

РАЗРАБОТКА ПЛАСТИЧНОЙ СМАЗКИ, СТОЙКОЙ К ВЫМЫВАНИЮ ВОДОЙ

В работе были проведены лабораторные испытания по созданию пластичной смазки с введением в состав водостойких компонентов с дальнейшим анализом образцов полученного смазочного материала. Также была разработана методика по измерению вымываемости пластичных смазок. В ходе проведения испытаний были получены значения следующих технологических свойств пластичных смазок: температура каплепадения, пенетрация при 25 °С с перемешиванием, коллоидная стабильность, нагрузка сваривания, вымываемость, температура замерзания, предел прочности при 20 °С и при 80 °С. Проведен сравнительный анализ каждого из рассматриваемых показателей пяти образцов разрабатываемой смазки и проб уже выпускаемой продукции.

Ключевые слова: смазочные материалы, пластичные смазки, температура каплепадения, коллоидная стабильность, нагрузка сваривания, предел прочности, температура замерзания.

Введение. За последние 80 лет рынок пластичных смазочных материалов пережил серьезную перестройку своей номенклатуры, сменяя одни поколения смазок на более современные аналоги [1].

На сегодняшний день разработка новых видов пластичных смазочных материалов, как правило, ведётся для адаптации к работе механизмов, требующих постоянного смазывания в самых различных экстремальных условиях, таких как высокие температуры прокатных станков, применяемых в литейных цехах, вибрации, работа в условиях Крайнего Севера, высокие давления в тяжело нагруженных узлах трения, работа в условиях повышенной влажности.

При неправильном подборе пластичной смазки для тех или иных «нестандартных» эксплуатационных условий существует значительный риск повышенного износа трущихся поверхностей при недостаточном смазывании, например, если механизм подвергается воздействию воды, есть риск вымывания пластичной смазки, что приводит к повышенному износу и задирам на трущихся поверхностях [2].

Уменьшение вымываемости пластичных смазок в основном осуществляется за счет введения в состав смазки различных функциональных присадок, увеличивающих адгезию и препятствующих вымыванию водой при попадании на поверхности узлов трения. Также еще одним путем решения данной проблемы является применение таких видов загустителей пластичных смазок, которые не изменяют свои механические характеристики при воздействии воды. Таковыми являются загустители на основе литиево-кальциевого или литиевого мыла [3].

Пластичная смазка представляет собой коллоидную систему, которая состоит из дисперсной среды (базового масла), дисперсной фазы (загустителя) и различных модифицирующих присадок и наполнителей. Основное назначение пластичной смазки — это уменьшение износа поверхностей узлов трения для увеличения срока службы деталей ма-

шин и механизмов. Дисперсная фаза, представленная загустителем, образует волокнистую структуру в жидком масле, которая образует пространственный каркас смазки, содержащий в ячейках своей структуры масло, самовыделяющееся для смазывания поверхности трения механизмов. Каждая из трех выше приведенных составляющих смазки выполняет свою отдельную функцию: загуститель образует каркас; масло смазывает контактирующие поверхности механизмов; присадки, наполнители, др. функциональные присадки улучшают свойства смазок [4–6].

По сравнению со смазочными маслами пластичные смазки имеют ряд следующих преимуществ: пластичные смазки не создают затруднений при пуске и остановке механизмов; пластичная смазка устраняет проблему герметизации узлов трения; пластичная смазка допускает применение твердых наполнителей в своем составе [7].

Помимо приведенных выше преимуществ, пластичная смазка имеет два весомых недостатка перед смазочными маслами: низкий теплоотвод от узлов трения и низкая предельная скорость вращения смазываемых подшипниковых узлов [8].

Главным потребителем пластичных смазок является промышленность, которая использует подшипники в технике и оборудовании. Производятся не только стандартные пластичные смазки для подшипников, но также производится разработка новых продуктов. Срок службы подшипников напрямую связан с типом применяемой пластичной смазки, особенно эта связь очень явно прослеживается при эксплуатации подшипников в экстремальных условиях [9–11].

Основные требования к пластичным смазкам, которые применяются для смазывания подшипников, заключаются в их экологически чистом производстве и низком уровне шума подшипников при работе в машинах и механизмах [12].

Описание методики оценки потерь пластичных смазок при контакте с жидкостями. Областью при-

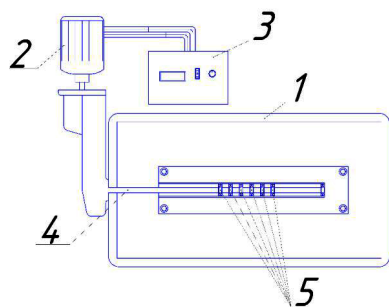


Рис. 1. Установка для оценки потери пластичных смазок из подшипников качения при контакте с водой

менения данной методики является определение стойкости пластичных смазок к вымыванию водой из подшипника.

Сущность метода заключается в том, что испытуемую пластичную смазку закладывают в шарикоподшипники, затем подшипники закрепляют на ось, которая погружается в воду и присоединяется к приводу. Подшипники, закрепленные на оси, оставляют на сутки в воде, затем в течение 6 часов вращают погруженные подшипники со скоростью 63 ± 3 рад/с. Стойкость пластичной смазки к вымыванию водой оценивают по изменению массы подшипника, смазанного пластичной смазкой.

Основными реагентами и материалами, используемыми при проведении данного испытания, являются вода класса 3 по ISO 3696 и растворитель углеводородный среднекипящий с низким содержанием серы и ароматических соединений, в роли данного растворителя можно использовать стандартный уайт-спирт или нефтяной растворитель.

Аппарат для оценки стойкости пластичной смазки к вымыванию водой (рис. 1) состоит из корпуса (1), электродвигателя (2), преобразователя частоты (3) для фиксации и изменения скорости вращения вала (4), на котором закрепляются подшипники 6240 С3Н без защитных крышек (5), наполненные испытуемой смазкой, которые вращаются со скоростью 63 ± 3 рад/с, резервуара для воды и крышки.

Подготовка аппаратуры заключается в промывании водой резервуара, также в протирании поверхности резервуара от масляной пены. Подшипники очищают от предыдущего смазочного материала.

Отбор образцов осуществляется массой не менее 15 грамм. Для каждого испытания требуется для заполнения двух испытательных подшипников примерно 4 грамма смазки на каждый. Отобранный образец проверяют на однородность (разделение масла, фазовое изменение или сильное загрязнение механическими примесями). К испытанию допускаются только однородные образцы.

Проводятся два параллельных испытания. Взвешенный подшипник наполняют $4,00 \pm 0,05$ грамма испытуемой смазки. Регистрируют массу подшипника со смазкой с точностью до 0,01 грамма. Далее подшипники с испытуемой смазкой закрепляют на валу с помощью крышки. После закрепления на вал подшипников, заполненных пластичной смазкой, в резервуар заливают воду до достижения уровня, который полностью покрывает подшипники. Подшипники в воде оставляют без вращения на 24 часа. Испытание проводят в течение 360 ± 5 мин. с момента достижения скорости вращения подшипников на валу 63 ± 3 рад/с. Замена воды

в резервуаре производится с периодичностью каждые 2 часа. По окончании времени испытания выключают двигатель, снимают подшипники с вала и помещают на взвешенное предметное стекло. Подшипники просушивают в течение 24 часов, после чего они взвешиваются с точностью до 0,01 грамма для определения потерь смазки.

Потери массы при вымывании пластичной смазки из узлов трения w , % масс., вычисляются по формулам:

$$m_a = m_2 - m_1 \quad (1)$$

$$m_b = m_3 - m_1 \quad (2)$$

$$w = 100 - \frac{m_b \cdot 100}{m_a} \quad (3)$$

где m_1 — масса подшипника, г; m_2 — масса смазки в подшипнике до проведения испытания, г; m_3 — масса смазки в подшипнике после проведения испытания, г.

После проведения расчетов, приведенных выше, регистрируют среднеарифметическое значение результатов двух определений как массовую долю (% масс.) вымытой смазки. Результат округляют до целого числа.

Представленная в данной работе многофункциональная пластичная смазка, стойкая к вымыванию из узлов трения, ее состав представлен в табл. 1.

12-гидроксистеариновая кислота представляет собой продукт гидрирования касторового масла, имеет вид чешуек белого цвета с формулой $C_{13}H_{33}O_2$. Минимальное содержание 12-гидроксистеариновой кислоты в представленной смазке составляет 9,0 %, при меньшем содержании температура каплепадения смазки может стать меньше 175 °С, максимальное содержание 12-гидроксистеариновой кислоты составляет 13,0 %, данная концентрация ограничена увеличением предела прочности пластичной смазки, что выражается значением пенетрации менее 150 мм⁻¹.

Гидроксид лития — это основание щелочного металла, порошок белого цвета с формулой LiOH. Минимальное содержание гидроксида лития в данной смазке составляет 1,2 %, а максимальное — 2,0 %, процентное содержание данного компонента подбирается по стехиометрическому количеству, которое необходимо для полного взаимодействия и нейтрализации 12-гидроксистеариновой кислоты.

В роли противывмывающих компонентов можно использовать церезин и озокерит как по отдельности в разных образцах, так и в смеси в пропорции 1:1 в отдельном образце.

Церезин — это смесь предельных углеводородов, которая состоит в основном из слабозветвленных изомерных алканов. Озокерит, по сравнению с церезином, имеет другой состав, состоящий из смеси углеводородов нафтенового ряда. Минимальное и максимальное содержание церезина и озокерита лежат в пределе от 0,5 до 10 %. Максимальная концентрация данных продуктов (10 %) влечет за собой уменьшение температуры каплепадения пластичной смазки ниже 175 °С.

Минимальное и максимальное содержание присадки А-22 ограничивается рекомендациями по применению, указанными производителем. Минимальная концентрация применения данной присадки обусловлена обеспечением требуемого уровня противозносных, противокоррозионных

Таблица 1

Содержание компонентов в пластичной смазке

№	Компонент смазки	Содержание, %
1	12-гидроксистеариновая кислота	9,0 – 13,0
2	Гидроокись лития	1,2 – 2,0
3	Церезин	0,5 – 10,0
4	Озокерит	0,5 – 10,0
5	Присадка А-22	0,1 – 1,0
6	Дисульфид молибдена	2,0 – 10,0
7	Индустриальное масло	До 100

и антиокислительных свойств, верхняя концентрация использования ограничена способностью присадки оказывать разрушительное действие на внутренний каркас пластичной смазки, тем самым уменьшая ее механическую прочность, что характеризуется увеличением пенетрации.

Дисульфид молибдена представляет собой сероголубой или зеленовато-чёрный кристаллический порошок с химической формулой MoS_2 , применяющийся в роли присадки, увеличивающей несущую способность смазки. Минимальное содержание дисульфида молибдена в приготавливаемых разрабатываемых смазках составляет 1 %, а максимальное содержание — 10 %. При дальнейшем увеличении концентрации дисульфида молибдена наблюдается уменьшение коллоидной стабильности, а также возникает резкое увеличение стоимости разрабатываемого продукта из-за дороговизны дисульфида молибдена.

Дисперсионная среда смазки представляет собой индустриальное масло И-ЛГ-А-68 с базовой кинематической вязкостью при 40 °С, лежащей в диапазоне 61 – 75 $\text{мм}^2/\text{с}$.

Лабораторные исследования. При лабораторных исследованиях готовились образцы пластичных смазок по стандартной технологии, описанной ниже.

В лабораторный сосуд, предназначенный для высокого нагрева, загружают от 50 – 60 % базового компонента, далее базовое масло начинают медленно нагревать до температуры 40 °С с постоянным перемешиванием. После того как базовый компо-

нент достиг температуры 40 °С, добавляют весь объем 12-гидроксистеариновой кислоты, затем температуру увеличивают до 80 – 90 °С с постоянным перемешиванием до полного растворения кислоты.

Одновременно с растворением 12-гидроксистеариновой кислоты проводилась подготовка водного раствора гидроксида лития. Берется весь объем гидроксида лития и смешивается с водой для получения 12 % раствора гидроксида лития в воде, при постоянном перемешивании и медленном нагреве до 60 °С до полного растворения в воде.

После того как готовы растворы 12-гидроксистеариновой кислоты в масле и гидроксида лития в воде, производится омыление 12-гидроксистеариновой кислоты водным раствором гидроксидом лития путем постепенного добавления водного раствора гидроксида лития в масляный раствор кислоты, омыление происходит в течение 20 минут при температуре 80 – 90 °С. После окончания реакции омыления и образования литиевого мыла 12-гидроксистеариновой кислоты начинается стадия испарения воды, для этого температура увеличивается до 120 °С. Процесс выпаривания можно считать законченным после того момента, как температура мыла начнет расти больше отметки в 110 °С.

После того как вода выпарилась из мыла, осуществляется переход к стадии термомеханической обработки мыла, путем плавного повышения температуры до 210 – 220 °С для получения однородного расплава литиевого мыла.

После получения расплава мыла необходимо его охладить, добавляя в расплавленное мыло равными порциями оставшийся базовый компонент. После снижения температуры до 80 °С постепенно вводятся функциональные присадки, такие как А-22, церезин и озокерит.

После их добавления смазка дополнительно охлаждается и гомогенизируется в гомогенизаторе; после процесса гомогенизации пластичная смазка по всем правилам должна «отдохнуть» около суток для конечного образования и укрепления внутренней структуры дисперсной фазы (загустителя).

В ходе приготовления были изготовлены образцы по верхнему и нижнему пределу концентраций с оптимальными концентрациями компонентов представленной смазки, которые отображены в табл. 2.

Результаты проведения испытаний, а также сравнение с контрольными образцами представ-

Таблица 2

Предлагаемые вариации рецептур при приготовлении пластичных смазок

Компонент	Оптимальная рецептура			Рецептура с минимальным содержанием	Рецептура с максимальным содержанием
	Образец 1	Образец 2	Образец 3	Образец 4	Образец 5
12-гидроксистеариновая кислота	10,7	10,7	10,7	9,0	13,0
Гидроокись лития	1,5	1,5	1,5	1,2	2,0
Церезин	5,0	–	3,0	0,5	10,0
Озокерит	–	5,0	3,0	0,5	10,0
Присадка А-22	0,3	0,3	0,3	0,1	1,0
Дисульфид молибдена	4,0	3,0	5,0	2,0	10,0
Индустриальное масло	До 100	До 100	До 100	До 100	До 100

Результаты испытаний

Показатель	Образцы					Литол-24	МС 1520 (RUBIN) EP2
	Образец 1	Образец 2	Образец 3	Образец 4	Образец 5		
Температура каплепадения, °С (ГОСТ 21150-87)	204	203,5	202	207	170	202	193
Пенетрация при 25 °С с перемешиванием, мм ⁻¹ (ГОСТ 5346-78, метод В)	226	221	225	236	185	227	280
Коллоидная стабильность, % (ГОСТ 7142-74)	9,86	9,47	8,72	8,25	7,26	11,05	6,18
Нагрузка сваривания (P _с), Н (ГОСТ 9490-75)	2764	2930	3479	1960	3920	1960	1235
Вымываемость, % (разработанная методика)	9,64	10,96	10,53	13,9	8,23	15,27	55,72
Температура замерзания, °С	-40	-41	-39	-43	-30	-40	-20
Предел прочности, Па, при 20 °С	916	940	927	964	1200	950	630
	450	445	441	468	756	325	220

ленными смазками Литол-24 и водостойкой смазкой МС 1520 (RUBIN) EP2 отражены в табл. 3. Литол-24 позиционируется у многих производителей как пластичная смазка, которая хорошо выдерживает воздействие воды. Пластичная смазка МС 1520 (RUBIN) EP2 на литиево-кальциевом загустителе по заверениям производителя обладает прекрасными водоотталкивающими свойствами, а также низкой вымываемостью водой из подшипника.

Обсуждение результатов. Температура каплепадения сравниваемых пластичных смазок лежит примерно в одном диапазоне значений, имея незначительные отклонения. Можно заключить, что температура каплепадения у всех рассматриваемых смазок характерна для данного вида загустителя и соответствует пластичным смазкам с верхним интервалом температурного использования в 120 °С. Из общей картины выбивается только образец 5 с показателем температуры каплепадения, равной 185 °С, такое понижение температуры можно объяснить большим содержанием низкоплавких компонентов, таких как церезин и озокерит, температура каплепадения которых составляет от 65 до 80 °С.

Пенетрация у сравниваемых пластичных смазок соответствует указанной нормативной документации. Показания значений у образцов имеют широкий диапазон значений от 185 до 236, это зависит от их состава. Особенно сильно разнятся показания рецептур максимальной и минимальной концентрации. Это объясняется тем, что в рецептуре с максимальной концентрацией присутствуют гораздо в больших концентрациях такие компоненты, как церезин, озокерит, так как церезин и озокерит в чистом виде имеют пенетрации порядка 70–90 в чистом виде при температуре 25 °С. Это серьезно отражается на конечной консистенции пластичной смазки. Наравне с церезином и озокеритом на повышение параметра пенетрации влияет и дисульфид молибдена, выступающий в большой концентрации в первую очередь как твердый наполнитель, а уже потом как дополнительный смазывающий агент. Еще одним фактором, приводящим к снижению пенетрации образцов, является повышенное содержание мыла в образце 5.

Коллоидная стабильность образцов имеет такой же, как и у прошлого параметра, характерный разброс, который объясняется градицией концентраций различных компонентов. В своем большинстве коллоидная стабильность образцов не отличается от показателей коллоидной стабильности, характерных для пластичных смазок на минеральном масле с литиевым загустителем. Отличается только образец 5, но даже такой показатель входит в диапазон нормальных значений, его пониженное значение, в отличие от других образцов, напрямую зависит от повышенных концентраций загустителя, а также церезина, озокерита и дисульфида молибдена, но в данном случае, если бы в данном составе отсутствовал дисульфид молибдена, то показатель коллоидной стабильности мог быть намного ниже, чем есть при данной рецептуре, и лежать в диапазоне значений 4–5 %. Это происходит из-за того, что дисульфид молибдена в больших концентрациях проявляет свойства загустителя, но, в отличие от мыла, которое лежит в основе пластичной смазки, он не образует такую развитую структуру с длинными молекулярными цепями, способными удержать масло внутри образующегося структурного каркаса.

Трибологические показатели образцов полностью зависят в основном от того, в каком количестве содержится в их составе дисульфид молибдена, но также синергетический эффект оказывает само мыло, так как оно тоже обладает противозносными и противозадирными характеристиками, также свой вклад вносит многофункциональная присадка А-22, позволяющая не разрушаться при малых нагрузках смазочной пленке на трущихся поверхностях.

Изменение показателей вымываемости изготовленных образцов по разработанной методике напрямую зависит от концентрации церезина и озокерита. В образцах с оптимальной рецептурой показатели вымываемости находятся примерно в одном диапазоне величин, отличие имеют только рецептуры с минимальным и максимальным содержанием. Рецептура с минимальным уровнем отличается повышенной вымываемостью из-за низкой концентрации церезина и озокерита. Рецептура

с максимальным уровнем наряду с пониженной вымываемостью имеет незначительное ухудшение других характеристик по сравнению с другими образцами с оптимальной рецептурой.

Показатели температуры замерзания произведённых образцов с оптимальной рецептурой находятся примерно в одном температурном диапазоне и составляют в среднем минус 40 °С, что характерно для смазок данного состава, в рецептурах оптимальных концентраций содержание церезина и озокерита незначительно влияет на низкотемпературные свойства, но при максимальной концентрации последних компонентов температура замерзания поднимается примерно на 10 °С. Такое изменение характеризуется большим содержанием церезина и озокерита, которые имеют твердое агрегатное состояние даже при нормальных условиях. Обратная зависимость наблюдается в рецептуре, где содержание церезина и озокерита является минимальным.

Предел прочности пластичной смазки, проверяющийся при двух температурах: 20 и 80 °С для всех образцов оптимальной рецептуры лежит в одном диапазоне, имея незначительные отклонения. Максимальные значения данного параметра демонстрируются в рецептуре с наивысшим уровнем: данное повышение при 20 °С напрямую зависит от высокого содержания загустителя и дисульфида молибдена, при 80 °С загуститель, в силу повышения температуры, немного размягчается, тем самым уменьшается предел прочности, но высокое содержание дисульфида молибдена дает обратный эффект, значительно повышая предел прочности, данное явление объясняется тем, что, в отличие от загустителя, на дисульфид молибдена температура не оказывает размягчающего действия, так как он при больших концентрациях играет в первую очередь роль твердого наполнителя.

Сравнение образцов произведённой пластичной смазки по оптимальным рецептурам со смазками Литол-24 и МС 1520 (RUBIN) EP2, позиционирующимися производителями как водостойкие пластичные смазки, будет производиться путем сравнения уже описанных ранее характеристик. По составу смазка МС 1520 (RUBIN) EP2 представляет собой смазку на основе минерального масла, загущенного литиево-кальциевым мылом с добавлением функциональных присадок, рассчитанных для высоких давлений. Литол-24 схож по составу с разработанной пластичной смазкой, он производится на основе минерального масла, загущенного литиевым мылом с добавлением антиокислительной присадки.

Температура каплепадения у сравниваемых смазок лежит в одном диапазоне значений, невзирая на то, что у них разные загустители.

Температура каплепадения литиевого мыла и литиево-кальциевого мыла лежит в одном температурном интервале и равна примерно 200 °С. Она соответствует пластичным смазкам, которые имеют верхний предел температурного использования в 120 °С.

Показатели пенетрации для сравниваемых смазок соответствуют указанным в нормативных документах.

Коллоидная стабильность сравниваемых смазок разительно отличается: у Литола-24 она составляет 11,05 %, а у пластичной смазки МС 1520 (RUBIN) EP2 равна 6,18 %. Данное различие напрямую зависит от двух факторов: во-первых, кинематическая вязкость базового масла в Литол-24

составляет порядка 70 мм²/с, а у МС 1520 — около 160 мм²/с, соответственно, можно сделать вывод, что чем больше вязкость базового масла, тем меньше коллоидная стабильность, но выбор значения вязкости напрямую зависит от того, при каких скоростях подшипников применяют ту или иную пластичную смазку, соответственно, чем меньше скорость смазываемых поверхностей, тем с большей кинематической вязкостью можно применять базовые масла пластичных смазок и наоборот.

Из часто рассматриваемых типологических характеристик была выбрана нагрузка сваривания как наиболее часто сравниваемый и показательный параметр. Нагрузка сваривания у Литол-24 составляет 1960 Н, что гораздо выше, чем прописано в нормативных документах. У смазки МС 1520 величина нагрузки сваривания равняется 1235 Н. Нагрузка сваривания у произведённых образцов оптимальной рецептуры значительно превышает показатели нагрузок сваривания сравниваемых пластичных смазок из-за наличия в составе дисульфида молибдена, который, помимо повышения нагрузочной способности пластичной смазки, также может выступать в качестве металлоплакатора, способного восстанавливать поверхность трения, заполняя собой микротрещины, препятствуя дальнейшему выкрашиванию металла.

Низкотемпературные свойства сравниваемых смазок серьезно отличаются между собой. Это напрямую зависит от низкотемпературных свойств базового масла и мыльного загустителя. В данном случае температура замерзания МС 1520, равная минус 20 °С, зависит от низкотемпературных свойств литиево-кальциевого загустителя и базового масла, связанных с высокой вязкостью последнего.

Кардинально противоположные свойства наблюдаются у смазки Литол-24, так как литиевый загуститель имеет большую работоспособность при меньших температурах. Низкотемпературные свойства произведённой пластичной смазки сравнимы, а в отдельном случае превосходят низкотемпературные свойства сравниваемых пластичных смазок.

Численные показатели предела прочности при 20 °С и 80 °С сильно отличаются у сравниваемых смазок. В данном случае уже непосредственную роль играет степень диспергирования загустителя. Показатели произведённых пластичных смазок равны пластичной смазке Литол-24 и немного превосходят МС 1520.

Показатели вымываемости пластичных смазок получены по разработанной методике, описанной в разделе «Описание методики вымываемости пластичных смазок». Процент вымытой смазки Литол-24 составляет 15,27 %, а уровень вымытой смазки МС 1520 — 55,72 %.

Полученные образцы имеют средний процент вымытой смазки, равный 10,38 %, что значительно меньше результатов сравниваемых смазок Литол-24 и МС 1520.

Заключение.

1. Разработаны пластичные смазки, стойкие к вымыванию водой из подшипников качения.
2. Были произведены образцы пластичных смазок, стойкие к вымыванию водой из подшипников.
3. Наилучшее значение по стойкости к вымыванию водой смазки из подшипников качения отмечается у образца, который имеет в своем составе одинаковое количество церезина, озокерита и дисульфида молибдена (по 10 % каждого компонента).

Библиографический список

1. Антонов С. А., Бартко Р. В., Никульшин П. А. [и др.]. Современное состояние разработок в области пластичных смазок // *Химия и технология топлив и масел*. 2021. № 2. С. 50–56. DOI: 10.32935/0023-1169-2021-624-2-50-56.
2. Жорник В. И., Ивахник А. В., Ивахник В. П. [и др.]. Взаимосвязь структуры дисперсной фазы пластичных смазок с их механической стабильностью // *Актуальные вопросы машиноведения*. 2016. Т. 5. С. 341–345.
3. Сафонов В. В., Азаров А. С. Трибологические свойства модификаций пластичных смазок // *Мехатроника, автоматика и робототехника*. 2019. № 4. С. 39–41. DOI: 10.26160/2541-8637-2019-4-39-41.
4. Антонов С. А., Кашин Е. В., Пиголева И. В. [и др.]. Разработка пластичных смазок с улучшенными низкотемпературными свойствами // *Нефтяное хозяйство*. 2016. № 10. С. 122–124.
5. Порфирьев Я. В., Попов П. С., Зайченко В. А. [и др.]. Влияние природы загустителя на характеристики низкотемпературных пластичных смазок // *Химия и технология топлив и масел*. 2019. № 5. С. 22–30.
6. Любинин И. А. Химотологические аспекты испытаний и применения пластичных смазок // *Мир нефтепродуктов. Вестник нефтяных компаний*. 2017. № 4. С. 32–37.
7. Сычев А. П., Мигаль Ю. Ф., Сычев А. А. Пластичная смазка для высокотемпературных узлов трения // *Новые материалы и технологии в машиностроении*. 2016. № 23. С. 53–55.
8. Tichy J., Menut M., Oumahi C. [et al.]. Grease flow based on a two-component mixture model // *Tribology International*. 2021. Vol. 153. 106638. DOI: 10.1016/j.triboint.2020.106638.
9. Sathwik Chatra K. R., Lugt P. M. Channeling behavior of lubricating greases in rolling bearings: Identification and characterization // *Tribology International*. 2020. Vol. 143. 106061. DOI: 10.1016/j.triboint.2019.106061.
10. Yadav G., Tiwari S., Jain M. L. Tribological analysis of extreme pressure and anti-wear properties of engine lubricating oil using four ball tester // *Materials Today: Proceedings*. 2018. Vol. 5. P. 248–253. DOI: 10.1016/j.matpr.2017.11.079.
11. Hui C., Piet L. M. Effect of start-stop motion on contact replenishment in a grease lubricated deep groove ball bearing // *Tribology International*. Vol. 157. 2021. 106882. DOI: 10.1016/j.triboint.2021.106882.
12. Корнеев С. В., Чуденкова В. Н., Смолоногов Д. С., Пашукевич С. В. Уменьшение вымываемости пластичных смазок // *Техника и технология нефтехимического и нефтегазового производства: материалы 10-й Междунар. науч.-техн. конф., Омск, 26–29 февраля 2020 года / редкол.: В. А. Лихолобов [и др.]. Омск: Изд-во ОмГТУ. 2020. С. 27–28.*

ПАШУКЕВИЧ София Вячеславовна, аспирант группы Ма-202 кафедры «Химия и химическая технология» Омского государственного технического университета, г. Омск.

SPIN-код: 5626-7085

ORCID: 0000-0002-8111-4725

Адрес для переписки: sofia96@bk.ru

Для цитирования

Пашукевич С. В. Разработка пластичной смазки, стойкой к вымыванию водой // *Омский научный вестник*. 2022. № 2 (182). С. 48–53. DOI: 10.25206/1813-8225-2022-182-48-53.

Статья поступила в редакцию 07.02.2022 г.

© С. В. Пашукевич