

УДК 665.765

ПОЛИМОЧЕВИННЫЕ СМАЗКИ С УЛУЧШЕННЫМИ ТРИБОЛОГИЧЕСКИМИ СВОЙСТВАМИ

Шикина Е.Е.¹, студент гр. ХТМ-25-03, I курс магистратуры

Научный руководитель: Килякова А.Ю.¹, к.т.н., доцент

¹ ФГАОУ ВО «РГУ нефти и газа (НИУ) имени И.М. Губкина»
г. Москва

Полимочевинные смазки занимают особое место среди пластичных смазок благодаря уникальному сочетанию термической стабильности (работоспособность до 180-220°C), водостойкости и химической инертности. Полимочевинный каркас выполняет преимущественно структурно-реологическую функцию, эффективно удерживая дисперсионную среду и обеспечивая долговременную стабильность свойств. Однако, как показывают исследования, для обеспечения защиты поверхностей трения в условиях высоких контактных нагрузок его собственных возможностей недостаточно [1].

Основная ниша полимочевинных смазок – высоконагруженные узлы трения, работающие в экстремальных тепловых режимах: подшипники редукторов ветроэнергетических установок, шпиндели высокоскоростных станков, узлы металлургического и горнодобывающего оборудования. В таких условиях одновременно действуют факторы, интенсифицирующие износ: повышенные температуры, снижающие вязкость базового масла и ускоряющие термодеструкцию обычных присадок; значительные ударные и циклические нагрузки; возможность попадания абразивных частиц и влаги [2].

Достижение высоких трибологических показателей (противозадирной стойкости, износостойкости, низкого коэффициента трения) для полимочевинных смазок становится не дополнительным преимуществом, а обязательным условием для реализации их главного достоинства – долговременной стабильности при высоких температурах. Без этого потенциально длительный ресурс смазки будет ограничен именно трибологическими отказами (задирами, схватыванием, катастрофическим износом), а не термической деградацией [3].

Цель работы – разработка полимочевинной смазки с улучшенными трибологическими свойствами за счёт введения многофункциональной беззольной присадки на основе соединений серы и азота, производной 1,3,4-тиадиазола, и дисульфида молибдена (MoS_2) в концентрациях, обеспечивающих повышение несущей способности и износостойкости без ухудшения других эксплуатационных свойств.

Объектами исследования выступили полимочевинная смазка на полиальфаолефиновом базовом масле ПАО-2 с концентрацией загустителя 12% масс. и образцы с добавлением присадки – производной 1,3,4-тиадиазола, в

концентрации 1-3% масс. и наполнителя MoS_2 в концентрации 8-10% масс. Образцы готовили механическим диспергированием присадки и наполнителя в смазке при помощи ручного гомогенизатора. Трибологические показатели: диаметр пятна износа, критическая нагрузки и нагрузка сваривания определяли по ГОСТ 9490-75 [4].

Полимочевинный загуститель готовился в процессе варки, путем растворения полиизоцианата и рофамина-Т в отдельных частях дисперсионной среды при перемешивании. При приготовлении загустителя массовое процентное соотношение полиизоцианата и рофамина-Т было принято 35% масс. и 65% масс. Такое соотношение обеспечивает полное протекание реакции образования загустителя без остатка непрореагировавших компонентов. Отмеченная пропорция позволяет сформировать структуру загустителя, придающую смазке необходимые эксплуатационные характеристики: высокую механическую стабильность, устойчивость к термическому и окислительному воздействию.

Низкая полярность базового масла ПАО-2 может привести к слабому смачиванию металлических поверхностей и недостаточной адгезии смазочного материала к трущимся деталям. А сам полимочевинный загуститель не обладает собственными противоизносными свойствами.

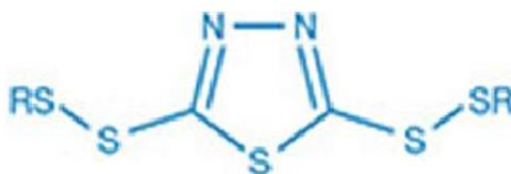
Для начала были проведены трибологические испытания образца полимочевинной смазки без присадок, чтобы была основа для сравнения. На четырехшариковой машине трения проводились испытания на диаметр пятна износа, критическую нагрузку и нагрузку сваривания. Полученные результаты представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Результаты испытаний на ЧШМТ смазки на ПАО-2 (загуститель 12% масс.)

Показатель	Значение
Диаметр пятна износа, мм, не более	0,63
Критическая нагрузка, Н	519,8
Нагрузка сваривания, Н	1235,6

Для улучшения трибологических свойств полученной смазки была добавлена многофункциональная беззольная присадка – производная 1,3,4-тиадиазола. Многофункциональная беззольная присадка на основе соединений серы и азота, производная 1,3,4-тиадиазола. Присадки, содержащие серу и азот, защищают рабочие поверхности от нагрузок с амплитудами от высокой до умеренной, от металлического контакта и от износа в режимах граничного или эластогидродинамического смазывания. Применяется в качестве высокоэффективного антиоксиданта, деактиватора цветных металлов, противоизносного и противозадирного агента (EP/AW), ингибитора коррозии для различных смазочных материалов, в том числе турбинных, циркуляционных, компрессорных, трансмиссионных, гидравлических маслах, в смазочно-охлаждающих жидкостях на синтетической и полусинтетической основах и пластичных смазках.

Химическая формула: 2,5-бис(т-додецилдитио)-1,3,4-тиадизол. Структурная химическая формула присадки представлена на рисунке 1.



R – додецил

Рисунок 1 – Структурная формула 2,5-бис(т-додецилдитио)-1,3,4-тиадизола

В соответствии с рекомендациями производителя концентрация присадки варьировалась в диапазоне 1-3% масс. Показатели качества смазки с присадкой – производной 1,3,4-тиадиазола, представлены в таблице 2.

Таблица 2 – Показатели качества смазки на ПАО-2 (загуститель 12% масс.) с присадкой

Содержание присадки, % масс.	Диаметр пятна износа, мм	Критическая нагрузка, Н	Нагрузка сваривания, Н
0	0,63	519	1235
1	0,53	784	1842
2	0,56	872	2195
3	0,60	1166	2764

Анализ экспериментальных данных показывает, что увеличение концентрации присадки приводит к значительному улучшению противозадирных свойств смазки – при введении 3% масс. нагрузка сваривания возрастает более чем в два раза. Однако зависимость диаметра пятна износа от содержания присадки носит нелинейный характер. На начальном этапе добавление 1% присадки вызывает резкое уменьшение диаметра пятна износа, но при дальнейшем повышении концентрации этот показатель постепенно увеличивается, практически возвращаясь к исходному значению. Такое поведение объясняется особенностями механизма действия противозадирной присадки: она формирует на поверхности металла мягкую защитную пленку, которая эффективно предотвращает задиры при экстремальных нагрузках, но одновременно ухудшает противоизносные характеристики за счет увеличения контактного трения. Это типичный компромисс, наблюдаемый для многих серосодержащих EP-присадок, когда улучшение одних эксплуатационных свойств неизбежно приводит к ухудшению других.

Для существенного улучшения эксплуатационных характеристик в экстремальных условиях работы в исходный образец смазки был добавлен MoS_2 в концентрации 8-10% масс. Показатели качества смазки с присадкой MoS_2 представлены в таблице 3.

Таблица 3 – Показатели качества смазки на ПАО-2 (загуститель 12% масс.) с наполнителем MoS₂

Содержание MoS ₂ , % масс.	Диаметр пятна износа, мм	Критическая нагрузка, Н	Нагрузка сваривания, Н
0	0,63	519	2450
8	0,68	980	2764
9	0,70	1039	3283
10	0,74	1381	3920

Так как ПАО-2 является неполярным синтетическим маслом и обладает низкой адгезией к металлическим поверхностям, наполнитель направлен на компенсацию этих ограничений. Дисульфид молибдена образует на поверхностях трения прочную слоистую пленку с низким коэффициентом трения, которая продолжает защищать узлы даже при полном выдавливании жидкой фазы.

При добавлении 10% масс. MoS₂ наблюдается неоднозначное влияние высоких концентраций наполнителя на трибологические характеристики смазочного материала. С одной стороны, можно отметить выраженное улучшение противозадирных свойств – нагрузка сваривания увеличилась в три раза, достигая значения 3920 Н. Однако параллельно можно отметить ухудшение противоизносных характеристик – диаметр пятна износа возрос до 0,74 мм. Такое поведение может быть связано с несколькими факторами: абразивным действием избыточного количества твердых частиц дисульфида молибдена, изменением реологических свойств смазочной композиции при высокой концентрации наполнителя, либо нарушением оптимального баланса между жидкой и твердой фазами смазки.

Было решено проверить синергизм действия многофункциональной присадки – производной 1,3,4-тиадиазола, и дисульфида молибдена. В качестве рабочих концентраций были взяты количества каждого из компонентов, показавших оптимальные значения, потому что важно было выявить не просто аддитивный эффект (когда действие присадок просто складывается), а именно синергизм, то есть ситуацию, когда их совместное действие оказывается сильнее, чем сумма отдельных эффектов. Если использовать те же концентрации, что и при одиночных испытаниях, можно пропустить этот усиленный эффект, так как он может маскироваться избыточным количеством веществ. Значения трибологических показателей полученного образца смазочного материала представлены в таблице 4.

Таблица 4 – Результаты поиска синергизма действия присадки и дисульфида молибдена в смазке на ПАО-2 (загуститель 12% масс.)

Содержание присадки, % масс.	Содержание MoS ₂ , % масс.	Диаметр пятна износа, мм	Критическая нагрузка, Н	Нагрузка сваривания, Н
1	8	0,54	980	3479

В ходе экспериментов удалось разработать образец смазочного материала с улучшенными эксплуатационными характеристиками по сравнению с исходным составом. Полученный материал демонстрирует сбалансированные показатели качества, включая оптимальные трибологические свойства. Показатели качества полученной полимочевинной смазки представлены в таблице 5.

Таблица 5 – Показатели качества полимочевинной смазки на ПАО-2 (загуститель 12% масс, присадка – 1% масс. и MoS₂ – 8% масс.)

Показатель	Значение	Метод испытания
Пенетрация при 25°C, 10 ⁻¹ мм, в пределах	319	ГОСТ 5346
Класс по NLGI	1	ГОСТ 5346
Температура каплепадения, °C, не ниже	211	ГОСТ 6793
Цвет	Темно-серый	Визуально
Диапазон рабочих температур, °C	От -20 до +200	
Вязкость кинематическая базового масла при -40 °C, мм ² /с, в пределах	318	ASTM D445
Вязкость кинематическая базового масла при 100 °C, мм ² /с, не менее	1,75	ГОСТ 33
Массовая доля воды, % масс., не более	Отсутствие	ГОСТ 2477
Диаметр пятна износа, мм, не более	0,54	ГОСТ 9490
Нагрузка сваривания, Н, не более	3479	ГОСТ 9490
Коллоидная стабильность при 25 °C, % масс., не более	5	ГОСТ 7142

В результате проведенного исследования получен смазочный материал с улучшенными трибологическими показателями. Данную смазку можно рекомендовать к применению в автоматических централизованных системах смазки экскаваторов для прокачки к зубчатым зацеплениям в качестве замены импортного смазочного материала Shell Gadus S5 V150XKD 1 [5].

Дальнейшие исследования будут направлены на изучение высокотемпературных свойств модифицированных полимочевинных смазок для достижения баланса между термостойкостью и эксплуатационными характеристиками.

Список литературы:

1. Перспективные загустители пластичных смазок / А.С. Суровцев, А.В. Песковец, А.Ю. Килякова, Л.Н. Багдасаров // Нефтепереработка и нефтехимия. Научно-технические достижения и передовой опыт. – 2023. – № 1. – С. 27-30.

2. Уреатные (полимочевинные) пластичные смазки (обзор) / А. С. Лядов, Ю. М. Максимова, А. С. Шахматова [и др.] // Журнал прикладной химии. – 2018. – Т. 91, № 6. – С. 761-771.
3. Kenneth E. Bannister Practical Lubrication for Industrial Facilities / Kenneth E. Bannister – Fourth Edition. – Alsbjergvej 10, 9260 Gistrup, Den. – pp. 12-22.
4. ГОСТ 9490-75. Материалы смазочные жидкие и пластичные. Метод определения трибологических характеристик на четырехшариковой машине [Текст]. – М.: Госстандарт СССР, 1975.
5. Смазка пластичная Shell Gadus S5 V150XKD 1 (18 кг) // GM-Formula – URL: <https://www.gmformula.ru/shop/smazka-plastichnaja-gadus-s5-v150xkd-1-18-kg/?ysclid=ma60rctez3549066073> (дата обращения: 30.03.2026).