

ПОВЫШЕНИЕ ТРОПИКОСТОЙКОСТИ УРЕАТНЫХ ПЛАСТИЧНЫХ СМАЗОК

© 2024 г. А. С. Лядов^{1,*}, А. А. Кочубеев¹,
Ю. В. Костина¹, Во Тхи Ле Куен², Фам Дай Зыонг²

¹Институт нефтехимического синтеза им. А. В. Топчиева РАН,
г. Москва, 119991 Россия

²Совместный Российско-Вьетнамский Тропический научно-исследовательский
и технологический центр,
Социалистическая Республика Вьетнам, г. Ханой, 122045 Вьетнам
E-mail: *lyadov@ips.ac.ru

Поступила в редакцию 9 ноября 2024 г.

После доработки 4 декабря 2024 г.

Принята к публикации 26 декабря 2024 г.

В работе представлены результаты длительных натурных испытаний уреатных пластичных смазок: исследуемые образцы экспонировались в условиях тропического климата Вьетнама в течение 18 мес. С целью повышения устойчивости уреатных смазок к неблагоприятным факторам окружающей среды тропического климата изучено введение в их состав структурного модификатора на основе органомонтмориллонита марки Cloisite-20. Показано, что введение структурного модификатора позволяет сохранять структурно-механические свойства смазки без существенных изменений при длительном воздействии неблагоприятных факторов тропического климата Вьетнама (например, относительное снижение предела прочности для смазки с модификатором не превышало 20–25%). Таким образом, при создании композиций уреатных пластичных смазок можно рекомендовать вводить в их состав структурные модификаторы при эксплуатации в условиях тропического климата.

Ключевые слова: смазочное материаловедение, уреатные пластичные смазки, климатическое воздействие, тропический климат, деградация пластичной смазки, структурный модификатор

DOI: 10.31857/S0028242124060094, **EDN:** MFCANY

Использование смазочных материалов в современной технике позволяет обеспечить безопасную, длительную и экономически эффективную эксплуатацию движущихся механизмов [1]. В узлах трения, в которых смазочный материал должен длительное время удерживаться на трещущихся поверхностях, или в случаях, когда подача жидкого масла невозможна, используют пластичные смазки, обладающие комплексом физико-химических и эксплуатационных свойств, обеспечивающих должный уровень защиты поверхностей [2]. На работоспособность смазки, помимо механического и термического, могут оказывать воздействие неблагоприятные факторы окружающей среды (например, влажность, УФ-излучение, температура и др.) [3, 4].

С целью установления влияния факторов окружающей среды на физико-химические и эксплуатационные свойства функциональных материалов требуется проведение длительных натурных испытаний в условиях, приближенных к реальной эксплуатации. С целью получения адекватных экспериментальных данных длительность таких исследований может достигать нескольких лет [5, 6].

Одним из направлений совместных исследований Института нефтехимического синтеза им. А. В. Топчиева РАН и Совместного Российско-Вьетнамского тропического научно-исследовательского и технологического центра является натурное изучение процессов деграда-

ции уреатных пластичных смазок при воздействии факторов тропического климата Вьетнама и создание подходов, позволяющих получать композиции уреатных смазок, устойчивых к таким воздействиям.

В качестве объектов исследования были выбраны смазки, загущенные димочевинами, так как они обладают повышенной термической, химической и механической стабильностью по сравнению с мыльными смазками и находят все более широкое применение, особенно в ответственных узлах трения [7, 8].

Ранее в работе [9] были представлены результаты, демонстрирующие изменение свойств уреатной смазки после семи месяцев экспонирования, а также влияние введения в ее состав гидрофобизированного модификатора на основе органомонтмориллонита марки Cloisite-20. Показано, что за такой промежуток времени происходит снижение предела прочности и уменьшение количества отделяемого масла при измерении коллоидной стабильности исследуемых образцов. Было предположено, что деградация смазки в условиях тропического климата в первую очередь связана с разрушением трехмерного структурного каркаса, формируемого загустителем. Также были получены неоднозначные данные по воздействию введения модификатора на устойчивость смазочного материала в процессе экспонирования.

Данная работа является логическим продолжением исследования, описанного в [9]. Цель исследования — изучение особенностей изменения физико-химических свойств немодифицированных и модифицированных органомонтмориллонитом уреатных смазок при длительном экспонировании (в течение 7, 12 и 18 месяцев) на трех климатических испытательных станциях Тропического центра на территории Вьетнама.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЧАСТЬ

Для экспонирования в условиях тропического климата была выбрана уреатная пластичная смазка, полученная загущением смеси синтетических базовых масел димочевиной, получаемой при взаимодействии полиметиленфенилизоцианата, анилина и смеси первичных жирных аминов. Модификацию смазки осуществляли путем механического добавления к ней 1 мас.% гидро-

фобизированного органомонтмориллонита марки Cloisite-20. Подробное описание объектов исследования приведено в работе [9].

Образцы смазок размещали для длительного экспонирования на двух климатических испытательных станциях (КИС) и многофункциональной научно-исследовательской и испытательной станции (МНИИС) Тропического центра:

1. КИС Хоа Лак, пригород г. Ханоя, район влажного тропического климата (тропический муссонный). Образцы размещали на двух стенах: на открытой травяной и бетонной площадках под навесом;

2. МНИИС Дам Бай, залив Нячанг, остров Че, район морского тропического климата. Образцы размещали на открытой травяной площадке;

3. КИС Кан Зо, район г. Хошимина, зона мангровых лесов с прибрежным морским тропическим климатом. Образцы размещали на двух стенах: на открытой травяной и бетонной площадках под навесом.

Образцы пластичных смазок в открытых чашках Петри размещали на специально оборудованных площадках, снятие образцов с экспонирования осуществляли через 7, 12 и 18 месяцев. Для исходных смазок и смазок после экспонирования были определены базовые физико-химические показатели: температура каплепадения (ГОСТ 6793-74 “Нефтепродукты. Метод определения температуры каплепадения”), предел прочности (ГОСТ 7143-73 “Смазки пластичные. Метод определения предела прочности и термоупрочнения” (метод А)), коллоидная стабильность (ГОСТ 7142-74 “Смазки пластичные. Методы определения коллоидной стабильности”). Трибологические характеристики полученных смазок изучали на четырехшариковой машине трения (ГОСТ 9490-75 “Материалы смазочные жидкие и пластичные. Метод определения трибологических характеристик на четырехшариковой машине”).

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

На рис. 1 приведены фотографии пластичных смазок, которые находились на экспонировании на КИС Дам Бай и Кан Зо и размещались на травяных площадках. Внешний вид смазок с других площадок принципиально не отличал-

ся от представленных на рисунке. Немодифицированная смазка постепенно изменяла свой цвет, становясь более темной при увеличении длительности экспонирования, и за 18 месяцев ее цвет изменился от светло-коричневого до бурого. Цвет модифицированной смазки через семь месяцев становился темно-коричневым и при дальнейшем экспонировании не претерпевал существенных изменений. Цвет смазок, которые были размещены на открытых площадках, был более темным, чем у смазок, размещенных под навесами, что косвенно свидетельствует о более интенсивном протекании некоторых процессов под действием УФ-излучения, причем в присутствии наполнителя эти процессы интенсивнее, чем у смазок без него. Следует отметить, что ранее [9] нами было установлено, изменений в химической структуре смазок на основании анализа их ИК-спектров выявлено не было.

Для выявления происходящих с исследуемыми смазками превращений для всех образцов были определены основные физико-химические показатели, которые обычно используют для оценки свойств пластичных смазок. Измененные значения температуры каплепадения, коллоидной стабильности, предела прочности и диаметра пятна износа приведены в табл. 1.

Введение модификатора практически не сказывается на изменении температуры каплепадения (233°C — немодифицированная смазка и 237°C — модифицированная смазка). При экспонировании наблюдается снижение температуры каплепадения для всех образцов; при этом для немодифицированной смазки снижение более выражено и в некоторых случаях достигает 15%, для модифицированной смазки максимальное снижение температуры каплепадения не превышает 6%, что является несущественным.

Длительность экспонирования, мес.	МНИИС Дам Бай (Нячанг), травяная площадка		КИС Кан Зо (Хошимин), травяная площадка	
	немодифицированная смазка	модифицированная смазка	немодифицированная смазка	модифицированная смазка
0				
7				
12				
18				

Рис. 1. Изменение внешнего вида уреатных пластичных смазок в ходе экспонирования в различных местах на территории Вьетнама.

Таблица 1. Основные физико-химические свойства исследуемых уреатных пластичных смазок после 7, 12 и 18 месяцев экспонирования в климатических условиях Вьетнама

Образец	Испытательная станция	Температура каплепадения, °С	Коллоидная стабильность при 20°C, % выделившегося масла	Прелеп прочности при 20°C, Па	Диаметр пятна износа, мм							
					7	12	18	7	12	18		
Длительность экспонирования, мес.												
Исходный образец до экспонирования		233	11.6	650	61	61	61	61	61	61	61	
Немодифицированная пластиичная уреатная смазка на основе синтетических базовых масел	КИС Хоа Лак (Ханой), под навесом	222	224	222	9.9	12.25	16.18	520	436	134	0.51	
	КИС Хоа Лак (Ханой), открытая бетонная площадка	225	204	200	10.2	17.12	17.79	500	187	80	0.68	
	МИИС Дам Бай (Нячанг), открытая травяная площадка	220	216	214	10.8	14.38	13.41	510	237	109	0.68	
	КИС Кан Зо (Хошимин), под навесом	230	224	217	10.7	15.89	17.14	520	106	60	0.51	
	КИС Кан Зо (Хошимин), открытая травяная площадка	220	213	211	10.1	15.02	14.23	500	267	258	0.52	
	Исходный образец до экспонирования	237	7.84	837	837	837	837	837	837	837	61	
Модифицированная пластиичная уреатная смазка на основе синтетических базовых масел	КИС Хоа Лак (Ханой), под навесом	239	236	234	5.17	5.26	4.95	820	815	750	1.04	
	КИС Хоа Лак (Ханой), открытая бетонная площадка	236	229	226	5.32	4.36	4.52	780	720	710	1.06	
	МИИС Дам Бай (Нячанг), открытая травяная площадка	238	236	231	4.29	4.20	4.11	750	736	790	0.89	
	КИС Кан Зо (Хошимин), под навесом	239	236	227	5.30	5.12	4.36	639	542	478	1.02	
	КИС Кан Зо (Хошимин), открытая травяная площадка	234	225	225	5.28	4.99	4.25	649	581	437	0.86	
	Исходный образец до экспонирования	237	7.84	837	837	837	837	837	837	837	61	

Длительность экспонирования не оказывает значимого отрицательного влияния на температуру каплепадения исследуемых смазок.

Более значимые изменения происходят с показателями, отражающими структурные особенности смазок, а именно с пределом прочности и коллоидной стабильностью. Первая из них — важнейший физико-химический показатель пластичных смазок — предел их прочности, отражающий структурно-механические свойства смазочного материала, и снижение значения которого негативно сказывается на эксплуатационных свойствах смазки, в том числе и на длительность ее работы в узле трения. Из начальное введение гидрофобизированного органомонтмориллонита в состав исходной смазки увеличивает предел ее прочности более чем на 20%.

В табл. 1 представлены абсолютные значения предела прочности, а на рис. 2 — зависимость относительного уменьшения предела прочности от длительности и условий экспонирования.

Смазка без модификатора при длительном воздействии факторов тропического климата быстро теряет свою структурно-механическую прочность (предел прочности уменьшается на 80–90%), что обусловлено разрушением трехмерного каркаса смазки, образованного загустителем. Введение структурного модификатора позволяет сохранять предел прочности смазки при длительном экспонировании без существенных изменений. Наиболее значительные изменения предела прочности наблюдались на КИС Кан Зо (Хошимин), где предел прочности у модифицированной смазки после 18 мес. экспонирования снижался более чем на 40%. Такое изменение,

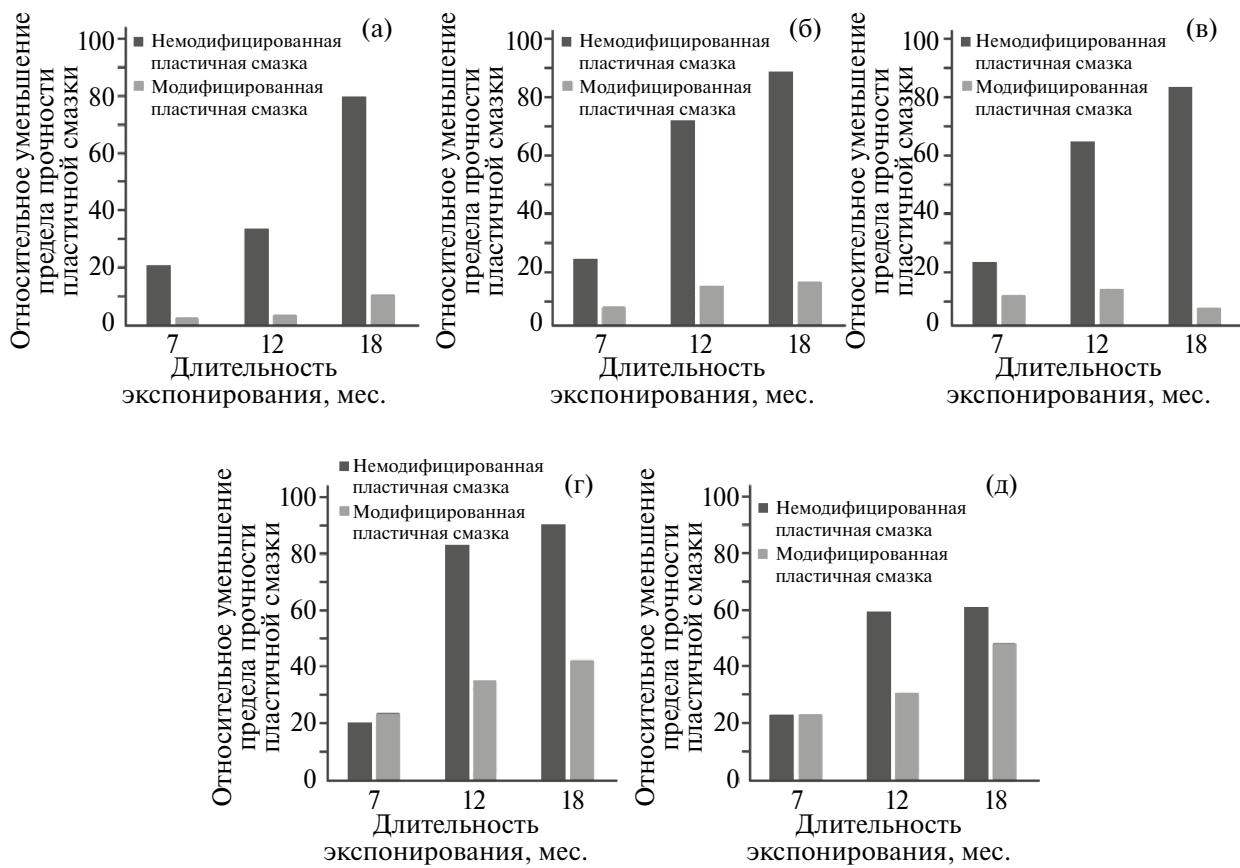


Рис. 2. Зависимость относительного уменьшения предела прочности от длительности и условий экспонирования: а) КИС Хоа Лак (Ханой) под навесом, б) КИС Хоа Лак (Ханой) открытая бетонная площадка, в) МНИИС Дам Бай (Нячанг) открытая травяная площадка, г) КИС Кан Зо (Хошимин) под навесом, д) КИС Кан Зо (Хошимин) открытая травяная площадка.

возможно, связано с комплексным воздействием неблагоприятных факторов (высокие температура, влажность и более жесткое УФ-излучение), которые более выражены именно в этой местности.

Введение структурообразующего модификатора в состав пластичной смазки привело к улучшению коллоидной стабильности, что выражалось в снижении количества отделяемого масла с 11.6% для немодифицированной смазки до 7.84% для модифицированной. При экспонировании немодифицированной смазки через 7 месяцев наблюдается абсолютное снижение на 1–2% количества отделяемого масла при определении коллоидной стабильности, что связано с испарением части базового масла при термическом воздействии окружающей среды, и затем наблюдается линейный рост количества отделяемого масла при увеличении времени экспонирования, что свидетельствует о снижении коллоидной стабильности смазки, вследствие разрушения структурного каркаса.

В случае модифицированной смазки через 7 месяцев также происходит снижение количества отделяемого масла (на 2–3% в абсолютном выражении), но с увеличением длительности экспонирования коллоидная стабильность не претерпевает изменений, что свидетельствует о стабилизации структурного каркаса наполнителем.

Наблюдаемые изменения коллоидной стабильности хорошо согласуются с изменением противоизносных свойств смазок. Введение наполнителя в исходную смазку приводит к улучшению противоизносных свойств, что выражается в снижении диаметра пятна износа с 0.79 мм для немодифицированной смазки до 0.61 мм для модифицированной. В ходе экспонирования немодифицированной смазки происходит уменьшение диаметра пятна износа (в некоторых случаях более чем 2 раза), что обусловлено увеличением количества отделяемого масла, то есть снижением коллоидной стабильности. В то же время для модифицированной смазки наблюдается увеличение диаметра пятна износа примерно на 40–50% при уменьшении количества отделяемого масла примерно на 35–40%. Рост количества отделяемого масла при определении коллоидной стабильности для немодифицированной смазки является неблагоприятным явлением в процессе длительного

экспонирования, даже несмотря на улучшения противоизносных свойств. Введение наполнителя, хоть и приводит к некоторому ухудшению в процессе экспонирования противоизносных свойств, сохранность коллоидной стабильности смазки в долгосрочной перспективе имеет более важное значение для рабочего ресурса смазочного материала.

Для сравнения изменения свойств пластичных смазок при экспонировании в условиях тропического климата Вьетнама для всех образцов был рассчитан условный индекс изменения свойств смазок, который представляет собой среднее арифметическое нормированных относительных значений изменения температуры каплепадения, предела прочности, коллоидной стабильности и диаметра пятна износа (рис. 3); при этом вклад каждого показателя принят равнозначным. Данный показатель отражает относительное изменение комплекса физико-химических свойств смазки от исходного состояния в ходе экспонирования. С увеличением длительности экспонирования индекс для немодифицированной смазки существенно возрастает, что свидетельствует о высоком уровне деградации пластичной смазки. Например, при экспонировании на бетонной площадке на КИС Хоа Лак (Ханой) происходят изменения свойств пластичной смазки более чем в три раза по отношению к исходному образцу. Для немодифицированной смазки более выражено и влияние условий экспонирования: индекс изменения свойств более высокий для смазок, экспонировавшихся на бетонной площадке, где тепловое воздействие более значимо по сравнению с площадкой под на-весом. Данный факт подтверждает вывод о том, что тепловое воздействие вносит наибольший вклад в деградацию уреатных смазок при длительном экспонировании.

Введение в состав пластичной смазки структурного наполнителя способствует увеличению стабильности смазочного материала. Несмотря на то, что после первых семи месяцев натурных испытаний индекс изменения свойств для модифицированной смазки был больше, чем у немодифицированной на всех площадках, дальнейшее экспонирование не приводит к каким-либо существенным изменениям свойств смазки (значение индекса находится на уровне 6–7). Введение структурного модификатора не позволяет полностью избежать деградации уреатной смазки в начале экспонирования,

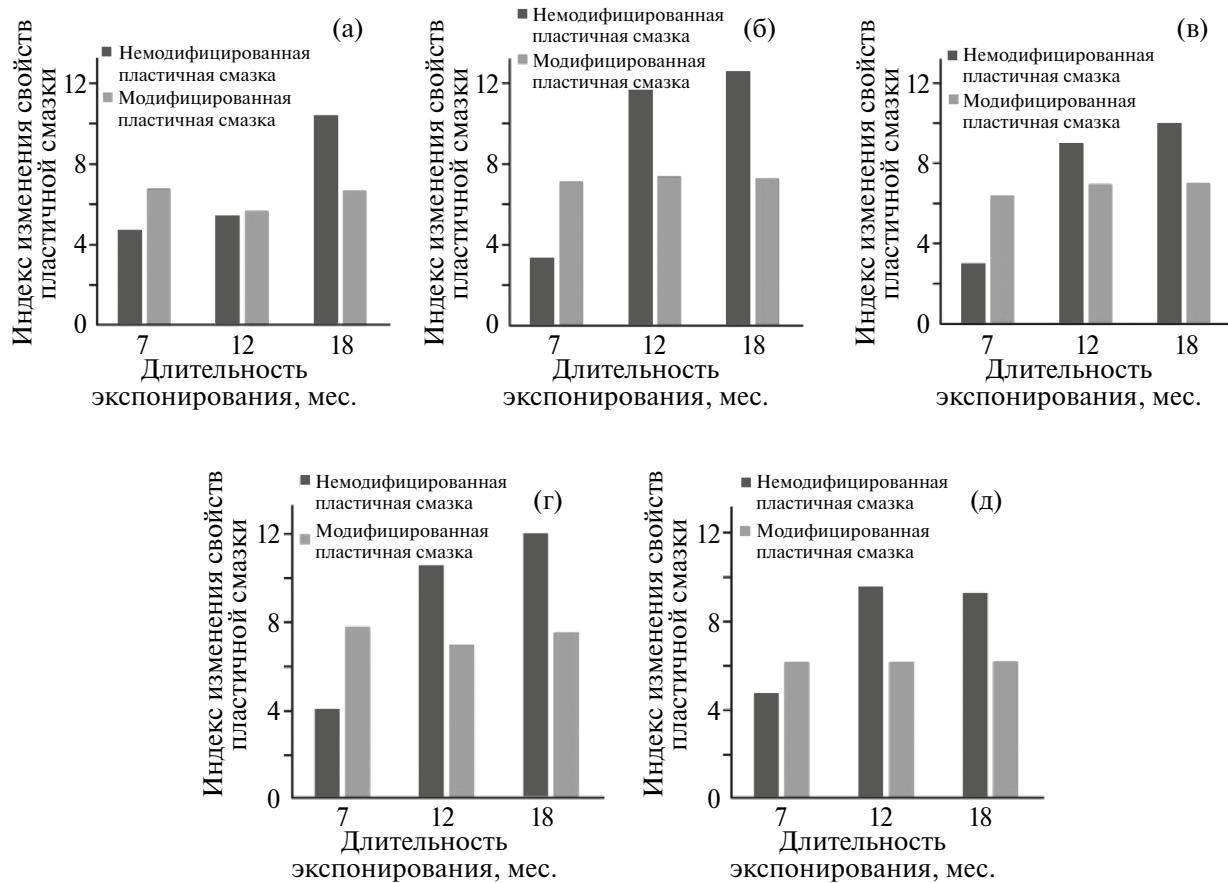


Рис. 3. Сравнение изменения свойств пластичных смазок в ходе длительного экспонирования: а) КИС Хоа Лак (Ханой) под навесом, б) КИС Хоа Лак (Ханой) открытая бетонная площадка, в) КИС Дам Бай (Нячанг) открытая травяная площадка, г) КИС Кан Зо (Хошимин) под навесом, д) КИС Кан Зо (Хошимин) открытая травяная площадка.

но при длительном воздействии неблагоприятных условий тропического климата позволяет сохранять физико-химические свойства на уровне, обеспечивающем работоспособность пластичной смазки.

Таким образом, показана эффективность введения гидрофобизированного органомонтмориллонита марки Cloisite-20 как структурного модификатора в состав пластичных смазок для повышения устойчивости при длительном комплексном воздействии факторов окружающей среды в условиях натурных испытаний на климатических станциях Тропического центра.

ФИНАНСИРОВАНИЕ РАБОТЫ

Работа выполнена в рамках государственного задания Института нефтехимического синтеза

им. А.В. Топчиева РАН и при финансовой поддержке совместного Российско-Вьетнамского Тропического научно-исследовательского и технологического центра — проект “Разработка научных основ создания многоцелевых уреатных пластичных смазок, устойчивых к биологическому воздействию в условиях тропического климата” (Эколан Т-1.8).

КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ

А.С. Лядов является членом редакционной коллегии журнала “Нефтехимия”, остальные авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов, требующего раскрытия в данной статье.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Лядов Антон Сергеевич, к.х.н., вед.н.с, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9969-7706>

Кочубеев Александр Александрович, мл.н.с., ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5760-8453>

Костина Юлия Вадимовна, д.х.н., доцент, вед.н.с., ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5494-7687>

Во Тхи Ле Куен (Vo Thi Le Quyen), к.х.н., н.с., ORCID: <https://orcid.org/0009-0004-1928-1356>

Фам Даи Зыонг (Pham Dai Duong), н.с., ORCID: <https://orcid.org/0009-0004-1676-6876>

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Cousseau T. Grease lubrication: formulation effects on tribological performance // In "Tribology of Machine Elements-Fundamentals and Applications". Eds. G. Pintaude, T. Cousseau and A. Rudawska. London: Intech Open, 2021. 284 p.
<https://doi.org/10.5772/intechopen.101549>
2. Lugt P.M. A review on grease lubrication in rolling bearings // Tribology Transactions. 2009. V. 52. № 4. P. 470–480.
<https://doi.org/10.1080/10402000802687940>
3. Li H., Zeng Q., Fan M., Pang Z., Wang J., Liang Y. Recent progress in high-temperature greases: constitutive relationships, mechanisms and applications // Friction. 2024.
<https://doi.org/10.26599/FRICT.2025.9440951>
4. Rezasoltani A., Khonsari M.M. On monitoring physical and chemical degradation and life estimation models for lubricating greases // Lubricants. 2016. V. 4. № 3. Article 34.
<https://doi.org/10.3390/lubricants4030034>
5. Buttery M., Lewis S., Kent A., Bingley R., Cropper M. Long-term storage considerations for spacecraft lubricants // Lubricants 2020. V. 8. № 3. Article 32. <https://doi.org/10.3390/lubricants8030032>
6. Менделеев Д.И., Легков С.А., Тихомиров В.А., Куренков В.В., Белоуско М.А., Hoang Q.C., Герасин В.А. Натурные испытания стабильности композитов полиэтилена с органоминеральными биоцидными добавками в водных средах // Высокомол. соед. Серия А. 2023. Т. 65. № 1. С. 72–80.
<https://doi.org/10.31857/S2308112023700360>
7. Lyadov A.S., Maksimova Yu.M., Shakhamatova A.S., Kirillov V.V., Parenago O.P. Urea (polyurea) greases // Russ. J. of Applied Chemistry. 2018. V. 91. № 6. P. 885–894. <https://doi.org/10.1134/S1070427218060010>
8. Rawat S.S., Harsha A.P. Current and future trends in grease lubrication // In: "Automotive Tribology. Energy, Environment, and Sustainability". Eds. J. Katiyar, S. Bhattacharya, V. Patel, V. Kumar. Springer, Singapore, 2019. P. 147–182.
https://doi.org/10.1007/978-981-15-0434-1_9
9. Lyadov A.S., Kochubeev A.A., Kostina Yu.V., Le Anh Tuan, Pham Dai Duong. Effects of the tropical climate of vietnam on the properties of synthetic greases with urea thickeners // Petrol. Chemistry. 2023. V. 63. P. 1002–1008.
<https://doi.org/10.1134/S0965544123060233>
[Лядов А.С., Кочубеев А.А., Костина Ю.В., Ле Ань Туан, Фам Даи Зыонг. Воздействие тропического климата Вьетнама на свойства синтетических пластичных смазок с уреатными загустителями // Нефтехимия. 2023. Т. 63. № 4. С. 606–613.
[https://doi.org/10.31857/S0028242123040147\].](https://doi.org/10.31857/S0028242123040147)