

**РЕАКЦИОННАЯ СПОСОБНОСТЬ
БИС[*n*- α -МЕТИЛБЕНЗИЛ-*m*-МЕТИЛ-2-ГИДРОКСИФЕНИЛ]ДИСУЛЬФИДОВ И СЕЛЕНИДОВ****М.Е. Логинова¹, Г.Ю. Колчина², Э.Р. Бабаев³, Э.М. Мовсумзаде^{2,4}**¹Уфимский государственный нефтяной технический университет, г. Уфа, Россия, 450062

E-mail: ufamel@yandex.ru

²Стерлитамакский филиал Уфимского университета науки и технологий, г. Стерлитамак, Россия, 453103

E-mail: kolchina.gyu@mail.ru

³Институт химии присадок им. А.М. Кулиева Национальной академии наук Азербайджана, Баку, Азербайджанская республика, Az 1029⁴Российский государственный университет им. А.Н. Косыгина (Технологии. Дизайн. Искусство), Москва, Россия, 117997

E-mail: eldarmm@yahoo.com

*В работе установлены зависимости биологической активности синтезированных дитио- и дитиоселенсодержащих пространственно затрудненных фенолов α -метилбензильными группами от рассчитанных значений энергетических параметров молекул. Для исследуемых соединений рассчитаны значения индекса электрофильности, исходя из полученных значений потенциалов ионизации и сродства к электрону. Методами множественного регрессионного анализа установлены зависимости бактерицидных и фунгицидных свойств рассмотренных образцов от двух параметров: x_1 – энергия ВЗМО (верхней занятой молекулярной орбитали), x_2 – энергия НСМО (нижней занятой молекулярной орбитали) с достоверностью более 93%. По уравнениям, выведенным на основании представлений о проявлении антимикробных свойств среди бис[*n*- α -метилбензил-*m*-метил-2-гидрокси-фенил]дисульфид(селенид)ов, построены трехмерные графики функций с учетом граничных условий зоны угнетения микроорганизмов вокруг лунки по шкале 0-3 см. Полученные модели показывают, что изменение энергий НСМО (x_2) оказывает большее влияние на зону угнетения микроорганизмов, чем изменение энергий ВЗМО (x_1), что следует из сравнения величин коэффициентов при x_2 и x_1 соответственно. Причем степень влияния изменения энергий граничных молекулярных орбиталей на проявление фунгицидных свойств более значима нежели на бактерицидные, исходя из значений коэффициентов уравнений для смеси грибов и бактерий при значениях x_1 и x_2 .*

Ключевые слова: пространственно затрудненные фенолы, антимикробная активность, моделирование процесса, энергетические параметры, индекс электрофильности, реакционная способность, смазочные масла

**REACTIVITY OF BIS[*n*- α -METHYLBENZYL-*m*-METHYL-2-HYDROXYPHENYL]DISULFIDES
AND SELENIDES****M.E. Loginova¹, G.Yu. Kolchina², E.R. Babaev³, E.M. Movsumzade^{1,4}**¹Ufa State Petroleum Technological University, Ufa, Russia, 450062

E-mail: ufamel@yandex.ru

²Sterlitamak Branch of Ufa University of Science and Technology, Sterlitamak, Russia, 453103

E-mail: kolchina.gyu@mail.ru

³A.M. Kuliyevev Institute of Additive Chemistry of the National Academy of Sciences of Azerbaijan, Baku, Republic of Azerbaijan, Az 1029⁴Kosygin Russian State University (Technology. Design. Art), Moscow, Russia, 117997

E-mail: eldarmm@yahoo.com

In the work, the dependences of the biological activity of synthesized dithio- and dithiose-lene-containing spatially hindered phenols by α -methylbenzyl groups on the calculated values of the energy parameters of the molecules are established. For the studied compounds, the values of the electrophilicity index are calculated based on the obtained values of the ionization potentials and electron affinity. By methods of multiple regression analysis, the dependences of the bactericidal and fungicidal properties of the samples under consideration on two parameters were established: x_1 – the energy of the UOMO (upper occupied molecular orbital), x_2 – the energy of the LOMO (lower occupied molecular orbital) with a reliability of more than 93%. According to the equations derived on the basis of ideas about the manifestation of antimicrobial properties among bis[n - α -methylbenzyl- m -methyl-2-hydroxy-phenyl]disulfide(selenide)s, three-dimensional graphs of functions are constructed taking into account the boundary conditions of the zone of oppression of microorganisms around the hole on a scale of 0-3 cm. The obtained models show that the change in the energies of the LOMO (x_2) has a greater effect on the zone of suppression of microorganisms than the change in the energies of the UOMO (x_1), which follows from the comparison of the values of the coefficients at x_2 and x_1 , respectively. Moreover, the degree of influence of changes in the energies of the boundary molecular orbitals on the manifestation of fungicidal properties is more significant than on bactericidal ones, based on the values of the coefficients of the equations for a mixture of fungi and bacteria at values x_1 and x_2 .

Key words: spatially hindered phenols, antimicrobial activity, process modeling, energy parameters, electrophilicity index, reactivity, lubricating oils

Для цитирования:

Логинова М.Е., Колчина Г.Ю., Бабаев Э.Р., Мовсумзаде Э.М. Реакционная способность бис[n - α -метилбензил- m -метил-2-гидроксифенил]дисульфидов и селенидов. *Рос. хим. ж. (Ж. Рос. хим. об-ва)*. 2023. Т. LXVII. № 3. С. 51–56. DOI: 10.6060/RJ.2023673.7.

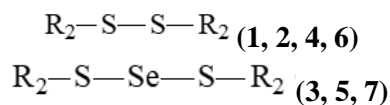
For citation:

Loginova M.E., Kolchina G.Yu., Babaev E.R., Movsumzade E.M. Reactivity of bis[n - α -methylbenzyl- m -methyl-2-hydroxyphenyl]disulfides and selenides. *Ros. Khim. Zh.* 2023. V. 67. N 3. P. 51–56. DOI: 10.6060/RJ.2023673.7.

На сегодняшний день смазочные материалы, обладающие смазочным действием, достаточно широко применяются в современной технике для снижения трения при механической обработке конструкционных и других материалов, а также для снижения трения в движущихся механизмах [1–5]. Но достаточно часто смазочные материалы – масла и охлаждающие жидкости подвергаются процессу радикально-цепного окисления и воздействию микроорганизмов при эксплуатации, транспортировке и хранении в неблагоприятных условиях. Данные процессы способствуют изменению их состава [6–9]. Образование в смазочных материалах продуктов окисления и развитие микроорганизмов влечет их ухудшение качества, а также может способствовать усилению коррозионной агрессивности. Одним из условий эффективного использования смазочных материалов является их устойчивость к окислению и воздействию микроорганизмов, поэтому для этого к ним применяют присадки, обладающие антиокислительным и антимикробным действием [10–13].

Ранее в работах [14–16] на основе проведенных квантово-химических расчетов были исследованы геометрические характеристики бис[n - α -метилбензил- m -метил-2-гидроксифенил]дисульфидов и селенидов в сравнении с экспериментально полученными данными и установлено, что в пространственно-затрудненных фенолах [17], содержащих объемные радикалы в o -положении происходит отклонение гидроксильной группы от плоскости ароматического кольца из-за больших пространственных препятствий, то есть гидроксильная группа перестает быть копланарной ароматическому кольцу. Нарушение данного сопряжения приводит к резкому изменению физико-химических свойств по сравнению с фенолами. Стерические затруднения, вызванные объемными заместителями, препятствует нормальному вращению гидроксильной группы вокруг связи С–О. Учитывая, что в исследуемых соединениях (рис. 1), синтезированных ранее [18], сохраняется сопряжение π -электронов ароматического кольца с p -электронами атома кислорода, система связей С–О–Н подвергается некоторым деформациям, при этом

появляется некоторый барьер вращения (заторможенное вращение) гидроксильной группы вокруг связи C—O.



где

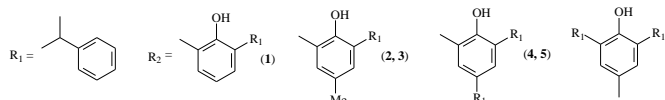


Рис. 1. Структуры исследуемых бис[*n*- α -метилбензил-*m*-метил-2-гидроксифенил]дисульфидов и селенидов

Индексы реакционной способности, рассчитанные в данной работе, показывают, что введение алкильных радикалов в *o*-положения фенолов приводит к резкому снижению кислотности за счет положительного индуктивного эффекта и нарушения копланарности ароматического кольца и гидроксильной группы, а также за счет пространственного затруднения сольватации образующегося аниона, за счет чего снижается его стабильность. В табл. 1 представлены рассчитанные молекулярные

индексы реакционной способности серии –S–S– и –S–Se–S–содержащих бис-*n*-гидрокси-*m*- α -метилбензилфенолов, рассчитанные методом UB3LYP/6-311++G(d,p), где IP = –E(ВЗМО), E_A = –E(НСМО), η – индекс абсолютной химической жесткости:

$$\eta = IP - E_A \quad (1)$$

S – индекс абсолютной химической мягкости:

$$S = 1 / 2\eta \quad (2)$$

μ – электрохимический потенциал:

$$\mu = (IP + E_A) / 2 \quad (3)$$

χ – электроотрицательность:

$$\chi = (E(ВЗМО) + E(НСМО)) / 2 \quad (4)$$

ω – глобальный индекс электрофильности:

$$\omega = \mu^2 / 2\eta \quad (5)$$

$$\Delta\omega = \omega - \omega_{\text{Ф}} \quad (6)$$

Также наличие алкильных заместителей приводит к снижению дипольного момента по сравнению с фенолом (табл. 1) (3). Стерические затруднения исследуемых бис[*n*- α -метилбензил-*m*-метил-2-гидроксифенил]дисульфидов и селенидов влияют и на сорбционные свойства. Так, увеличение объема заместителей приводит к ухудшению сорбционных свойств фенолов, что видно по хроматографическому поведению пространственно затрудненных фенолов [15, 17].

Таблица 1

Молекулярные индексы реакционной способности серии –S–S– и –S–Se–S–содержащих бис-*n*-гидрокси-*m*- α -метилбензилфенолов, рассчитанные методом UB3LYP/6-311++G(d,p)

Соед.	IP, эВ	E _A , эВ	– μ , эВ	η , эВ	S	χ	ω , эВ	$\Delta\omega$, эВ
1	5,908	1,722	3,815	4,186	0,119	3,815	1,738	1,494
2	5,807	1,703	3,755	4,104	0,122	3,755	1,718	1,474
3	5,916	1,75	3,833	4,166	0,12	3,833	1,763	1,519
4	5,791	1,369	3,58	4,422	0,113	3,58	1,449	1,205
5	5,823	2,014	3,919	3,809	0,131	3,919	2,016	1,772
6	5,763	1,894	3,829	3,869	0,129	3,829	1,895	1,651
7	5,524	1,731	3,628	3,793	0,132	3,628	1,735	1,491

Таблица 2

Значения структурных параметров соединений 1-7

Соединение	l _{OH} , Å	r _{OH}	q _o		q _s	
1	0,967	0,967	0,333	0,303	-0,008	0,049
2	0,974	0,965	0,319	0,284	-0,023	0,063
3	0,975	0,966	0,320	0,277	-0,023	0,069
4	0,969	0,964	0,299	0,305	0,014	0,015
5	0,972	0,968	0,305	0,263	0,043	0,179
6	0,975	0,965	0,305	0,310	0,083	0,180
7	0,969	0,964	0,295	0,307	0,056	0,105

Расчет и сравнение длин и энергий связей O–H (табл. 2) и индексов реакционной способности

показывает зависимость между расчетными параметрами и полученными экспериментальными

данными [18, 19]. При сравнении величин видно, что длина связи O–H увеличивается в ряду **1**<**2**<**3** и снова уменьшается для соединения **4** среди замещенных сульфидов. Поэтому для сульфидов можно ожидать последовательное увеличение реакционной способности при взаимодействии с пероксидными радикалами ROO• в ряду **1-3** и уменьшение – для **4**. При рассмотрении селенидов видно, что длины связи O–H примерно равны для **5** и **6** и уменьшаются при переходе к **7**. Тогда для **5** и **6** можно ожидать сопоставимую реакционную способность с пероксидными радикалами, а для **7** данное значение будет ниже.

Также при сравнении значений антиокислительной активности, полученных ранее [19, 20], бис[*n*- α -метилбензил-*m*-метил-2-гидроксифенил]дисульфидов и селенидов по атому серы установлено, что данный электроотрицательный атом связан с разрушением гидропероксидов ROOH. Учитывая тот факт, что атом серы при этом подвергается окислению, можно предположить, что эта реакция будет идти эффективнее при большей доступности электронов атома серы, а следовательно, при локализации на ней более отрицательного заряда (табл. 2). Парциальные заряды по Малликену на атомах серы для соединений **3** и **5** имеют наименьшие значения. Следовательно, от данных соединений можно ожидать наибольшую реакционную способность в реакциях разрушения гидропероксидов ROOH. Примечателен тот факт, что оба эти соединения имеют схожие структуры с α -метилбензильными заместителями в *o*- и *n*-положении и сульфидной группой в *o*-положении фенола. При соотнесении вышеприведенных результатов сравнений расчетных значений и экспериментально полученных данных, установлена зависимость между длиной и энергией связи O–H и антиокислительной активностью и можно предположить, что **3** и **5** будут иметь наибольшую антиокислительную эффективность, имея наибольшие реакционные способности и по гидроксильной и по сульфидной группам, что хорошо соотносится с экспериментальными данными. Установлено, что введение метильной группы в *n*-положение бензольного кольца пространственно затрудненного фенола приводит к увеличению антиокислительной эффективности. Так, эффективность соединения **2** больше эффективности соединения **1** в указанных условиях. Еще большее усиление антиокислительной эффективности наблюдается при введении в *n*-положение α -метилбензильной группы. Из [19] видно, что эффективность соединения **3** больше, чем у вещества

2. Однако для соединения **4**, имеющего дисульфидную группу в *n*-положении и две α -метилбензильные группы в *o*-положении, можно заметить меньшее проявление антиокислительной эффективности, чем для соединения **3** и сопоставимое с эффективностью соединения **2**. Это связано с двумя объемными α -метилбензильными заместителями в *o*-положении относительно гидроксильной группы, которые сильно экранируют ее, затрудняя тем самым реакцию с пероксидными радикалами.

В бис[*n*- α -метилбензил-*m*-метил-2-гидроксифенил]селенидах замена метильной группы соединения **6** на α -метилбензильную в соединении **5** приводит к увеличению антиокислительной эффективности, а для соединения **7**, имеющего -S-Se-S-мостик в *n*-положении, эффективность меньше, чем для соединений **5** и **6**, что также объясняется возможными стерическими затруднениями для гидроксильной группы. Результаты показывают, что замещенные бис[*n*- α -метилбензил-*m*-метил-2-гидроксифенил]селениды проявляют большую антиокислительную эффективность и являются эффективными ингибиторами смазочных масел ввиду наличия большего числа активных центров в данных молекулах и, следовательно, прерывая большее число цепей окисления, чем молекулы, содержащие дисульфидную мостиковую группу. Таким образом, эффективное экранирование гидроксильной группы в замещенных фенолах, наряду с широко применяемыми третбутильными радикалами, можно осуществлять введением в *o*-положения молекулы фенола α -метилбензильных групп (табл. 2).

Для замещенных бис[*n*- α -метилбензил-*m*-метил-2-гидроксифенил]дисульфидов и селенидов рассчитаны значения индекса электрофильности и установлена зависимость с антиокислительной активностью, полученной экспериментально, исходя из полученных значений потенциалов ионизации и сродства к электрону (табл. 1). По расчетным данным значение индекса глобальной электрофильности соединения **5** имеет наибольшее значение, равное 2,016 эВ. Значения энергий ВЗМО расположены низко, поэтому молекулы трудно окисляются. Этим и определяется поведение исследуемых соединений при столкновении с другими молекулами в топливе

Показано [19], что бис[*n*- α -метилбензил-*m*-метил-2-гидроксифенил]дисульфиды и селениды проявляют бактерицидную и фунгицидную активности даже при концентрации 0,125%. Причем эффективность бис[*n*- α -метилбензил-*m*-метил-2-гид-

рокси-фенилтио]селенидов заметно превышает эффективность бис[*n*- α -метилбензил-*m*-метил-2-гидроксифенил]-дисульфидов в подавлении микроорганизмов, чего нельзя сказать об известном биоциде 8-оксихинолине, который при концентрации 0,25% не подавляет рост как бактериальной, так и грибной микрофлоры.

На основании полученных результатов выявлена зависимость антимикробной активности бис[*n*- α -метилбензил-*m*-метил-2-гидрокси-фенил]дисульфид(селенид)ов от значений их энергии граничных молекулярных орбиталей (табл. 1). Данная зависимость представляет собой нелинейную функцию взаимосвязи антимикробной активности от значений энергий высшей занятой (ВЗМО) и нижней свободной (НСМО) орбиталей (7):

$$\text{АМА} = a + bx_1^n + cx_2^n - dx_1^n x_2^n \quad (7)$$

где АМА – антимикробная активность;

a, b, c, d – коэффициенты;

x_1 – энергия ВЗМО;

x_2 – энергия НСМО.

Методом множественной регрессии с учетом показателей антимикробной активности исследуемых соединений и расчетных параметров значений энергий граничных орбиталей определены коэффициенты a, b, c, d в уравнении (7). Полученные уравнения имеют следующие виды (8 – для грибов, 9 – для бактерий):

$$\text{АМА} = 2.748 + 0.261x_1^2 + 4.273x_2^2 - 2.245x_1x_2 \quad (99,7\%) \quad (8)$$

$$\text{АМА} = 7.211 + 0.201x_1^2 + 4.362x_2^2 - 2.2447x_1x_2 \quad (93\%) \quad (9),$$

где в скобках указана сходимость с экспериментальными результатами.

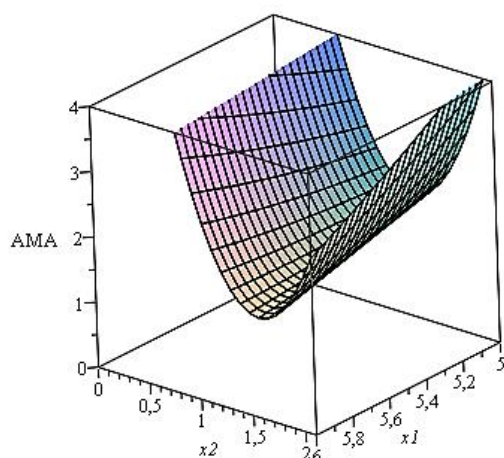


Рис. 2. График зависимости бактерицидных свойств от энергий граничных орбиталей (ур-е 8)

По уравнениям, выведенным на основании представлений о проявлении антимикробных свойств среди бис[*n*- α -метилбензил-*m*-метил-

2-гидрокси-фенил]дисульфид(селенид)ов, построены трехмерные графики функций (7) с учетом граничных условий зоны угнетения микроорганизмов вокруг лунки по шкале 0-3 см. На рисунках 2-3 ось Z - зона подавления до 4 см. (рис. 2, 3).

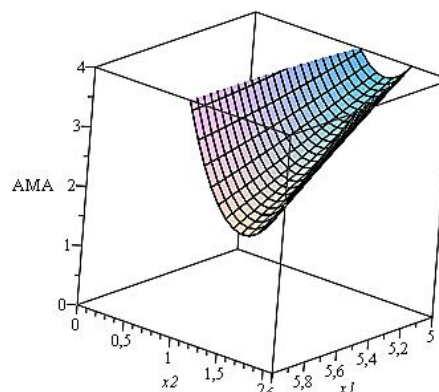


Рис. 3. График зависимости фунгицидных свойств от энергий граничных орбиталей (ур-е 9)

ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ И ВЫВОДЫ

Установлено, что с возрастанием значения индекса абсолютной химической жесткости биологическая активность соединения падает (соединения 4 и 6). Рост жесткости молекулы определяется сопротивлением деформации из-за электрического поля и эффекта химических реакций. Величина коэффициента детерминации говорит о том, что данные модели можно применять, так они достаточно полно отражают данные эксперимента. Полученные модели показывают, что изменение энергий НСМО (x_2) оказывает большее влияние на зону угнетения микроорганизмов, чем изменение энергий ВЗМО (x_1), что следует из сравнения величин коэффициентов c и b при x_2 и x_1 соответственно. Причем степень влияния изменения энергий граничных молекулярных орбиталей на проявление фунгицидных свойств более значима нежели на бактерицидные, исходя из значений коэффициентов уравнений для смеси грибов и бактерий при значениях x_1 и x_2 . Коэффициент детерминации возрастает с применением нелинейных моделей, поэтому при прогнозировании антимикробных свойств среди бис[*n*- α -метилбензил-*m*-метил-2-гидрокси-фенил]дисульфид(селенид)ов следует учитывать взаимное влияние изменений энергий НСМО и ВЗМО – использование нелинейных моделей.

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

The authors declare the absence a conflict of interest warranting disclosure in this article.

ЛИТЕРАТУРА

1. Топлива, смазочные материалы, технические жидкости. ассортимент и применение: справочник / И.Г. Анисимов, К.М. Бадыштова, С.А. Бнатов и др.: под ред. В.М. Школьников. Изд. 2-е перераб. и доп. – М.: Издательский центр «Техинформ», 1999. 596 с.
2. *Алексанян К.Г., Кошелев В.Н., Чебан Э.Г., Стоколос О.А., Килякова А.Ю., Сорочкина А.С., Шамсутдинова Л.П., Газизов М.Б., Писцова А.Л., Алексанян Д.Р., Агаджанян С.А.* Изв. вузов. Химия и хим. технология. 2021. Т. 64. Вып. 11. С. 35-43. DOI: 10.6060/ivkkt.20216411.6476.
3. *Егоров Е.Н., Ушмарин Н.Ф., Сандалов С.И., Кольцов Н.И.* Разработка и исследование резинового смеси для прокладок рельсовых скреплений. Российский химический журнал. 2021. Т. 65. № 1. С. 56-61.
4. *Алексанян К.Г., Стоколос О.А., Солодова Е.В., Зайцева Ю.Н., Салманов С.Ю., Яруллин Н.Р., Налетова А.В., Михайлов Э.Р.* Изв. вузов. Химия и хим. технология. 2018. Т. 61. Вып. 9-10. С. 120-125. DOI: 10.6060/ivkkt.20186109-10.5848.
5. *Макарян И.А., Седов И.В.* Рыночный потенциал промышленных технологий получения синтетических осевых моторных масел. Российский химический журнал. 2020. Т. 64. № 1. С. 93-112.
6. *Бейли К.* Торможение химических реакций. М.: ГНТИ, 1940. 460 с.
7. *Антоновский В.Л.* Органические перекисные инициаторы. М.: Химия, 1972. 445 с.
8. *Эммануэль Н.М., Денисов Е.Т., Майзус З.К.* Цепные реакции окисления углеводородов в жидкой фазе. М.: Наука, 1965. 373 с.
9. *Фарзалиев В.М.* Транспорт и хранение нефтепродуктов и углеводородного сырья. 2016. № 3. С. 24–28.
10. *Кулиев А.М.* Химия и технология присадок к маслам и топливам. М.: Химия, 1972. 358 с.
11. *Данилов А.М.* Применение присадок в топливах. СПб.: Химиздат. 2010. 368 с.
12. *Рудник Л.Р.* Присадки к смазочным материалам. Свойства и применение. СПб.: Профессия. 2013. 927 с.
13. *Горюнова А.К., Лихтерова Н.М., Шаталов К.В., Клеттер Е.А.* Изв. вузов. Химия и хим. технология. 2021. Т. 64. Вып. 1. С. 79–84. DOI: 10.6060/ivkkt.20216401.6290.
14. *Kolchina G.Yu.* DGMK Tagungsbericht. 2018. P. 169–175.
15. *Тухватуллин Р.Ф., Колчина Г.Ю., Мовсумзаде Э.М., Мамедова П.Ш., Бабаев Э.Р.* Изв. вузов. Химия и хим. технология. 2018. Т. 61. Вып. 4-5. С. 84–92. DOI: 10.6060/tcct.20186104-05.5659.
16. *Колчина Г.Ю.* Нефтегазохимия. 2017. № 1. С. 10–13.
17. *Ершов В.В., Никифоров Г.А., Володькин А.А.* Пространственно-затрудненные фенолы. М.: Химия. 1972. 435 с.
18. *Мамедова П.Ш., Бабаев Э.Р., Беляева А.С., Сафиуллина И.И., Азизова С.М., Колчина Г.Ю., Эйвазова И.М., Тухватуллин Р.Ф., Рольник Л.З.* Нефтепереработка и нефтехимия. 2017. № 8. С. 41–45.
19. *Kolchina G.Yu., Babaev E.R., Poletaeva O.Yu., Bakhtina A.Yu., Movsumzade E.M.* DGMK Tagungsbericht. 2019. P. 185–193.
20. *Мамедова А.Х., Кязим-заде А.К., Нагиева Э.А.* Нефтепереработка и нефтехимия. 2010. № 9. С. 28-29.

REFERENCES

1. Fuels, lubricants, technical liquids. assortment and application: reference book / I.G. Anisimov, K.M. Badystova, S.A. Bnатов and others: ed. V.M. Shkolnikov. Ed. 2nd revision and additional – M.: Tekhinform Publishing Center, 1999. 596 p.
2. *Aleksanyan K.G., Koshelev V.N., Cheban E.G., Stokolos O.A., Kilyakova A.Yu., Sorokina A.S., Shamsutdinova L.P., Gazizov M.B., Pistsova A.L., Aleksanyan D.R., Agadzhanyan S.A.* ChemChemTech [Izv. Vyssh. Uchebn. Zaved. Khim. Khim. Tekhnol.]. 2021. V. 64. N 11. P. 35–43. DOI: 10.6060/ivkkt.20216411.6476.
3. *Egorov E.N., Ushmarin N.F., Sandalov S.I., Koltsov N.I.* Russian Chemical Journal. 2021. Vol. 65. No. 1. p. 56-61.
4. *Alexanyan K.G., Stokolos O.A., Solodov E.V., Zaitseva Yu.N., Salmanov S.Y., Yarullin N.R., Naletova V.A., Mikhailov E.R.* ChemChemTech [Izv. Vyssh. Uchebn. Zaved. Khim. Khim. Tekhnol.]. 2018. V. 61. N 9-10. P. 120-125. DOI: 10.6060/ivkkt.20186109-10.5848.
5. *Makaryan I.A., Sedov I.V.* Russian Chemical Journal. 2020. V. 64. N 1. P. 93-112.
6. *Bailey K.* Inhibition of chemical reactions. - M.: GNTI, 1940. 460 p.
7. *Antonovsky V.L.* Organic peroxide initiators. - Moscow: Chemistry, 1972. 445 p.
8. *Emmanuel N.M., Denisov E.T., Mayzus Z.K.* Chain reactions of hydrocarbons oxidation in liquid phase. - M.: Nauka, 1965. 373 p.
9. *Farzaliev V.M.* Transport and storage of oil products and hydrocarbon raw materials. 2016. N 3. P. 24–28.
10. *Kuliev A.M.* Chemistry and technology of additives to oils and fuels. - Moscow: Chemistry, 1972. 358 p.
11. *Danilov A.M.* The use of additives in fuels. - St. Petersburg: Himizdat. 2010. 368 p.
12. *Rudnick, Leslie R.* Lubricant additives. Properties and application. SPb.: Profession. 2013. 927 p.
13. *Goryunova A.K., Likhterova N.M., Shatalov K.V., Kletter E.A.* ChemChemTech [Izv. Vyssh. Uchebn. Zaved. Khim. Khim. Tekhnol.]. 2020. V. 64. N 1. P. 79–84. DOI: 10.6060/ivkkt.20216401.6290.
14. *Kolchina G.Yu.* DGMK Tagungsbericht. 2018. P. 169–175.
15. *Tukhvatullin R.F., Kolchina G.Yu., Movsumzade E.M., Mamedova P.Sh., Babaev E.R.* ChemChemTech [Izv. Vyssh. Uchebn. Zaved. Khim. Khim. Tekhnol.]. 2018. V. 61. N 4-5. P. 84–92. DOI: 10.6060/tcct.20186104-05.5659.
16. *Kolchin G.Yu., Tukhvatullin R.F., Babaev E.R., Movsumzade E.M.* Oil and Gas Chemistry. 2017. N 1. P. 10–13.
17. *Ershov V.V., Nikiforov G.A., Volodkin A.A.* Spatially hindered phenols. M.: Chemistry. 1972. 435 p.
18. *Mamedova P.Sh., Babaev E.R., Belyaeva A.S., Safiullina I.I., Azizova S.M., Kolchin G.Yu., Eyvazova I.M., Tukhvatullin R.F., Rolnik L.Z.* Oil refining and petrochemistry. 2017. N 8. P. 41–45.
19. *Kolchina G.Yu., Babaev E.R., Poletaeva O.Yu., Bakhtina A.Yu., Movsumzade E.M.* DGMK Tagungsbericht. 2019. P. 185–193.
20. *Mamedova A.Kh., Kyazim-zade A.K., Nagieva E.A.* Oil refining and petrochemistry. 2010. N. 9. P. 28-29.

Поступила в редакцию (Received) 05.07.2023

Принята к опубликованию (Accepted) 16.10.2023