

УДК 665.7.038

Э.Р. Бабаев¹, e-mail: elbey.babayev@socar.az; Ф.Ю. Алиев³; Э.М. Мовсумзаде²; О.Ю. Поletaева²; С.М. Азизова³; П.Ш. Мамедова¹

¹ Институт химии присадок им. академика А.М. Кулиева Национальной академии наук Азербайджана (Баку, Азербайджан).

² Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Уфимский государственный нефтяной технический университет» (Уфа, Россия).

³ Гянджинское отделение Национальной академии наук Азербайджана (Гянджа, Азербайджан).

Исследование ряда органических дисульфидов в качестве антимикробных присадок к смазочным маслам

Исследование связи между химическим строением органических дисульфидов и их биоцидной эффективностью имеет большое значение для направленного синтеза эффективных биоцидных присадок к смазочным материалам. В статье описаны способы синтеза некоторых сераорганических соединений линейного строения и содержащих фрагменты ароматических углеводородов, а также физико-химические свойства данных соединений, в первую очередь активность против плесневых грибов *Aspergillus niger*, *Cladosporium resinae*, *Penicillium chrysogenum*, *Chaetomium globosum* и бактерий *Mycobacterium lacticum*, *Pseudomonas aeruginosa*. В ходе исследования инфракрасные спектры синтезированных соединений регистрировали в интервале 400–4000 см⁻¹: жидких образцов – с использованием жидкостных кювет, твердых – с использованием суспензий в масле М-8.

Приведены результаты квантово-химического расчета значения потенциалов ионизации и дипольных моментов синтезированных соединений, в числе которых амилгептилдисульфид, амилаллилдисульфид, амилтиозилоктилдисульфид, октилдисульфидацетамид, бензилмеркаптан, бензиламиндисульфид, амилциклогексилдисульфид. Показана эффективность синтезированных дисульфидов в качестве антимикробных присадок к смазочным материалам, причем установлено, что ряд соединений (амилаллилдисульфид, октилдисульфидацетамид, бензиламиндисульфид, амилциклогексилдисульфид) обладает как бактерицидными, так и фунгицидными свойствами. Доказано, что наибольшей антимикробной эффективностью обладает амилаллилдисульфид, что, по мнению авторов, обусловлено в первую очередь молекулярной структурой соединения. Исследовано влияние структурных параметров на эффективность антимикробного действия присадок в смазочном масле М-8. Установлено, что в целом наблюдается определенная корреляция между антимикробными свойствами исследуемых дисульфидов и расчетными данными геометрического и электронного строения (потенциалом ионизации и дипольным моментом).

Ключевые слова: органический диалкилдисульфид, реакционная способность, квантово-химические параметры, антимикробная присадка, потенциал ионизации, дипольный момент.

.....

Е.Р. Babayev¹, e-mail: elbey.babayev@socar.az; F.Yu. Aliyev³; E.M. Movsumzade²; O.Yu. Poletaeva²; S.M. Azizova³; P.Sh. Mamedova¹

¹ Institute of Chemistry of Additives after Academician A.M. Guliyev, Azerbaijan National Academy of Sciences (Baku, Azerbaijan).

² Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education "Ufa State Petroleum Technological University" (Ufa, Russia).

³ Ganja Branch of Azerbaijan National Academy of Sciences (Ganja, Azerbaijan).

Study of Some Organic Disulfides as Antimicrobial Additives to Lubricating Oils

Research of dependence between chemical structure of organic disulfides and their biocide effectiveness is of a great importance for directed synthesis of effective biocide lubricant additives. The article describes synthesis methods for some sulfur-organic compounds of linear structure and those containing fragments of aromatic hydrocarbons, as well as their physical and chemical properties, above all, activity against mold fungi *Aspergillus niger*, *Cladosporium resinae*, *Penicillium chrysogenum*, *Chaetomium globosum* and bacteria *Mycobacterium lacticum*, *Pseudomonas aeruginosa*. In the process of the research infrared spectra of the compounds synthesized were registered in the interval of 400–4000 cm⁻¹: liquid samples – using liquid cuvettes, solid samples – using oil suspensions M-8. In this article there have been given results of the quantum-chemical analysis of ionization potentials and dipole moments of synthesized

compounds, including amyloheptyldisulfide, amyloallyldisulfide, amylothioethyloctyldisulfide, octyldisulfideacetamide, benzyl mercaptan, benzylamyldisulfide, amylocyclohexyldisulfide. Efficiency of synthesized disulfides as antimicrobial lubricant additives is shown, with a number of compounds (amyloallyldisulfide, octyldisulfideacetamide, benzylamyldisulfide, amylocyclohexyldisulfide) being stated to have both bactericidal and fungicidal properties. Amyloallyldisulfide has been proved to possess the highest antimicrobial effectiveness, and according to the authors this fact is conditioned primarily by the compound molecular structure. The effect of structural parameters on antimicrobial efficiency of M-8 lubricant additives has been examined. The results suggest that in general there is a certain correlation of antimicrobial properties of disulfides under examination with calculation data of geometrical and electronic structures (ionization potential and dipole moment).

Keywords: organic dialkyl disulfide, reactivity, quantum chemical parameters, antimicrobial additive, ionization potential, dipole moment.

При хранении и эксплуатации смазочных материалов в результате старения и воздействия микроорганизмов ухудшаются их свойства. Зачастую косвенные последствия микробного заражения бывают более серьезными, чем прямые. Способность микроорганизмов усваивать углеводороды нефтепродуктов стала причиной возникновения существенных проблем в сфере нефтедобычи, нефтепереработки и особенно при эксплуатации нефтепроводов. Перспективным методом предупреждения поражения смазочных масел микроорганизмами является введение в состав нефтепродуктов химических соединений (биоцидов), обладающих антимикробными свойствами [1]. На сегодняшний день в качестве присадок синтезировано и испытано огромное количество органических соединений, влияние которых на смазочные материалы определяется строением и природой функциональных групп молекул [2, 3]. Особое место в ряду многочисленных органических соединений занимают серосодержащие присадки [4, 5], поэтому разработка перспективных методов синтеза серосодержащих присадок с полифункциональными свойствами является актуальной задачей.

Известно, что органические сульфиды, применяемые в качестве антимикробных присадок, проявляют антиокислительные и противоизносные свойства, а также используются в качестве биоцидных добавок. Интерес к многофунк-

циональным присадкам, полученным на основе моно-, би- и полисульфидов, улучшающих эксплуатационные характеристики смазочных материалов, растет. Однако, несмотря на многочисленные исследования в этой области, на сегодняшний день остаются мало освещенными вопросы, связанные с влиянием структуры присадок на реакционную способность и их функциональные свойства. Для правильного прогнозирования реакционной способности подобных соединений представляется важным изучение их геометрического и электронного строения методами квантовой химии.

Следует отметить, что химические свойства сераорганических соединений (дисульфидов) характеризуются низкой прочностью ковалентной связи между атомами серы ($-S-S-$). Многие реакции дисульфидов протекают при активации и расщеплении дисульфидной связи, поэтому изучение геометрического и электронного строения дисульфидов и природа связи $-S-S-$ играют значимую роль при прогнозировании реакционной способности этих соединений. Целью настоящей работы является проведение целенаправленного синтеза ряда органических диалкилдисульфидов, исследование их физико-химических свойств, геометрического и электронного строения, а также выявление методов рационального использования диалкилдисульфидов в качестве присадок к смазочным материалам.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЧАСТЬ

Инфракрасные (ИК) спектры синтезированных соединений регистрировали на спектрометре UR-20 в интервале $400-4000\text{ см}^{-1}$: жидких образцов – с использованием жидкостных кювет, твердых – с использованием суспензий в масле М-8.

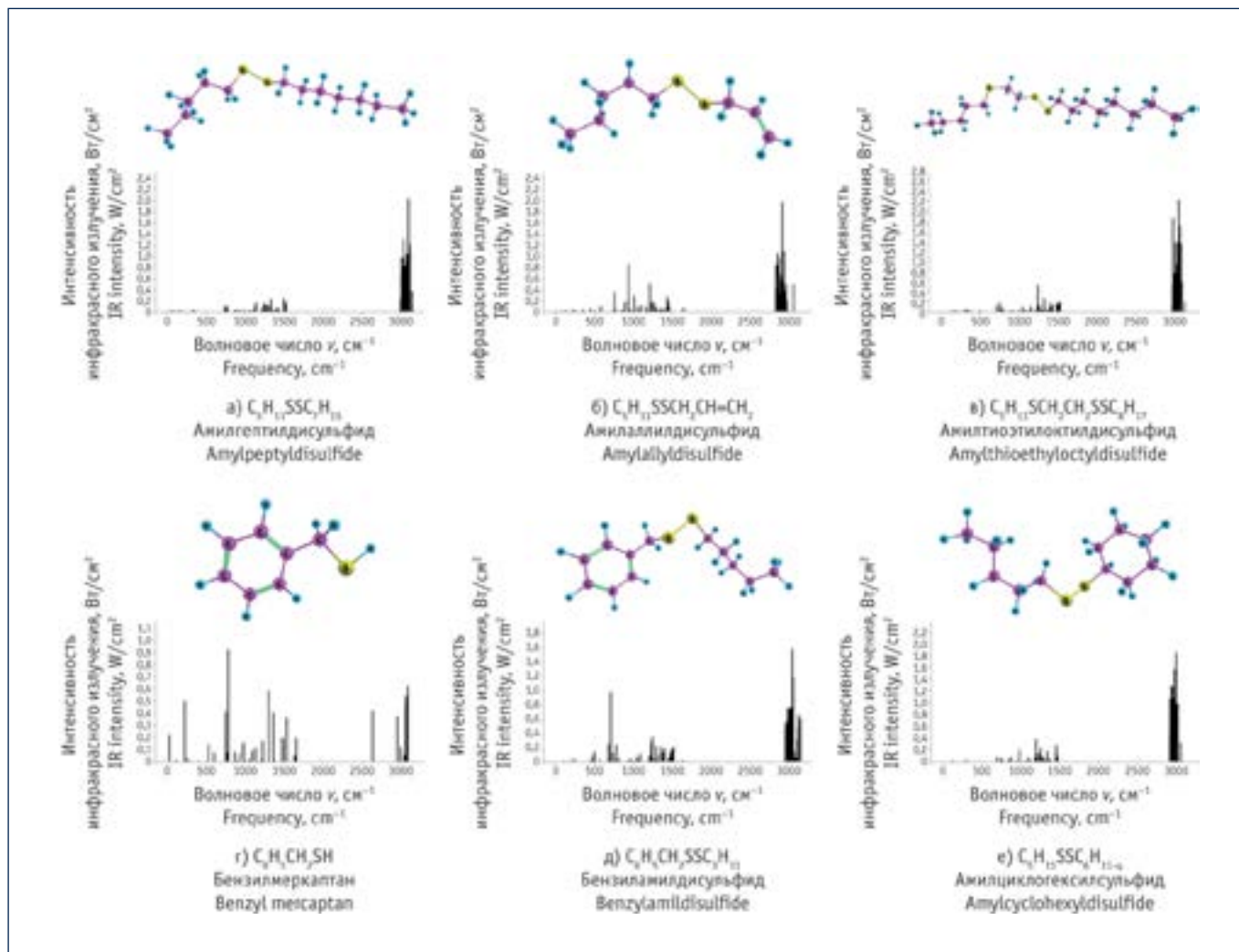
Антимикробные свойства соединений исследовали методом лунки в агаровой среде по [6, 7]. Для испытаний были использованы чистые культуры плесневых грибов *Aspergillus niger*, *Cladosporium resinae*, *Penicillium chrysogenum*, *Chaetomium globosum* и бактерий *Mycobacterium lacticolum*, *Pseudomonas aeruginosa*, обитающих в нефтепродуктах и являющихся их агрессивными разрушителями. Микроорганизмы выращивали при температуре $28\pm 2\text{ }^\circ\text{C}$ в термостате с влажностью 90–100 %: грибы – в течение 5–7 сут, бактерии – в течение 2–3 сут. В качестве питательной среды для роста бактерий был использован мясопептонный агар (МПА),



Ссылка для цитирования (for citation):

Бабаев Э.Р., Алиев Ф.Ю., Мовсумзаде Э.М., Поletaева О.Ю., Азизова С.М., Мамедова П.Ш. Исследование ряда органических дисульфидов в качестве антимикробных присадок к смазочным маслам // Территория «НЕФТЕГАЗ». 2019. № 1–2. С. 74–79.

Babayev E.R., Aliyev F.Yu., Movsumzade E.M., Poletaeva O.Yu., Azizova S.M., Mamedova P.Sh. Study of Some Organic Disulfides as Antimicrobial Additives to Lubricating Oils. Territorija "NEFTEGAS" = Oil and Gas Territory, 2019, No. 1–2, P. 74–79. (In Russian)



Графическое изображение пространственного строения молекул синтезированных соединений и результаты инфракрасной спектроскопии
Diagram of synthesized compound spatial structure and infrared spectroscopy data

грибов – сушо-агар (СА). Эффективность антимикробного действия оценивалась по величине диаметра зоны угнетения роста микроорганизмов вокруг лунки с присадкой и без нее: чем больше диаметр зоны угнетения роста микроорганизмов, тем эффективнее антимикробное действие. Масло М-8 само по себе не обладает биостойкостью. Геометрическое и электронное строение оптимизированных молекул было рассчитано по методу функционала плотности (density functional theory, DFT) с функционалом B3LYP/6-31+G (d, p) по программе GAMESS GAUSSIAN [8, 9]. Выбранный метод обеспечивает достаточную точность расчета геометрических параметров молекул с контролем положительности знака колебательных частот.

К числу синтезированных органических диалкилдисульфидов относится в первую очередь амилгептилдисульфид. В трехгорлую колбу, снабженную обратным холодильником, термометром, капельной воронкой, помещают 100 мл изопропилового спирта, добавляют 16,8 г (0,3 моль) мелко измельченного едкого калия (KOH) и перемешивают до растворения. К смеси по каплям добавляют 31,2 г (0,3 моль) амилмеркаптана и перемешивают при 60 °С в течение 1 ч. После охлаждения к смеси добавляют 9,6 г (0,3 моль) мелко измельченную серу и перемешивают 5 ч при температуре 60 °С. Реакционную смесь охлаждают до комнатной температуры в течение 2 ч, по каплям приливают 53,7 г (0,3 моль) бромистого гептила и перемешивают еще 2 ч при температуре 60 °С.

После завершения реакции смесь экстрагируют бензолом, промывают водой и сушат над сульфатом натрия Na_2SO_4 . После отгонки растворителя остаток перегоняют в вакууме, собирая фракцию с температурой кипения $T_{кип} = 162\text{ }^\circ\text{C}$ (1 мм рт. ст.). Выход составляет 50 г, или 71,9 %.

Аналогично синтезированы дисульфиды амилаллил, амилтиоэтилоктил, октил-ацетамид, октилбензил, амилбензил, амилциклогексил (рис.), константы которых приведены в табл. 1.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

В ходе исследования был синтезирован ряд дисульфидов, молекулы которых содержат различные функциональные группы общей формулы $R-S-S-R^1$, где $R = C_5H_{11}$, $R^1 = C_7H_{15}$ (соединение № 1

Таблица 1. Физико-химические свойства синтезированных дисульфидов

Table 1. Physicochemical properties of synthesized disulfides

№ No.	Соединение Compound	Выход, Yield, %	Температура кипения $T_{\text{кип}}^{\circ\text{C}}/0,2$ мм рт. ст. (или температура плавления $T_{\text{пл}}^{\circ\text{C}}$ Boiling-point $T_{\text{кип}}^{\circ\text{C}}/0,2$ mm of mercury (or melting temperature $T_{\text{пл}}^{\circ\text{C}}$)	Кэффициент преломления n_D^{20} Refractive index n_D^{20}	Плотность топлива d_4^{20} Fuel density d_4^{20}	Элементный анализ Elemental analysis								Волновое число ν , см ⁻¹ Wave number ν , cm ⁻¹
						Найдено, % Found, %				Вычислено, % Estimated, %				
						C	H	S	N	C	H	S	N	
1	$C_5H_{11}SSC_7H_{15}$	71,9	162 (1)	1,4897	0,9195	61,55	11,29	27,16	–	61,47	11,18	27,35	–	778 (–C–S–)
2	$C_5H_{11}SSCH_2CH=CH_2$	53,6	105 (0,8)	1,5132	0,9674	54,36	9,26	36,39	–	54,49	9,15	36,36	–	30, 82; 97 (C–H), 1617–1635 (C=C), 644 (C–S)
3	$C_5H_{11}SCH_2CH_2SSC_8H_{17}$	41,1	197–198	1,5045	0,9619	58,45	10,34	31,21	–	58,38	10,45	31,17	–	465 (S–S–), 620 (–S–C)
4	$C_8H_{17}SSCH_2CONH_2$	51,0	80			51,12	9,03	27,15	6,0	59,96	11,29	27,16	5,95	3371, 3183 (NH–), 1651 (CO), 2853–2953 (CH)
5	$C_6H_5CH_2SSC_8H_{17}$	53,1	20–22	–	–	67,23	8,26	24,49	–	67,10	9,02	23,88	–	462 (S–S–), 670 (–C–S)
6	$C_5H_{11}SSCH_2C_6H_5$	50,5	118–120 (0,2)	1,5474	1,0198	62,82	8,06	29,12	–	63,65	8,09	28,32	–	460 (S–S), 675 (C–S), 3004–3061 (CH, ароматическая/ aromatic)
7	$C_5H_{11}SSC_6H_{11-c}$	58,7	138–140 (1,5)	1,5088	0,9799	60,56	10,18	29,26	–	60,49	10,15	29,36	–	457 (S–S–), 729 (–C–S)

в табл. 1); $CH_3 - CH = CH_2$ (№ 2);
– $CH_2CH_2SSC_8H_{17}$ (№ 3); CH_2CONH_2 (№ 4);
 $R = C_8H_{17}$, $R^1 = C_6H_5CH_2$ (№ 5); $R = C_5H_{11}$,
 $R^1 = C_6H_5CH_2$ (№ 6); $R^1 = C_6H_{11(c)}$ (№ 7).

Структура синтезированных соединений подтверждена методом ИК-спектроскопии, физико-химические характеристики приведены в табл. 1.

В целях определения возможности использования расчетных методов для оценки эффективности действия синтезированных соединений исследовано их геометрическое и электронное строение. Применение компьютерных программ для расчета различных параметров молекул (длины и порядка связи, дипольного момента, потенциала ионизации) позволяет прогнозировать наличие некоторых полезных свойств (например, биологическую активность) исследуемых соединений [9].

Характеристиками, в значительной степени определяющими природу и прочность как химических связей в молекулах, так и межмолекулярных связей, являются потенциал ионизации и дипольный момент. В табл. 2 пред-

Таблица 2. Квантово-химические параметры синтезированных соединений

Table 2. Quantum-chemical parameters of synthesized compounds

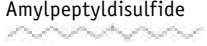
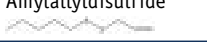


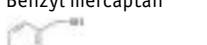
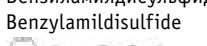
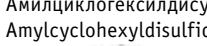
№ No.	Соединение Compound	Квантово-химические параметры Quantum-chemical parameters	
		Потенциал ионизации, эВ Ionization potential, eV	Дипольный момент, Кл·м Dipole moment, C·m
1	Амилпептилдисульфид Amylpeptyldisulfide 	6,362	2,342
2	Амилаллилдисульфид Amylallyldisulfide 	6,389	2,208
3	Амилтиоэтилоктилдисульфид Amylthioethyloctyldisulfide 	6,106	1,497
4	Октилдисульфидацетамид Octyldisulphideacetamid 	6,574	3,556
5	Бензилмеркаптан Benzyl mercaptan 	6,42	1,594
6	Бензиламилдисульфид Benzylamidisulfide 	6,346	2,178
7	Амилциклогексилдисульфид Amylcyclohexyldisulfide 	6,240	2,359

Таблица 3. Геометрические структурные параметры синтезированных соединений

Table 3. Geometrical structural parameters of synthesized compounds

Длина связи, А° Bond length, A°									
№ No.	Соединение Compound	C ₁ C ₂ N ₁ C ₂	C ₂ C ₃	C ₃ C ₄	S ₂ S ₅ S ₄ C ₅	S ₅ C ₆ C ₅ C ₆	C ₆ C ₇	C ₇ C ₈ C ₇ S ₈ C ₇ Cl ₈	C ₈ C ₉ S ₈ C ₉
1		1,590	1,532	1,851	2,081	1,851	1,530	1,536	1,534
2		1,334	1,497	1,867	2,080	1,851	1,532	1,539	1,535
3		1,536	1,531	1,851	2,080	1,857	1,528	1,835*	1,841*
4		1,361	1,534	1,843	2,085	1,851	1,533	1,540	1,535
5		1,398	1,517	1,849	–	–	–	–	–
6		1,537	1,528	1,848	2,083	1,867	1,505	1,402	1,394
7		1,539	1,532	1,852	2,084	1,861	1,533	1,540	1,535

Таблица 4. Антимикробные свойства синтезированных соединений в масле М-8

Table 4. Antimicrobial properties of synthesized compounds in oil M-8

№ No.	Соединение Compound	Концентрация, % Concentration, %	Диаметр зоны угнетения роста микроорганизмов, см Diameter of the inhibition range of microbe growth, cm	
			Бактерии Bacteria	Грибы Fungi
1	Амилгептилдисульфид Amylheptyldisulfide 	1,0	1,4–1,6	++
		0,5	1,2–1,2	
		0,25	1,0–1,0	
2	Амилаллилдисульфид Amylallyldisulfide 	1,0	1,6–1,8	3,2–3,3
		0,5	1,2–1,4	2,6–2,8
		0,25	1,0–1,0	1,8–2,0
3	Амилтиоэтилоктилдисульфид Amylthioethyloctyldisulfide 	1,0	1,2–1,2	1,2–1,4
		0,5	1,0–1,0	1,2–1,2
		0,25	++	1,0–1,0
4	Октилдисульфидацетамид Octyldisulphideacetamid 	1,0	2,6–2,8	1,6–1,8
		0,5	2,4–2,6	1,2–1,4
		0,25	1,8–2,0	1,0–1,2
5	Бензилмеркаптан Benzyl mercaptan 	1,0	2,0–2,2	2,0–2,0
		0,5	1,8–2,0	1,6–1,8
		0,25	1,0–1,2	1,4–1,4
6	Бензиламилдисульфид Benzylamildisulfide 	1,0	1,6–1,8	2,0–2,3
		0,5	1,2–1,4	1,6–1,8
		0,25	1,0–1,0	1,2–1,4
7	Амилциклогексилдисульфид Amylcyclohexyldisulfide 	1,0	1,6–1,6	1,6–1,8
		0,5	1,2–1,4	1,4–1,6
		0,25	1,0–1,0	1,2–1,2
8	Пентахлорфенолят натрия (эталон) Sodium pentachlorophenate (reference standard)	1,0	1,3–1,5	1,4–1,6
		0,5	0,7–1,0	0,8–1,2
		0,25	–	–
9	Масло М-8 Oil M-8	–	+	+

+ Сплошной рост микроорганизмов.

+ Continuous growth of microbes.

ставлены рассчитанные с применением квантово-химических методов характеристики исследуемых соединений. Потенциал ионизации характеризует энергию ионизации и является основной характеристикой атома, от которой в значительной степени зависят природа и прочность образуемых химических связей молекул. Чем больше потенциал ионизации атома или иона, тем обычно более выражены его кислотные свойства. Потенциал ионизации может служить мерой восстановительной активности элементов: чем меньше потенциал ионизации атома, тем более сильным восстановителем он является. Дипольный момент характеризует расположение электронов в молекуле: он тем больше, чем менее симметрично расположены заряды.

Квантово-химическими методами нами рассчитаны значения потенциалов ионизации и дипольных моментов. Результаты приведены в табл. 2, из данных которой следует, что потенциал ионизации, эВ, линейных соединений № 4 (C₈-S-S-; CH₂CONH₂), № 2 (C₅H₁₁; SS; CH₂CH=CH₂), № 1 (C₇H₁₅; -S-S-; C₅H₁₁) и № 3 (C₆H₁₁S; CH₂CH₂SSC₈H₁₇) соотносятся как 6,574 > 6,389 > 6,362 > 6,106. Дипольный момент для данных дисульфидов составляет соответственно 3,556 > 2,208 < 2,342 > 1,497.

Из табл. 3 следует, что длина связи, А°, составляет:

- C-C: 1,590; 1,532; 1,530; 1,536; 1,536; 1,534; 1,545; 1,536; 1,531; 1,528; 1,835; 1,841; 1,361; 1,534; 1,532; 1,540; 1,398; 1,517; 1,537; 1,528; 1,505; 1,402; 1,394; 1,539; 1,532; 1,533; 1,540; 1,535;

- C-S: 1,851; 1,867; 1,531; 1,534; 1,517; 1,528; 1,532;

- S-S: 2,081; 2,080; 2,083; 2,085; 2,082; 2,089;

- S-C: 1,851; 1,851; 1,857; 1,867; 1,861.

Из результатов квантово-химических расчетов (табл. 3) следует, что длина связи C-C, составляющая в среднем 1,533 А°, меньше, чем длина связи C-S (1,622 А°) и S-S (2,083 А°), т. е. связь C-C прочнее.

Из результатов исследования свойств синтезированных дисульфидов в смазочном масле М-8 (табл. 4) следует, что антимикробные свойства синтезированных соединений соответствуют,

а в ряде случаев превосходят уровень антимикробной активности известной биоцидной присадки – пентахлорфенолята натрия $C_6Cl_5ONa \cdot H_2O$, широко используемой для биостабилизации нефтепродуктов. Наблюдается определенная корреляция антимикробных свойств исследуемых дисульфидов с расчетными данными геометрического и электронного строения (потенциалом ионизации и дипольным моментом). Из линейных дисульфидов (соединения № 1–4) наиболее активными являются соединения № 4 и 2 (амилдитиоацетамид и амилаллилдисульфид). Соединения № 6 и 7, молекулы которых содержат бензиловый и циклический фрагменты, также проявляют эффективные антимикробные свойства. Следует отметить, что соединения № 2, 4, 6, 7 обладают одновременно бактерицидными и фунгицидными свойствами и могут быть рекомендованы в каче-

стве эффективных биоцидных присадок к смазочным материалам.

Из табл. 4 следует, что длина связи С–С (табл. 3) в исследуемых молекулах (соединения № 1–6) меньше, чем длина связей С–S (1,852 А°) и S–S (2,084 А°) и составляет 1,540; 1,532; 1,530; 1,334; 1,497; 1,532; 1,535; 1,551; 1,528; 1,398; 1,597; 1,528; 1,537; 1,505; 1,402; 1,394; 1,539; 1,532; 1,533; 1,540; 1,535; 1,851; 1,867; 1,851; 1,851; 1,857; 1,849; 1,848; 1,867; 2,081; 2,080; 2,083 А°.

Из результатов проведенных квантово-химических расчетов также следует, что длина связи С–С (в среднем 1,530 А°) меньше, чем длина связей С–S (1,851 А°) и S–S (2,083 А°), следовательно связь С–С прочнее связей С–S и S–S.

ВЫВОДЫ

Исследование показало, что согласно данным квантово-химических расчетов (потенциала ионизации, дипольного

момента, длины связей в молекуле), из числа исследуемых дисульфидов наибольшей антимикробной (бактерицидной и фунгицидной) эффективностью обладает амилаллилдисульфид, что, очевидно, связано с молекулярной структурой синтезированного соединения. Кроме того, в ходе исследования подтверждена значимая роль выявления связи между молекулярным строением антимикробной присадки и ее свойствами при выборе молекулярной структуры эффективного биоцида, что, в свою очередь, минимизирует вероятность биопоражения нефтепродуктов.

Исследование проведено при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований в рамках научного проекта № 18-55-06018, а также Фонда развития науки при Президенте Азербайджанской Республики (грант № EIF-BGM-4-RFTF-1/2017-21/12/4).

Литература:

1. Кулиев А.М. Химия и технология присадок к маслам и топливам. Л.: Химия, 1985. 312 с.
2. Гнатченко И.И., Бородин В.А., Репников В.Р. Автомобильные масла, смазки и присадки. М.: АСТ; СПб.: Полигон, 2000. 360 с.
3. Данилов А.М. Применение присадок в топливах. СПб.: Химиздат, 2010. 368 с.
4. Шевердов В.П. Синтез и биологическая активность карбо- и гетероциклов на основе тетрацианоэтилена: автореферат дис... докт. фарм. наук. Пермь, 2009. 49 с.
5. Мамедова П.Ш., Бабаев Э.Р., Эйвазова И.М. и др. Исследование антиокислительных и антимикробных свойств серосодержащих производных пространственно-затрудненных фенолов // Нефтегазохимия. 2016. № 4. С. 27–30.
6. ГОСТ 9.052-88. Единая система защиты от коррозии и старения (ЕСЗКС). Масла и смазки. Методы лабораторных испытаний на стойкость к воздействию плесневых грибов [Электронный источник]. Режим доступа: <http://docs.cntd.ru/document/1200015027> (дата обращения: 08.02.2019).
7. ГОСТ 9.082-77. Единая система защиты от коррозии и старения (ЕСЗКС). Масла и смазки. Методы лабораторных испытаний на стойкость к воздействию бактерий (с Изменением 1) [Электронный источник]. Режим доступа: <http://docs.cntd.ru/document/1200015038> (дата обращения: 08.02.2019).
8. Баскин И.И., Жохова Н.И., Палшлин В.А. и др. Многоуровневый подход к прогнозированию свойств органических соединений в рамках методологии исследования количественных соотношений структура-свойство/структура-активность // Доклады Академии наук. 2009. Т. 427. № 3. С. 335–339.
9. Полетаева О.Ю., Колчина Г.Ю., Александрова А.Ю. и др. Исследование влияния геометрического и электронного строения молекул антиокислительных присадок на эффективность их действия в топливе // Известия высших учебных заведений. Серия: Химия и химическая технология. 2015. Т. 58. № 6. С. 3–6.

References:

1. Guliyev A.M. Chemistry and Technology of Oil Additives and Combustion Catalysts. Leningrad, Khimiya [Chemistry], 1985, 312 p. (In Russian)
2. Gnatchenko I.I., Borodin V.A., Repnikov V.R. Motor Oils, Lubricants and Additives. Moscow, AST, Saint Petersburg, Poligon, 2000, 360 p. (In Russian)
3. Danilov A.M. The Use of Combustion Catalysts. Saint Petersburg, Khimizdat, 2010, 368 p. (In Russian)
4. Sheverdov V.P. Synthesis and Biological Activity of Tetracyanoethylene-based Carbo- and Heterocycles. Abstract of thesis for Ph. D of pharmaceutical sciences. Perm, 2009, 49 p. (In Russian)
5. Mamedova P.Sh., Babayev E.R., Aeyvazova I.M., et al. Studying Antioxidant and Antimicrobial Properties of Sulfur-Containing Derivatives of Partially Hindered Phenols. Neftegazokhimiya = Oil and Gas Chemistry, 2016, No. 4, P. 27–30. (In Russian)
6. Interstate Standard (GOST) 9.052-88. Unified System of Corrosion and Ageing Protection. Oils and Greases. Laboratory Test Methods for Mould Resistance [Electronic source]. Access mode: <http://docs.cntd.ru/document/1200015027> (access date – February 8, 2019). (In Russian)
7. Interstate Standard (GOST) 9.082-77. Unified Protection Corrosion And Ageing System. Oils And Lubricants. Methods Of Laboratory Tests For Resistance To Bacteria Action (with amendment 1) [Electronic source]. Access mode: <http://docs.cntd.ru/document/1200015038> (access date – February 8, 2019). (In Russian)
8. Baskin I.I., Zhokhov N.I., Palshlin V.A., et al. A Multilevel Approach to Prediction of Organic Compounds Properties in the Context of Research Methodology for Proportions of Structure-Property/Structure-Activity. Doclady Akademii Nauk = Papers of the Academy of Sciences, 2009, Vol. 427, Iss. 3, P. 335–339. (In Russian)
9. Poletayeva O.Yu., Kolchina G.Yu., Aleksandrova A.Yu., et al. Analysis of the Effect by Geometrical and Electronic Molecular Structure of Antioxidant Additives on Their Efficiency in Fuels. Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedeniy. Seriya Khimiya i Khimicheskaya Tekhnologiya [News from Higher Schools. Chemistry and Chemical Technology], 2015, Vol. 58, Iss. 6, P. 3–6. (In Russian)