

ВЛИЯНИЕ ИНГИБИТОРОВ НА ОСНОВЕ ПРОИЗВОДНЫХ ФОСФИТА НА ХЕМИЛЮМИНЕСЦЕНЦИЮ ПРИ ФОТО- И ТЕРМООКИСЛЕНИИ ДИЗЕЛЬНОГО ТОПЛИВА**А.П. Мамедов, Ч.К. Расулов, Ч.К. Салманова, С.Ф. Ахмедбекова, М.В. Нагиева, Н.Р. Дадашова**

Али Панах оглу Мамедов, Чингиз Князь оглу Расулов, Чимназ Кафар кызы Салманова, Саида Фуад кызы Ахмедбекова *, Мехрибан Видади кызы Нагиева, Нармин Расим кызы Дадашова

Институт Нефтехимических Процессов им. Ю.Г. Мамедалиева НАНА, пр. Ходжалы, 30, Баку, Азербайджан, AZ1025

e-mail: saida_ahmadbayova@yahoo.com *

Проведены исследования термо- и фототермоокисления дизельного топлива методами термохемилюминесценции и фототермохемилюминесценции с участием ингибиторов на основе фосфитов с различными заместителями. Рассмотрены влияния особенностей строения ингибиторов на эффективность и степень тушения хемилюминесценции в интервале температур 20-220 °С до и после воздействия фотооблучения с использованием светофильтра, имитирующего солнечное излучение. Основными компонентами дизельного топлива с температурной кипения 180-360 °С являются нафтенно-парафиновые и алкилароматические углеводороды. Большая чувствительность дизельных топлив к фотоокислению обусловлена наличием в их составе фенантроновых углеводородов, обладающих большим временем жизни триплетного состояния. Установлено, что фотохимические реакции в дизельном топливе происходят по молекулярному и радикальному механизмам, соответственно по одно- и двухквантовым способам поглощения света. Одноквантовый процесс происходит в ароматических кольцах с образованием эндопероксидов. Двухквантовый процесс протекает в результате внутримолекулярного переноса энергии от ароматических колец к алкильным заместителям, в которых генерируются алкилароматические радикалы и атомы водорода. Последние из-за большой реакционной способности не стабилизируются и способствуют продолжению цепной реакции с образованием радикалов ($H+R-ArH \rightarrow H_2+R^{\cdot}-ArH$). Обсуждается изменение валентности фосфора в ингибиторах при их взаимодействии с пероксидными радикалами, образованными в нафтенно-парафиновых и алкилароматических углеводородах. Рассмотрены минимальное и максимальное количества указанных радикалов, вступающих в реакцию с молекулами, содержащими фрагменты со слабосвязанными C–H связями и неспаренными электронами C–O \cdot , образующимися при фотооблучении ингибитора. Показано, что для термического и фототермического окисления дизельного топлива более эффективным ингибитором является ингибитор II. Установлено, что ингибитор II является более эффективным при термоокислении, чем при фотоокислении.

Ключевые слова: ингибиторы, фенолы, фосфиты, хемилюминесценция, фото- и термическое окисление, валентность фосфора, нафтенопарафиновые и ароматические углеводороды

INFLUENCE OF INHIBITORS ON BASIS OF DERIVATIVES OF PHOSPHIT ON CHEMILUMINESCENCE AT PHOTO AND THERMOOXIDATION OF DIESEL FUEL**A.P. Mamedov, Ch.K. Rasulov, Ch.K. Salmanova, S.F. Akhmedbekova, M.V. Nagiyeva, N.R. Dadashova**

Ali P. Mamedov, Chingiz K. Rasulov, Chimnaz K. Salmanova, Saida F. Akhmedbekova*, Mekhriban V. Nagiyeva, Narmin R. Dadashova

Institute of Petrochemical Processes named after Yu.G. Mamedaliev, NANA, Khodzhalay ave., 30, Baku, AZ1025, Azerbaijan

e-mail: saida_ahmadbayova@yahoo.com *

Thermal and photothermal oxidation of diesel fuel was studied by thermal chemiluminescence and photothermochemiluminescence using phosphite-based inhibitors with various substitutes. The influence of the peculiarities of the structure of inhibitors on the efficiency and degree of quenching of chemiluminescence in the temperature range of 20-220 °C before and after exposure to the photo irradiation using a light filter simulating solar radiation is considered. The main components of diesel fuel with a temperature boiling of 180-360 °C are naphthenic-paraffinic and alkylaromatic hydrocarbons. The high sensitivity of diesel fuels to photo-oxidation is due to the presence of phenanthrene hydrocarbons in their composition, which have a long life time of triplet states. It has been established by one- and two-photon methods of light absorption that photochemical reactions in diesel fuel take place according to the molecular and radical mechanisms, respectively. The single-quantum process occurs in aromatic rings with the formation of endoperoxides. The two-quantum process proceeds as a result of intramolecular energy transfer from aromatic rings to alkyl substituents in which alkylaromatic radicals are generated by hydrogen atoms. The latter, because of their high reactivity, do not stabilize and contribute to the continuation of the chain reaction with the formation of radicals ($H+R\cdot - ArH \rightarrow H_2+R\cdot - ArH$). The change in the valence of phosphorus in inhibitors during their interaction with peroxide radicals formed in naphthene-paraffinic and alkylaromatic hydrocarbons is discussed. The minimum and maximum amounts of these radicals reacting with molecules containing fragments with weakly bound C-H bonds and unpaired electrons $C^{\cdot}-O^{\cdot}$, formed during photo-irradiation of the inhibitor, are considered. It has been shown that for thermal and photothermal oxidation of diesel fuel, inhibitor II is a more effective inhibitor. It has been established that inhibitor II is more effective at thermal oxidation than at photooxidation.

Key words: inhibitors, phenols, phosphites, chemiluminescence, photo- and thermal oxidation, valence of phosphorus, naphthene-paraffin and aromatic hydrocarbons

Для цитирования:

Мамедов А.П., Расулов Ч.К., Салманова Ч.К., Ахмедбекова С.Ф., Нагиева М.В., Дадашова Н.Р. Влияние ингибиторов на основе производных фосфита на хемилуминесценцию при фото- и термоокислении дизельного топлива. *Изв. вузов. Химия и хим. технология*. 2019. Т. 62. Вып. 3. С. 76–82

For citation:

Mamedov A.P., Rasulov Ch.K., Salmanova Ch.K., Akhmedbekova S.F., Nagiyeva M.V., Dadashova N.R. Influence of inhibitors on basis of derivatives of phosphit on chemiluminescence at photo and thermooxidation of diesel fuel. *Izv. Vyssh. Uchebn. Zaved. Khim. Khim. Tekhnol.* 2019. V. 62. N 3. P. 76–82

Нефтяные масла, топлива, как и многие нефтепродукты различного назначения, при эксплуатации, транспортировке, хранении часто подвергаются термо- и фотоокислительному старению, при этом изменяются их физико-химические характеристики, ухудшаются свойства, снижаются сроки их службы.

В стандартах на нефтепродукты рассматриваются показатели термоокислительной стабильности (ГОСТ 23175-78, ГОСТ 981-55). Однако определение термоокислительной стабильности является трудоемким, многостадийным, малопроизводительным методом.

Одним из наиболее простых и чувствительных экспресс методов определения термо- и фото-термоокислительной стабильности нефтепродуктов является метод хемиллюминесценции (ХЛ), применяемый в широком интервале температур [1-3].

Ранее [4-12] были исследованы влияния ингибиторов на основе производных фенола на ХЛ при фото- и термоокислении различных нефтяных систем. Одним из основных направлений дальнейших исследований фото- и термоокисления этих систем является использование в качестве ингибиторов производных фосфита [13-18]. Было показано, что в процессе фотоокисления фосфиты, по сравнению со многими производными фенола, обладают значительно большей ингибирующей активностью.

Одним из нетрадиционных направлений использования нефтепродуктов [19, 20], в том числе дизельного топлива, является использование их в качестве фотоллюминофоров, обратимых аккумуляторов солнечной энергии, фотосенсибилизаторов разложения органических соединений, люминесцентных красителей, фотохромных материалов и

др. Во всех этих случаях нефтепродукты подвергаются воздействию солнечного и искусственного излучения. Однако механизм воздействия солнечного излучения изучен в значительно меньшей степени. В связи с этим большой научный и практический интерес представляет изучение чувствительности нефтепродуктов к солнечному излучению, при котором происходит их фотоокисление.

Большая чувствительность дизельных топлив к фотоокислению обусловлена наличием в их составе компонентов, обладающих большим временем триплетного состояния. Одними из таких компонентов являются фенантроновые углеводороды (УВ) [21]. При отсутствии передачи энергии эти УВ, по сравнению с другими компонентами дизельного топлива, подвергаются более эффективному фотоокислению.

В настоящей работе методом ХЛ проведены исследования фотоокисления дизельного топлива с температурой кипения 180-360 °С до и после ингибирования производными фосфитов.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЧАСТЬ

Физико-химические характеристики дизельного топлива представлены в таблице.

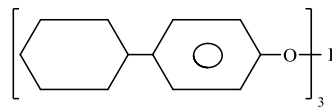
Таблица

Физико-химические показатели дизельного топлива
Table 1. Physicochemical indicators of diesel fuel

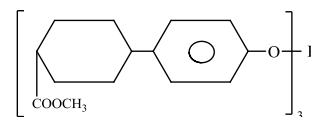
Показатели	По ГОСТ 305-82
Плотность при 20 °С, кг/м ³	852,0
Кинематическая вязкость при 20 °С, мм ² /с	4,76
Температура застывания, °С	-10
Содержание ароматических УВ, %	22,0
Температура кипения, °С	180-360
Температура вспышки в открытом тигле, °С, не менее	62
Общее количество серы, % масс более	0,2
Концентрация смолы, мг на 100 см ³	25
Кислотность, мг КОН на 100 см ³ топлива, на более	5
Йодное число, г йода на 100 г топлива, на более	5
Коксуемость 10% остатка, не менее	0,10
Термоокислительная стабильность, мг осадка / 100 мл топлива	18,5

В настоящей работе в качестве ингибиторов использованы производные фосфита: три[пара-(циклогексил)-фенил]-фосфит (I) и три[4-(4-метилвый эфир циклогексан карбоновой кислоты) оксифенил] фосфит (II). Ингибиторы добавляли в дизельное топливо в количестве 0,5 масс %. Эти фосфиты

являются нетоксичными и разрешены для применения в полимерах, контактирующих с пищевыми продуктами.



I



II

Мерой антиокислительной активности ингибиторов является степень тушения ими ХЛ.

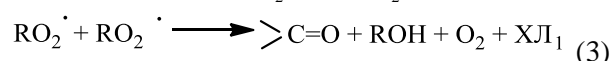
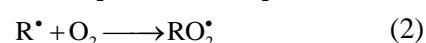
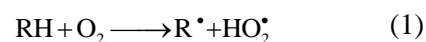
Исследования термохемилюминесценции ТХЛ и фототермохемилюминесценции (ФТХЛ) проводили с использованием приставки диффузного отражения к спектрофотометру с эллиптическим зеркалом, в одном фокусе которого находился образец, в другом – катод фотоэлектронного умножителя (ФЭУ-39А) [15]. Образцы (толщиной 0,1-1 мм, диаметром 20 мм) находились в специальном невакуумированном криостате, позволяющем проводить измерения в интервале -196–250 °С. Свечение образцов регистрировали с помощью ФЭУ-39А, усилителя постоянного тока и электронного потенциометра (КСП-4).

Фотооблучение образцов проводили неразложенным светом ртутной лампы (ПРК-2) с использованием светофильтра БС-4, т.е. светом, близким по спектральному составу к солнечному излучению.

Эффективности ингибиторов оценивали по отношению площади под кривыми ТХЛ и ФТХЛ.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

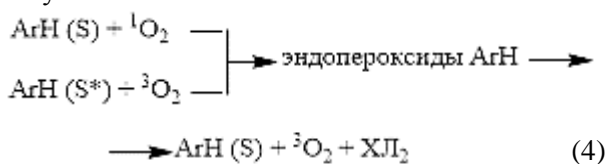
Для изучения механизма действия и эффективности ингибиторов необходимо рассмотреть основные стадии окисления дизельного топлива. Термическое окисление последнего происходит по цепному механизму с участием свободных радикалов [3]:



Реакция (3) сопровождается ХЛ, связанной с возбужденными состояниями кетонов и кислорода.

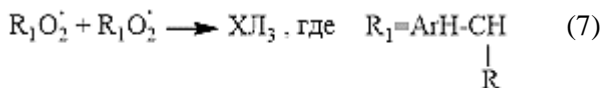
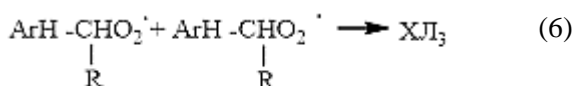
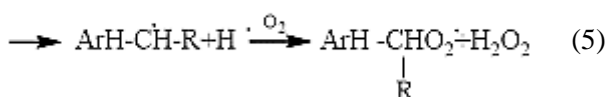
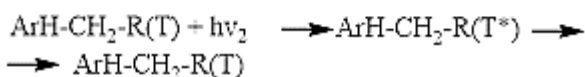
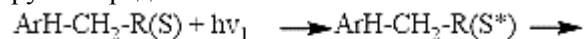
При нагреве фотооблученного дизельного топлива ХЛ протекает как по радикальному, так и

по молекулярному механизмам. В алкилароматических углеводородах фотоокисление происходит в ароматическом кольце по молекулярному механизму.



где ArH – ароматические углеводороды.

Другой механизм ХЛ в алкилзамещенных ArH протекает по внутримолекулярному двухквантовому механизму. При этом происходит передача энергии между ароматическими кольцами и алкильными заместителями, в результате чего генерируются радикалы.



где ArH – ароматические углеводороды, S, S*, T, T* – соответственно основные и возбужденные синглетные и триплетные состояния молекул ArH.

Образование пероксидных радикалов при термо- (реакция (3)) и фотоокислении (реакция (7)) дизельного топлива можно предотвратить добавлением в него ингибиторов окисления.

На рис. 1 представлены кривые ТХЛ дизельного топлива до и после добавления ингибиторов I и II. Как видно из рис. 1, в интервале температур 20-220 °С происходит непрерывный рост интенсивности ТХЛ дизельного топлива с минимумом при 216 °С (кр. 1). Однако после добавления ингибиторов I и II в дизельное топливо уменьшается интенсивность ТХЛ (кр. 2 и 3). При этом влияние ингибитора I носит немонокотонный характер. При температурах 167 и 216 °С наблюдаются минимумы на кривой ТХЛ (кр. 2). Эффективность действия ингибитора I составляет 2,632. Действие ингибитора II на эффективность ТХЛ (кр. 3) существенно увеличивается по сравнению с ингибитором I и составляет 12,597.

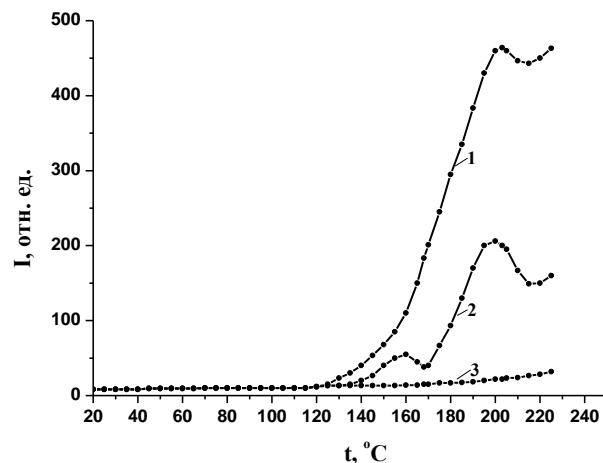


Рис. 1. Кривые ТХЛ дизельного топлива до (1) и после добавления ингибиторов I (2) и II (3)
Fig. 1. TCL curves of diesel fuel before and after the addition of inhibitors I (2) and II (3)

На рис. 2 представлены кривые ФТХЛ дизельного топлива до и после добавления ингибиторов I и II. Как видно из рис. 2, в интервале температур 20-220 °С наблюдается ФТХЛ дизельного топлива, главным образом, с двумя максимумами при 115 и 205 °С (кр. 1). После добавления ингибитора I происходит уменьшение интенсивности ФТХЛ (кр. 2). Влияние ингибитора II, главным образом, приводит к уменьшению интенсивности высокотемпературного максимума (205 °С) ФТХЛ дизельного топлива (кр. 3). Эффективности влияния ингибиторов I и II на ФТХЛ соответственно равны 1,354 и 3,406.

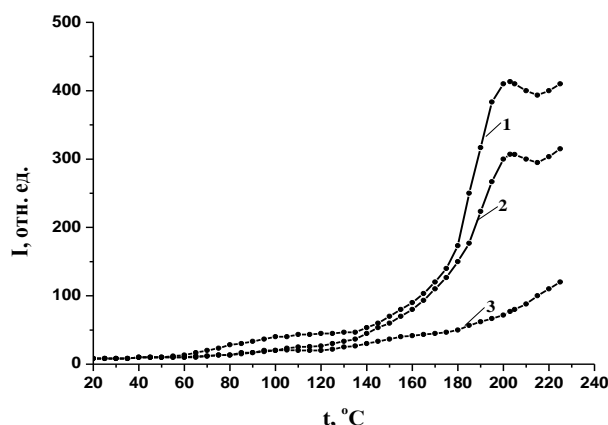


Рис. 2. Кривые ФТХЛ дизельного топлива до (1) и после добавления ингибиторов I (2) и II (3)
Fig. 2. PTCL curves of diesel fuel before and after the addition of inhibitors I (2) and II (3)

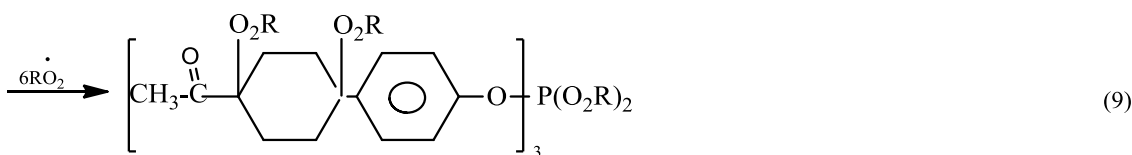
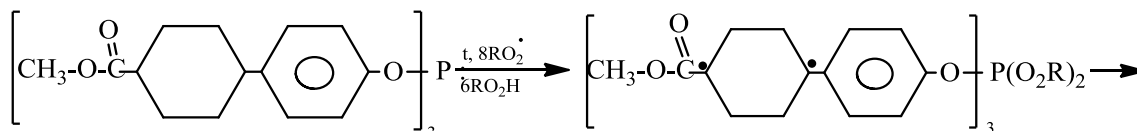
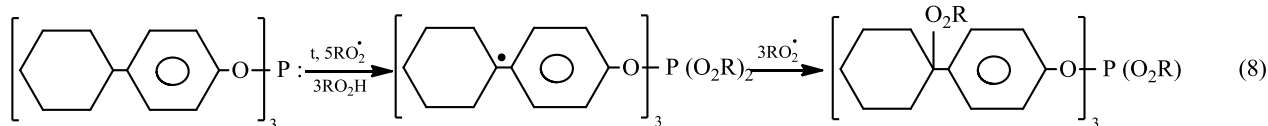
Таким образом, проведенные в настоящей работе исследования показали, что как для термического, так и для фототермического окисления дизельного топлива более эффективным ингибито-

ром является ингибитор II. При этом этот ингибитор является более эффективным при термоокислении, чем при фотоокислении. Ингибиторы I и II при термо- и фототермоокислении дизельного топлива вступают в реакцию с пероксидными радикалами, образованными по реакциям (2), (5) и умень-

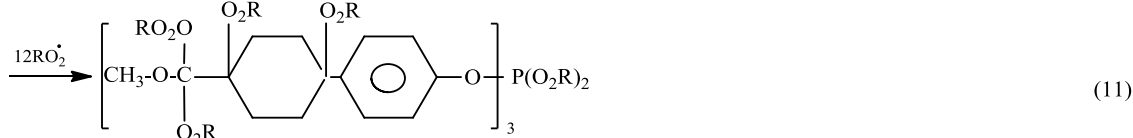
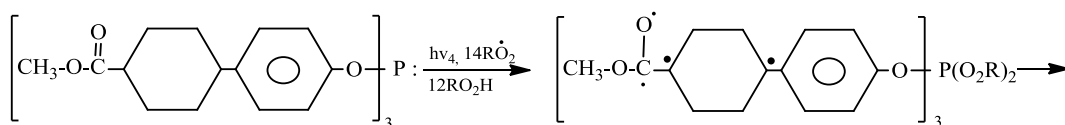
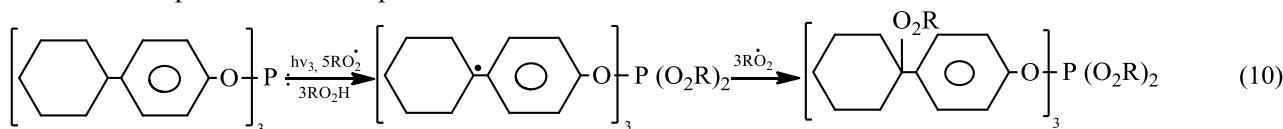
шают их концентрацию, а также концентрацию молекулярного кислорода.

На схемах (8)-(11) представлены термо- и фототермохимические реакции, протекающие в дизельном топливе с участием ингибиторов.

Термические реакции:



Фототермохимические реакции:



В результате реакций (8)-(11) происходит окисление трехвалентного фосфора ингибиторов в пятивалентный. Большая эффективность ингибитора II по сравнению с ингибитором I связана, с одной стороны, с большим количеством фрагментов со слабосвязанной C–H связью, с другой – наличием C=O группы, в которой после фотооблучения генерируются радикалы (C•–O•), способные рекомбинировать пероксидные радикалы.

ВЫВОДЫ

Исследуемые в настоящей работе ингибиторы I и II, полученные на основе фосфитов, могут

быть использованы как термо-, фото- и фототермостабилизаторы. Эффективность действия ингибитора II на ТХЛ ~ в 6 раз выше ингибитора I, а на ФТХЛ ~ в 3 раза.

Действие ингибиторов осуществляется по двум механизмам. Молекулярный механизм протекает по одноквантовому поглощению, происходящему в ароматических кольцах алкилароматических углеводородов. Радикальный механизм протекает по двухквантовому поглощению путем передачи энергии от ароматических колец к алкильным заместителям с генерацией радикалов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Денисов Е.Т., Денисов Т.Е. Реакционная способность природных фенолов. *Усп. химии*. 2009. Т. 78. № 11. С. 1129-1155.

REFERENCES

1. Denisov E.T., Denisov T.E. Reactivity of natural phenols. *Usp. Khimii*. 2009. V. 78. N 11. P.1129-1155 (in Russian).

- Зиятдинова Г.К., Будников Г.К.** Природные фенольные антиоксиданты в биоаналитической химии: состояние проблемы и перспективы развития. *Усп. химии*. 2015. Т. 84. № 12. С. 194-223.
- Чечкенов И.В., Сафонов А.С., Белякова В.А., Шарин Е.А.** Исследование методом хемилуминесценции химической стабильности дизельного топлива. *Нефтеперераб. и нефтехим.* 1998. № 11. С. 17-19.
- Васильев Р.Ф., Трофимов А.В.** Образование диоксетанов при окислении углеводородов, ингибированном фенолами. *Кинетика и катализ*. 2009. Т. 50. № 4. С. 562-564.
- Abdol R. Hajipour, Hirbod Karimi** Zirconium phosphate nanoparticles as remarkable solid acid catalyst for selective solvent-free alkylation of phenol. *Chin. J. Catal.* 2014. V. 35. P. 1136-1147.
- Чукичева И.Ю., Спирихин Л.В., Кучин А.В.** Молекулярная тандемная перегруппировка при алкилировании фенола камфеном. *Журн. орг. химии*. 2008. Т. 44. № 1. С. 69-73.
- Прокофьев А.И.** Радикальные пары в окислительно-восстановительных реакциях с участием пространственно-затрудненных фенолов. *Усп. химии*. 2007. Т. 76. № 4. С. 362-374.
- Меджидов Э.А., Азимова Р.К., Ибрагимов Х.Д.** Алкилирование фенола с фракцией 130-190 °С жидких продуктов пиролиза в присутствии фосфорсодержащего цеолита на непрерывнодействующей установке. *Азерб. нефт. хозяйство*. 2013. № 7-8. С. 71-74.
- Тагиев Д.Б., Агаева Н.А., Назарова М.К.** Каталитическое алкилирование крезолов пропанолом-1. *Журн. прикл. химии*. 2013. Т. 86. № 8. С. 1278-1281.
- Mirzayev V.H.** Some Peculiarities of interactions of phenol with C4-fraction dimerization products of pyrolysis proses. *Elixir Appl. Chem.* 2017. V. 109. P. 47926-47928.
- Бахтина А.Ю., Колчина Г.Ю., Мовсумзаде Э.М., Поletaева О.Ю.** Влияние строения молекул высокооктановых компонентов бензинов и антиокислительных присадок к топливам на эффективность их действия. *Изв. вузов. Химия и хим. технология*. 2016. Т. 59. Вып. 12. С. 49-56.
- Коновалова В.С., Румянцева В.Е., Румянцева К.Е.** Влияние ускорителей фосфатирования и ингибиторов коррозии железобетонных конструкций на деструкцию арматуры и бетонов. *Изв. вузов. Химия и хим. технология*. 2015. Т. 58. Вып. 1. С. 107-109.
- Курамшин Э.М., Бежан В.И.** Эффективность ингибирующего действия фенольных соединений при окислении малосернистого дизельного топлива. *Башкир. хим. журн.* 2001. № 1. С. 26-30.
- Ахмедбекова С.Ф., Салманова Ч.К., Багирзаде Р.З.** Синтез три-пара-(циклогексил)-фенол-фосфита и исследование его в качестве светостабилизатора нефтепродуктов. *Нефтеперераб. и нефтехимия*. 2017. № 3. С. 28-33.
- Верещагина Я.А., Ишмаева Э.А., Зверев В.В.** Теоретический конформационный анализ фосфорорганических соединений. *Усп. химии*. 2015. Т. 84. № 2. С. 194-224.
- Mirzayev V.H.** Synthesis of p-(cyclohexene-3-yl-ethyl)-phenol and some peculiarities of its phosphitization with trichloride phosphorous. *Asian J. Chem.* 2018. V. 1. N 1. P. 44-50.
- Ziyatdinova G.K, Budnikov G.K.** Natural phenolic antioxidants in bioanalytical chemistry: the state of the problem and the prospects for development. *Usp. Khimii*. 2015. V. 84. N 12. P. 194-223 (in Russian). DOI: 10.1070/RCR4436.
- Chechkenov I.V., Safonov A.S., Belyakova V.A., Sharin E.A.** The chemiluminescence study of the chemical stability of diesel fuel. *Neftepererabotka Neftekhim.* 1998. N 11. P. 17-19 (in Russian).
- Vasilyev R.F., Trofimov A.V.** The formation of dioxetanes in the oxidation of hydrocarbons inhibited by phenols. *Kinetika Kataliz.* 2009. V. 50. N 4. P. 562-564 (in Russian).
- Abdol R. Hajipour, Hirbod Karimi** Zirconium phosphate nanoparticles as remarkable solid acid catalyst for selective solvent-free alkylation of phenol. *Chin. J. Catal.* 2014. V. 35. P. 1136-1147. DOI: 10.1016/S1872-2067(14)60060-7.
- Chukicheva I.Yu., Spirikhin L.V, Kuchin A.V.** Molecular tandem rearrangement in alkylation of phenol with camphene. *Zhurn. Org. Khim.* 2008. V. 44. N 1. P. 69-73 (in Russian). DOI: 10.1134/S1070428008010077.
- Prokofiev A.I.** Radical pairs in oxidation-reduction reactions involving spatially-hindered phenols. *Usp. Khimii*. 2007. V. 76. N 4. P. 362-374 (in Russian).
- Medzhidov E.A, Azimova R.K, Ibragimov Kh.D.** Alkylation of phenol with fraction 130-190 °C of liquid pyrolysis products in the presence of phosphorus-containing zeolite on a continuous plant. *Azerb. Neft. Khoz.* 2013. N 7-8. P. 71-74 (in Russian).
- Tagiev D.B, Agaeva N.A, Nazarova M.K.** Catalytic alkylation of cresols with propanol-1. *Zhurn. Prikl. Khim.* 2013. V. 86. N 8. P. 1278-1281 (in Russian).
- Mirzayev V.H.** Some Peculiarities of interactions of phenol with C4-fraction dimerization products of pyrolysis proses. *Elixir Appl. Chem.* 2017. V. 109. P. 47926-47928.
- Bakhtina A.Yu., Kolchina G.Yu., Movsumzade E.M, Poletaeva O.Yu.** Influence of the structure of molecules of high-octane components of gasolines and antioxidant additives to fuels on the effectiveness of their action. *Izv. Vyssh. Uchebn. Zaved. Khim. Khim. Tekhnol.* 2016. V. 59. N 12. P. 49-56 (in Russian).
- Konovalova V.S., Rummyantseva V.E, Rummyantseva K.E.** Influence of phosphate accelerators and corrosion inhibitors of reinforced concrete structures on the destruction of reinforcement and concrete. *Izv. Vyssh. Uchebn. Zaved. Khim. Khim. Tekhnol.* 2015. V. 58. N 1. P. 107-109 (in Russian).
- Kuramshin E.M., Bezhan V.I.** The effectiveness of the inhibitory effect of phenolic compounds in the oxidation of low-sulfur diesel fuel. *Bashkir. Khim. Zhurn.* 2001. N 1. P. 26-30 (in Russian).
- Akhmedbekova S.F., Salmanova Ch.Q., Bagirzade R.Z.** Synthesis of tri-para- (cyclohexyl) -phenol-phosphite and its study as a light stabilizer for petroleum products. *Nefetepere-rabotka Neftekhim.* 2017. N 3. P. 28-33 (in Russian).
- Verechshagina Ya.A., Ishmayeva E.A., Zverev V.V.** Theoretical conformational analysis of organophosphorus compounds. *Usp. Khimii*. 2015. V. 84. N 2. P. 194-224 (in Russian).
- Mirzayev V.H.** Synthesis of p-(cyclohexene-3-yl-ethyl)-phenol and some peculiarities of its phosphitization with trichloride phosphorous. *Asian J. Chem.* 2018. V. 1. N 1. P. 44-50 (in Russian).

17. **Расулов Ч.К., Меджидов Э.А., Азимова Р.К., Мамедов Ф.Ф.** Некоторые особенности реакции взаимодействия пара-(арил-алкил)-фенола с треххлористым фосфором. *Хим. пром-ть*. 2014. Т. 91. № 6. С. 281-284.
18. **Багирзаде Р., Салманова Ч.К., Ахмедбекова С.Ф.** Влияние ингибиторов на основе производных фенола на хемилюминесценцию при фото- и термическом окислении моторного масла. *Мир нефтепродуктов*. 2017. № 1. С. 33-38.
19. **Салманова Ч.К., Джафарова Р.А., Мусаев Дж.Дж.** Термолюминесценция фотооблученных нефтяных люминофоров пиролизного происхождения. *Химия высоких энергий*. 2009. Т. 43. № 5. С. 465-472.
20. **Мамедов А.П., Салманова Ч.К., Наджафова М.А.** Особенности фото- и термохемилюминесценции групп ароматических углеводородов балаханской нефти и стадии их окисления. *Нефтеперераб. и нефтехимия*. 2018. № 3. С. 12-17.
21. **Мамедов А.П., Салманова Ч.К., Алиева С.Г.** Влияние фотооблучения на хемилюминесценцию в реакциях термического окисления дизельного топлива. *Технология нефти и газа*. 2017. № 3. С. 16-19.
17. **Rasulov Ch.K., Medzhidov E.A., Azimova R.K., Mamedov F.F.** Some features of the interaction reaction of para-(aryl-alkyl)-phenol with phosphorus trichloride. *Khim. Prom-t'*. 2014. V. 91. N 6. P. 281-284 (in Russian).
18. **Bagirzade R.Z., Salmanova Ch.Q., Ahmedbekova S.F.** Effect of inhibitors on the basis of phenol derivatives on chemiluminescence during photo- and thermal oxidation of motor oil. *Mir Nefeprodukt*. 2017. N 1. P. 33-38 (in Russian).
19. **Salmanova Ch.Q., Dzhafarova R.A., Musaev J.J.** Thermoluminescence of photo-irradiated petroleum luminescent pyrolysis origin. *Khim. Vys. Energiy*. 2009. V. 43. N 5. P. 465-472 (in Russian).
20. **Mamedov A.P., Salmanova Ch.K., Nadzhafova M.A.** The features of photo- and thermochemiluminescence of groups of aromatic hydrocarbons of Balakhani oil and the stage of their oxidation. *Nefetepereerabotka Neftekhim*. 2018. N 3. P. 12-17 (in Russian).
21. **Mamedov A.P., Salmanova Ch.K., Aliyeva S.G.** Influence of photo irradiation on chemiluminescence in reactions of thermal oxidation of diesel fuel. *Tekhnol. Nefti Gasa*. 2017. N 3. P.16-19 (in Russian).

*Поступила в редакцию 02.04.2018
Принята к опубликованию 26.10.2018*

*Received 02.04.2018
Accepted 26.10.2018*