

ЭКСТРАКЦИОННЫЕ МЕТОДЫ ОЧИСТКИ МОТОРНОГО ТОПЛИВА**С.А. Сеидова**

Сабина Ариф кызы Сеидова

Лаборатория «Полифункциональные олигомеры и мономерь», Институт Нефтехимических процессов им. Ю.Г. Мамедалиева НАНА, просп. Ходжалы, 30, Баку, Азербайджанская Республика, 1025
E-mail: sabina.seidova.ai@mail.ru

В статье приведены результаты проведенного анализа литературных данных по получению моторных топлив высокого качества экстракционным методом очистки соответствующих нефтяных дистиллятов с использованием в качестве избирательного растворителя соединений различного класса. В частности, приведены результаты сопоставленного анализа существующих методов экстракционной очистки дистиллятов моторных топлив от ненужных компонентов – ароматических углеводородов, серосодержащих соединений и смолистых веществ с использованием в качестве избирательного растворителя органических растворителей и ионно-жидкостных составов. Показано преимущество экстракционного метода очистки моторных топлив, определяющегося возможностью осуществления процесса при невысокой температуре и давлении, отсутствием необходимости применения дорогостоящих катализаторов, возможностью регенерации и повторного применения растворителя и т.д. по сравнению с достаточно широко применяемым гидрогенизационным методом. Перечислены также недостатки используемых в качестве экстрагента органических растворителей, и с учетом экологической проблемы обосновано применение нелетучих, термически стабильных ионно-жидкостных составов в качестве избирательного растворителя в процессах очистки нефтяных дистиллятов, предназначенных для получения качественных целевых продуктов – дизельного топлива, бензина, базовых масел различного назначения. В статье также приведены результаты систематических исследований, проведенных в Институте Нефтехимических Процессов Национальной Академии Наук Азербайджана с участием самих авторов, касающиеся селективной очистки нефтяных фракций различного состава и вязкости с использованием ионных жидкостей, синтезированных на основе муравьиной и уксусной кислот. Проведенным анализом показана перспективность применения ионно-жидкостных составов в качестве экстрагента в процессах избирательной очистки нефтяных дистиллятов.

Ключевые слова: дизельное топливо, экстракционная очистка, бензин, ионная жидкость, гидроочистка, рафинат

EXTRACTION METHODS OF CLEANING OF MOTOR FUEL**S.A. Seidova**

Sabina A. Seidova

Laboratory «Polyfunctional Oligomers and Monomers», NASA, Y.H. Mamedaliyev Institute of Petrochemical Processes, Khojaly ave., 30, Baku, 1025, Azerbaijan
E-mail: sabina.seidova.ai@mail.ru

In paper the results of the carried out analysis of literary data on preparation of motor fuels of high quality by extraction method of purification of the corresponding oil distillates with use of compounds of various class as a selective solvent have been presented. In particular, the results of comparative analysis of existing methods of the extraction purification of distillates of motor fuels from unnecessary components – aromatic hydrocarbons, sulphur-containing compounds and resinous substances with use of organic solvents and ion-liquid compositions as a selective solvent

have been presented. The advantage of the extraction method of purification of motor fuels determined by possibility of the process at low temperature and pressure, by absence of necessity of application of the expensive catalysts, by possibility of regeneration and reuse of solvent, etc. in comparison with widely used hydrogenation method has been shown. The lacks of the organic solvents used as an extractant have been also listed and due to the ecological problems the use of non-volatile, thermally stable ion-liquid compositions as a selective solvent in the processes of purification of the distillates, intended for preparation a high quality target products, such as diesel fuel, gasoline, base oils for various purposes has been substantiated. In paper the results of systematic investigations carried out at the Institute of Petrochemical Processes of Azerbaijan National Academy of Sciences with the participation of the authors themselves, concerning the selective purification of the oil fractions of various composition and viscosity with use of ionic liquids synthesized on the basis of formic and acetic acids composition have been also presented. By carried out analysis it has been shown the perspectivity of application of the ion-liquid compositions as an extractant in the processes of the selective purification of the oil distillates.

Key words: diesel fuel, extraction purification, gasoline, ionic liquid, hydrotreating, raffinate

Для цитирования:

Сеидова С.А. Экстракционные методы очистки моторного топлива. *Изв. вузов. Химия и хим. технология.* 2019. Т. 62. Вып. 10. С. 30–39

For citation:

Seidova S.A. Extraction methods of cleaning of motor fuel. *Izv. Vyssh. Uchebn. Zaved. Khim. Khim. Tekhnol.* 2019. V. 62. N 10. P. 30–39

ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время основной задачей нефтеперерабатывающей промышленности является увеличение глубины переработки нефти для получения светлых продуктов, в частности дизельного топлива и бензина. Экономичность и дешевизна дизельного топлива по сравнению с бензином приводит к увеличению спроса на его производство. В 2018 г. в течение января-июля месяцев производство дизельного топлива в Азербайджане составило 1 миллион 169 тысяч, а автомобильного бензина – 698,1 тысяч тонн [1].

Требования, предъявляемые к качеству дизельного топлива

Наряду с расширением автопарка, работающего на дизельном топливе, наблюдается и тенденция к ужесточению требований к его качеству. Требования, предъявляемые к качеству дизельного топлива, производимого на территории Азербайджанской Республики, согласуются с нормативами европейского стандарта EN 590:2009 (таблица).

Основными требованиями, предъявляемыми к качеству дизельных топлив, является снижение содержания серы и ароматических углеводородов. Повышение содержания ароматических углеводородов в составе топлива приводит к увеличению эмиссии твердых частиц, что чрезвычайно опасно сказывается на здоровье живых организмов [2]. С экологической точки зрения из аро-

матических углеводородов наиболее опасными являются полициклические ароматические углеводороды (ПАУ), которые обладают высокой токсичностью и низким цетановым числом. Сгорание их приводит к усиленному образованию в выхлопах моторных двигателей оксида углерода (IV), сажи и др. вредных соединений. Наличие ПАУ в дизельном топливе также приводит к снижению цетанового числа топлива.

Таблица

Требования, предъявляемые к дизельному топливу по EN 590

Table. Requirements for diesel fuel according to EN 590

Показатели	Евро-2	Евро-3	Евро-4	Евро-5
Содержание серы, ppm, не более	500	350	50	10
Содержание ПАУ, %, не более	Не норм.	11		
Цетановый индекс, не менее	-	46		
Цетановое число, не менее	49	51		
Плотность при 15 °С, кг/м ³	820-860		820-845	
Фракционный состав: 95% перегоняется до, °С	370		360	
Смазывающая способность при 60 °С, мкм, не более	Не норм.	460		
Кинематическая вязкость при 40 °С, мм ² /с	2,0-4,5			-

Другим основным показателем, отрицательно влияющим на экологические свойства дизельных топлив, является содержание в них соединений серы. Сера считается важнейшим из гетероэлементов, который входит в состав практически всех нефтей как в свободном виде, так и в виде различных соединений [3]. Присутствие серы в составе нефти ускоряет коррозию машин и оборудования, осложняет процесс нефтепереработки, снижает качество продукции и загрязняет атмосферу. Так, при сгорании топлива, содержащего серу, образуются высокотоксичные оксиды серы SO_x , которые способствуют формированию кислотных дождей [4]. Необходимо также отметить, что глубокое обессеривание дизельного топлива приводит к резкому снижению его термоокислительной стабильности и смазывающей способности [5].

Для обеспечения требований по содержанию ароматических и сернистых соединений в составе топлива перед нефтеперерабатывающей промышленностью стоит задача в модернизации известных и создании новых технологических процессов, направленных на получение топлив, соответствующих по качественным показателям европейскому стандарту.

Среди методов, улучшающих характеристики нефти, наибольшее распространение нашли гидрогенизационные методы очистки нефти. Однако наряду с высокой эффективностью этих методов у них есть и ряд недостатков: использование больших количеств водорода, дорогостоящих катализаторов и т.д. Основным недостатком указанных методов является то, что при гидродесульфуризации стерически затрудненный тиофен и его гомологи трудно удаляются из нефти [6]. Следует также отметить, что при гидроочистке с увеличением глубины очистки сырья возрастает и стоимость производства [7].

Экстракция как альтернативный метод очистки топлив

Наряду с гидрогенизационными методами для повышения качества нефтяного сырья широко применяются и альтернативные методы очистки сырья – жидкостная экстракция, адсорбция, окислительное обессеривание, осаждение, алкилирование и т.д. [8, 9], среди которых основное место занимает метод экстракционной очистки.

Использование жидкостной экстракции в качестве альтернативы гидрогенизационным методам очистки нефтяного сырья связано со следующими преимуществами указанного способа:

-экстракция проводится при более мягких условиях - невысокие температуры, давление;

-отпадает необходимость в использовании дорогостоящих катализаторов и водорода;

-нет необходимости в снижении конца кипения дизельной фракции, так как пространственно-затрудненные ди- и триалкилпроизводные дибензотиофена (ДБТ) легко удаляются при экстракции, и это способствует расширению сырьевой базы;

-легко удаляются ПАУ, имеющие низкое цетановое число, и следовательно, это приводит к повышению цетанового индекса дизельного топлива;

-эффективнее экстрагируются трудно удаляемые при гидроочистке азотистые соединения.

Указанные преимущества процессов экстракции стоят в центре внимания исследователей и вызывают интерес в нахождении новых эффективных и экологически приемлемых экстрагентов.

Экстракционная очистка топлив классическими растворителями

Метод экстракции сераорганических соединений из керосиновой фракции жидким сернистым ангидридом был использован впервые в 1934 г. Экстракцией тиофана содержание сернистых соединений снизилось с 1,428% масс до 0,147% масс при выходе рафината 60% масс [10].

Метод жидкостной экстракции получил промышленное применение в 2001 г. в США, но состав использованного экстрагента, который отличался селективностью по отношению к гомологам тиофена и диеновым углеводородам, неизвестен [11].

Эффективность растворителя в процессе экстракции в основном определяется ее селективностью по отношению к углеводородным системам [12]. В монографии [13] широко оценена селективность растворителей по отношению к ароматическим и непредельным углеводородам, а также к гетероатомным соединениям (диалкилсульфид, тиофен, тиофан и др. гомологи), по которым можно судить об их растворяющей способности. В работе [14] исследована селективность растворителей по отношению к ароматическим углеводородам с различным числом циклов, используя значения результатов экстракционного разделения, без учета предельных коэффициентов активности, полученных методом газожидкостной хроматографии.

Комбинированием экстракционных и традиционных гидрогенизационных методов очистки можно достичь большого экономического эффекта. В работе [15] для повышения качества дизельного топлива разработана технологическая схема экстракционного облагораживания тяжелого компонента гидроочищенной дизельной фракции

астраханского газового конденсата N-метилпирролидоном с последующей регенерацией растворителя из рафинатного и экстрактного растворов. Преимущество данного метода заключается в том, что в процесс экстракции не вовлекается вся дизельная фракция, и в результате для ее обработки требуется значительно меньшее количество растворителя.

Известны результаты применения N-метилпирролидона в качестве экстрагента в процессах очистки полициклических ароматических углеводородов и сернистых соединений из прямогонной фракции западносибирской нефти с интервалом температур кипения 315-360 °С при температуре экстракции 20 °С, соотношениях компонентов – экстрагент : сырье 1,5:1 об. и 2,5:1 об. Остаточное содержание общей серы в рафинате составляло 57,19% масс и 44,40% масс, соответственно [16].

С целью повышения качества нефтяных фракций (в частности дизельной фракции) известен метод применения различных избирательных растворителей: фурфурола, производных имидазолина, β-метоксипропионитрила, N,N-диметилимидазолидона и др. Однако, предложенные экстрагенты имеют недостаточную селективность по отношению к ароматическим углеводородам, в результате чего выход рафината оказался низким [17].

Группой башкирских специалистов исследована экстракционная очистка диметилформамидом высокосернистой архангельской нефти, с общим содержанием серы, сульфида, меркаптана 4,36; 1,54; 0,14% масс, соответственно. Показано, что указанный экстрагент имеет наибольшую селективность по отношению к тиофенам, чем к сульфидам близкой молекулярной массы, и наряду с этим степень извлечения сераорганических соединений снижается с повышением их молекулярной массы. Идентифицировано 60 структур сераорганических соединений с числом углеродных атомов от 9 до 16, около 70% из которых впервые были обнаружены в составе нефти [18].

В качестве экстрагента для десульфирования дизельного топлива исследована смесь ДМФА и воды, содержащей ионы Se^{4+} . При соотношении дизельное топливо: вода 1:9, температуре 70 °С, в течение 50 мин содержание серы снижается до 0,25 мг/л при 554 мг/л в сырье [19].

Ионные жидкости в процессе экстракции моторных топлив

Среди экстрагентов наибольший интерес представляют ионные жидкости, которые обладают уникальным набором свойств, необходимых

для избирательного растворителя, и удовлетворяют всем требованиям «зеленой химии», так как считаются экологически чистыми. Уникальность ионных жидкостей по сравнению с классическими растворителями заключается в том, что они нелетучи, невоспламеняемы, термически стабильны, имеют высокую электропроводность, нетоксичны, способны растворять органические /неорганические соединения и т.д. [20]. С учетом вышеотмеченных свойств ионные жидкости нашли широкое применение как в электрохимии, катализе [21], нанотехнологии, так и в процессах экстракции.

Перспективность применения ионных жидкостей как «зеленых» растворителей для очистки транспортных топлив с целью минимизации влияния химических процессов на окружающую среду рассмотрена в обзоре [22].

Группой испанских специалистов исследовано равновесие в тройных системах ионная жидкость – тиофен – гексан (или циклогексан) [23], ионная жидкость – тиофен – *n*-алканы C7, C12, C16 [24], а также ионная жидкость – тиофен – метилциклогексан [25] с использованием ионной жидкости тетрафторборат 1-метил-3-октилимидазол при температуре 25 °С. С применением другой ионной жидкости бис-(трифторметилсульфонил)имид 1-метил-3-октилимидазола изучено равновесие с тиофеном и 2,2,4-триметилпентаном (или толуолом). Степень экстракции оценена на основе значений коэффициента распределения тиофена [26] с использованием в качестве экстрагента ионной жидкости 1-этил-3-метилимидазолийметилсульфат. Изучено равновесие жидкость – жидкость в системах додекан – ионная жидкость с толуолом, пиридином и тиофеном при атмосферном давлении и температуре 25 °С. На основе экспериментальных данных указанная ионная жидкость рекомендована в качестве избирательного растворителя для экстракции пиридина из смеси с *n*-додеканом [27]. Показана возможность применения ионной жидкости 1-бутил-3-метилимидазол хлорида в процессе экстракции дибензотиофена из смеси с *n*-додеканом, где степень сероочистки составила 81% масс [28].

В работе [29] показана высокая экстракционная способность 1-бутил-3-метилимидазол гексафторфосфата и 1-бутил-3-метилимидазол тетрафторбората в процессе экстракции сераорганических соединений из модельного и реального жидкого топлива. Содержание серы в дизельном топливе снизилось от 385,13 ppm до 210,31 ppm (степень извлечения серы 45,4% масс) и до 225,19 ppm

(степень извлечения серы 41,5% масс), соответственно. В случае бензина степень обессеривания при тех же условиях экстракции более высокая и составляет 61,1% масс и 50% масс, соответственно.

Исследована перспективность применения ионных жидкостей на основе имидазола в процессе обессеривания жидкого топлива (дибензотиофен растворенного в *n*-октане). Сделан вывод, что при температуре экстракции 30 °С и времени контакта компонентов 30 мин среди исследованных ионных жидкостей 1-бутил-3-метилимидазол бромид является более эффективным для глубокого десульфирования жидкого топлива [30].

В работе [31] предложен способ глубокого обессеривания дизельного топлива методом экстракции различными ионными жидкостями. Изучено влияние различных ионных жидкостей на время и температуру экстракции; а также влияние различных S-соединений и количества ионной жидкости на процесс экстракции. Показано, что при оптимальных условиях экстракции степень ионно-жидкостной экстракции дибензотиофена из модельного дизельного топлива составляет 56%.

Авторами работы [32] установлено, что ионную жидкость 3-бутил-4-метилтиазол тиоцианата без снижения активности можно пятикратно использовать в процессе извлечения дибензотиофена из жидкого топлива.

Результаты ионно-жидкостной экстракционной очистки бензиновой фракции от бензола, тиофена и пиррола 1-бутил-4-метилпирридин трицианометанидом приведены в работе [33]. При массовом соотношении экстрагента к исходному сырью 5,0% содержание бензола, тиофена и пиррола снизилась с 5,0% до 0,1% в конечном продукте. С увеличением соотношения компонентов выше 5,0% содержание бензола снижается до 200 ppm.

В работе [34] показана эффективность ионной жидкости 1-бутил-3-метилимидазол тетрагалогенферрата (III) по сравнению с 1-бутил-3-метилимидазол гексафторфосфатом и 1-бутил-3-метилимидазол тетрафторборатом в процессе экстракции соединений серы из дизельного топлива. Отмечено, что степень извлечения сернистых соединений в случае ионной жидкости 1-бутил-3-метилимидазол тетрагалогенферрата (III) наибольшая из-за образования Fe^{3+} π -комплексных соединений с ароматическими соединениями серы.

Показано, что ионные жидкости на основе 1-бутил-3-метилимидазол хлорида и безводного порошкообразного $CuCl$, содержащие устойчивые на воздухе анионные частицы $CuCl_2^-$, $Cu_2Cl_3^-$ и

$Cu_3Cl_4^-$ за счёт образования π -комплексных соединений $Cu(1)$ с тиофеном проявляют высокую десульферирующую способность [35].

С целью получения чистого бензина исследован процесс обессеривания бензина в две стадии [36]. Сначала сырье подвергали окислительному десульфированию с использованием в качестве катализатора и растворителя имидазолиевых и пирролидоновых кислотных ионных жидкостей Бренстеда и перекиси водорода в качестве окислителя. Далее проводили экстрагирующее десульфирование с использованием в качестве экстрагента органических растворителей: фурфурол, фурфуроловый спирт и этиленгликоль. Было показано, что при сочетании одноступенчатого окислительного обессеривания с пятиступенчатым экстракционным обессериванием, содержание сернистых соединений снизилось до 18 ppm при 260 ppm в исходном сырье.

Для обессеривания дизельного топлива известно также применение в качестве окислителя ионных жидкостей – 1-*n*-бутил-3-метилимидазол хлорид металла $[C_4mim]Cl/MCl_2$ ($M = Zn, Fe, Cu, Mg, Sn, Co$) с 30 масс.% раствора H_2O_2 [37]. Установлена эффективность используемых ионно-жидкостных экстрагентов, которая меняется в следующем порядке: $[C_4mim]Cl/ZnCl_2 > [C_4mim]Cl/FeCl_2 > [C_4mim]Cl/CoCl_2 > [C_4mim]Cl/MgCl_2 > [C_4mim]Cl/CuCl_2 > [C_4mim]Cl/SnCl_2$.

Окислительным десульфированием с использованием в качестве экстрагента ионной жидкости $[Bmim]CH_3COO$ в сочетании с окислением озона степень удаления трудноудаляемых тиофена и бензотиофена достигла 99,9% [38]. С участием катализатора $TiO_2/MCM-41$ степень удаления дибензотиофена и 4,6-диметил дибензотиофена увеличивается до 98,6 и 95,2%, соответственно.

Родригез-Каво В. и др. вели сравнительное исследование экстрактивного десульфирования топлива, в частности бензина и дизельного топлива с разными ионными жидкостями. На основании проведенных исследований, изучением влияния различных факторов на процесс избирательной очистки ионная жидкость – ацетат 1-этил-3-метилимидазол предлагается для обессеривания бензина, а 1-гексил-2,4-диметилпирридин бис (трифторметилсульфонил)имид является предпочтительным для окислительного обессеривания дизеля [39].

Методом математического моделирования исследован процесс сероочистки октана от бензотиофена с использованием ионной жидкости на основе 1-*n*-бутил-3-метилимидазолхлорид металла

([C₄mim]Cl/CoCl₂) и моноперсульфата калия. При оптимальных условиях рассчитана и экспериментальная степень удаления серы 96,7% и 95,4% соответственно [40].

Арлыт и его коллеги изучали ионно-жидкостную экстракцию в процессах разделения алкен/парафин на примере системы гексен/*n*-гексан, выполняя оптимизацию, применяя метод COSMORS, а также экспериментальные результаты [41].

В процессе окислительного десульфирования дизельного топлива использовали в качестве окислителя H₂O₂ и ионную жидкость на основе N-метилпирролидона(Hnmp)-[Hnmp]Cl_x/ZnCl₂Y. Содержание серы в модельном дизельном топливе может быть уменьшено до < 1 ppm от 500 ppm при 99,9% степени сероочистки [42].

В работе [43] исследовано экстракционное удаление сернистых соединений из дизельного топлива ионными жидкостями и установлена зависимость степени экстракции от состава экстрагента. В частности, показано, что удлинение «хвоста» катиона ионной жидкости увеличивает десульферирующую способность ионной жидкости.

При окислительном десульфировании модельного масла, содержащего дибензотиофен, и настоящего дизельного топлива использована ионная жидкость 1-октил-3-метилимидазол-гидросульфат, нанесенная на силикагель. Наивысшая эффективность удаления дибензотиофена (99,1%) была достигнута при загрузке ионной жидкости 17% масс. Показано, что приготовленный катализатор проявляет высокую эффективность при окислительном десульфировании с потреблением значительно меньшего количества ионной жидкости, чем при обессеривании с использованием указанной ионной жидкости без нанесения на силикагель. Степень удаления серы составила 73% масс. После отделения из реакционной системы обычной фильтрацией указанного гетерогенного катализатора возможно повторное четырехкратное использование без значительного снижения его производительности и активности [44].

Другой группой специалистов изучен процесс окислительного десульфирования прямогонной дизельной фракции, которую подвергали окислению в присутствии ионных жидкостей с последующим извлечением продукта окисления из окисленной дизельной фракции с использованием оксида алюминия, силикагеля или активированного угля или путем экстракции ацетонитрилом, N,N-диметилформамидом или ацетоном [45].

Практический интерес представляют также научно-исследовательские работы, проведенные в

ИНХП НАН Азербайджана, в области разработки экологически чистых технологий очистки нефтяных фракций различного назначения с использованием ионно-жидкостных составов.

Изучена селективная очистка бензина каталитического крекинга, бензина риформинга, дизельной фракции, трансформаторного масла, масляных дистиллятов различной вязкости, дистиллята гидравлической жидкости АМГ-10 и т.д. ионными жидкостями на основе органических кислот – муравьиной, уксусной, бензойной и аминов (в частности, анилина, морфолина, пиперидина, пиридина и ди-, триэтиламина, N-метилпирролидона и т.д.) [46]. Показано, что в исследуемых системах наибольшую эффективность среди синтезированных ионно-жидкостных составов проявляют ионные жидкости на основе муравьиной кислоты и анилина, морфолина и N-метилпирролидона.

Установлено, что при экстракционной очистке бензина каталитического крекинга ионной жидкостью на основе муравьиной кислоты и анилина, содержание ароматических углеводородов снижается с 25,6% масс до 19% масс, а содержание серы от 240 ppm до 66 ppm. При поэтапной экстракции достигается более высокая степень очистки сырья от сернистых и ароматических соединений [47, 48].

Хроматографическим методом анализа углеводородного состава исследуемых образцов установлена высокая избирательность ионно-жидкостного состава – морфолинформиата. При этом октановое число полученного бензина риформинга увеличивается более чем на два пункта и составляет 103,7 [49].

Показана возможность получения основы гидравлического масла АМГ-10 ионно-жидкостной экстракцией дистиллята на основе Балаханской нефти и нефти с месторождения «Нефт дашлары». Исследовано влияние соотношения ионной жидкости к сырью 1-3:1, температуры экстракции (25-70 °С) времени контакта компонентов (0,5-3,0 ч), а также поэтапного проведения процесса экстракции на выход и показатели рафината и определены оптимальные условия получения основы гидравлического масла, отвечающего требованиям ТУ 0253-021-46693-103-2006 [50].

При обессеривании и деароматизации дизельной фракции, содержащей 16,5% ароматических углеводородов и 0,089% серы, также ионную жидкость на основе муравьиной кислоты и анилина или морфолина, наблюдается достаточно высокий экстрагирующий эффект. В частности, при

применении морфолинформата остаточное содержание ароматических соединений в дистилляте составляло 10,5%, а серы 0,0035% [51].

В процессе очистки прямогонной и гидроочищенной дизельной фракции наилучшие результаты были достигнуты в случае применения в качестве экстрагента ионной жидкости на основе уксусной кислоты и N-метилпирролидона. В частности, при селективной очистке гидроочищенного дизельного дистиллята наблюдается полная деароматизация исходного сырья, а содержание серы снижается от 0,0181% масс до 0,0130% масс [52].

С целью повышения объема сырьевой базы дизельного топлива исследована экстракционная очистка смеси прямогонной дизельной фракции (70%) и продуктов вторичной переработки нефти (30%) – легкого газойля каталитического крекинга (ЛГКК) и легкого газойля коксования (ЛГК) ионной жидкостью, синтезированной на основе уксусной кислоты и N-метилпирролидона. Установлено, что в зависимости от соотношения компонентов, а также от осуществления процесса в одну стадию или постадийно, степень деароматизации дизельного дистиллята, содержащего ЛГК, колеблется в пределах 40-80% масс, степень десульфирования

61,6-77,5% масс при выходе рафината 72,3-84,4 % масс на сырье. В случае селективной очистки смеси прямогонной дизельной фракции и ЛГКК степень деароматизации составляла 79,3%, степень десульфирования 072,4% масс. Цетановое число увеличивается в 2 раза и составляет 50,38 [53].

Сравнительный анализ селективной очистки указанных составов дизельного дистиллята N-метилпирролидоном указал на эффективность применения ионно-жидкостного состава на основе уксусной кислоты и N-метилпирролидона. УФ спектральным анализом установлено, что ПАУ наиболее селективно удаляются из состава смеси дизельной фракции при применении в качестве экстрагента N-метилпирролидонацетатной ионной жидкости [54].

ВЫВОДЫ

Таким образом, на основе анализа литературных данных можно отметить перспективность применения экстракционных методов в процессах очистки моторных топлив, а также эффективность продолжения исследований в этом направлении с подбором экологических экстрагентов – ионных жидкостей.

ЛИТЕРАТУРА

1. Электронный ресурс. Режим доступа: <http://www.1news.az/news/v-azerbaydzhanе-uvеlichilos-proizvodstvo-dizel-nogo-topliva>.
2. **Montagne X., Boulet R., Guibet J.C.** Relation between chemical composition and pollutant emissions from diesel engines. 13th World Petroleum Congress. Buenos-Aires. 1991.
3. **Сираев И.Н., Улендеева А.Д., Парфёнова М.А.** Сероорганические соединения нефтей различного типа. *Нефтепереработка и нефтехимия*. 2002. № 9. С. 33-39.
4. **He L., Li H., Zhu W.** Deep Oxidative Desulfurization of Fuels using Peroxophosphomolybdate Catalysts in Ionic Liquids. *Indust. Eng. Chem. Res.* 2008. V. 47 (18). P. 6890-6895.
5. **Сергун В.П., Король И.С., Мин Р.С.** Сероорганические соединения высокосернистой нефти Нижнепервомайского месторождения. *Химия в интересах устойчив. развития*. 2014. № 22. С. 175-180.
6. **Gao S., Chen X., Abro R., Abdeltawab A.A., Al-Deyab S.S., Yu G.** Desulfurization of fuel oil: conductor-like screening model for real solvents study on capacity of ionic liquids for thiophene and dibenzothiophene. *Indust. Eng. Chem. Res.* 2015. 54(38). P. 9421-9430.
7. **Bosmann A., Datsevich L., Jess A.** Deep desulfurization of diesel fuel by extraction with ionic liquids. *Chem. Commun.* 2001. N 23. P. 2494-2495.
8. **Гайле А.А., Сайфидинов Б.М.** Альтернативные негидрогенизационные методы повышения качества дизельного топлива. СПб.: СПбГТИ(ТУ). 2009. 112 с.
9. **Babich I.V., Moulijn J.A.** Science and technology of novel processes for deep desulfurization of oil refinery streams: a review. *Fuel*. 2003. V. 82. P. 607-631.
10. **Большаков Г.Ф.** Сероорганические соединения нефти. Новосибирск: Наука. 1986. 243 с.

REFERENCES

1. Electronic resource. Access mode: <http://www.1news.az/news/v-azerbaydzhanе-uvеlichilos-proizvodstvo-dizel-nogo-topliva>.
2. **Montagne X., Boulet R., Guibet J.C.** Relation between chemical composition and pollutant emissions from diesel engines. 13th World Petroleum Congress. Buenos-Aires. 1991.
3. **Sirayev I.N., Ulendeeva, A.D. Parfyonova M.A.** Organosulfur compounds of various types of oils. *Neftepererabotka Neftekhim.* 2002. N 9. P. 33-39 (in Russian).
4. **He L., Li H., Zhu W.** Deep Oxidative Desulfurization of Fuels using Peroxophosphomolybdate Catalysts in Ionic Liquids. *Indust. Eng. Chem. Res.* 2008. V. 47 (18). P. 6890-6895. DOI: 10.1021/ie800857a.
5. **Sergun V.P., Korol I.S., Min R.S.** Organosulfur compounds of high-sulfur oil from Nizhnevomamaiskoye field. *Khim. Interesakh Ustoych. Razvitiya*. 2014. N 22. P. 175-180 (in Russian).
6. **Gao S., Chen X., Abro R., Abdeltawab A.A., Al-Deyab S.S., Yu G.** Desulfurization of fuel oil: conductor-like screening model for real solvents study on capacity of ionic liquids for thiophene and dibenzothiophene. *Indust. Eng. Chem. Res.* 2015. 54(38). P. 9421-9430. DOI: 10.1021/acs.iecr.5b01385.
7. **Bosmann A., Datsevich L., Jess A.** Deep desulfurization of diesel fuel by extraction with ionic liquids. *Chem. Commun.* 2001. N 23. P. 2494-2495. DOI: 10.1039/B108411A.
8. **Gaile A.A., Sayfidinov B.M.** Alternative non-hydrogenation methods for improving the quality of diesel fuel. SPb: SPbGТИ(TU). 2009. 112 p. (in Russian).
9. **Babich I.V., Moulijn J.A.** Science and technology of novel processes for deep desulfurization of oil refinery streams: a review. *Fuel*. 2003. V. 82. P. 607-631. DOI: 10.1016/S0016-2361(02)00324-1.
10. **Bolshakov G.F.** Organosulfur compounds of oil. Novosibirsk: Nauka. 1986. 243 p. (in Russian).

11. **Гайле А.А., Залищевский Г.Д., Семенов Л.В.** Экстракционная очистка прямогонной дизельной фракции от сероорганических соединений и ароматических углеводородов. *Нефтепереработка и нефтехимия*. 2004. № 1. С. 23-27.
12. **Gmehling J., Menke J., Schiller M.** Activity Coefficients at Infinite Dilution. *DECHEMA Chemistry Data Series*. V. 9. Pt. 3,4. Frankfurt/Main. 1994. 1844 p.; Pt. 5,6. Frankfurt/Main. 2007 - 2008. P. 1846 – 2741.
13. **Гайле А.А., Сомов В.Е., Залищевский Г.Д.** Селективные растворители. Разделение и очистка углеводородсодержащего сырья. СПб.: Химиздат. 2008. 736 с.
14. **Билал Бенобиди, Гайле А.А., Жиганова А.Г., Кузичкин Н.В., Лисицын Н.В.** Селективность растворителей по отношению к аренам с различным числом ароматических циклов. *Нефтепереработка и нефтехимия*. 2015. № 12. С. 15-18.
15. **Пыхалова Н.В., Аппазов А.Ю., Баламедова У.А.** Исследование влияния условий проведения жидкостной экстракции дизельной фракции N-метилпирролидоном на экологические показатели дизельного топлива. *Нефтепереработка и нефтехимия*. 2011. № 12. С. 19-23.
16. **Колбин В.А., Дезорцев С.В., Теляшев Э.Г.** Экстракционное облагораживание тяжелого компонента дизельного топлива N-метил-пирролидоном. *Башкир. хим. журн.* 2016. Т. 23. № 1. С. 3-6
17. **Красногорская Н.Н.** Экстракция средних нефтяных фракций. М.: Химия. 1989. 72 с.
18. **Ляпина Г.Н., Марченко Г.Н., Парфенова М.А., Галкин Е.Г., Гришина Р.Е., Нугуманов Р.М.** Идентификация сераорганических соединений, выделенных диметилформамидом из архангельской нефти. *Башкир. хим. журн.* 2007. Т. 14. № 1. С. 55-61.
19. **Wang C.S.** Oxidative desulfurization of diesel fuel using Ce^{4+} ions under the action of ultrasound. *Int. J. Hydrogen Energy*. 2007. V. 24. N 8. P. 937-940.
20. **Эрл М.Ю., Седдон К.Р.** Ионные жидкости. Зеленые растворители на будущее. *Чистая и прикладная химия*. 2000. Т. 72 (7). С. 1391-1398.
21. **Ахмедова С.З., Аббасов В.М., Талыбов А.Г., Сулейманова С.А., Сеидова С.А.** Этерификация гептановой кислоты первичными спиртами, катализируемая N-метилпирролидон гидросульфатом. *Журн. Хим. Проблем*. 2016. № 1. С. 86-93.
22. **Dharaskar S.A.** Ionic Liquids (A Review): The Green Solvents for Petroleum and Hydrocarbon Industries. *Res. J. Chem. Sci.* 2012. V. 2(8). P. 80-85.
23. **Alonso L., Arce A., Francisco M.J.** Liquid - Liquid Equilibria for Systems Composed by 1-Methyl-3-octylimidazolium Tetrafluoroborate Ionic Liquid, Thio- phene, and n-Hexane or Cyclohexane. *J. Chem. Eng. Data*. 2007. V. 52. P. 1729- 1732. DOI: 10.1021/je700126z.
24. **Alonso L., Arce A., Francisco M., Soto A.** Solvent extraction of thiophene from n- alkanes (C7, C₂ and C₆) using the ionic liquid [C₈mim][BF₄]. *J. Chem. Thermodyn.* 2008. V. 40. N 6. P. 966 – 972.
25. **Alonso L., Arce A., Francisco M., Soto A.** Measurement and Correlation of Liquid-Liquid Equilibria of Two Imidazolium Ionic Liquids with Thiophene and Methyl- cyclohexane. *J. Chem. Eng. Data*. 2007. V. 52. N 6. P. 2409 – 2412.
26. **Alonso L., Arce A., Francisco M., Soto A.** Liquid - Liquid Equilibria for [C₈mim][NTf₂]+ Thiophene +2,2,4-Trime-thylpentane or + Toluene. *J. Chem. Eng. Data*. 2008. V. 53. N 8. P. 1750- 1755.
27. **Abdelaziz C.B., Fabrice M.** Liquid–Liquid Equilibria for the Ternary Systems Dodecane + Toluene or Thiophene or Pyridine + 1-Ethyl-3-methylimida-zolium Methyl Sulfate. *J. Chem. Eng. Data*. 2017. 62. P. 1749–1755.
11. **Gaile A.A., Zalishchevsky G.D., Semenov L.V.** Extraction purification of straight-run diesel fraction from organic sulfur compounds and aromatic hydrocarbons. *Neftepererabotka Neftekhim.* 2004. N 1. P. 23-27 (in Russian).
12. **Gmehling J., Menke J., Schiller M.** Activity Coefficients at Infinite Dilution. *DECHEMA Chemistry Data Series*. V. 9. Pt. 3,4. Frankfurt/Main. 1994. 1844 p.; Pt. 5,6. Frankfurt/Main. 2007 - 2008. P. 1846 – 2741.
13. **Gaile A.A., Somov V.E., Zalishchevsky G.D.** Selective solvents. Separation and purification of hydrocarbon-containing raw materials. SPb.: Khimizdat. 2008. 736 p. (in Russian).
14. **Bilal Benobidi, Gaile A.A., Zhiganova A.G., Kuzichkin N.V., Lisitsyn N.V.** Selectivity of solvents with respect to arenas with different numbers of aromatic cycles. *Neftepererabotka Neftekhim.* 2015. N 12. P. 15-18 (in Russian).
15. **Pykhalova N.V., Appazov A.Yu., Balammedov U.A.** The study of the influence of the conditions of liquid extraction of diesel fraction N-methylpyrrolidone on the environmental performance of diesel fuel. *Neftepererabotka Neftekhim.* 2011. N 12. P. 19-23 (in Russian).
16. **Kolbin V.A., Dezortsev S.V., Telyashev E.G.** Extraction upgrading of the heavy component of diesel fuel N-methyl-pyrrolidone. *Bashkir. Khim. Zhurn.* 2016. V. 23. N 1. P. 3-6 (in Russian).
17. **Krasnogorskaya N.N.** Extraction of medium oil fractions. М.: Khimiya. 1989. 72 p. (in Russian).
18. **Lyapina G.N., Marchenko G.N., Parfenova M.A., Galkin E.G., Grishina R.E., Nugumanov R.M.** Identification of organic sulfur compounds isolated from dimethylformamide from Arkhangelsk oil. *Bashkir Khim. Zhurn.* 2007. V. 14. N 1. P. 55-61 (in Russian).
19. **Wang C.S.** Oxidative desulfurization of diesel fuel using Ce^{4+} ions under the action of ultrasound. *Int. J. Hydrogen Energy*. 2007. V. 24. N 8. P. 937-940.
20. **Earl M.Yu., Seddon C.R.** Ionic liquids. Green solvents for the future. *Chistaya Prikl. Khim.* 2000. V. 72 (7). P. 1391-1398 (in Russian).
21. **Akhmedov S.Z., Abbasov V.M., Talybov A.G., Sul-eymanov S.A., Seidova S.A.** Esterification of heptanoic acid with primary alcohols, catalyzed by N-methylpyrrolidone hydrosulfate. *Zhurn. Khim. Probl.* 2016. N 1. P. 86-93 (in Russian).
22. **Dharaskar S.A.** Ionic Liquids (A Review): The Green Solvents for Petroleum and Hydrocarbon Industries. *Res. J. Chem. Sci.* 2012. V. 2(8). P. 80-85.
23. **Alonso L., Arce A., Francisco M.J.** Liquid - Liquid Equilibria for Systems Composed by 1-Methyl-3-octylimidazolium Tetrafluoroborate Ionic Liquid, Thio- phene, and n-Hexane or Cyclohexane. *J. Chem. Eng. Data*. 2007. V. 52. P. 1729- 1732. DOI: 10.1021/je700126z.
24. **Alonso L., Arce A., Francisco M., Soto A.** Solvent extraction of thiophene from n- alkanes (C7, C₂ and C₆) using the ionic liquid [C₈mim][BF₄]. *J. Chem. Thermodyn.* 2008. V. 40. N 6. P. 966 – 972.
25. **Alonso L., Arce A., Francisco M., Soto A.** Measurement and Correlation of Liquid-Liquid Equilibria of Two Imidazolium Ionic Liquids with Thiophene and Methyl- cyclohexane. *J. Chem. Eng. Data*. 2007. V. 52. N 6. P. 2409 – 2412.
26. **Alonso L., Arce A., Francisco M., Soto A.** Liquid - Liquid Equilibria for [C₈mim][NTf₂]+ Thiophene +2,2,4-Trime-thylpentane or + Toluene. *J. Chem. Eng. Data*. 2008. V. 53. N 8. P. 1750- 1755.
27. **Abdelaziz C.B., Fabrice M.** Liquid–Liquid Equilibria for the Ternary Systems Dodecane + Toluene or Thiophene or Pyridine + 1-Ethyl-3-methylimida-zolium Methyl Sulfate. *J. Chem. Eng. Data*. 2017. 62. P. 1749–1755.

28. **Swapnil A.D., Mahesh N.V., Diwakar Z.S., Chang K.Y.** Synthesis, Characterization and Application of 1-Butyl-3 Methylimidazolium Chloride as Green Material for Extractive Desulfurization of Liquid Fuel. *Sci. World J.* 2013. Article ID 395274.
29. **Dharaskar S.A., Deshmukh S.K., Kiran D.** Ionic Liquids:- As Energy Efficient Solvent For The Extractive Desulfurization of Liquid Fuels. 3rd International Conference on Chemical, Agricultural and Medical Sciences (CAMS-2015). 2015. P. 10-11.
30. **Swapnil D., Kailas W., Mahesh V.** Ionic Liquids: Environmentally Benign Solvent for Extractive Deep-desulfurization of Liquid Fuels. *J. Modern Chem. Chem. Technol.* 2014. V. 5. N 3. P. 28-34.
31. **Xuemei C., Yufeng H., Jiguang L., Qianqing L.** Desulfurization of Diesel Fuel by Extraction with [BF₄]⁻-based Ionic Liquids. *Chinese J. Chem. Eng.* 2008. V. 6. N 16. P. 881-884.
32. **Swapnil A., Dharaskar K.L., Wasewar M.N.** Extractive Desulfurization of Liquid Fuels by Energy Efficient Green Thiazolium based Ionic Liquids. *Indust. Eng. Chem.* 2014. 53(51). P. 19845–19854.
33. **Marcos L., Noemí D.M., Pablo N., Roberto A.** Novel Process to Reduce Benzene, Thiophene, and Pyrrole in Gasoline Based on [4bmpy][TCM] Ionic Liquid. *Energy Fuels.* 2018. 32. P. 5650–5658.
34. **Gao J.X., Li Yuguang, Wangliang L.Q.** Desulfurization of Diesel Fuel by Extraction with Lewis-Acidic Ionic Liquid. *J. separate. Sci. Technol.* 2009. 44. P. 971-982.
35. **Chongpin H., Biaohua C., Jie Z.** Desulfurization of Gasoline by Extraction with New Ionic Liquids. *J. Energy Fuels.* 2004. 18. P. 1862-1864.
36. **Rashid A., Shurong G., Xiaochun C., Guangren Y.** Oxidative Desulfurization of Gasoline by Ionic Liquids Coupled with Extraction by Organic Solvents. *J. Brazil. Chem. Soc.* 2016. 27. P. 998-1006.
37. **Xiaochun C., Dandan S., Charles A.** Deep oxidative desulfurization of diesel fuels by Lewis acidic ionic liquids based on 1-n-butyl-3-methylimidazolium metal chloride. *J. Molec. Catalysis.* 2012. V. 359. P. 8-13.
38. **Ma C., Dai B., Liu P., Zhou N., Shi A., Ban L., Chen H.** Deep oxidative desulfurization of model fuel using ozone generated by dielectric barrier discharge plasma combined with ionic liquid extraction. *J. Indust. Eng. Chem.* 2014. 20(5). P. 2769–2774.
39. **Rodríguez-Cabo B., Rodríguez H., Rodil E., Arce A., Soto A.** Extractive and oxidative-extractive desulfurization of fuels with ionic liquids. *Fuel.* 2014. 117. P. 882–889.
40. **Yinke Z., Hang X., Mengfan J., Zhuang L.** Optimization of Deep Oxidative Desulfurization Process Using Ionic Liquid and Potassium Monopersulfate. *J. Chem.* 2018. 26. 6 p.
41. **Lei Z., Arlt W., Wasserscheid P.** Separation of 1-hexene and n-hexane with ionic liquids. *Fluid Phase Equilibria.* 2006. 241. P. 290–299.
42. **Xiaochun C., Hansong G., Ahmed A.A.** Brønsted-Lewis Acidic Ionic Liquids and Application in Oxidative Desulfurization of Diesel Fuel. *J. Energy Fuels.* 2015. 29. P. 2998–3003.
43. **Liu J., Gui L., Song X.** Deep Desulfurization of Diesel Fuel by Extraction with Task-Specific Ionic Liquids. *J. Petrol. Sci. Technol.* 2008. 26. P. 973-982.
44. **Mahdieh S., Babak M., Hamid R.** Oxidative Desulfurization of Diesel Fuel Using a Brønsted Acidic Ionic Liquid Supported on Silica Gel. *J. Energy Fuels.* 2017. 31. P.10196–10205.
45. **Muktalya D., Akopyan A.V., Myltykbaeva Zh.K., Fedorov R.A.** Oxidative Desulfurization of Straight-Run Diesel Fraction. *J. Petroleum Chem.* 2018. 58. P. 395–399.
28. **Swapnil A.D., Mahesh N.V., Diwakar Z.S., Chang K.Y.** Synthesis, Characterization and Application of 1-Butyl-3 Methylimidazolium Chloride as Green Material for Extractive Desulfurization of Liquid Fuel. *Sci. World J.* 2013. Article ID 395274. DOI: 10.1155/2013/395274.
29. **Dharaskar S.A., Deshmukh S.K., Kiran D.** Ionic Liquids:- As Energy Efficient Solvent For The Extractive Desulfurization of Liquid Fuels. 3rd International Conference on Chemical, Agricultural and Medical Sciences (CAMS-2015). 2015. P. 10-11.
30. **Swapnil D., Kailas W., Mahesh V.** Ionic Liquids: Environmentally Benign Solvent for Extractive Deep-desulfurization of Liquid Fuels. *J. Modern Chem. Chem. Technol.* 2014. V. 5. N 3. P. 28-34.
31. **Xuemei C., Yufeng H., Jiguang L., Qianqing L.** Desulfurization of Diesel Fuel by Extraction with [BF₄]⁻-based Ionic Liquids. *Chinese J. Chem. Eng.* 2008. V. 6. N 16. P. 881-884. DOI: 10.1016/S1004-9541(09)60010-0.
32. **Swapnil A., Dharaskar K.L., Wasewar M.N.** Extractive Desulfurization of Liquid Fuels by Energy Efficient Green Thiazolium based Ionic Liquids. *Indust. Eng. Chem.* 2014. 53(51). P. 19845–19854. DOI: 10.1021/ie501108w.
33. **Marcos L., Noemí D.M., Pablo N., Roberto A.** Novel Process to Reduce Benzene, Thiophene, and Pyrrole in Gasoline Based on [4bmpy][TCM] Ionic Liquid. *Energy Fuels.* 2018. 32. P. 5650–5658. DOI: 10.1021/acs.energyfuels.8b00529.
34. **Gao J.X., Li Yuguang, Wangliang L.Q.** Desulfurization of Diesel Fuel by Extraction with Lewis-Acidic Ionic Liquid. *J. separate. Sci. Technol.* 2009. 44. P. 971-982. DOI: 10.1080/01496390802691232.
35. **Chongpin H., Biaohua C., Jie Z.** Desulfurization of Gasoline by Extraction with New Ionic Liquids. *J. Energy Fuels.* 2004. 18. P. 1862-1864. DOI: 10.1021/ef049879k.
36. **Rashid A., Shurong G., Xiaochun C., Guangren Y.** Oxidative Desulfurization of Gasoline by Ionic Liquids Coupled with Extraction by Organic Solvents. *J. Brazil. Chem. Soc.* 2016. 27. P. 998-1006. DOI: 10.5935/0103-5053.20150355.
37. **Xiaochun C., Dandan S., Charles A.** Deep oxidative desulfurization of diesel fuels by Lewis acidic ionic liquids based on 1-n-butyl-3-methylimidazolium metal chloride. *J. Molec. Catalysis.* 2012. V. 359. P. 8-13. DOI: 10.1016/j.molcata.2012.03.014.
38. **Ma C., Dai B., Liu P., Zhou N., Shi A., Ban L., Chen H.** Deep oxidative desulfurization of model fuel using ozone generated by dielectric barrier discharge plasma combined with ionic liquid extraction. *J. Indust. Eng. Chem.* 2014. 20(5). P. 2769–2774. DOI: 10.1016/j.jiec.2013.11.005.
39. **Rodríguez-Cabo B., Rodríguez H., Rodil E., Arce A., Soto A.** Extractive and oxidative-extractive desulfurization of fuels with ionic liquids. *Fuel.* 2014. 117. P. 882–889. DOI: 10.1016/j.fuel.2013.10.012.
40. **Yinke Z., Hang X., Mengfan J., Zhuang L.** Optimization of Deep Oxidative Desulfurization Process Using Ionic Liquid and Potassium Monopersulfate. *J. Chem.* 2018. 26. 6 p. DOI: 10.1155/2018/6495826.
41. **Lei Z., Arlt W., Wasserscheid P.** Separation of 1-hexene and n-hexane with ionic liquids. *Fluid Phase Equilibria.* 2006. 241. P. 290–299. DOI: 10.1016/j.fluid.2005.12.024.
42. **Xiaochun C., Hansong G., Ahmed A.A.** Brønsted-Lewis Acidic Ionic Liquids and Application in Oxidative Desulfurization of Diesel Fuel. *J. Energy Fuels.* 2015. 29. P. 2998–3003. DOI: 10.1021/acs.energyfuels.5b00172.
43. **Liu J., Gui L., Song X.** Deep Desulfurization of Diesel Fuel by Extraction with Task-Specific Ionic Liquids. *J. Petrol. Sci. Technol.* 2008. 26. P. 973-982. DOI: 10.1080/10916460600695496.

46. **Ибрагимова М.Д., Азизов А.Г., Азмамедов Н.Г., Эйвазов Э.З., Алиева С.Г., Нагиев В.А.** Ионно - жидкостная очистка дизельного топлива. *Процессы нефтехимии и нефтепереработки*. 2006. № 4(27). С. 29-33.
47. **Азизов А.Г., Гусейнова А.Д., Ибрагимова М.Д., Азмамедов Н.Г., Гусейнова И.С., Эйвазов Э.З., Юнусов С.Г.** Применение ионных жидкостей в процессе получения высококачественных экологически чистых автомобильных бензинов. *Нефтепереработка и нефтехимия*. 2007. № 6. С. 25.
48. **Азизов А.Г., Ибрагимова М.Д., Гасанова Р.З., Гусейнова А.Д.** Ионно-жидкостная очистка нефтяных фракций. *Азербайджанское Нефтяное Хозяйство*. 2008. № 7. С. 64.
49. **Ибрагимова М.Д., Азизов А.Г., Гусейнова А.Д., Нагиев В.А.** Исследование процесса селективной очистки бензина риформинга морфолинформатной ионной жидкостью. *Процессы нефтехимии и нефтепереработки*. 2011. Т. 12. № 3(47). С. 189-194.
50. **Ибрагимова М.Д., Аббасов В.М., Алиева С.Г., Халилов А.Б., Нагиев В.А., Гусейнов Г.С., Сеидова С.А., Абдуллаева Х.А.** Исследование процесса регенерации ионно-жидкостного состава N-метилпирро-лидонацетата из экстрактного раствора селективной очистки дистиллята, выделенного из Балаханской нефти. *Нефтепереработка и нефтехимия*. 2017. № 12. С. 41-45.
51. **Ибрагимова М.Д., Нагиев В.А., Сеидова С.А., Эфендиева Л.М., Абдуллаева Х.А.** Селективная очистка нефтяной фракции, выделенной из смеси Азербайджанских нефтей с использованием ионных жидкостей. *Нефтепереработка и нефтехимия*. 2016. № 10. С. 17-20.
52. **Ibragimova M.D., Aliyeva S.A., Seidova S.A., Guseinov G.Dj., Abbasov V.M., Nagiyev V.A.** Improvement Of Quality Of The Hydropurified Diesel Fuel By Ion-Liquid Extraction. *Internat. J. Sci. Eng. Appl. Sci.* 2018. V. 4. N 5. P. 91-95.
53. **Сеидова С.А., Гусейнов Г.Д., Нагиев В.А., Ибрагимова М.Д., Алиева С.Г., Халилов А.Б., Абдуллаева Х.А., Кулиева Э.М.** Экологически чистое дизельное топливо, полученное методом ионно-жидкостной экстракционной очистки. *Baku Eng. Un-ty chem. biol.* 2017. № 1. С. 216-221.
54. **Ибрагимова М.Д., Сеидова С.А., Гусейнов Г.Дж., Аббасов В.М., Нагиев В.А., Алиева С.А., Джафарова Р.А., Ахмедбекова С.Ф.** Исследование структурно-группового состава рафната и экстракта, полученных деароматизацией смеси прямогонной дизельной фракции с продуктами вторичной переработки нефти. *Нефтепереработка и нефтехимия*. 2018. № 8. С. 14-20.
44. **Mahdieh S., Babak M., Hamid R.** Oxidative Desulfurization of Diesel Fuel Using a Brønsted Acidic Ionic Liquid Supported on Silica Gel. *J. Energy Fuels*. 2017. 31. P.10196–10205. DOI: 10.1021/acs.energyfuels.6b03505.
45. **Muktalya D., Akopyan A.V., Myltykbaeva Zh.K., Fedorov R.A.** Oxidative Desulfurization of Straight-Run Diesel Fraction. *J. Petroleum Chem.* 2018. 58. P. 395–399.
46. **Ibragimova M.D., Azizov A.G., Azmamedov N.G., Eyvazov E.Z., Aliyeva S.G., Nagiyev V.A.** Ion - liquid cleaning of diesel fuel. *Neftepererabotka Neftekhim.* 2006. N 4 (27). P. 29-33 (in Russian).
47. **Azizov A.G., Huseynova A.D., Ibragimova M.D., Azmamedov N.G., Huseynova I.S., Eyvazov E.Z., Yunusov S.G.** The use of ionic liquids in the process of obtaining high-quality environmentally friendly gasoline. *Neftepererabotka Neftekhim.* 2007. N 6. P. 25 (in Russian).
48. **Azizov A.G., Ibragimova M.D., Hasanova R.Z., Guseynova A.D.** Ion-liquid cleaning of oil fractions. *Azerbaijdzhan. Neft. Khozyaystvo.* 2008. N 7. P. 64 (in Russian).
49. **Ibragimova M.D., Azizov A.G., Huseynova A.D., Nagiyev V.A.** Investigation of the process of selective purification of gasoline reforming with morpholinformate ionic liquid. *Protsessy Neftekhim. Neftepererabotki.* 2011. V. 12. N 3 (47). P. 189-194 (in Russian).
50. **Ibragimova M.D., Abbasov V.M., Aliyeva S.G., Khalilov A.B., Nagiyev V.A., Guseynov G.S., Seidova S.A., Abdullayev Kh.A.** Investigation of the process of regeneration of the ion-liquid composition of N-methylpyrrolidone acetate from the extract solution of selective purification of distillate isolated from Balakhani oil. *Neftepererabotka Neftekhim.* 2017. N 12. P. 41-45 (in Russian).
51. **Ibragimova M.D., Nagiyev V.A., Seidova S.A., Efendiyev L.M., Abdullayev Kh.A.** Selective purification of the oil fraction isolated from a mixture of Azerbaijani oils using ionic liquids. *Neftepererabotka Neftekhim.* 2016. N 10. P. 17-20 (in Russian).
52. **Ibragimova M.D., Aliyeva S.A., Seidova S.A., Guseinov G.Dj., Abbasov V.M., Nagiyev V.A.** Improvement Of Quality Of The Hydropurified Diesel Fuel By Ion-Liquid Extraction. *Internat. J. Sci. Eng. Appl. Sci.* 2018. V. 4. N 5. P. 91-95.
53. **Seidova S.A., Huseynov G.D., Nagiyev V.A., Ibragimova M.D., Aliyev S.G., Khalilov A.B., Abdullaeva Kh.A., Kuliev E.M.** Environmentally friendly diesel fuel obtained by the method of ion-liquid extraction cleaning. *Baku Eng. Univ. chem. biol.* 2017. N 1. P. 216-221 (in Russian).
54. **Ibragimova M.D., Seidova S.A., Huseynov G.J., Abbasov V.M., Nagiyev V.A., Aliyeva S.A., Jafarov R.A., Ahmedbekov S.F.** The study of the structural group composition of rafinate and extract obtained by de-aromatization of a mixture of straight-run diesel fraction with products of secondary oil refining. *Neftepererabotka Neftekhim.* 2018. N 8. P. 14-20 (in Russian).

Поступила в редакцию 06.12.2018
Принята к опубликованию 20.08.2019

Received 06.12.2018
Accepted 20.08.2019