

Научная статья
УДК 574.2
<https://doi.org/10.24143/1812-9498-2025-4-31-37>
EDN EJZAVY

Сравнение экстракционных свойств этиленгликоля и диметилсульфоксида в процессе извлечения ароматических углеводородов из бензиновой фракции

*Кристина Джавидовна Пашаева^{1✉},
Руслан Исимбаевич Джарлкасов², Ольга Николаевна Каратун³*

¹⁻³Астраханский государственный технический университет,
Астрахань, Россия, chloesallivan1999@mail.ru[✉]

¹ООО «Газпром добыча Астрахань»,
Астрахань, Россия

Аннотация. Использование бензиновых фракций в качестве сырья для пиролиза с целью производства олефинов экономически целесообразно. Однако содержание в них ароматических углеводородов снижает селективность процесса по этилену и пропилену и интенсифицирует коксообразование. Предварительная деароматизация является необходимым технологическим процессом для интенсификации пиролиза и обеспечения стабильной работы оборудования. В статье представлено исследование процесса экстрактивной деароматизации бензиновой фракции с применением этиленгликоля и диметилсульфоксида путем установления влияния ключевого параметра – соотношения «растворитель : сырье» – на показатели процесса. Исследование проводилось на лабораторной установке экстракции периодического действия. В качестве сырья использовалась гидроочищенная прямогонная бензиновая фракция. Установлено, что оптимальным для процесса экстракции ароматических углеводородов из прямогонной бензиновой фракции является соотношение «растворитель : сырье» 1,5 : 1, при котором достигается максимальная степень извлечения ароматических углеводородов: для этиленгликоля – 62,86 % и для диметилсульфоксида – 68,57 %. Дальнейшее увеличение доли растворителя приводит к снижению эффективности очистки и росту энергозатрат на регенерацию. Показано, что разработанный процесс с использованием модифицированных водой растворителей обладает сопоставимой с промышленными аналогами эффективностью при потенциальных преимуществах в стоимости и условиях регенерации, что подтверждает его практическую ценность для повышения рентабельности экстракционных процессов.

Ключевые слова: экстрактивная деароматизация, бензиновая фракция, пиролиз, этиленгликоль, диметилсульфоксид, ароматические углеводороды

Для цитирования: Пашаева К. Д., Джарлкасов Р. И., Каратун О. Н. Сравнение экстракционных свойств этиленгликоля и диметилсульфоксида в процессе извлечения ароматических углеводородов из бензиновой фракции // Нефтегазовые технологии и экологическая безопасность. 2025. № 4. С. 31–37. <https://doi.org/10.24143/1812-9498-2025-4-31-37>. EDN EJZAVY.

Original article

Comparison of extraction properties of ethylene glycol and dimethyl sulfoxide in the process of extraction of aromatic hydrocarbons from the gasoline fraction

Kristina J. Pashaeva^{1✉}, Ruslan I. Jarlkasov², Olga N. Karatun³

¹⁻³Astrakhan State Technical University,
Astrakhan, Russia, chloesallivan1999@mail.ru[✉]

¹Gasprom dobycha Astrakhan, LLC,
Astrakhan, Russia

Abstract. The use of gasoline fractions as a raw material for pyrolysis for the production of olefins is economically feasible. However, the content of aromatic hydrocarbons in them reduces the selectivity of the process for ethylene and propylene and intensifies coke formation. Pre-dearomatization is a necessary technological process to intensify pyrolysis and

ensure stable operation of the equipment. The article presents a study of the process of extractive dearomatization of the gasoline fraction using ethylene glycol and dimethyl sulfoxide by establishing the influence of a key parameter – the ratio “solvent : feed ratio” – on the process parameters. The study was carried out on a laboratory extraction system of periodic action. The hydrotreated straight-run gasoline fraction was used as the raw material. It has been established that the optimal ratio for the extraction of aromatic hydrocarbons from the straight-run gasoline fraction is 1.5 : 1 “solvent : feed ratio”, at which the maximum degree of extraction of aromatic hydrocarbons is achieved: 62.86% for ethylene glycol and 68.57% for dimethyl sulfoxide. A further increase in the solvent fraction leads to a decrease in cleaning efficiency and an increase in energy consumption for regeneration. It is shown that the developed process using water-modified solvents has an efficiency comparable to industrial analogues with potential advantages in cost and regeneration conditions, which confirms its practical value for increasing the profitability of extraction processes.

Keywords: extractive dearomatization, gasoline fraction, pyrolysis, ethylene glycol, dimethyl sulfoxide, aromatic hydrocarbons

For citation: Pashaeva K. J., Jarlkasov R. I., Karatun O. N. Comparison of extraction properties of ethylene glycol and dimethyl sulfoxide in the process of extraction of aromatic hydrocarbons from the gasoline fraction. *Oil and gas technologies and environmental safety*. 2025;4:31-37. (In Russ.). <https://doi.org/10.24143/1812-9498-2025-4-31-37>. EDN EJZAVY.

Введение

В современных нефтехимических комплексах бензиновые фракции различного происхождения используются в качестве целевого и экономически выгодного сырья для пиролиза с целью производства этилена и пропилена. Однако их высокая эффективность в качестве сырья напрямую зависит от химического состава, в частности, от концентрации ароматических углеводородов. Ароматические соединения, обладая исключительной термостабильностью, практически не подвергаются крекингу. При подаче на пиролиз сырья с высоким содержанием аренов они пассивно проходят через реакционную зону, не образуя целевых олефинов. Это приводит к значительному снижению общей селективности процесса по этилену и пропилену, что является главным экономическим показателем установки [1]. Более того, ароматические углеводороды активизируют процессы вторичных реакций, ведущих к образованию пироуглерода и кокса. Коксообразование на стенках змеевиков радиантных печей ухудшает теплопередачу, увеличивает перепады давления, снижает производительность и ведет к сокращению межремонтного пробега установки [2]. Таким образом, предварительная глубокая деароматизация бензиновой фракции является необходимым технологическим этапом для интенсификации пиролиза, повышения выхода целевых продуктов и обеспечения стабильной работы оборудования, что обуславливает актуальность темы.

Экономическая целесообразность процесса деароматизации обуславливается его двойной выгодой. Первой и основной задачей является получение высококачественного подготовленного сырья (рафината) для пиролиза. Рафинат, представляющий собой смесь парафиновых и нефтяных углеводородов с минимальным содержанием ароматики, обладает значительно более высоким потенциалом по выходу этилена и пропилена. Вторая, не менее важная, задача – это выделение концентрированной фракции ароматических углеводородов (экстракта), которая сама по себе является высоколиквидным товарным продуктом [3]. Бензол,

толуол и ксилолы (БТК) – это основа для производства полимеров, синтетических каучуков, пластиков и растворителей. Следовательно, процесс экстрактивной деароматизации трансформирует сырье, проблемное для пиролиза, в два ценных потока: подготовленное сырье с улучшенными характеристиками и отдельный продукт с высокой добавленной стоимостью [4].

Экстрактивная деароматизация основана на физическом разделении, не разрушая ароматическое ядро. Процесс протекает в сравнительно мягких условиях (при умеренных температурах, атмосферном давлении), что определяет его относительно низкую энергоемкость. Ключевыми преимуществами являются селективность и гибкость, т. к. возможно настроить процесс на максимальное извлечение ароматики для глубокой очистки рафината или на получение экстракта заданного состава. Это позволяет целенаправленно готовить сырье для пиролиза, гарантируя его высокое качество и стабильность работы пиролизных печей [5].

Целью статьи является разработка и оптимизация процесса экстрактивной деароматизации бензиновой фракции на основе применения этиленгликоля и диметилсульфоксида с установлением влияния соотношения «растворитель : сырье» на показатели процесса, а также установить его оптимальные диапазоны значений для водных растворов, обеспечивающих достижение максимальной степени извлечения ароматических углеводородов при минимальных энергозатратах на регенерацию.

Задачи исследования:

- 1) провести анализ состава и свойств исходной бензиновой фракции пиролиза и растворителей;
- 2) приготовить серию водных растворов индивидуальных растворителей (этиленгликоля и диметилсульфоксида);
- 3) изучить влияние массового соотношения «растворитель : сырье» (в диапазоне от 1 : 1 до 2,5 : 1) на степень извлечения ароматических углеводородов и качество получаемого рафината для наиболее перспективных составов растворителей;

- 4) определить оптимальные значения исследуемых параметров, обеспечивающих достижение целевых показателей процесса;
- 5) провести сравнительную оценку эффективности, оптимально выбранного параметра;
- 6) дать оценку целесообразности применения разработанного процесса с использованием выбранных растворителей.

Объекты исследования

Исследованы гидроочищенная прямогонная бензиновая фракция, этиленгликоль, диметилсульфоксид.

Физико-химические свойства сырья и растворителей представлены в табл. 1–3.

Таблица 1

Table 1

Физико-химические характеристики сырья
Physical and chemical characteristics of raw materials

Показатель		Значение
Плотность при 20 °С, кг/м ³		718,8
Показатель преломления		1,4155
Фракционный состав	начало кипения, °С	54
	10 %, °С	73
	50 %, °С	112
	90 %, °С	162
	конец кипения, °С	171

Таблица 2

Table 2

Физико-химические характеристики этиленгликоля
Physical and chemical characteristics of ethylene glycol

Показатель		Значение
Плотность (истинная), г/см ³		1,11336
Относительная плотность d_{20}^{20}		1,1155
Температура, °С	кипения при 101,3 кПа (760 мм рт. ст.)	197,6
	замерзания	–13
	плавления	–12,9
	разложения	500–520
Давление насыщенного пара при 20 °С, мм рт. ст.		0,06
Коэффициент преломления n_D^{20}		1,4316
Молекулярная масса, г/моль		62,07
Вязкость при 20 °С, мПа·с (сПз)		20,93
Содержание этиленгликоля		Свыше 99 %

Таблица 3

Table 3

Физико-химические характеристики диметилсульфоксида
Physical and chemical characteristics of dimethyl sulfoxide

Показатель		Значение
Плотность (истинная) при 20 °С, г/см ³		1,1161
Относительная плотность d_{20}^{20}		1,1184
Температура, °С	кипения при 101,3 кПа (760 мм рт. ст.)	245,0
	замерзания	–8
	плавления	18,5
	разложения	150
Давление насыщенного пара при 20 °С мм рт. ст.		< 0,01
Коэффициент преломления n_D^{20}		1,4472
Молекулярная масса, г/моль		78,13
Вязкость при 20 °С, мПа·с (сПз)		35,7
Содержание диметилсульфоксида		Свыше 99 %

Методика эксперимента

Для проведения экстракции использовалась ла-

бораторная установка периодического действия, схема которой представлена на рис. 1.

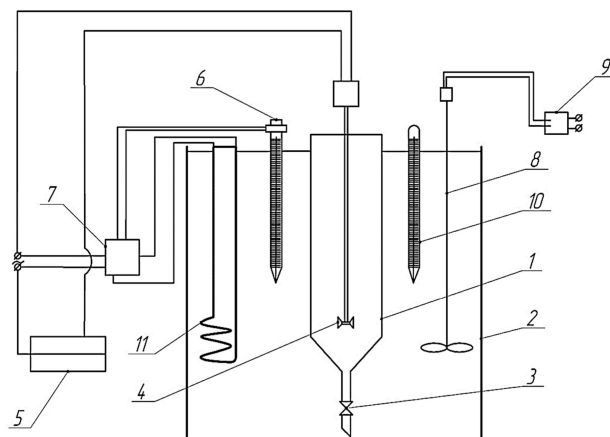


Рис. 1. Схема лабораторной установки экстракции:

1 – делительная воронка; 2 – емкость (баня); 3 – вентиль; 4 – мешалка; 5 – реостат; 6 – контактный термометр; 7 – термореле; 8 – мешалка; 9 – трансформатор; 10 – эталонный термометр; 11 – нагреватель

Fig. 1. Diagram of the laboratory extraction system:

1 – separation funnel; 2 – container (bath); 3 – valve; 4 – agitator; 5 – rheostat; 6 – contact thermometer; 7 – thermal relay; 8 – agitator; 9 – transformer; 10 – reference thermometer; 11 – heater

Рафинатный раствор может содержать 10–15 % растворителя, поэтому его регенируют путем многократной промывки дистиллированной водой при поддержании постоянной температуры 70 °С. Для этого в делительную воронку с рафинатным раствором добавляют воду в соотношении «вода : рафинатная фаза» 1,5 : 1. Смесь перемешивают в течении 3 минут и отстаивают 15 минут. Затем отделяют водную фазу. Промывают до тех пор, пока показатель преломления промывных вод

не станет равным показателю преломления дистиллированной воды (1,3330). В этом случае раствор можно считать отмытым. Полученный после промывки рафинат подсушивают цеолитом NaA (или CaCl_2) и анализируют.

Регенерации растворителя из экстракционной и рафинатной фаз проводилась на лабораторной установке перегонки, схема которой представлена на рис. 2.

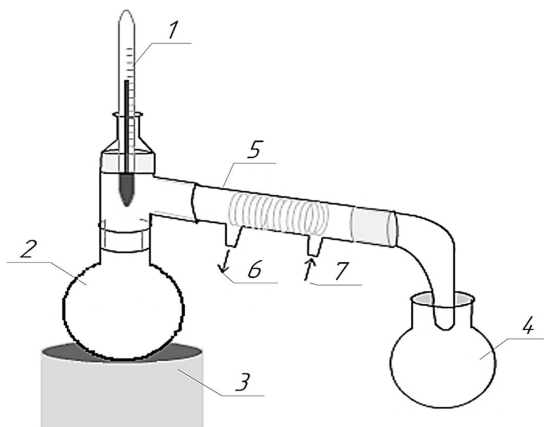


Рис. 2. Схема лабораторной установки регенерации растворителя:

1 – термометр; 2 – круглодонная колба; 3 – колбонагреватель; 4 – колба-приемник; 5 – водяной холодильник; 6 – выход воды; 7 – вход воды

Fig. 2. Diagram of a laboratory solvent regeneration system:

1 – thermometer; 2 – round-bottom flask; 3 – flask heater; 4 – receiver flask; 5 – water cooler; 6 – water outlet; 7 – water inlet

Результаты и их обсуждение

В ходе испытаний варьировали соотношение «растворитель : сырье» при условиях эксперимента: температура – 40 °С; продолжительность контакта «растворитель : сырье» – 45 мин; количество

добавленной в растворитель воды – 7,5 и 5 % для этиленгликоля и диметилсульфоксида соответственно.

На рис. 3 представлены результаты исследования влияния соотношения растворителя к сырью.

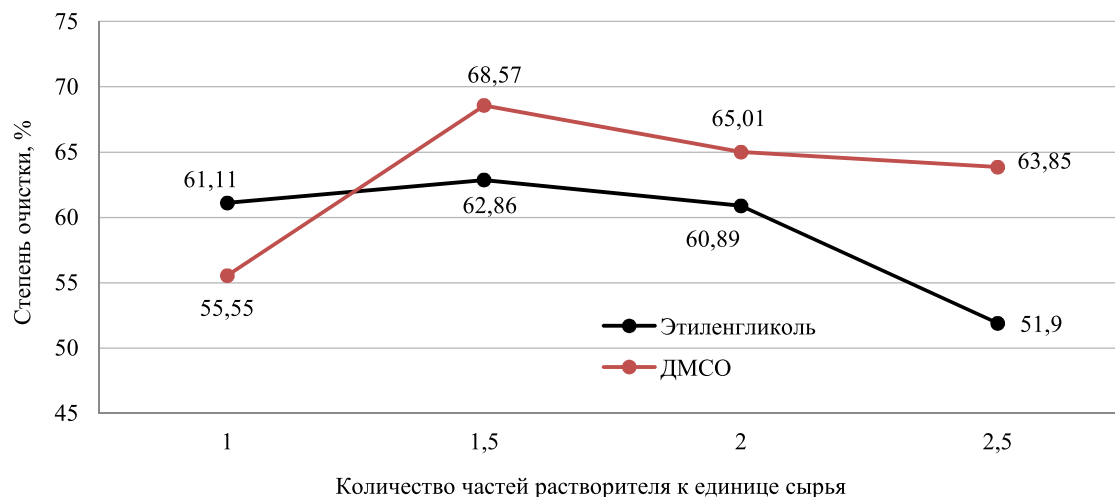


Рис. 3. Влияние соотношения «растворитель : сырье» на процесс экстракции ароматических углеводородов

Fig. 3. Effect of “solvent : feed ratio” on the extraction of aromatic hydrocarbons

Результаты исследования показали, что соотношение «растворитель : сырье» 1,5 : 1 является оптимальным для данного процесса, 62,86 и 68,57 % для этиленгликоля и диметилсульфоксида соответственно. Дальнейшее увеличение кратности растворителя ведет к снижению степени очистки сырья, избыток растворителя начинает растворять не только ароматические углеводороды, но и ценные парафиновые или наftenовые углеводороды. Также увеличение количества растворителя сверх оптимального значения ведет к росту эксплуатационных затрат без улучшения результата, создавая нецелесообразные расходы.

Причина различий результатов экстрагирования может заключаться в селективности и растворяющей способности этиленгликоля и диметилсульфоксида по отношению к ароматическим углеводородам [6].

Диметилсульфоксид является полярным апротонным растворителем. Он обладает сильным дипольным моментом. Кислород в молекуле диметилсульфоксида электроотрицателен, что позволяет ему эффективно сольватировать ароматические молекулы за счет диполь-дипольных взаимодействий и образования слабых комплексов с переносом заряда.

Этиленгликоль – это полярный протонный растворитель, способный образовывать прочные водородные связи. Он также взаимодействует с ароматическими соединениями, но его молекулы склонны в большей степени образовывать водородные связи

друг с другом. Это снижает его доступность и эффективность для взаимодействия с ароматикой [7].

Диметилсульфоксид лучше «различает» ароматические и неароматические молекулы. Он сильнее притягивается к π -электронной системе бензольных колец.

Как апротонный растворитель, диметилсульфоксид не образует плотной сети водородных связей с самим собой. Поэтому его молекулы остаются более «доступными» для целевых углеводородов даже в большом количестве [8].

Соотношение «растворитель : сырье» в процессе экстракции ароматических углеводородов является ключевым параметром, напрямую влияющим на эффективность и экономику процесса. Повышение этого соотношения ведет к увеличению глубины извлечения ароматических углеводородов и повышению селективности. Однако чрезмерное увеличение количества растворителя вызывает резкий рост энергозатрат, в первую очередь, на его регенерацию, а также требует использования более крупного и дорогостоящего оборудования [9].

Заключение

Таким образом, экстрактивная деароматизация бензиновой фракции, используемой в качестве сырья пиролиза, напрямую влияет на эффективность всего последующего процесса. Метод позволяет целенаправленно удалить из сырья компоненты, снижающие выход целевых олефинов и ухудшающие эксплуатационные характеристики.

Pashayeva K. J., Jarikasov R. I., Karatun O. N. Comparison of extraction properties of ethylene glycol and dimethyl sulfoxide in the process of extraction of aromatic hydrocarbons from the gasoline fraction

Установлено, что соотношение «растворитель : сырье» 1,5 : 1 позволяет достичь наибольшие степени извлечения ароматических углеводородов (для этиленгликоля – 62,86 % и для диметилсульфоксида – 68,57 %) в исследованном интервале. Полученные результаты демонстрируют сопостави-

мость с промышленными аналогами при преимуществах в стоимости и условиях регенерации, что подтверждает возможность практического применения полученных результатов для получения высококачественного сырья пиролиза и ценных ароматических соединений.

Список источников

1. Пат. 2501842 С1 Рос. Федерация. Способ деароматизации бензиновой фракции – сырья пиролиза / Каратун О. Н., Капизова Н. Б., Морозов А. Ю. № 2012130647; заявл. 17.07.2012; опубл. 20.12.2013; Бюл. № 35.
2. Ayuso M., Navarro P., Palma A. M., Larriba M., Delgado Mellado N., García J., Rodríguez F., Coutinho J. A. P., Carvalho P. J. Toward Modeling the Aromatic Aliphatic Separation by Extractive Distillation with Tricyanomethanide-Based Ionic Liquids Using CPA EoS // *Industrial & Engineering Chemistry Research*. 2019. N. 58. P. 19681–19692.
3. Ерофеев В. И. Маскаев Г. П. Получение низших олефинов из углеводородного сырья. Термический пиролиз ШФЛУ // *Международ. журн. приклад. и фундамент. исслед.* 2015. № 9. С. 88–91.
4. Камешков А. В., Гайле А. А., Карнаух В. С., Волков Д. А. Экстракционная очистка тяжелого газойля каталитического крекинга смесями N,N-диметилформамида и N-метилпирролидона с этиленгликолем // *Нефтепереработка и нефтехимия*. 2023. № 6. С. 13–15.
5. Лихтерова Н. М. Современное состояние производства топлив для реактивных двигателей // *Мир нефтепродуктов*. 2020. № 6. С. 16–21.

6. Крыльцова Е. Ю. Влияние концентрации воды в составе растворителя на экстракцию ароматических углеводородов из нефтепродуктов // *Акт. исслед.* 2024. № 7. С. 199–201.
7. Пат. РФ 2666362С1. Способ очистки нефтепродуктов от серосодержащих и ароматических углеводородов / Андриенко О. С., Коботаева Н. С., Маракина Е. И., Сачков В. И., Скороходова Т. С. № 2017144235; заявл. 18.12.2017; опубл. 07.09.2018.
8. Муртазаев Ф. И. Исследование альтернативной композиции для извлечения ароматических углеводородов из автомобильного бензина с использованием композиции экстрагента // *Universum: техн. науки*. 2023. № 7 (112). URL: <https://7universum.com/ru/tech/archive/item/15776> (дата обращения: 01.11.2025).
9. Камешков А. В., Гайле А. А., Карнаух В. С., Волков Д. А. Экстракционная очистка лёгкого газойля каталитического крекинга N,N-диметилформамидом и N-метилпирролидоном // *Нефтепереработка и нефтехимия*. 2023. № 4. С. 24–28.

References

1. Karatun O. N., Kapizova N. B., Morozov A. Yu. *Sposob dearomatizatsii benzinovoy frakcii – syr'ya piroliza* [Method of dearomatization of gasoline fraction – pyrolysis raw material]. Patent RF, no. 2012130647, 20.12.2013.
2. Ayuso M., Navarro P., Palma A. M., Larriba M., Delgado Mellado N., García J., Rodríguez F., Coutinho J. A. P., Carvalho P. J. Toward Modeling the Aromatic Aliphatic Separation by Extractive Distillation with Tricyanomethanide-Based Ionic Liquids Using CPA EoS. *Industrial & Engineering Chemistry Research*, 2019, no. 58, pp. 19681–19692.
3. Erofeev V. I. Maskaev G. P. Poluchenie nizshikh olefinov iz uglevodorodnogo syr'ya. Termicheskij piroliz shflu [Production of lower olefins from hydrocarbon raw materials. Thermal pyrolysis of SFLU]. *Mezhdunarodnyj zhurnal prikladnykh i fundamental'nykh issledovaniy*, 2015, no. 9, pp. 88–91.
4. Kameshkov A. V., Gajle A. A., Karnaukh V. S., Volkov D. A. Ehkstrakcionnaya ochildka tyazhelogo gazojlya kataliti-cheskogo krekinga smesyami N,N-dimetilformamida i N-metilpirrolidona s ehtilenglikolem [Extraction purification of heavy gas oil by catalytic cracking with mixtures of N,N-dimethylformamide and N-methylpyrrolidone with ethylene glycol]. *Neftepererabotka i neftekhimiya*, 2023, no. 6, pp. 13–15.
5. Likhterova N. M. Sovremennoe sostoyanie proizvodstva topliv dlya reaktivnykh dvigatelej [The current state of production of fuels for jet engines]. *Mir nefteproduktov*, 2020, no. 6, pp. 16–21.

6. Kryl'cova E. YU. Vliyanie koncentracii vody v sostave rastvoritelya na ehkstrakciyu aromatcheskikh uglevodorodov iz nefteproduktov [The effect of water concentration in the solvent composition on the extraction of aromatic hydrocarbons from petroleum products]. *Aktual'nye issledovaniya*, 2024, no. 7, pp. 199–201.
7. Andrienko O. S., Kobotaeva N. S., Marakina E. I., Sachkov V. I., Skorokhodova T. S. *Sposob ochildki nefteproduktov ot serosoderzhashchikh i aromatcheskikh uglevodorodov* [Method of purification of petroleum products from sulfur-containing and aromatic hydrocarbons]. Patent RF, no. 2017144235, 07.09.2018.
8. Murtazaev F. I. Issledovanie al'ternativnoj kompozicii dlya izvlecheniya aromatcheskikh uglevodorodov iz avtomobil'nogo benzina s ispol'zovaniem kompozicii ehkstragenta [Investigation of an alternative composition for the extraction of aromatic hydrocarbons from automobile gasoline using an extractant composition]. *Universum: tekhnicheskie nauki*, 2023, no. 7 (112). Available at: <https://7universum.com/ru/tech/archive/item/15776> (accessed: 01.11.2025).
9. Kameshkov A. V., Gajle A. A., Karnaukh V. S., Volkov D. A. Ehkstrakcionnaya ochildka lyogkogo gazojlya katalitiches-skogo krekinga N,N-dimetilformamidom i N-metilpirrolidonom [Extraction purification of light gas oil by catalytic cracking with N,N-dimethylformamide and N-methylpyrrolidone]. *Neftepererabotka i neftekhimiya*, 2023, no. 4, pp. 24–28.

Статья поступила в редакцию 07.10.2025; одобрена после рецензирования 24.11.2025; принята к публикации 05.12.2025
The article was submitted 07.10.2025; approved after reviewing 24.11.2025; accepted for publication 05.12.2025

Информация об авторах / Information about the authors

Кристина Джавидовна Пашаева – аспирант кафедры химической технологии переработки нефти и газа; Астраханский государственный технический университет; инженер; ООО «Газпром добыча Астрахань»; chloesallivan1999@mail.ru

Руслан Исимбаевич Джарлкасов – магистрант кафедры химической технологии переработки нефти и газа; инженер кафедры химии; Астраханский государственный технический университет; dzharlkasovrus@gmail.com

Ольга Николаевна Каратун – доктор технических наук, профессор; профессор кафедры химической технологии переработки нефти и газа; Астраханский государственный технический университет; karatunon@mail.ru

Kristina J. Pashaeva – Postgraduate Student of the Department of Chemical Technology of Oil and Gas Refining; Astrakhan State Technical University; Engineer; Gasprom Dobycha Astrakhan, LLC; chloesallivan1999@mail.ru

Ruslan I. Jarlkasov – Master's Course Student of the Department of Chemical Technology of Oil and Gas Refining; Engineer of the Department of the Chemistry; Astrakhan State Technical University; dzharlkasovrus@gmail.com

Olga N. Karatun – Doctor of Technical Sciences, Professor; Professor of the Department of Chemical Technology of Oil and Gas Refining; Astrakhan State Technical University; karatunon@mail.ru

