

OXIDATIVE DESULFURIZATION OF THE STRAIGHT-RUN GASOLINE FRACTION FROM THE GAS CONDENSATE OF THE KARACHAGANAK FIELD

Muktaly D.^{1*}, Myltykbayeva Zh.K.¹, Akopyan A.V.², Smaiyl M.B.¹, Mufteyeva N.¹

¹Al-Farabi Kazakh National University, Almaty, Kazakhstan

²Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russia

e-mail: dinara.muktaly@mail.ru

Abstract. An annual increase in the consumption of the automobile fuels makes us look for new ways of their obtaining. It is also important that the environmental and operational requirements for the quality of the motor fuels, obtained during oil production (associated petroleum gas, gas condensate) are systematically made more rigorous. One of the ways to solve the problems described above is to use the process of oxidative desulfurization to improve the quality of the petroleum products. In this case, oxidative desulfurization of the straight-run gasoline fraction, obtained from the gas condensate of the Karachaganak field, has been carried out. The oxidation process has been carried out with hydrogen peroxide in the presence of salts of the transition metals, molybdenum and vanadium. The optimal technological parameters (P_{atm} , $T=60^{\circ}\text{C}$, 2 h, $\text{H}_2\text{O}_2:\text{S}=4:1$ (mol), $\text{Me}:\text{S}=1:100$ (mol)) of the oxidation process for the straight-run gasoline fractions have been selected. Under the optimal conditions of the oxidation process, the total sulfur content has been reduced by 89.9%. It has been shown that the molybdenum compounds exhibit greater activity in the oxidation of sulfur-containing compounds at a temperature of 60°C , as compared to the vanadium compounds. A schematic diagram of the purification of the gasoline fractions from the sulfur-containing compounds by oxidative desulfurization, followed by its extraction desulfurization with the most effective N,N-dimethylformamide has been presented.

Keywords: gas condensate, motor gasoline, hydrogen peroxide, feedstock, oxidative desulfurization, gasoline fraction

<i>Muktaly Dinara</i>	<i>PhD, leading researcher, e-mail: dinara.muktaly@mail.ru; ORCID: https://orcid.org/0000-0002-1139-5488</i>
<i>Myltykbayeva Zhannur Kadenovna</i>	<i>Candidate of Chemical Sciences, leading researcher, e-mail: jannur81@mail.ru, ORCID: https://orcid.org/0000-0003-4336-3920</i>
<i>Argam Vilikovich Akopyan</i>	<i>Candidate of Chemical Sciences, leading researcher, e-mail: arychem@yandex.ru; ORCID: https://orcid.org/0000-0001-6386-0006</i>
<i>Smaiyl Madi Bekezhanyuly</i>	<i>Doctoral student, junior researcher, e-mail: smaiylmadi.9999@gmail.com, ORCID: https://orcid.org/0000-0001-8170-1367</i>
<i>Nuriya Mufteyeva</i>	<i>general manager, e-mail: mufteyeva.n@condensat.kz</i>

Citation: Muktaly D., Myltykbayeva Zh.K., Akopyan A.V., Smaiyl M.B., Mufteyeva N. Oxidative desulfurization of the straight-run gasoline fraction from the gas condensate of the Karachaganak field. *Chem.J.Kaz.*, 2022, 2(78), 132-141 (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.51580/2022-2/2710-1185.72>

ОКИСЛИТЕЛЬНОЕ ОБЕССЕРИВАНИЕ ПРЯМОГОННОЙ БЕНЗИНОВОЙ ФРАКЦИИ ГАЗОВОГО КОНДЕНСАТА МЕСТОРОЖДЕНИЯ КАРАЧАГАНАК

Мукталы Д.^{2,1}, Мылтыкбаева Ж.К.¹, Акопян А.В.², Смайыл М.Б.¹, Муфтиева Н.¹

¹Казахский Национальный Университет имени аль-Фараби, Алматы, Казахстан

²МГУ имени М.В. Ломоносова, Москва, Россия

E-mail: dinara.muktaly@mail.ru

Резюме: Ежегодное увеличение объемов потребления автомобильных топлив вынуждает искать новые пути их получения, немаловажным также является то, что систематически ужесточаются экологические и эксплуатационные требования к качеству моторных топлив, получаемых в процессе добычи нефти (попутного нефтяного газа, газового конденсата). Одним из способов решения описанных выше проблем является использование процесса окислительного обессеривания для улучшения качества нефтепродуктов. В работе проведено окислительное обессеривание прямогонной бензиновой фракции, полученной из газового конденсата месторождения Карачаганак. Процесс окисления был проведен пероксидом водорода в присутствии солей молибдена и ванадия. Были подобраны оптимальные технологические параметры ($P_{\text{атм}}$, $T=60^{\circ}\text{C}$, 2 ч, $\text{H}_2\text{O}_2:\text{S}=4:1$ (мольн), $\text{Me}:\text{S}=1:100$ (мольн)) процесса окисления для прямогонной бензиновой фракций газового конденсата месторождения Карачаганак. В оптимальных условиях проведения процесса окисления содержание общей серы было снижено на 89.9%. Показано, что соединения молибдена проявляют большую активность в окислении серосодержащих соединений при температуре 60°C по сравнению с соединениями ванадия. Приведена принципиальная схема очистки бензиновой фракций от серосодержащих соединений путем окислительного обессеривания, с последующей ее экстракционной десульфуризации наиболее эффективными N,N-диметилформамидом.

Ключевые слова: газовый конденсат, автомобильный бензин, пероксид водорода, сырье, окислительное обессеривание, бензиновая фракция

<i>Мукталы Динара</i>	<i>PhD, ведущий научный сотрудник</i>
<i>Мылтыкбаева Жаннур Каденовна</i>	<i>кандидат химических наук, ведущий научный сотрудник</i>
<i>Акопян Арсам Виликович</i>	<i>кандидат химических наук, ведущий научный сотрудник</i>
<i>Смайыл Мадди Бекежанулы</i>	<i>докторант, младший научный сотрудник</i>
<i>Муфтиева Нурия</i>	<i>генеральный директор</i>

1. Введение

Традиционным первичным сырьем для производства моторных топлив – являются нефть и газовый конденсат. Газовый конденсат является ценным сырьем для производства бензинов, реактивных и дизельных топлив, а также может быть использован для комплексной нефтехимической переработки с получением высокооктановых компонентов, растворителей, ароматических углеводородов, спиртов, различных ингибиторов, а также синтетических волокон и пластмасс [1]. Также, газовый конденсат по сравнению с нефтью является экономически более выгодным сырьем для производства моторных топлив [2], так как в нем массовая доля светлых нефтепродуктов, т.е. прямогонных бензиновой и дизельной фракций, может достигать 95-100%, тогда как в нефтях эта величина составляет 30-70%. Для

использования в качестве моторного топлива прямогонные бензиновые фракции должны соответствовать целому ряду требований, предъявляемых стандартами к бензинам [3,4]. Наиболее распространенный в мире способ очистки нефтепродуктов от серы - гидроочистка требует существенных энерго- и капиталовложений [5].

В связи с этим особую актуальность приобретает поиск новых, нетрадиционных методов удаления серы из моторных топлив. Одним из таких методов является окислительное обессеривание [6,7]. При этом способе значительной экономии можно добиться путем замены дорогого водорода на более дешевые окислители, такие как кислород воздуха, пероксид водорода, различные органические перекиси и др. [8].

Пероксид водорода широко применяется для окисления различных органических соединений, в том числе сернистых компонентов нефтяных фракций, повышение активности пероксида водорода происходит при образовании в водной среде пероксокомплексов переходных металлов [9]. Образующиеся *insitu* пероксокомплексы переходных металлов являются сильными окислителями, что позволяет проводить реакции и с трудноокисляемыми сернистыми соединениями, такие как бензо- и дибензотиофены. Пероксокомплексы различных переходных металлов хорошо изучены в литературе [10,11]. Среди них наибольшее распространение в катализе получили соединения молибдена и ванадия.

Целью настоящей работы стало исследование процесса окисления прямогонной бензиновой фракции газового конденсата пероксидом водорода в присутствии солей переходных металлов, а также анализ влияния окислительного обессеривания на физико-химические свойства бензиновой фракции.

2. Экспериментальная часть

В качестве объекта исследования в настоящей работе была выбрана прямогонная бензиновая фракция из стабильного газового конденсата, полученного из месторождения Карачаганак с содержанием общей серы 4880 ppm.

В работе были использованы следующие реактивы: молибдат натрия ($\text{Na}_2\text{MoO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$, ч. д. а., "Sigma Aldrich"), ванадат аммония (NH_4VO_3 , "Sigma Aldrich"), пероксид водорода (H_2O_2 , 37%-ный, "Лаборфарма"), N,N-диметилформамид (ДМФА, "Sigma Aldrich"), силикагель и вода дистиллированная по ГОСТ 6709.

Фракционный состав бензиновой фракции был определен в соответствии с ГОСТом 2177-99 на аппарате АРН-ЛАБ-02, предназначенного для определения состава нефтяных фракций.

Индивидуальный углеводородный состав образцов был определен на хроматографе «Хроматэк-Кристалл 5000». Хроматографический анализ

образцов проводился в соответствии с методикой, представленной в ГОСТ Р 52714-2007.

Определение серы в составе бензиновой фракции производился по ГОСТу Р 51947-2002 или ASTM D 4294-98 на аппарате Спектроскан S.

Процесс окисления бензиновой фракции осуществляли следующим образом: в термостатированный реактор добавляли 20 мл бензиновой фракции, навеску катализатора брали из расчета $Me : S = 1:100$, рассчитанное количество 37%-ного H_2O_2 в соотношении $H_2O_2 : S = 4:1$. Смесь перемешивали в течение 2 ч при 20-60 °С, затем промывали водой (20 мл x 2), далее окисленных продуктов разделяли от топлива N,N-диметилформамидом (10 мл x 2) или силикагелем.

Адсорбционная очистка бензина от окисленных сернистых соединений производили на силикагеле АСКГ gritностью 0.2-0.5 мкм. При соотношении на объем бензина на силикагель 3:1 – расход на смачивание сорбента в пределах 5-7 %.

ИК спектры были записаны с помощью спектрофотометра “VIPTEX 70v FT-IR” (4000-400 cm^{-1} , разрешение 10 cm^{-1}).

3. Результаты и обсуждение

Результаты физико-химических характеристик исходной бензиновой фракции приведены в таблице 1.

Таблица 1– Физико-химические характеристики прямогонного бензина из газового конденсата месторождения Карачаганак

Наименование показателей	Метод	Норма по ГОСТу	Фактические данные		
Октановое число, не более	ГОСТ 2177-82	92.0	75		
		исследовательский метод	83.0	64	
моторный метод					
Плотность при 20°C, кг/м ³	ГОСТ 31072	725-780	726		
Фракционная перегонка	ГОСТ 2177-99	Не нормируется	7		
начало кипения, °С				Не выше 75	60
10% бензина, °С				Не выше 120	101
50% бензина, °С				Не выше 190	168
90% бензина, °С					
Содержание серы, мг/кг (ppm)	ТР ТС 013/2011		4880		
				K2	500
				K3	150
				K4	50
				K5	10

Сравнение экспериментально полученных физико-химических показателей прямогонного бензина из газового конденсата с нормами по ГОСТу показывает (таблица 1), что характеризующий детанационную

стойкость авиационных и автомобильных топлив октановое число прямогонного бензина по исследовательскому методу составляет 75, а моторному 64, что на 20 пунктов превышает среднестатистическое октановое число прямогонных бензинов. Из результатов видно, что плотность исследуемого бензина близка к плотности таких распространенных бензиновых компонентов, как алкилат и газовый бензин, а также соответствуют по ГОСТу. По фракционному составу температурные характеристики топлива прямогонного бензина из газового конденсата соответствуют стандартам ГОСТа. Содержание серы в прямогонном бензине из газового конденсата составляет 4880 мг/кг, который требует дальнейшей переработки.

Исходя из полученных результатов, можно заключить, что использование стабильного газового конденсата в качестве сырья автомобильных бензинов является возможным. Кроме того, у данного сырья имеется большой запас по содержанию олефиновых и ароматических углеводородов, что делает стабильный газовый конденсат перспективным компонентом при производстве автомобильных бензинов.

В данной работе мы использовали двухступенчатую технологию удаления соединений серы, первым этапом которой является окисление прямогонного бензина из газового конденсата, а вторым-его последующая экстракция.

В настоящей работе использованы соли переходных (Mo, V) металлов в качестве катализаторов в присутствии пероксида водорода для окисления сернистых соединений бензиновой фракции, так как соли этих соединений образуют пероксокомплексы с пероксидом водорода, окисляющие сернистые соединения до соответствующих сульфоксидов и сульфонов, которые из-за своей полярности легко удаляются методами адсорбции и экстракции [5]. Полученные результаты приведены в таблицах 2,3.

Таблица 2 – Влияние температуры на остаточное содержание серы в прямогонной бензиновой фракции в присутствии молибденсодержащего катализатора.

Наименование показателей	Исходный бензин	Mo:S=1:100 20 ⁰ C	Mo:S=1:100 40 ⁰ C	Mo:S=1:100 60 ⁰ C
Октановое число	75	79	80	77
Плотность при 20 ⁰ C, кг/м ³	726	726	725	729
Фракционная перегонка				
начало кипения, ⁰ C	7	28	28	36
50% бензина, ⁰ C	101	111	101	109
90% бензина, ⁰ C	168	168	168	165
Содержание серы, ppm	4880	2320	710	490

Важнейшими показателями качества моторных топлив является плотность, которая отражает его эксплуатационные свойства и огневые

качества, определяет массу и размеры двигателя. От плотности зависят основные физико-химические характеристики топлив: молекулярный вес составляющих углеводородов, пределы выкипания фракций, характер распыла в данных условиях. Плотность автомобильных бензинов при 20⁰С находится в пределах 710-760кг/м³. Октановое число обессеренного бензина (Мо:С=1:100 (мольн.)) после окисления незначительно повышается, что по-видимому может быть связано с образованием кислородсодержащих соединений.

Анализируя данные таблицы 2 видим, что у обессеренного бензина согласно ГОСТ 2177-99 характерные - точки отгона соответствуют приведенному стандарту. Проведенные исследования показали, что количество серы при условиях реакции P_{атм}, T=60⁰С, 2 ч, H₂O₂: S=4:1, Мо:С=1:100 (мольн.) значительно уменьшилось от 4880 мг/кг до 490 мг/кг на 89.9%, что является значимым достижением с точки зрения «экологичности» качества топлива.

Таблица 3 – Влияние температуры на остаточное содержание серы в прямогонной бензиновой фракции в присутствии ванадийсодержащего катализатора

Наименование показателей	Исходный бензин	V:S=1:100 20 ⁰ С	V:S=1:100 40 ⁰ С	V:S=1:100 60 ⁰ С
Октановое число	75	79	80	85
Плотность при температуре 20 ⁰ С, кг/м ³	726	726	726	726
Фракционная перегонка				
начало кипения, ⁰ С	7	7	28	36
50% бензина, ⁰ С	101	98	111	135
90% бензина, ⁰ С	168	168	168	186
Содержание серы, ppm	4880	2000	1960	1930

Результаты опытов показывают, что после проведения окислительного обессеривания бензина в присутствии соли ванадия начальная температура кипения повысилась с 7 до 36⁰С. Характерная точка 50%-ного отгона у обессеренного бензина при 60⁰С согласно ГОСТ 2177-99 превышает верхнее ограничение 120⁰С, 90%-ного отгона точки соответствует приведенному стандарту. Это связано тем, что при повышении температуры реакции окисления наблюдается улетучивание легких фракций из бензина. Октановое число повысилось 75 до 84. Минимальное содержание серы было получено при температуре 60⁰С. Следует отметить, что в присутствии соединений ванадия достигаются худшие результаты по остаточному содержанию серы по сравнению с результатами, получаемыми в присутствии молибденсодержащих катализаторов. Также, активность металлов была определена относительно по графику разложения перекиси водорода (Рис. 2).

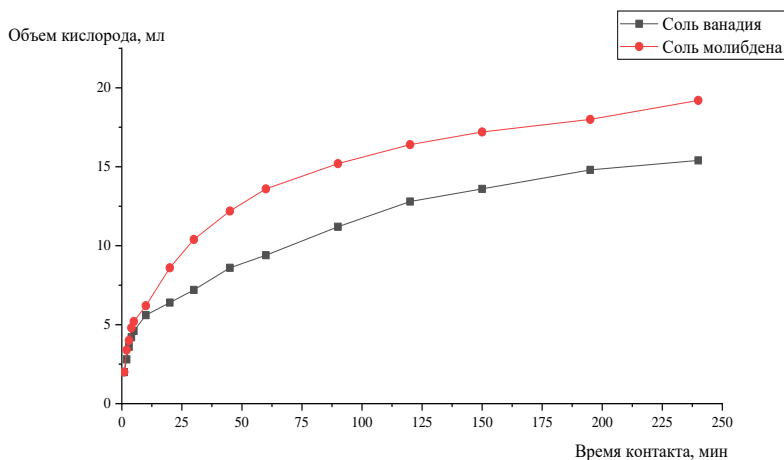


Рисунок 2 – Зависимость образования пероксокомплексов переходных металлов с пероксидом водорода.

По графику разложение перекиси водорода видно, что комплекс молибдена при равных объемах катализаторов проявил высокую эффективность при разложении перекиси. Полученные результаты показывают что наилучшую каталитическую активность в окислительном обессеривании проявляет молибдат натрия.

Данные по групповому углеводородному составу образцов стабильного газового конденсата приведены в таблице 4.

Таблица 4 – Групповой углеводородный состав прямогонного бензина из стабильного газового конденсата

Компоненты		Содержание в образце, % об.		
		Исходный	P _{атм.} , T=60°C, 2 ч, H ₂ O ₂ : S=4:1(мольн.), Me:S=1:100(мольн.)	
			Na ₂ MoO ₄ ·H ₂ O	NH ₄ VO ₃
1	Парафины	26.6	22.7	20.7
2	Изопарафины	34.6	34.7	33.6
3	Ароматика	11.9	9.4	14.3
4	Нафтены	20.3	20.1	22.1
5	Олефины	6.4	12.9	9.3
7	Итого	100.0	99.7	99.9

Результаты хроматографического анализа образцов исходного и обессеренного бензина из стабильного газового конденсата, показывают, что в образцах бензина преобладают такие группы углеводородов, как парафины, изопарафины и нафтены.

Содержание олефинов в образцах находится в пределах 6.4 и 12.9% об., что не превышает допустимых значений в автомобильных бензинах, согласно [5] (не более 18.0 % об.). Содержание ароматических углеводородов минимально – находится в пределах 9.4-14.3% об., в то время как нормативное содержание ароматических углеводородов, согласно [5], не более 35.0 % об. для всех марок автомобильного бензина.

В ИК спектрах силикагеля (образец самым низким содержанием серы 490 ppm) после очистки топлива прослеживаются сильные полосы поглощения соответствующие CH_2 , CH_3 связям углеводородов, а также полосы поглощения характерные для тиофеновых соединений в области $780\text{-}800\text{ см}^{-1}$, свидетельствуют что сернистые соединения после проведения процесса окисления выделяются из бензиновой фракции путем адсорбции.

4. Заключение

В работе проведены исследования процесса окислительного обессеривания образца прямогонной бензиновой фракции, полученной из газового конденсата месторождения Карачаганак. Впервые исследованы влияние природы металла, а также температуры на остаточное содержание серы в бензиновых фракций отечественного газового конденсата. Показано, что из исследуемых соединений металлов (Mo, V) наиболее высокую каталитическую активность проявляют пероксокомплексы на основе молибдена при температуре реакции 60°C , для которого окислительное обессеривание бензиновой фракции газового конденсата позволяет снизить содержание общей серы на 89.9%. Сравнение физико-химических свойств исходной и обессеренной бензиновой фракции позволяет утверждать, что процесс окислительного обессеривания протекает с высокой селективностью и минимальным воздействием на компонентный состав сырья.

Финансирование: Работа выполнена в рамках проекта AP09058524 по грантовому финансированию Комитета науки Министерства образования и науки Республики Казахстан.

Конфликт интересов: Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

ҚАРАШЫҒАНАҚ КЕН ОРНЫНЫҢ ГАЗДЫ КОНДЕНСАТЫНАН ТУРА АЙДАЛЫП АЛЫНҒАН БЕНЗИН ФРАКЦИЯСЫН ТОТЫҚТЫРЫП КҮКІРТСІЗДЕНДІРУ

Мұқталы Д.¹, Мылтықбаева Ж.К.¹, Аюпян А.В.², Смайыл М.Б.¹, Муфтиева Н.¹

¹Әл-Фараби атындағы Қазақ Ұлттық Университеті, Алматы, Қазақстан

²М.В. Ломоносов атындағы ММУ, Мәскеу, Ресей

E-mail: dinara.muktaly@mail.ru

Түйіндемe. Жыл сайын автомобиль отындарын тұтынудың өсуі, сонымен қатар мұнайдан (жолай мұнай газдары, газды конденсат) алынатын мотор отындарының сапасына деген экологиялық және эксплуатациялық талаптардың жүйелі түрде қатандануы оларды алудың жана жолдарын іздеуге мәжбүрлейді. Мұнай өнімдерінің сапасын жақсартуда тотықтырып күкіртсіздендіру процесін қолдану жоғарыда айтылған мәселелерді шешудің бір жолы болып табылады. Жұмыста

Қарашығанақ кен орнының газды конденсатынан тура айдалып алынған бензин фракциясын тотықтырып күкіртсіздендіру процесі жүргізілген. Тотығу процесі сутегі асқын тотығы мен ауыспалы металл молибден және ванадий тұздары қатысында жүргізілді. Тура айдалып алынған бензин фракциясын тотықтыру процесіне оңтайлы технологиялық көрсеткіштер ($P_{атм}$, $T=60$ °C, 2 сағ, $H_2O_2:S=4:1$ (мольн), $Me:S=1:100$ (мольн)) таңдалып алынды. Тотығу процесін оңтайлы жағдайда жүргізу нәтижесінде жалпы күкірт мөлшері 89,9% түскен. Күкіртті қосылыстарды 60 °C температурада тотықтыруда молибден қосылыстары ванадий қосылыстарына қарағанда жоғары белсенділік танытқаны көрсетілген. Бензин фракциясын күкіртті қосылыстардан тотықтыру жолымен, ары қарай ең тиімді N,N-диметилформаидпен экстракциялық десульфуризациямен тазалаудың принципіальды сызбасы келтірілген. Мақалада бастапқы және күкіртсіздендірілген бензин фракцияларының негізгі физикалық-химиялық қасиеттері, эксплуатациялық сипаттамалары және көмірсутектік құрамы зерттелген.

Түйінді сөздер: газды конденсат, автомобильді бензин, сутек асқын тотығы, шикізат, тотығу, тотықтырып күкіртсіздендіру, бензин фракциясы

<i>Мұқталы Динара</i>	<i>PhD, жетекші ғылыми қызметкер</i>
<i>Мылтыкбаева Жаннур Каденовна</i>	<i>химия ғылымдарының кандидаты, жетекші ғылыми қызметкер</i>
<i>Акопян Арсам Виликович</i>	<i>химия ғылымдарының кандидаты, жетекші ғылыми қызметкер</i>
<i>Смайыл Мәди Бекежанұлы</i>	<i>докторант, кіші ғылыми қызметкер</i>
<i>Муфтиева Нурия</i>	<i>бас директоры</i>

Список литературы

1. Яруллин Р. С., Угловский С. Е., Зарифьянова М. З., Вафина С. Д. Переработка газового конденсата Глебовского месторождения Республики Крым на импульсно-волновом реакторе «Ярус» // *Вест. КНИТУ*. **2016**, 19, №3, 62. <https://cyberleninka.ru/article/n/pererabotka-gazovogo-kondensata-glebovskogo-mestorozhdeniya-respubliki-krym-na-impulsno-volnovom-reaktore-yarus>.
2. Степанов В.Г., Ионе К.Г. Производство моторных топлив из прямогонных фракций нефти и газовых конденсатов с применением процесса "Цеоформинг" // *ХИУР*. **2005**, №13, С.811. <https://www.sibran.ru/upload/iblock/21a/21a6eb075e5d3eedc515091582b40f1e.pdf>
3. ГОСТ 32513-2013. Топлива моторные. Бензин неэтилированный. Технические условия. <http://docs.cntd.ru./document/1200108179>
4. Технический регламент Таможенного союза «О требованиях к автомобильному и авиационному бензину, дизельному и судовому топливу, топливу для реактивных двигателей и мазуту» ТР ТС-013/2011. URL: <http://docs.cntd.ru./document/902307833>
5. Акопян А. В., Поликарпова П. Д., Плотников Д. А., Есева Е. А., Тараканова А. В., Анисимов А. В., Караханов Э. А. Обессеривание светлых дистиллятов путем окисления и ректификации газового конденсата // *Нефтехимия*, **2019**, 59, № 6, 781–787 <https://doi.org/10.1134/S0965544119060033>
6. Ismagilov Z., Yashnik S., Kerzhentsev M., Parmon V., Bourane A., Al-Shahrani F. M., Hajji A. A., Koseoglu O. R. Oxidative Desulfurization of Hydrocarbon Fuels // *Cat. Rev.*, **2011**, 53, №3, 199-255, <https://doi.org/10.1080/01614940.2011.596426>
7. Anissimov, A.V., Tarakanova, A.V. Oxidative desulfurization of hydrocarbon raw materials. *Russ J Gen Chem*, **2009**, 79, 1264. <https://doi.org/10.1134/S1070363209060437>
8. КривоцаК.Б., КривцовЕ.Б., ГоловкаА.К.. Удаление сернистых соединений из дизельной фракции комбинацией окисления и экстракции// *Известия ТПУ*, **2011.**, 319, № 3, 117 http://earchive.tpu.ru/bitstream/11683/3916/1/bulletin_tpu-2011-319-3-26.pdf
9. Kairbekov Zh. K., Myltykbayeva Zh. K., Mukhtaly D., Nysanova B., Anissimov A. V., Akopyan A. V. Peroxide Oxidative Desulfurization of a Diesel Fuel. *Theor. Found.Chem. Engin.*, **2018**, 52, №4, 677–680. <https://doi.org/10.1134/S0040579518040139>
10. Conte, V., Bortolini, O. Transition Metal Peroxides. Synthesis and Role in Oxidation Reactions Dedicated, on the occasion of his 80th birthday, to our *avita ac studiorum magister in secunda et in adversa fortuna* Emeritus Professor Giorgio Modena, Padova University, who showed us the way toward Chemistry. *PATAI'S Chem.Func.Gr.* **2009**. <https://doi:10.1002/9780470682531.pat0359>

11. Bortolini, O., & Conte, V. Vanadium (V) peroxocomplexes: Structure, chemistry and biological implications. *Journal Inorg.Biochem.*, **2005**, 99, №8, 1549–1557. doi:10.1016/j.jinorgbio.2005.04.003

References

1. Yarullin R. S., Uglovskiy S. E., Zarifyanova M. Z., Vafina S. D. Processing of gas condensate from the Glebovsky field of the Republic of Crimea at the Yarus pulse-wave reactor. // *Bullet. KNUTU*. **2016**, 19, №3, 62. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/pererabotka-gazovogo-kondensata-glebovskogo-mestorozhdeniya-respubliki-krym-na-impulsno-volnovom-reaktore-yarus> [In Russian].
2. Stepanov V. G., Ione K. G. Production of motor fuels from straight-run fractions of oils and gas condensates, using the “Zeoforring” process / / *ChISD*. **2005**, 13, 811. <https://www.sibran.ru/upload/iblock/21a/21a6eb075e5d3eedc515091582b40f1e.pdf> [In Russ.].
3. GOST 32513-2013. Motor fuels. Unleaded gasoline. Technical conditions. URL: <http://docs.cntd.ru/document/1200108179> [In Russian].
4. Technical Regulations of the Customs Union “On the requirements for the automobile and aviation gasoline, diesel and marine fuel, jet engine fuel and fuel oil” TR CU-013/2011. URL: <http://docs.cntd.ru/document/902307833> [In Russian].
5. Akopyan A. V., Polikarpova P. D., Plotnikov D. A., Yesseva E. A., Tarakanova A. V., Anissimov A. V., Karakhanov E. A. Desulfurization of light distillates by oxidation and rectification of gas condensate // *Petrochemistry*, **2019**, 59, №6, 781–787. DOI: <https://doi.org/10.1134/S0965544119060033>
6. Ismagilov Z., Yashnik S., Kerzhentsev M., Parmon V., Bourane A., Al-Shahrani F. M., Hajji A. A., Koseoglu O. R. Oxidative Desulfurization of Hydrocarbon Fuels // *Cat. Rev.*, **2011**, 53,3, 199-255, DOI: <https://doi.org/10.1080/01614940.2011.596426>
7. Anissimov, A.V., Tarakanova, A.V. Oxidative desulfurization of hydrocarbon raw materials. *Russ J Gen Chem*79, 1264 (**2009**). DOI: <https://doi.org/10.1134/S1070363209060437>
8. Krivtsova K.B., Krivtsov E.B., Golovko A.K. Removal of sulfur compounds from the diesel fraction by the combination of oxidation and extraction// *Proceedings TPU*. **2011**, 319, №3, 117 DOI:http://earchive.tpu.ru/bitstream/11683/3916/1/bulletin_tpu-2011-319-3-26.pdf [In Russian].
9. Kairbekov Zh. K., Myltykbayeva Zh. K., Muktaly D., Nyssanova B., Anissimov A. V., Akopyan A. V. Peroxide Oxidative Desulfurization of a Diesel Fuel. *Theor.Found.Chem.Engin.*, **2018**, 52, №4, 677–680. DOI: <https://doi.org/10.1134/S0040579518040139>
10. Conte, V., Bortolini, O. Transition Metal Peroxides. Synthesis and role in the oxidation reactions, dedicated to the 80th anniversary of our *âvitae ac studiorum magister in secunda et in adversa fortunaâ* Emeritus Professor Giorgio Modena, the Padova University, who showed us the way toward Chemistry. *PATAI'S Chem.Func.Gr.*, **2009**. DOI: <https://doi:10.1002/9780470682531.pat0359>
11. Bortolini, O., & Conte, V. Vanadium (V) peroxocomplexes: Structure, chemistry and biological implications. *Journal Inorg.Biochem.*, **2005**, 99, No.8, 1549–1557. DOI: <https://doi:10.1016/j.jinorgbio.2005.04.003>