

ТРИБОЛОГИЧЕСКАЯ АКТИВНОСТЬ МЕТИЛОВЫХ ЭФИРОВ ДИАЛКИЛДИТИОКАРБАМИНОВЫХ КИСЛОТ В СОСТАВЕ КОМПОЗИЦИЙ СМАЗОЧНЫХ МАТЕРИАЛОВ

© 2022 г. Э. Ю. Оганесова¹, Е. Г. Бордубанова¹, А. С. Лядов^{1,*}, О. П. Паренаго^{1,**}

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

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

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

Поступила в Редакцию 11 марта 2022 г.

После доработки 11 апреля 2022 г.

Принята к публикации 7 июня 2022 г.

Взаимодействием вторичных аминов, гидроксида натрия и сероуглерода с последующим введением в реакцию смесь метилиодида синтезированы и охарактеризованы метиловые эфиры диалкилдителиокарбаминовых кислот, включающих алкильные группы C₂–C₅ нормального и изо-строения. Получены данные о трибологической активности синтезированных соединений при их введении в состав синтетических смазочных материалов. Показано, что противоизносные, противозадирные и антифрикционные свойства смазочных композиций, содержащих полученные присадки, заметно улучшаются. Изучено влияние концентрации и строения эфиров на показатели трения и износа смазочных материалов.

Ключевые слова: диалкилдителиокарбаминовая кислота, синтез эфиров, смазочные масла, пластичные смазки, трение и износ, противоизносная активность, антифрикционное действие, противозадирная активность

DOI: 10.31857/S0028242122040116, **EDN:** ПООQHN

Хорошо известно, что органические соединения, включающие гетероатомы фосфора, серы и азота, проявляют высокую активность в качестве присадок к смазочным материалам с целью снижения трения и износа, а также ингибирования их окисления и коррозии [1]. Среди таких присадок выделяются комплексы металлов (например, цинка или молибдена) с диалкилдителиофосфорными (ДТФ) и диалкилдителиокарбаминами (ДТК) лигандами, которые благодаря высокой эффективности нашли широкое практическое применение в составе моторных масел для транспортных средств [2–4]. Однако, в последние годы такие присадки используют все реже, так как было установлено, что атомы фосфора, серы и металлов, входящие в состав ДТФ- и ДТК-комплексных соединений, оказывают негативное воздействие на системы очистки выхлопных газов, существенно снижая активность используемых катализаторов дожига, что,

в конечном счете, приводит к увеличению количества загрязняющих веществ, попадающих в атмосферу при эксплуатации транспортных средств [5–7].

По этим причинам в смазочном материаловедении возникло новое направление, которое получило название Low SAPS (Low-Sulphated Ash, Phosphorus and Sulphur), т. е. поиск и синтез соединений с низким содержанием или полным отсутствием сульфатной золы, образование которой обусловлено наличием в составе присадок металлов, фосфора и серы. Состоянию исследований в этой области посвящен ряд обзоров [8, 9].

Среди соединений, не содержащих атомы фосфора и металлов, большой интерес в качестве трибологически активных присадок вызывают производные триазины. В работах [10–13] был синтезирован целый ряд соединений, имеющих

в качестве заместителей азот-, серо-, кислород и борсодержащие группировки. Такие соединения показали улучшение противоизносных и, особенно, противозадирных свойств при введении их в минеральные [11, 13], растительные (рапсовое масло) [12] или синтетические полиальфаолефиновые масла [10]. Примечательно также, что синтезированные присадки обладают повышенной гидрוליтической стабильностью.

Другую группу присадок, не содержащих экологически опасные элементы, составляют соединения, включающие меркаптобензтиазольную группу [14–17]. Присадки этого типа позволяют смазочным материалам иметь высокую несущую способность при повышенных нагрузках, причем во многих случаях методом рентгеновской фотоэлектронной спектроскопии (РФЭС) в приповерхностных слоях металла в процессе трения зафиксировано образование железосодержащих соединений (FeS и FeSO_4). Помимо этих соединений, в литературе описаны трибологически активные присадки, включающие основания Шиффа на основе салицилового альдегида и аминов [18], гетероциклические соединения с тиоэфирными группами [19] и серосодержащие производные олеиновой кислоты [20], а также более традиционные, но менее эффективные – метилен-бис(диалкилдитиокарбаматы) [21–23].

В научной и технической литературе сведения об эфирах ДТК кислоты крайне немногочисленны, имеется лишь несколько патентов США [24–26], в которых описано получение этих соединений и их свойства. В патенте [24] эфиры, имеющие строение

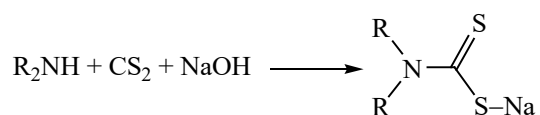
$\text{R}_2\text{N}-\text{C}(\text{S})-\text{S}-\text{CH}_2-\text{CH}_2-\text{C}(\text{O})-\text{CH}_3$, синтезировали взаимодействием вторичного амина, метилвинилкетона и сероуглерода для использования в качестве антиокислительных и антикоррозионных добавок, а также ускорителей вулканизации и в фармацевтике. В других патентах [25, 26] на первой стадии получали натриевую соль ДТК кислоты, которая далее реагировала с третичными аминами, либо с галогенсодержащими эфирами с образованием соединений следующего строения: $\{(\text{R}_1\text{R}_2)\text{N}-\text{C}(\text{S})-\text{S}-\text{CR}_3\text{R}_4\}_2\text{O}$ или $\text{R}_2\text{N}-\text{C}(\text{S})-\text{S}-\text{CH}_2-\text{CH}_2-\text{C}(\text{O})-\text{CH}_3$. Полученные эфиры при их введении в состав смазочных материалов проявляли антиокислительную и противокоррозионную активность, а также противозадир-

ные свойства. Следует отметить еще одну работу по синтезу эфиров ДТК кислоты, где в качестве галгенсодержащего углеводорода, реагирующего с Na-солью ДТК, использовался арилиодид [27].

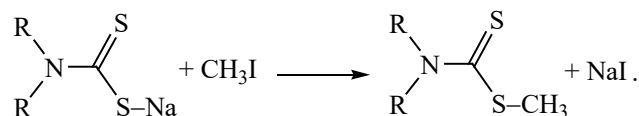
Цель настоящей работы заключалась в изучении трибологической активности метиловых эфиров диалкилдитиокарбаминных кислот, включающих алкильные группы различной природы, при введении в состав синтетических смазочных материалов.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЧАСТЬ

Используемые в работе вторичные амины (C_2H_5)₂NH, (*n*- C_3H_7)₂NH, (*изо*- C_3H_7)₂NH, (*n*- C_4H_9)₂NH, (*изо*- C_4H_9)₂NH, (*n*- C_5H_{11})₂NH, (*изо*- C_5H_{11})₂NH), метилиодид, а также сероуглерод непосредственно перед синтезом перегоняли. (C_2H_5)₂NH и метилиодид производства «Aldrich». Синтез метиловых эфиров диалкилдитиокарбаминных кислот проводили по модифицированной методике [28]. Для этого в термостатируемую 3-х горлую колбу, снабженную термометром и капельницей, помещали смесь 0.05 моль гидроксида натрия, 8 мл воды и 0.05 моль сероуглерода. При температуре 5–8°C в колбу по каплям и интенсивном перемешивании вводили 0.05 моль вторичного амина:



После завершения ввода амина реакцию смесь перемешивали в течение 1 ч при комнатной температуре в токе аргона. Затем в реакцию смесь при 5–8°C по каплям добавляли раствор 0.05 моль иодистого метила в 8 мл этанола и перемешивали ее при комнатной температуре 7 ч, а затем при кипении этанола еще 7 ч:



Полученную смесь экстрагировали диэтиловым эфиром и сушили прокаленным сульфатом натрия.

Таблица 1. Синтезированные метиловые эфиры диалкилдитиокарбаминовых кислот

№	Соединение	Выход, %	$T_{\text{кип}}$, °C (P , мм. рт. ст.)
1	$(C_2H_5)_2N-CS(S)-CH_3$	86.3	117–118 (3)
2	$(n-C_3H_7)_2N-CS(S)-CH_3$	79.8	123–124 (5)
3	$(\text{изо-}C_3H_7)_2N-CS(S)-CH_3$	82.6	118–120 (1)
4	$(n-C_4H_9)_2N-CS(S)-CH_3$	75.3	130–140 (8)
5	$(\text{изо-}C_4H_9)_2N-CS(S)-CH_3$	68.3	121–122 (4)
6	$(n-C_5H_{11})_2N-CS(S)-CH_3$	57.6	132–134 (1)
7	$(\text{изо-}C_5H_{11})_2N-CS(S)-CH_3$	42.3	156–157 (5)

Эфирный слой фильтровывали, отгоняли растворитель и полученный продукт перегоняли в вакууме. Выходы синтезированных эфиров по указанной методике и температуры кипения полученных продуктов приведены в табл. 1. Следует отметить, что с ростом длины углеводородного радикала в амине происходит уменьшение выхода образующегося эфира. Состав и строение полученных эфиров подтверждены элементным анализом и методом хромато-масс-спектрометрии.

В качестве смазочных материалов в работе использовали синтетические масла ПАОМ-4 (поли- α -олефиновое масло, вязкость при 100°C 3.8 сСт) и ДОСт (сложный эфир себаценовой кислоты и 2-этилгексанола, вязкость при 100°C 3.1 сСт), а также уретанную пластичную смазку отечественного производства «ПОЛИТЕРМ-многоцелевая» (ПАО «Электрогорский институт нефтепереработки им. академика Хаджиева Саламбека Наибовича»). Данная смазка предназначена для подшипников качения, электродвигателей, насосов, вентиляторов и другого оборудования предприятий кожевенной, текстильной, бумажной, пищевой и энергетической промышленности и работоспособна в широком температурном интервале от –20 до +160°C. Синтезированные эфиры вводили в состав смазочных материалов в концентрации 0.5–2 мас. % и затем исследовали трибологические свойства полученных композиций.

Изучение противоизносных и противозадирных свойств проводили в соответствии с ГОСТ 9490-75 «Метод определения трибологических характеристик на четырехшариковой машине». Антифрикционное действие изучали на трибометре марки UMT (Brukner, США) с использованием узла трения «палец по диску» при температуре 50°C и на-

грузке 200 Н при концентрации присадки в масле 1 мас. %; значение коэффициента трения выбирали на момент завершения испытания.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Полученные эфиры были изучены в качестве трибологически активных присадок к синтетическим смазочным материалам. В табл. 2 представлены противоизносные свойства синтезированных эфиров, охарактеризованные по величине диаметра пятна износа в результате трения в стандартных условиях (длительность испытания 1 ч, нагрузка $P = 196$ Н).

Приведенные данные показывают, что синтезированные образцы проявляют заметное противоизносное действие, особенно при использовании масла ДОСт, где при концентрации присадки 2 мас. % диаметр пятна износа снижается почти в 2 раза. Наиболее оптимальная длина углеводородного радикала в структуре ДТК составляет 3–4 атома углерода. Существенного влияния различий в строении радикала с одинаковым количеством атомов углерода не обнаружено.

В противоположность противоизносным свойствам несущая способность оказалось выше для масла ПАОМ-4 по сравнению с ДОСт при введении синтезированных соединений. Можно видеть также, что противозадирная активность проявляется сильнее для эфиров, включающих алкильные группы изо-строения по сравнению с нормальными группами; различие в критической нагрузке может достигать более 100 Н.

На рис. 1 приведена зависимость диаметра пятна износа от концентрации присадки. Установлено, что введение в состав масла даже небольшого

Таблица 2. Значения диаметра пятна износа ($D_{и}$) и критической нагрузки (P_k) при испытании метиловых эфиров далкилдитиокарбаминовых кислот при добавлении к синтетическим маслам ДОСт и ПАОМ-4 (1 мас. %)

Присадка	ДОСт		ПАОМ-4	
	$D_{и}$, мм	P_k , Н	$D_{и}$, мм	P_k , Н
Без присадки	0.79	373	0.80	294
$(C_2H_5)_2N-CS(S)-CH_3$	0.53	657	0.62*	656
$(n-C_3H_7)_2N-CS(S)-CH_3$	0.49	637*	0.52	617
$(изо-C_3H_7)_2N-CS(S)-CH_3$	0.47	715	0.58	637
$(n-C_4H_9)_2N-CS(S)-CH_3$	0.47*	696*	0.63	519*
$(изо-C_4H_9)_2NCS(S)-CH_3$	0.51*	676*	0.56	696
$(n-C_5H_{11})_2N-CS(S)-CH_3$	0.66	548*	0.62	549
$(изо-C_5H_{11})_2N-CS(S)-CH_3$	0.64	578	0.66	735

* – концентрация присадки 2 мас. %.

Таблица 3. Антифрикционная активность метиловых эфиров диалкилдитиокарбаминовых кислот при их введении в масло ДОСт

Присадка	Концентрация присадки, мас. %	ДОСт	
		коэффициент трения	снижение показателя, %
Без присадки	–	0.180	–
$(C_2H_5)_2N-CS(S)-CH_3$	1	0.134	26
$(n-C_3H_7)_2N-CS(S)-CH_3$	1	0.137	24
$(изо-C_3H_7)_2N-CS(S)-CH_3$	1	0.127	29
$(n-C_4H_9)_2N-CS(S)-CH_3$	2	0.132	27
$(изо-C_4H_9)_2N-CS(S)-CH_3$	2	0.142	21
$(n-C_5H_{11})_2N-CS(S)-CH_3$	1	0.122	32
$(изо-C_5H_{11})_2N-CS(S)-CH_3$	1	0.119	34

количества (0.5 мас. %) метилового эфира диалкилдитиокарбаминовой кислоты приводит к улучшению противоизносных свойств смазочного материала. Введение в состав смазочного материала более 2 мас. % эфира является нецелесообразным, так как уже при концентрации более 1.5 мас. % не происходит существенного уменьшения диаметра пятна износа.

В табл. 3 представлено антифрикционное действие синтезированных эфиров при их введении в состав масла ДОСт, как более активного по противоизносным свойствам. Введение присадок приводит к снижению коэффициента трения на 20–30%; также можно отметить, что увеличение количества

атомов углерода в углеводородных радикалах диалкилдитиокарбаминовых кислот способствует повышению антифрикционных свойств смазочных композиций.

Введение в состав присадок на основе метилового эфира дибутилдитиокарбаминовой кислоты или ди-изо-дибутилдитиокарбаминовой кислоты уреатных пластичных смазок приводит к заметному снижению диаметра пятна износа (рис. 2). Увеличение концентрации присадки также способствует улучшению противоизносных свойств смазочного материала, введение 2 мас. % присадки позволяет снизить диаметр пятна износа практически в 2 раза. Строение углеводородного радикала с

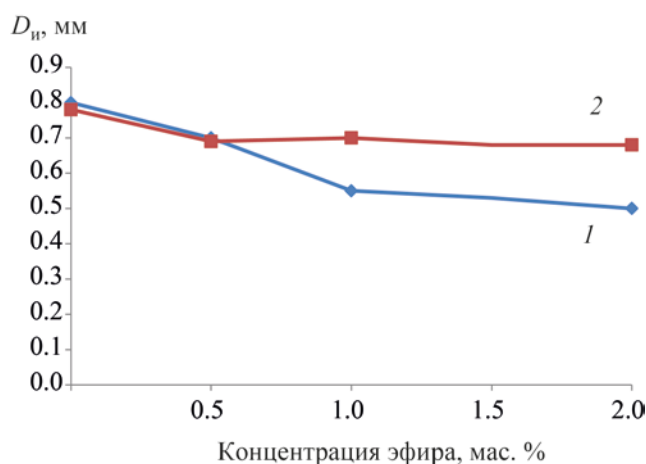


Рис. 1. Зависимость диаметра пятна износа смазочных композиций на основе ДОСт (кривая 1) и ПАОМ-4 (кривая 2) от концентрации метилового эфира дибутилдитиокарбаминовой кислоты в их составе.

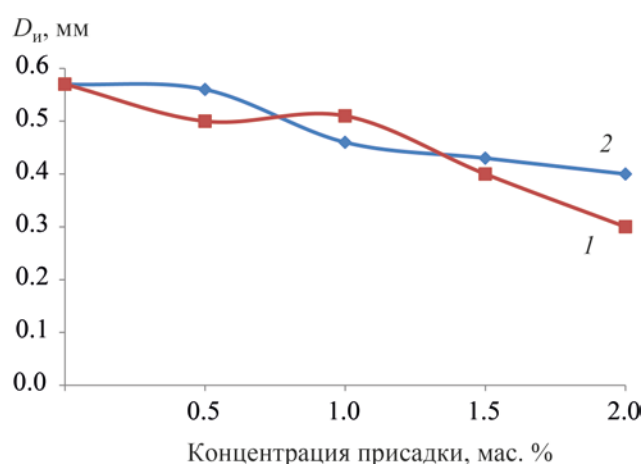


Рис. 2. Зависимость диаметра пятна износа для уреатной смазки от концентрации введенной в ее состав присадки: 1 – $(n-C_4H_9)_2N-CS(S)-CH_3$, 2 – $(изо-C_4H_9)_2N-CS(S)-CH_3$.

одинаковым числом атомов углерода не оказывает влияния на противоизносные свойства.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

По результатам работы можно сделать вывод о том, что эфиры диалкилдитиокарбаминовых кислот являются эффективными модификаторами трения при их введении в состав смазочных композиций; в ряде случаев их добавление способствует значительному улучшению трибологических характеристик, а в сочетании с простотой синтеза и доступностью исходных компонентов, данный тип присадки имеет перспективы для практического применения при создании новых смазочных материалов для узлов трения, в которых особое внимание уделяется показателям трения и износа.

ФИНАНСИРОВАНИЕ РАБОТЫ

Работа выполнена в рамках государственного задания Института нефтехимического синтеза им. А.В. Топчиева РАН.

КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ

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

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Оганесова Эмма Юрьевна, к.т.н., ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6684-6576>

Бордубанова Елена Геннадиевна, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7703-4036>

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

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

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Рудник Л.П. Присадки к смазочным материалам. Свойства и применение // Пер. с англ. «Профессия». 2015. 928 с. [Rudnik L.P. Lubricant additives: chemistry and applications. Sec Edd. CRC Press. 2009. 777 p.] <https://doi.org/10.1201/9780824747404>
2. Barnes A.M., Bartle K.D., Thibon V.R.A. // A review of zinc dialkyldithiophosphates (ZDDPS): characterisation and role in the lubricating oil // Tribology International. 2001. V. 34. № 6. P. 389–395. [https://doi.org/10.1016/S0301-679X\(01\)00028-7](https://doi.org/10.1016/S0301-679X(01)00028-7)
3. Spikes H. The history and mechanisms of ZDDP // Tribology Letters. 2004. V. 17. № 3. P. 469–489. <https://doi.org/10.1023/B:TRIL.0000044495.26882.b5>
4. Паренаго О.П., Кузьмина Г.Н., Займовская Т.А. Серосодержащие соединения молибдена как высокоэффективные присадки к смазочным материалам (обзор) // Нефтехимия. 2017. Т. 57. № 4. С. 367–379. <https://doi.org/10.7868/S0028242117040104>. EDN: ZCRVER. [Parenago O.P., Kuzmina G.N., Zaimov-

- skaya T.A. Sulfur-containing molybdenum compounds as high-performance lubricant additives (Review) // *Petrol. Chemistry*. 2017. V. 57. P. 631–642. <https://doi.org/10.1134/S0965544117080102>
5. Inoue K., Kurahashi T., Negishi T., Akiyama T., Ashimura K., Tasaka K. // Effects of phosphorus and ash content of engine oils on deactivation of monolithic three-way catalysts and oxygen sensors // *SAE Tech.* 1992. Paper 920654. <https://doi.org/10.4271/920654>
 6. Kumar S., Ferrari V., Burk P.L., Deeba M., Rogalo J. // Influence of phosphorus poisoning on TWC catalysts // *SAE Tech. Paper*. 2003-01-3735. 2003. <https://doi.org/10.4271/2003-01-3735>
 7. Nemoto S., Kishi Y., Matsuura K., Miura M., Togava S., Ishikawa T., Hashimoto T., Yamazaki T. // Impact of oil-derived ash on continuous regeneration-type diesel particulate filter // *SAE Tech. Paper*. 2004-01-1887. 2004. <https://doi.org/10.4271/2004-01-1887>
 8. Spikes H. Low- and zero-sulphated ash, phosphorus and sulphur anti-wear additives for engine oils // *Lubr. Sci.* 2008. V. 20. P. 103–136. <https://doi.org/10.1002/ls.57>
 9. Паренaго О.П., Оганесова Э.Ю., Лядов А.С., Шараева А.А. Современное состояние и перспективы синтеза экологически безопасных противоизносных присадок к смазочным материалам (обзор) // *ЖПХ*. 2020. Т. 93. № 11. С. 1522–1533. <https://doi.org/10.31857/S0044461820110018>. EDN: ТТВHNI. [Parenago O.P., Oganeseva E.Yu., Lyadov A.S., Sharaeva A.A. Synthesis of environmentally safe antiwear additives to lubricating materials: state of the art and prospects // *Russ. J. Appl. Chem.* 2020. V. 93. № 11. P. 1567–1575. <https://doi.org/10.1134/S1070427220110014>]
 10. Yang G., Zhang J., Zhang S., Yu L., Zhang P., Zhu B. Preparation of triazine derivatives and evaluation of their tribological properties as lubricant additives in poly-alpha olefin // *Trib. Intern.* 2013. V. 62. P. 163–170. <https://doi.org/10.1016/j.triboint.2013.02.024>
 11. Zeng X., Shao H., Rao W., He Z., Ren T. Tribological study of trioctylthiotriazine derivative as lubricating oil additive // *Wear*. 2005. V. 258. № 5–6. P. 800–805. <https://doi.org/10.1016/j.wear.2004.09.067>
 12. Zeng X., Lia J., Wu X., Rena T., Liu W. The tribological behaviors of hydroxyl-containing dithiocarbamate-triazine derivatives as additives in rapeseed oil // *Tribol. Intern.* 2007. V. 40. № 3. P. 560–566. <https://doi.org/10.1016/j.triboint.2006.05.005>
 13. Li J., Fan B., Ren T., Zhao Y. Tribological study and mechanism of B–N and B–S–N triazine borate esters as lubricant additives in mineral oil // *Tribol. Intern.* 2015. V. 88. P. 1–7. <https://doi.org/10.1016/j.triboint.2015.03.002>
 14. Zhang J., Liu W., Xue Q. The friction and wear behaviors of S-[2-S-(2-hydroxypropyl)benthiazole]-dioctyldithiocarbamic acid ester as additive in liquid paraffin // *Wear*. 1999. V. 224. № 1. P. 50–55. [https://doi.org/10.1016/S0043-1648\(98\)00331-7](https://doi.org/10.1016/S0043-1648(98)00331-7)
 15. Huang W., Hou B., Zhang P., Dong J. Tribological performance and action mechanism of S-[2-(acetamido)-thiazol-1-yl] dialkyl dithiocarbamate as additive in rapeseed oil // *Wear*. 2004. V. 256. № 11–12. P. 1106–1113. [https://doi.org/10.1016/S0043-1648\(03\)00532-5](https://doi.org/10.1016/S0043-1648(03)00532-5)
 16. Wu H., Zeng X.Q., Ren T.H. Tribological performance of 2-mercaptobenzothiazole derivatives as lubricating oil additives // *Ind. Lubr. and Trib.* 2008. V. 60. № 4. P. 183–188. <https://doi.org/10.1108/00368790810881524>
 17. He Z., Xiong L., Liu J., Han S., Hu J., Xu X., Shen M., He Z. Tribological property study of mercaptobenzothiazole-containing borate derivatives and its synergistic antioxidative effects with N-phenyl- α -naphthylamine // *Lubr. Sci.* 2019. V. 31. № 6. P. 239–251. <https://doi.org/10.1002/ls.1458>
 18. Rastogi R.B., Maurya J.L., Jaiswal V. Zero SAPs and ash free antiwear additives: schiff bases of salicylaldehyde with 1,2-phenylenediamine, 1,4-phenylenediamine, and 4,4-diaminodiphenylenemethane and their synergistic interactions with borate ester // *Tribol. Trans.* 2013. V. 56. P. 592–606. <https://doi.org/10.1080/10402004.2012.748115>
 19. Liang P., Wu H., Zuo G., Ren T. Tribological performances of heterocyclic-containing ether and/or thioether as additives in the synthetic diester // *Lubr. Sci.* 2009. V. 21. № 3. P. 111–121. <https://doi.org/10.1002/ls.76>
 20. Zhang G.J., Yang F.W., Huang J.M., Chen S., Yan T.T., Xu Z., Zhang C.X., Yi S.G. Preparation and tribological properties of sulfureted oleic acid derivatives as lubricant additives to poly alpha olefin // *J. Balkan Tribol. Ass.* 2016. V. 22. № 2. P. 560–570.
 21. Verma V.K., Singh R., Srivastava V., Singh P.K. Tribology and tribochemistry of oil soluble methylene-bis-[dialkyl/alkylaryl-dithiocarbamates] as potential EP additives // *Ind. J. of Engineering and Materials Sciences*. 2002. V. 9. N 3. P. 209–212. <http://doi.hdl.handle.net/123456789/20080>.
 22. Akin M., Tekin N. Preparation of additive package for gear lubricants and determination of tribological properties // *Petrol. Chemistry*. 2016. V. 56. № 2. P. 175–180 <http://doi:10.1134/S0965544116020109>
 23. Золотов В.А., Селезнев М.В., Бакунин В.Н., Матвеев П.В. Противоизносные свойства беззольных дитиофосфатов и дитиокарбаматов в композициях с детергентами в минеральном смазочном масле // *Нефтепереработка и нефтехимия*. 2019. № 3. С. 34–36. EDN: ZCBXBJ.
 24. Hook E.O., Beegle L.C., Wystrach V.P. Esters of dithiocarbamic acid and a method for their preparation // *Patent US № 2786866*. Publ. 1957.
 25. Farnig L.O., Horodysky A.G., Nipe R.N. Dithiocarbamate-derived ethers as multifunctional additives // *Patent US № 514189A*. Publ. 1996.
 26. Stunkel B.W., Karol T.G., Donnelly S.G. Antioxidant, antiwear/extreme pressure additive compositions and lubricating compositions containing the same // *Patent US № 6743759B2*. Publ. 2004.
 27. Chen Z.C., Jin Y.Y., Stangl P.J. A new method for the preparation of aryl esters of dithiocarbamic acids // *J. Org. Chem.* 1987. V. 52. № 18. P. 4117–4118. <https://doi.org/10.1021/jo00227a032>
 28. Бырьюк В.М. Дитиокарбаматы. М.: Наука, 1984. 342 с.