен при использовании в качестве магнитного смазочного материала в подшипниковых узлах. При ее использовании увеличение нагрузки на образцы с 160 Н до 800 Н приводит к росту коэффициента сцепления на 2...7 %. Причем при нагрузке от 160 Н до 480 Н коэффициент снижается на 8...26 %, а при дальнейшем росте нагрузки он повышается на 20...30 % за счет повышения вязкости под действием магнитного поля.

Экспериментально установлена высокая стабильность разработанных магнитных жидко-

стей при длительном режиме эксплуатации: за 366 часов коэффициент стабильности магнитной жидкости снизился в 2,51 раза.

Полученные результаты позволяют разрабатывать магнитные смазки более сложных составов, в которых в качестве жидкости – носителя предполагается использовать кремнийорганические жидкости.

Библиографический список

1. Диэлектрические свойства смазочных композиций на основе солидола с присадками мезогенных карбоксилатов меди / Л. В. Ельникова, А. Т. Пономаренко, В. Г. Шевченко, В. В. Терентьев, О. Б. Аكوпова // Жидкие кристаллы и их практическое использование. - 2019. - Т. 19, № 1. - С. 70-78.
2. Терентьев, В. В. Влияние присадок из смесей карбоксилатов меди на трибологические характеристики пластичных смазок / В. В. Терентьев, О. Б. Аكوпова, И. А. Телегин // Жидкие кристаллы и их практическое использование. - 2015. - Т. 15, № 4. - С. 96-101.
3. Терентьев, В. В. Влияние мезогенной присадки бегената меди на реологические и триботехнические характеристики пластичных смазок / В. В. Терентьев, О. Б. Аكوпова, И. А. Телегин // Жидкие кристаллы и их практическое использование. - 2017. - Т. 17, № 1. - С. 93-100.
4. Терентьев, В. В. Влияние карбоксилатов меди на основе валериановой и изовалериановой кислот на трибологические характеристики пластичных смазок / В. В. Терентьев, О. Б. Аكوпова, И. А. Телегин // Жидкие кристаллы и их практическое использование. - 2016. - Т. 16, № 2. - С. 100-105.
5. Спектральные свойства карбоксилатов

меди и опыт их применения в узлах трения сельскохозяйственной техники / В. В. Терентьев, О. Б. Аكوпова, И. А. Телегин, Л. В. Ельников, Ю. М. Парунова // Аграрный вестник Верхневолжья. - 2019. - № 1 (26). - С. 79-84.

6. Исследование свойств магнитных смазочных материалов / А. М. Баусов, В. В. Кувшинов, Е. Л. Орешков, В. В. Терентьев // Аграрный вестник Верхневолжья. - 2017. - № 4 (21). - С. 96-102.

7. Перекрестов, А. П. Об увеличении ресурса работы гребного вала судна / А. П. Перекрестов, В. А. Чанчиков // Вестник АГТУ. Серия : Морская техника и технология. - 2010. - № 2. - С. 19-23.

8. Патент РФ №2215776, МКИ 7 C10M169/04, 177/00. Магнитовосприимчивая смазочная композиция для приготовления смазок и смазочно-охлаждающих жидкостей и способ ее получения : № 200130846/23 : заявл. 13.11.2001 : опубл. 2003 / Подгорков В. В., Марков В. В., Сизов А. П., Топорова Е. А., Лапочкин А. И.

9. Карелина, М. Ю. Процессы межфазной границы / М. Ю. Карелина. – Москва : ФГБНУ Росинформагротех, 2015. - 224 с.

10. Терентьев, В. В. Методика исследования адгезионных свойств магнитных жидкостей / В. В. Терентьев, А. М. Баусов // Научное обозрение. - 2019. - № 1. - С. 40-45.

RESEARCH OF PROPERTIES OF MAGNETIC LUBRICANTS BASED ON ORGANOSILICON LIQUID

Terentyev V.V., Bausov A. M., Toropov M. V.
FSBEI HE Ivanovo state agricultural academy named after D.K. Belyaev
Russia, Ivanovo city, Sovetskaya street, 45,
Tel. +79038882538,
E-mail: vladim-terent@yandex.ru

Key words: lubricant, equipment reliability, service life, magnetic field, adhesion

The results of research on lubricants which are magnetic fluids are presented. The positive effect on the characteristics of the lubricant of pondemotor force that occurs when an external magnetic field is applied is noted. The purpose of this work is to study the properties of magnetic lubricants based on polyethylsiloxane liquids and confirm the previously stated theoretical assumptions. The main objectives of the research are to develop the composition of a lubricant based on a polyethylsiloxane magnetic fluid, to determine the characteristics of adhesion of this material to a metal base, to obtain an adequate mathematical model describing the characteristics of adhesion of the lubricant to the surface, and to determine its stability during operation. Experimental installations and methods for determining the characteristics of the coupling of magnetic fluids with the friction surface, as well as the stability of magnetic fluid itself during operation, have been developed. The prospects of introducing oleic acid into the organosilicon base of the magnetic liquid are noted. A decrease in the adhesion coefficient with an increase in the rotational speed of the samples at loads from 160 N to 320 N was revealed by an average of 1.6...2.7 times. It is proved that the magnetic lubricant adheres to the metal base more strongly than Litol-24 by an average of 6 times, which prevents the rolling elements from slipping during the operation of the samples. Different patterns of changes in adhesion to metal surfaces of Litol-24 and magnetic fluids are noted. An increase in the adhesion coefficient of magnetic fluids under the conditions of applying a constant magnetic field at loads on samples from 480 N to 800 N due to the magnetorheological effect by 20...30% is established. A mathematical model is obtained that adequately describes the change in the adhesion coefficient of the obtained magnetic lubricant. The composition of the magnetic liquid is recommended, consisting of a polyethylene siloxane carrier liquid, a surfactant-oleic acid, and a ferromagnetic phase-magnetite with a particle size of 7.5 nm. High stability of the developed magnetic fluids during long-term operation has been experimentally established. The stability coefficient of the magnetic fluid decreased by 2.51 times in 366 hours.

Bibliography

- 1. Dielectric properties of lubricant compositions based on solidol with additives of mesogenic copper carboxylates / L. V. Elnikova, A. T. Ponomarenko, V. G. Shevchenko, V. V. Terentyev, O. B. Akopova // Liquid crystals and their practical use. - 2019. - V. 19, № 1. - P. 70-78.*
- 2. Terentyev, V. V. Influence of additives from mixtures of copper carboxylates on tribological characteristics of greasy lubricants / V. V. Terentyev, O. B. Akopova, I. A. Telegin // Liquid crystals and their practical use. - 2015. - V. 15, № 4. - P. 96-101.*
- 3. Terentyev, V. V. The influence of mesogenic copper benenate additive on rheological and tribotechnical characteristics of plastic lubricants / V. V. Terentyev, O. B. Akopova, I. A. Telegin // Liquid crystals and their practical use. - 2017. - V. 17, № 1. - P. 93-100.*
- 4. Terentyev, V. V. Influence of copper carboxylates based on valerianic and isovalerianic acids on tribological characteristics of grease lubricants / V. V. Terentyev, O. B. Akopova, I. A. Telegin // Liquid crystals and their practical use. - 2016. - V. 16, № 2. - P. 100-105.*
- 5. Spectral properties of copper carboxylates and experience of their application in friction units of agricultural machinery / V. V. Terentyev, O. B. Akopova, I. A. Telegin, L. V. Elnikova, Yu. M. Parunova // Agrarian Vestnik Of the Upper Volga region. - 2019. - № 1 (26). - P. 79-84.*
- 6. Research of the properties of magnetic lubricants / A. M. Bausov, V. V. Kuvshinov, E. L. Orshkov, V. V. Terentyev // Agrarian Vestnik Of the Upper Volga region. - 2017. - № 4 (21). - P. 96-102.*
- 7. Pererkrestov A. P. On increasing the service life of the ship's propeller shaft / A. P. Pererkrestov, V. A. Chanchikov // Vestnik of ASTU. Series : Marine technics and technology. - 2010. - № 2. - P. 19-23.*
- 8. Patent RF №2215776, MКИ 7 C10M169/04, 177/00. Magnet-sensitive lubricant composition for the preparation of lubricants and cooling lubricants and a method for its preparation: № 200130846/23 : applic. 13.11.2001 : published 2003 / Podgorkov V. V., Markov V. V., Sizov A. P., Toporova E. A., Lapochkin A. I.*
- 9. Karelina, M. Yu. Processes of interphase boundaries / M. Yu. Karelina. – Moscow : FSBEI Rsinformagrotech, 2015. - 224 p.*
- 10. Terentyev, V. V. Methods for studying the adhesive properties of magnetic fluids / V. V. Terentyev, A. M. Bausov // Scientific review. - 2019. - № 1. - P. 40-45.*