

ВОЗДЕЙСТВИЕ ТРОПИЧЕСКОГО КЛИМАТА ВЬЕТНАМА НА СВОЙСТВА СИНТЕТИЧЕСКИХ ПЛАСТИЧНЫХ СМАЗОК С УРЕАТНЫМИ ЗАГУСТИТЕЛЯМИ

© 2023 г. А. С. Лядов^{1,*}, А. А. Кочубеев¹, Ю. В. Костина¹,
Ле Ань Туан (Le Anh Tuan)², Фам Дай Зыонг (Pham Dai Duong)²

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

² Совместный Российско-Вьетнамский Тропический научно-исследовательский и технологический центр,
Социалистическая Республика Вьетнам, г. Ханой, 122045 Вьетнам

*E-mail: lyadov@ips.ac.ru

Поступила в редакцию 25 июля 2023 г.

После доработки 20 августа 2023 г.

Принята к публикации 18 сентября 2023 г.

Впервые изучено воздействие тропического климата трех регионов Социалистической Республики Вьетнам на свойства синтетических пластичных смазок с уреатными загустителями при их экспонировании в течение семи месяцев в условиях климатических станций Совместного Российско-Вьетнамского Тропического научно-исследовательского и технологического центра. Показано, что при этом времени экспонирования происходит снижение предела прочности и уменьшение количества отделяемого масла при измерении коллоидной стабильности у исследуемых образцов: при этом, однако, не обнаружено значимых изменений в химическом составе смазок, что было подтверждено методом ИК-спектроскопии. Таким образом, можно предполагать, что деградация уреатных смазок в условиях тропического климата прежде всего связана с изменениями коллоидной структуры смазочного материала, однако, данный факт требует подтверждения при более длительном времени экспонирования и на большем количестве образцов смазок, полученных на основе базовых масел различной природы. Также установлено, что введение гетерогенного модификатора в состав уреатной смазки негативно сказывается на стойкости смазки в условиях тропического климата.

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

DOI: 10.31857/S0028242123040147, **EDN:** OQGOJL

ВВЕДЕНИЕ

Эксплуатация современной техники, имеющей конструкционные узлы трения, невозможна без использования эффективных смазочных материалов, в том числе пластичных смазок, обеспечивающих их безопасную и длительную работоспособность [1, 2]. Хорошо известно, что условия эксплуатации оказывают значимое воздействие на свойства пластичных смазок [3], что, в свою очередь, обуславливает периодичность их замены в узле трения и тем самым способствует увеличению операцион-

ных затрат. Большая часть исследований [4–6] в области смазочного материаловедения посвящена анализу зависимости свойств используемых смазочных материалов от условий, возникающих в узлах трения в режиме эксплуатации. При этом в научной литературе не описаны исследования, посвященные изучению влияния условий окружающей среды на свойства смазок при их применении или хранении, хотя хорошо известно, что ненадлежащее хранение смазочных материалов может приводить к их деградации и, как следствие, –

к ухудшению рабочего состояния узлов трения. Существует ряд технических руководств, в которых обсуждаются вопросы минимизации негативного воздействия неблагоприятных факторов в процессе хранения [7]. Основное внимание при хранении пластичных смазок, в том числе и при воздействии неблагоприятных факторов, уделяется вопросам разрушения коллоидной структуры смазки, что выражается в отделении масла, использованного ранее при создании смазки. Таким образом, изучение воздействия факторов окружающей среды на сохранность смазочных материалов, а также установление механизмов их деградации – актуальное направление современного смазочного материаловедения.

В последнее время широкое распространение, особенно в странах с высоким уровнем развития инновационной техники, получили пластичные смазки, загущенные ди- и олигомолекулами различного строения [8]. Так называемые уреатные, или полимочевинные, смазки обладают рядом преимуществ по сравнению с мыльными смазками [9]. Они характеризуются исключительной термической стабильностью и влагостойкостью, что делает их перспективными смазочными материалами для стран с жарким и влажным климатом.

Институт нефтехимического синтеза им. А.В. Топчиева РАН вместе с Совместным Российско-Вьетнамским тропическим научно-исследовательским и технологическим центром проводит исследования в различных областях смазочного материаловедения, в том числе по изучению воздействия климатических факторов на процесс деградации уреатных смазок. Данная публикация – первая в цикле статей, посвященных изучению процесса деградации уреатных пластичных смазок в условиях тропического климата Вьетнама.

Цель данного исследования – установление особенностей изменения физико-химических свойств пластичных уреатных смазок на основе синтетических базовых масел при экспонировании в условиях тропического климата Вьетнама за короткий промежуток времени (7 месяцев).

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЧАСТЬ

Для экспонирования в условиях тропического климата была выбрана уреатная пластичная смаз-

ка, полученная на основе смеси синтетических базовых масел. Такие пластичные смазки находят широкое применение для смазывания трущихся поверхностей в авиационной, энергетической, бумажной, пищевой и керамической промышленности; их особенностью является работоспособность при контакте с агрессивными средами и водяным паром. Смазка была произведена Акционерным обществом «Электрогорский институт нефтепереработки имени академика Хаджиева Саламбека Наибовича» путем загущения смеси синтетических базовых масел и введением в состав необходимых функциональных присадок. На ее основе был приготовлен образец модифицированной синтетической уреатной пластичной смазки. В качестве модификатора использовали органо-монтмориллонит Cloisite-20; для этого его вводили в исходную пластичную смазку в количестве 1 мас. % путем перемешивания в течение 60 мин. Компонентные составы используемых в исследовании смазок представлены в табл. 1.

Натурные испытания по выявлению особенностей воздействия факторов тропического климата проводили путем экспонирования образцов пластичных смазок на климатических испытательных станциях Совместного Российско-Вьетнамского Тропического научно-исследовательского и технологического центра. Особенности тропического климата и условий экспонирования представлены в табл. 2. Образцы пластичных смазок помещали в чашки Петри и размещали на специально оборудованных для этого площадках, отбор образцов через 7 месяцев экспонирования.

Для всех смазок были определены следующие базовые физико-химические свойства: температура каплепадения (ГОСТ 6793-74 «Нефтепродукты. Метод определения температуры каплепадения»), предел прочности (ГОСТ 7143-73 «Смазки пластичные. Метод определения предела прочности и термоупрочнения»), 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»). Дополнительно были определены кислотные чис-

Таблица 1. Компонентные составы уреатных пластичных смазок

Образец	Компонент
Немодифицированная уреатная пластичная смазка на основе синтетических базовых масел	<i>Дисперсионная среда:</i> полиальфаолефиновое масло марки ПАОМ-12 и сложноэфирное масло марки СНП 7300* (ПАОМ-12/СНП 7300=7/3) <i>Компоненты загустителя:</i> анилин технический, полиметиленифенилизоцианат марки VORATEC SD 100 и смесь первичных аминов марки Рофамин-Т <i>Присадки:</i> трикрезилфосфат, неозон-А, Additin RS 8210
Модифицированная уреатная пластичная смазка на основе синтетических базовых масел	<i>Дисперсионная среда:</i> полиальфаолефиновое масло марки ПАОМ-12 и сложноэфирное масло марки СНП 7300* (ПАОМ-12/СНП 7300=7/3) <i>Компоненты загустителя:</i> нилин технический, полиметиленифенилизоцианат марки VORATEC SD 100 и смесь первичных аминов марки Рофамин-Т <i>Присадки:</i> трикрезилфосфат, неозон-А, Additin RS 8210 <i>Модификатор:</i> монтмориллонит марки Cloisite-20

* Российский аналог масла Nycobase® 7300 (сложный эфир триметилпропана).

Таблица 2. Условия экспонирования пластичных смазок

Климатическая станция	Расположение	Особенности климата	Месяц	Температура, °С (день/ночь)	Количество осадков, мм	Особенности экспонирования
Хоа Лак	Пригород г. Ханоя	Район влажного тропического климата (тропический муссонный)	Декабрь	23/16	29	Образцы размещали на двух стендах: на открытой травяной и бетонной площадках под навесом
			Январь	21/15	43	
			Февраль	24/17	20	
			Март	27/20	40	
			Апрель	31/22	75	
			Май	34/25	166	
Дам Бай	Залив Нячанг, остров Че	Район морского тропического климата	Июнь	36/27	204	Образцы размещали на открытой травяной площадке
			Декабрь	26/22	238	
			Январь	25/21	110	
			Февраль	26/21	49	
			Март	28/22	74	
			Апрель	30/23	111	
Кон Зо	Район Хошимина	Зона мангровых лесов с прибрежным морским тропическим климатом	Май	31/25	189	Образцы размещали на двух стендах: на открытой травяной и бетонной площадках под навесом
			Июнь	31/25	165	
			Декабрь	32/24	66	
			Январь	33/23	38	
			Февраль	35/24	20	
			Март	36/26	39	
			Апрель	35/27	159	
			Май	34/27	314	
			Июнь	32/26	386	

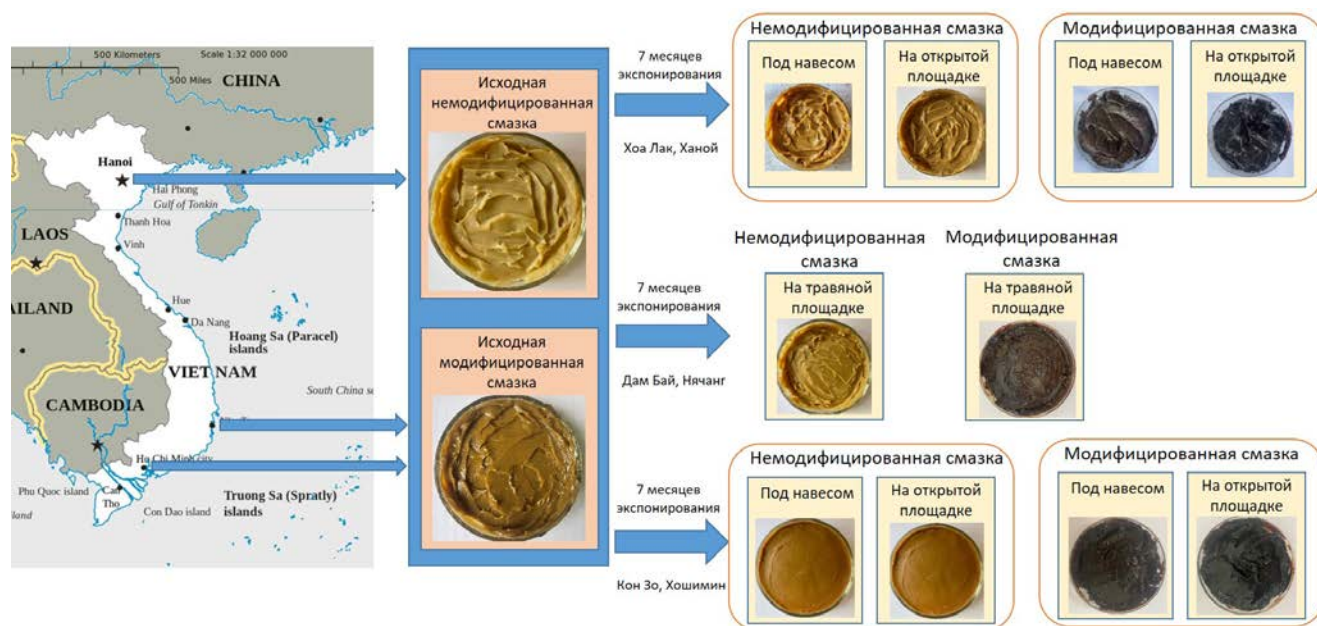


Рис. 1. Внешний вид уреатных пластичных смазок на основе смеси синтетических базовых масел после семи месяцев экспонирования на различных климатических испытательных станциях Совместного Российско-Вьетнамского Тропического научно-исследовательского и технологического центра (см. карту).

ла смазок в соответствии с ГОСТ 6707-76 «Смазки пластичные. Метод определения свободных щелочей и свободных органических кислот».

Для установления возможных химических изменений, происходящих со смазками в процессе экспонирования, использовали метод ИК-спектроскопии. Образцы смазок наносили на подложку из KBr, прозрачную в ИК-области. ИК-спектры нарушенного полного внутреннего отражения (ИК-НПВО-спектры) регистрировали на ИК-Фурье спектрометре IFS 66 v/s (Bruker), используя НПВО-приставку (кристалл ZnSe, разрешение 2 см^{-1}), в диапазоне $4000\text{--}600\text{ см}^{-1}$. Обработку спектров проводили в ПО «OPUS» (Bruker).

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

На рис. 1 представлен внешний вид исходной пластичной смазки и этой же смазки после 7 месяцев экспонирования на климатических станциях, в том числе при различных вариантах экспонирования – на открытых площадках с разным покрытием (трава, бетон) или под навесами.

Немодифицированная смазка в процессе натурных испытаний практически не изменила свой внешний вид, можно лишь отметить незначительное

потемнение. Модифицированная смазка, наоборот, при экспонировании под действием различных факторов окружающей среды во всех случаях изменяла свой цвет на более темный; при этом в случае размещения на открытых площадках цвет смазки становился более темным по сравнению со смазками, расположенными под навесами. По всей видимости, введение в состав смазки неорганического наполнителя способствует протеканию фотохимических превращений компонентов смазки с образованием темных продуктов. Другие визуальные изменения свойства смазок не были зафиксированы, следов биологических (бактериального или грибкового) повреждений на поверхности смазок после экспонирования не обнаружено.

Ранее было показано [10], что введение наполнителей в состав уреатных пластичных смазок позволяет улучшить некоторые физико-химические свойства. В рамках настоящего исследования в состав уреатной смазки на основе синтетических базовых масел, обладающих невысоким значением коллоидной стабильности (более 10% отделение масла в ходе испытания), вводили монтмориллонит Cloisite-20, что позволило более чем на 30% повысить коллоидную стабильность смазки. Введение наполнителя привело и к улучшению проти-

Таблица 3. Основные физико-химические свойства пластичных смазок после семи месяцев экспонирования в климатических условиях Вьетнама

Образец	Климатические испытательные станции (КИС)	Температура каплепадения, °С	Коллоидная стабильность при 20°С, % выделившегося масла	Диаметр пятна износа, мм
Немодифицированная уреатная пластичная смазка на основе синтетических базовых масел	Исходный образец	233	11.6	0.79
	КИС Хоа Лак (Ханой), под навесом	222	9.9	0.51
	КИС Хоа Лак (Ханой), открытая бетонная площадка	225	10.2	0.68
	КИС Дам Бай (Нячанг), открытая травяная площадка	220	10.8	0.68
	КИС Кан Зо (Хошимин), под навесом	230	10.7	0.51
	КИС Кан Зо (Хошимин), открытая травяная площадка	220	10.1	0.52
	Исходный образец	237	7.8	0.61
Модифицированная уреатная пластичная смазка на основе синтетических базовых масел	КИС Хоа Лак (Ханой), под навесом	239	5.2	1.04
	КИС Хоа Лак (Ханой), открытая бетонная площадка	236	5.3	1.06
	КИС Дам Бай (Нячанг), открытая травяная площадка	238	4.3	0.89
	КИС Кан Зо (Хошимин), под навесом	239	5.3	1.02
	КИС Кан Зо (Хошимин), открытая травяная площадка	234	5.3	0.86

воизносных свойств (диаметр пятна износа уменьшился до 0.61 мм), а также позволило повысить исходную механическую прочность смазки, о чем свидетельствует более высокое значение предела прочности по сравнению с немодифицированной смазкой.

Для установления действия окружающей среды тропического климата были определены основные физико-химические свойства смазок после экспонирования (табл. 3). Прежде всего следует отметить, что значимого изменения температуры каплепадения как для немодифицированного, так и модифицированного образцов смазок не отмечено: абсолютное изменение показателя не превышало 5%. Определение кислотного числа смазок до и после экспонирования показало, что образование свободных органических кислот при экспонировании

не происходит: значение кислотного числа (0.6–0.7 мгКОН/г смазки) оставалось в пределах ошибки измерения.

Анализ ИК-НПВО-спектров также не показал различий в составе смазок до и после экспонирования (рис. 2). Положение максимумов и относительная интенсивность полос поглощения функциональных групп не изменили свои значения, т.е. окисления или деструкции смазок с изменением химического состава не произошло вне зависимости от места и условий экспонирования.

Как и следовало ожидать, при экспонировании происходит изменение показателя коллоидной стабильности для обеих смазок. Для немодифицированной смазки при экспонировании на всех площадках коллоидная стабильность улучшалась примерно на 10%, а для модифицированного об-

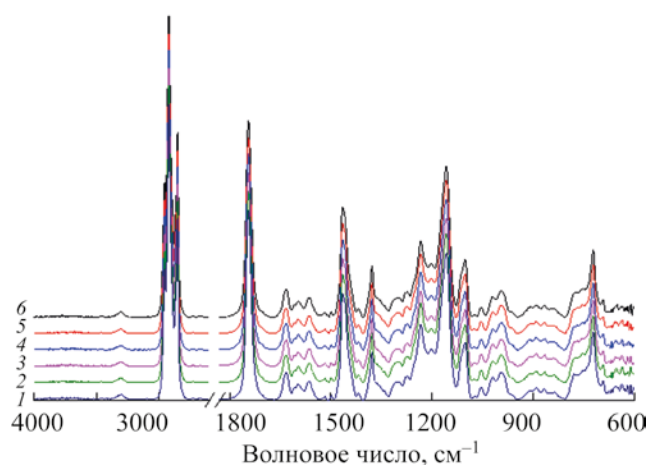


Рис. 2. ИК-НПВО-спектры образцов модифицированной пластичной смазки уреатной на основе синтетических базовых масел до (кривая 1) и после семи месяцев экспонирования в условиях: Хоа Лак, под навесом (кривая 2); Хоа Лак, бетонная площадка (кривая 3); Дам Бай, травяная площадка (кривая 4); Кан Зо, травяная площадка (кривая 5); Кан Зо, под навесом (кривая 6).

разца наблюдали снижение количества отделяемого масла более чем на 40%. Улучшение коллоидной стабильности в процессе экспонирования объясняется прежде всего тем, что в условиях жаркого климата Вьетнама происходит испарение некоторого количества базового масла, что и приводит к условному улучшению коллоидной стабильности.

При этом данный факт не свидетельствует в целом о повышении качества смазочного материала в процессе воздействия тропического климата.

Для обеих смазок нахождение в условиях тропического климата приводит к уменьшению предела прочности (рис. 3). Определение пределов прочности при разных температурах позволяет сделать вывод о том, что модифицированная смазка в большей степени подвержена деструкции при воздействии факторов окружающей среды, так как с увеличением температуры от 20 до 80°C предел прочности уменьшается более чем в 3 раза, в то время как у немодифицированной смазки эта же зависимость имеет меньшее значение тангенса угла наклона.

Противоизносные свойства модифицированной смазки после экспонирования заметно ухудшаются, что выражается в увеличении диаметра пятна износа. Из-за изменения структуры смазки, частицы модификатора оказываются менее стабилизированы и начинают проявлять негативные противоизносные свойства смазочного материала. Диаметр пятна износа немодифицированной смазки в свою очередь, наоборот несколько снижается после семи месяцев экспонирования, что может быть объяснено также частичным разрушением структурного каркаса; при этом при воздействии нагрузки в процессе определения диаметра пятна износа проис-

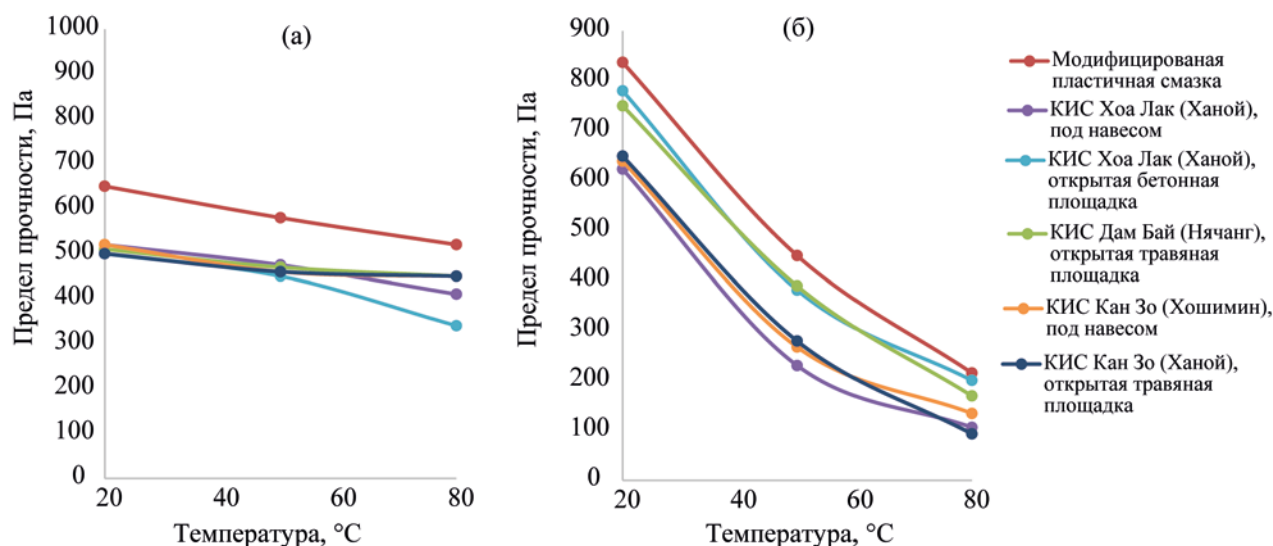


Рис. 3. Зависимость предела прочности от температуры его определения для немодифицированной (а) и модифицированной пластичных (б) смазок до и после экспонирования.

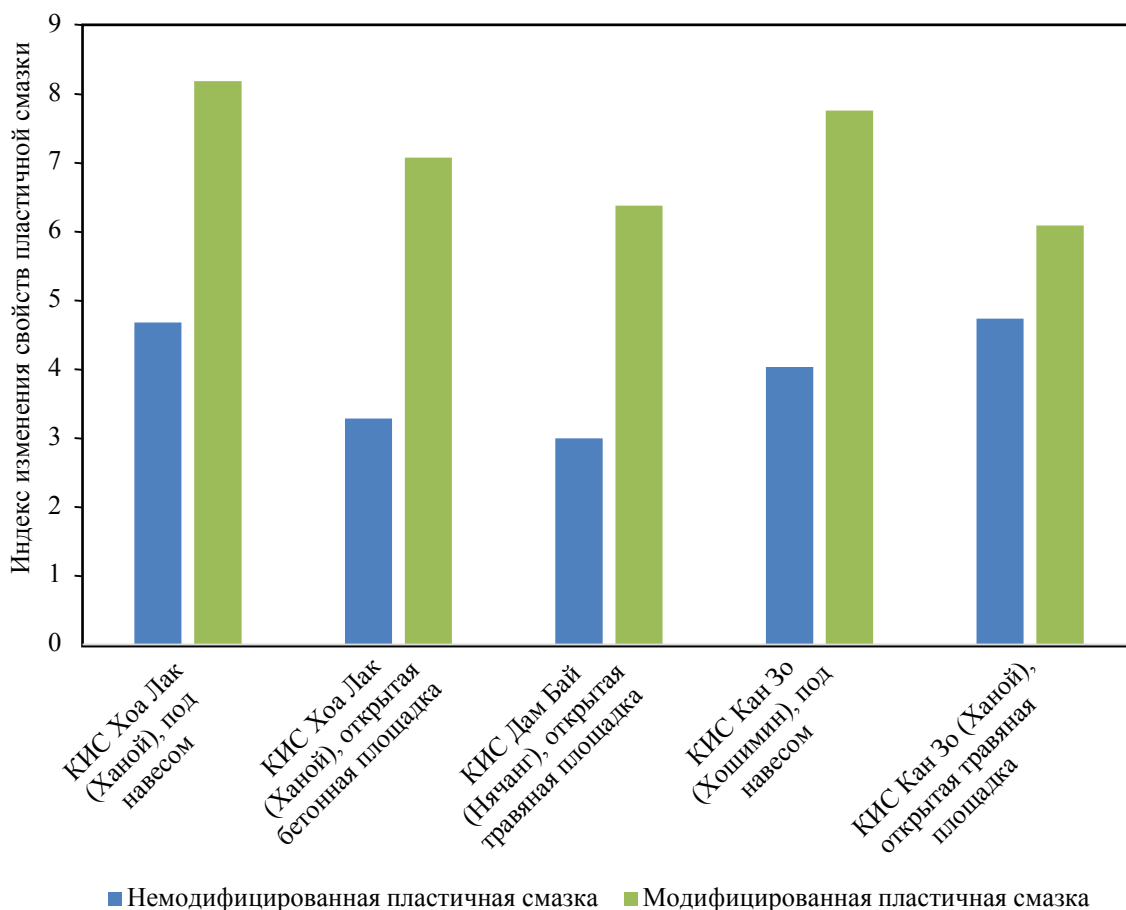


Рис. 4. Сравнение изменения свойств пластичных смазок при экспонировании.

ходит выделение несколько большего количества масла, что способствует улучшению противоизносных свойств.

Для сравнения изменения свойств пластичных смазок при экспонировании в условиях тропического климата Вьетнама 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. 4); при этом вклад каждого показателя принят равнозначным. Можно отметить, что устойчивость модифицированной пластичной смазки в 1.5–2 раза меньше, чем у немодифицированной, а также то, что в условиях тропического морского климата (КИС Дам Бай, Нячанг) пластичная смазка в меньшей степени подвержена деструкции.

Таким образом, в ходе исследования было установлено, что уреатные смазки на основе синтетических базовых масел при воздействии факторов окружающей среды (температура, влажность и др.) тропического климата подвержены деструкции, которая в течение короткого промежутка времени (семь месяцев) натурального экспонирования выражается в изменении структуры смазочного материала, что подтверждается ухудшением структурно-механических свойств (прежде всего уменьшением предела прочности) и отсутствием значимых изменений в химическом составе до и после экспонирования. Показано, что при экспонировании происходит уменьшение количества отделяемого масла при определении коллоидной стабильности, что, обусловлено, по-видимому, испарением некоторого количества компонентов пластичной смазки.

Введение гетерогенного модификатора в состав смазки является дополнительным негативным фак-

тором, влияющим на структурно-механическую прочность смазки при воздействии тропического климата. Для достоверного установления механизма деструкции уреатных пластичных смазок предполагается проведение более длительного экспонирования в условиях тропического климата Вьетнама уреатных смазок, полученных на основе базовых масел различной природы.

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», другие авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов, требующего раскрытия в данной статье.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

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

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

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

Ле Ань Туан (Le Anh Tuan), н.с.; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4171-9949>

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

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Lugt P.M.* Modern advancements in lubricating grease technology // *Tribology International*. 2016. V. 97. P. 467–477. <https://doi.org/10.1016/j.triboint.2016.01.045>
2. *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. Singapore: Springer, 2019. https://doi.org/10.1007/978-981-15-0434-1_9
3. *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>
4. *Kawamura T., Minami M., Hirata M.* Grease life prediction for sealed ball bearings // *Tribology Transactions*. 2001. V. 44. № 2. P. 256–262. <https://doi.org/10.1080/10402000108982456>
5. *Cann P.M., Webster M.N., Doner J.P., Wikstrom V., Lugt P.* Grease degradation in R0F bearing tests // *Tribology Transactions*. 2007. V. 50. № 2. P. 187–197. <https://doi.org/10.1080/10402000701261003>
6. *De Laurentis N., Kadiric A., Lugt P., Cann P.* The influence of bearing grease composition on friction in rolling/sliding concentrated contacts // *Tribology International*. 2016. V. 94. P. 624–632. <https://doi.org/10.1016/j.triboint.2015.10.012>
7. *Lawrence G.L.* Storing grease to avoid bleed and separation. <https://www.machinerylubrication.com/Read/28761/storing-grease-to-avoid-bleed-separation-> (дата обращения: 14.07.2023).
8. *Lyadov A.S., Maksimova A.Yu.M., Shakhmatova 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>
9. Effect of preparation process on elevated temperature tribological properties of composite polyurea grease // *Industrial Lubrication and Tribology*. 2016. V. 68. № 5. P. 611–616. <https://doi.org/10.1108/ILT-12-2015-0199>
10. *Lyadov A.S., Yarmush Yu.M., Parenago O.P.* Colloidal stability of greases based on oils with organic thickening agents // *Russ. J. of Applied Chemistry*. 2019. V. 92. № 12. P. 1805–1809. <https://doi.org/10.1134/S107042721912023X>