

## КОЛЛОИДНАЯ СТАБИЛЬНОСТЬ ПЛАСТИЧНЫХ СМАЗОК НА ОСНОВЕ СИНТЕТИЧЕСКИХ БАЗОВЫХ МАСЕЛ С ОРГАНИЧЕСКИМИ ЗАГУСТИТЕЛЯМИ

© А. С. Лядов, Ю. М. Ярмуш, О. П. Паренаго

Институт нефтехимического синтеза им. А. В. Топчиева РАН,  
119991, г. Москва, Ленинский пр., д. 29  
E-mail: lyadov@ips.ac.ru

Поступила в Редакцию 1 октября 2019 г.  
После доработки 11 октября 2019 г.  
Принята к публикации 11 октября 2019 г.

*Коллоидная стабильность пластичных смазок — один из важнейших физико-химических показателей, который характеризует их работоспособность, оказывает влияние на механопрочностные и трибологические свойства. В результате комплексного исследования коллоидной стабильности пластичных смазок на основе синтетических базовых масел с органическими загустителями показано, что она в заметной степени зависит от целого ряда факторов, таких как природа базового масла и загустителя, наличие наполнителей, условия синтеза и др. Комбинация этих факторов позволяет получать пластичные смазки с требуемыми показателями коллоидной стабильности.*

Ключевые слова: *пластичные смазки; сложные эфиры; ПАОМ; органический загуститель; коллоидная стабильность; наполнитель*

DOI: 10.1134/S0044461819120090

Эксплуатация современных машин и механизмов, включающих разнообразные узлы трения и обеспечивающих функционирование промышленных предприятий и транспорта, невозможна без применения смазочных материалов и специальных жидкостей, использование которых позволяет значительно увеличить срок их службы, повысить надежность и безопасность, а также снизить операционные затраты на эксплуатацию [1, 2]. По мере развития и усложнения механизмов требования, предъявляемые к используемым маслам и пластичным смазкам, становятся все более жесткими, что зачастую не позволяет применять традиционные смазочные материалы, вырабатываемые на основе компонентов нефтяного, животного или растительного происхождения. В последнее десятилетие достигнуты значительные успехи в синтезе

синтетических базовых масел IV и V групп (полиальфаолефины, сложные эфиры, производные нафталина и дициклопентадиена и др.) с улучшенными физико-химическими и эксплуатационными свойствами по сравнению с маслами природного происхождения, которые стали широко применяться при создании композиций смазочных материалов [3, 4]. Важное значение синтетические смазочные материалы имеют при эксплуатации технических средств в экстремальных условиях при высоких нагрузках, скоростях и сверхнизких температурах в условиях Арктики и Крайнего Севера. Пластичные смазки, вырабатываемые на основе синтетических базовых масел различной природы, находят широкое применение в узлах трения различного назначения, при этом в качестве загустителей в последнее время использу-

ются органические соединения различного состава и (или) строения (ди- и олигомочевины, производные целлюлозы и др.) [5–7]. Отказ от использования загустителей на основе неорганических солей высших жирных карбоновых кислот позволяет создавать композиции смазок, полностью подвергающиеся биологической деструкции в природных условиях, что делает их применение экологически безопасным [8].

В ряде работ [9, 10] было показано, что пластичные смазки, получаемые на основе синтетических базовых масел и органических загустителей, не всегда обладают требуемыми физико-химическими характеристиками, что может ограничивать области их применения. Особенно это касается такого показателя, как коллоидная стабильность, который характеризует работоспособность смазки, так как частичное или полное выделение масла делает ее непригодной для эксплуатации. Коллоидная стабильность смазок определяется, с одной стороны, свойствами дисперсионной среды (базового масла), а с другой — спецификой и особенностями строения структурного каркаса, формируемого загустителем.

Цель настоящей работы — установление закономерностей, влияющих на коллоидную стабильность пластичных смазок на основе синтетических базовых масел и органического загустителя (димочевины), а также разработка способов улучшения коллоидной стабильности.

### Экспериментальная часть

Для приготовления пластичных смазок использовали два синтетических базовых масла: ДОСт (сложный эфир себадиновой кислоты и 2-этилгексанола, вязкость при 100°C 3.1 сСт) и ПАОМ-10 (полиальфаолефиновое масло, вязкость при 100°C 10.1 сСт). Пластичные смазки получали путем синтеза загустителя *in situ* в базовом масле, для этого компоненты загустителя [диизоцианат, амины и (или) спирт] в необходимом соотношении вводили в предварительно нагретое до 90°C масло при интенсивном перемешивании. При этом наблюдали повышение вязкости реакционной массы и формирование пластичной смазки. Затем полученную смесь, как правило, выдерживали

**Таблица 1**  
Состав синтезированных пластичных смазок

№ образца	Состав базового масла, мас%		Загуститель			
			количество загустителя, мас%	диизоцианат*	компонент 1	компонент 2
1	ПАОМ-10		20	ТДИ	н-Гексиламин	—
2			20	»	»	Анилин
3			20	»	»	н-Гексанол
4			20	»	н-Гексанол	Анилин
5			20	МДИ	н-Гексиламин	»
6			10	ТДИ	»	»
7			15	»	»	»
8			25	»	»	»
9	ДОСт		20	»	»	—
10			20	»	»	Анилин
11			20	»	»	н-Гексанол
12			20	»	н-Гексанол	Анилин
13			20	МДИ	н-Гексиламин	»
14			10	ТДИ	»	»
15			15	»	»	»
16			25	»	»	»
17	16 ДОСт	84 ПАОМ-10	20	»	»	»
18	34 ДОСт	66 ПАОМ-10	20	»	»	»
19	50 ДОСт	50 ПАОМ-10	20	»	»	»
20	66 ДОСт	34 ПАОМ-10	20	»	»	»

\* ТДИ — толуолдиизоцианат, МДИ — 4,4'-дифенилметандиизоцианат.

в течение 30 мин при 140°C при перемешивании и охлаждали до комнатной температуры. Таким образом, был получен ряд смазок, различающихся базовым маслом, составом и количеством загустителя, а также наличием дополнительных компонентов. Состав синтезированных пластичных смазок приведен в табл. 1.

С целью улучшения коллоидной стабильности пластичных смазок в их состав вводили коммерчески доступные активированный уголь марки БАУ-А и микрокристаллическую целлюлозу Floccell 102.

Коллоидную стабильность смазок (%) определяли с помощью аппарата типа АКС-20 (БСКБ «Нефтехимавтоматика») по стандартной методике в соответствии с ГОСТ 7142–74 «Смазки пластичные. Методы определения коллоидной стабильности», согласно которой определяли количество масла, отпрессованного из смазки. Коллоидную стабильность измеряли при 50°C и массе нагружения 1000 г, если не указано иное.

### Обсуждение результатов

В табл. 2 представлены значения коллоидной стабильности пластичных смазок, полученных с использованием масел ПОАМ-10 и ДОСт и органических загустителей, синтезированных *in situ* взаимодействием диизоцианатов ТДИ или МДИ с аминами и спиртом, в качестве амина использовали н-гексилламин и анилин, в качестве спирта — н-гексилламин. Амины и спирт были выбраны с одинаковым числом атомов углерода, чтобы исключить влияние размера алкильных групп на коллоидную стабильность. Было найдено,

что формирование пластичных смазок происходит при синтезе загустителей *in situ*, за исключением взаимодействия ТДИ с н-гексанолом и анилином. Использование чистого н-гексилламина или смеси н-гексилламина и н-гексанола при синтезе загустителя также не приводило к получению смазок с приемлемыми значениями коллоидной стабильности. Однако дополнительное введение анилина способствовало значительному повышению коллоидной стабильности. Таким образом, наилучшим загустителем является димочевина, полученная при взаимодействии ТДИ со смесью н-гексилламина и анилина. Замена диизоцианата (ТДИ на МДИ) при формировании загустителя не приводит к существенному изменению коллоидной стабильности пластичных смазок при использовании в качестве базового масла как ПАОМ-10, так и ДОСт.

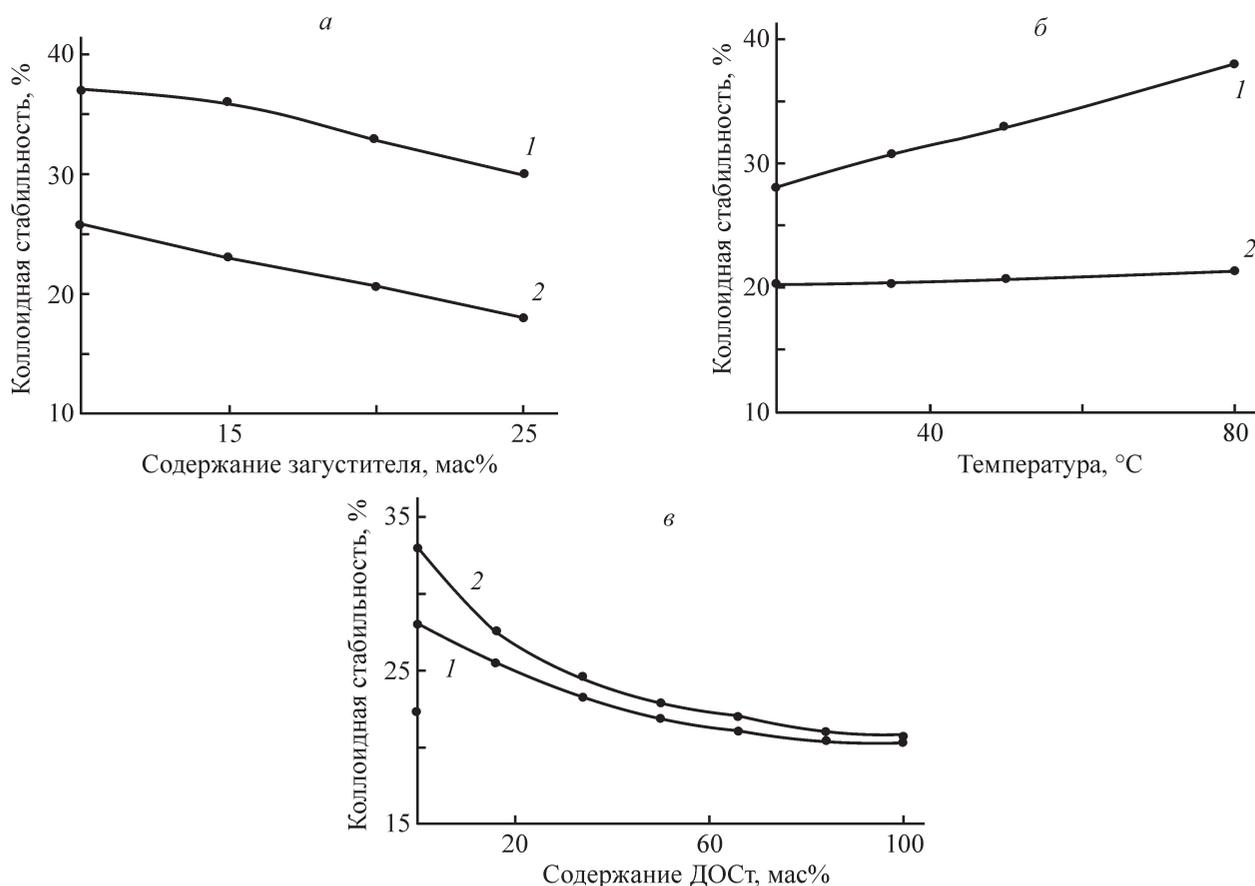
Известно [6], что условия приготовления смазок оказывают влияние на их физико-химические и эксплуатационные свойства. Было изучено влияние времени и температуры выдержки пластичной смазки после формирования загустителя на коллоидную стабильность. Оказалось, что длительность выдержки не оказывает особого влияния на коллоидную стабильность смазок, изменение которой при увеличении времени от 30 мин до 3 ч изменяется примерно на 1–2%. Температура выдержки оказывается более существенным фактором, увеличение температуры на 20–40° позволяет улучшить величину коллоидной стабильности примерно на 5–7%.

Увеличение массовой доли органического загустителя в составе смазок приводит к улучшению колло-

Таблица 2

Влияние природы органического загустителя на коллоидную стабильность пластичных смазок

№ образца	Базовое масло	Загуститель	Коллоидная стабильность, %
1	ПАОМ-10	ТДИ + н-гексилламин, 20%	39.7
2		ТДИ + н-гексилламин + анилин, 20%	32.9
3		ТДИ + н-гексилламин + н-гексанол, 20%	40.5
4		ТДИ + н-гексанол + анилин, 20%	Жидкая
5		МДИ + н-гексилламин + анилин, 20%	32.5
9	ДОСт	ТДИ + н-гексилламин, 20%	27.9
10		ТДИ + н-гексилламин + анилин, 20%	20.1
11		ТДИ + н-гексилламин + н-гексанол, 20%	Жидкая
12		ТДИ + н-гексанол + анилин, 20%	29.1
13		МДИ + н-гексилламин + анилин, 20%	21.5



Влияние на коллоидную стабильность содержания загустителя (1 — пластичная смазка на основе ПАОМ-10 с загустителем ТДИ + н-гексиламин + анилин, 2 — ДОСт с загустителем ТДИ + н-гексиламин + анилин) (а); температуры (1 — пластичная смазка на основе ПАОМ-10 с загустителем ТДИ + н-гексиламин + анилин, 2 — ДОСт с загустителем ТДИ + н-гексиламин + анилин) (б), соотношения ПАОМ-10/ДОСт (1 — при 20°C, 2 — при 50°C, загуститель ТДИ + н-гексиламин + анилин) (в).

**Таблица 3**  
Влияние наполнителей на коллоидную стабильность

Смазка	Наполнитель	Количество наполнителя, мас%	Коллоидная стабильность, %
Образец № 2	—	0	32.9
	БАУ-А	1	27.0
		5	24.3
Образец № 10	Flocell 102	1	31.1
		5	28.5
	—	0	20.1
БАУ-А	1	15.4	
	5	11.3	
Flocell 102	1	18.3	
	5	15.7	

идной стабильности, что выражается в уменьшении количества отпрессованного масла из образца пластичной смазки. Природа базового масла при этом не отражается на характере изменения коллоидной стабильности при варьировании количества загустителя.

Коллоидная стабильность смазки на основе ДОСт практически не зависит от температуры измерения, в то время как в случае смазки на основе ПАОМ-10 при увеличении температуры в 4 раза коллоидная стабильность ухудшалась примерно на 10%, что может негативным образом сказываться на сроках ее эксплуатации в условиях повышенной температуры (см. рисунок, б). Очень часто для придания пластичным смазкам определенных свойств при их получении используют смеси базовых масел. На рисунке, в показано влияние увеличения доли базового масла ДОСт в смеси с ПАОМ-10: с ростом количества ДОСт происходит улучшение коллоидной стабильности смазки. Каких-либо синергических эффектов использования смесевых синтетических базовых масел при получении пластичных смазок в ходе исследования обнаружено не было.

Введение дополнительных компонентов (присадок, наполнителей и др.) [11–13] в состав пластичных смазок позволяет улучшить физико-химические и эксплуатационные свойства. Изменять коллоидную стабильность смазок можно при введении пористых компонентов, которые способны удерживать часть базового масла, что обеспечивает улучшение коллоидной стабильности, при этом значительным образом могут улучшаться и другие свойства, например трибологические. В качестве наполнителей были использованы активированный уголь марки БАУ-А и микрокристаллическая целлюлоза Flocell 102, массовую долю которых варьировали от 1 до 5 мас% (табл. 3).

Введение активированного угля и целлюлозы приводит к улучшению коллоидной стабильности синтезированных смазок, причем в случае использования активированного угля эффект выражен более явно. Увеличение количества наполнителя также благоприятно влияет на коллоидную стабильность.

### Выводы

В ходе проведенного исследования показано, что увеличение содержания загустителя, введение наполнителей, а также длительная термическая обработка смазок в процессе их получения способствуют улучшению коллоидной стабильности. Найденные закономерности имеют важное прикладное значение при оптимизации технологических процессов полу-

чения современных высококачественных смазочных материалов.

### Финансирование работы

Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства образования и науки России, соглашение № 14.607.21.0181 (уникальный идентификатор проекта RFMEFI60717X0181).

### Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов, требующего раскрытия в данной статье.

### Информация об авторах

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

Ярмуш Юлия Михайловна, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0826-3062>

Паренаго Олег Павлович, д.х.н., ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4869-4035>

### Список литературы

- [1] *Lugt P. M.* A review on grease lubrication in rolling bearings // *Tribol. Transactions*. 2009. V. 52. N 4. P. 470–480. <https://doi.org/10.1080/10402000802687940>
- [2] *Lugt P. M.* Modern advancements in lubricating grease technology // *Tribol. Int.* 2016. V. 97. P. 467–477. <https://doi.org/10.1016/j.triboint.2016.01.045>
- [3] *Mortier R. M., Orszulik S. T., Fox M. F.* Chemistry and technology of lubricants. London: Springer, 2010. <https://doi.org/10.1023/b105569>
- [4] *Dresel W., Mang T.* Lubricants and Lubrication. Wiley-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA, 2017. <https://doi.org/10.1002/9783527645565>
- [5] *Gschwender L., Snyder C. E., Sharma S. K., Fultz G. W.* Multi-purpose, moisture-resistant, high load carrying polyalphaolefin based grease, MIL-PRF-32014 // *Tribol. Transactions*. 2003. V. 46. N 2. P. 217–222. <https://doi.org/10.1080/10402000308982620>
- [6] *Лядов А. С., Максимова Ю. М., Шахматова А. С., Кириллов В. В., Паренаго О. П.* Уреатные (полиуретановые) пластичные смазки (обзор) // *ЖПХ*. 2018. Т. 91. № 6. С. 761–771 [*Lyadov A. S., Maksimova Yu. M., Shakhmatova A. S., Kirillov V. V., Parenago O. P.* Urea (polyurea) greases // *Russ. J. Appl. Chem.* 2018. V. 91. N 6. P. 885–894. <https://doi.org/10.1134/S1070427218060010>].
- [7] *Singh T., Bhan A. K.* Synthetic polyurea extreme-pressure greases // *J. Synthetic Lubrication*. 2004. V. 21. N 2. P. 151–156. <https://doi.org/10.1002/jsl.3000210207>

- [8] Nagendramma P., Kaul S. Development of ecofriendly/biodegradable lubricants: an overview // *Renewable and Sustainable Energy Rev.* 2012. V. 16. N 1. P. 764–774. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2011.09.002>
- [9] Максимова Ю. М., Шахматова А. С., Лядов А. С., Паренаго О. П., Ильин С. О., Пахманова О. А., Антонов С. В. Реологические и трибологические свойства пластичных смазок на основе сложных эфиров и уреатных загустителей // *Нефтехимия.* 2018. Т. 58. № 6. С. 720–726. <https://doi.org/10.1134/S0028242118060072> [Maksimova Yu. M., Shakhmatova A. S., Ilyin S. O., Pakhmanova O. A., Lyadov A. S., Antonov S. V., Parenago O. P. Rheological and tribological properties of lubricating greases based on esters and polyurea thickeners // *Petrol. Chem.* 2018. V. 58. N 12. P. 1064–1069. <https://doi.org/10.1134/S0965544118120071>].
- [10] Лядов А. С., Максимова Ю. М., Алексеева О. А., Ильин С. О., Паренаго О. П., Антонов С. В. Особенности пластичных смазок на основе поли-альфаолефиновых масел с уреатными загустителями различного строения // *ЖПХ.* 2018. Т. 91. № 11. С. 1523–1530. <https://doi.org/10.1134/S0044461818110014>
- [11] Cao Z., Xia Y., Xi X. Nano-montmorillonite-doped lubricating grease exhibiting excellent insulating and tribological properties // *Friction.* 2017. V. 5. N 2. P. 219–230. <https://doi.org/10.1007/s40544-017-0152-z>
- [12] Zhang P. L., Wang G. G., Zhao Y. J., Wu H., Xia Y. Q. Study of conductive and friction properties of grease containing carbon black additive // *Advanced Mater. Res.* 2015. V. 1120–1121. P. 586–589. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/AMR.1120-1121.586>
- [13] Sadeghalvaad M., Dabiri E., Afsharimoghadam P. Lithium lubricating greases containing carbon base nano-additives: preparation and comprehensive properties evaluation // *SN Appl. Sci.* 2019. 1:264. <https://doi.org/10.1007/s42452-019-0289-7>
-