



Научная статья
2.6.13 – Процессы и аппараты химических технологий (технические науки)
УДК 665.753.4.097

doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2023.04.030

 EDN: NJFSDQ

ПОЛУЧЕНИЕ КОМПОНЕНТОВ МОТОРНЫХ ТОПЛИВ КАТАЛИТИЧЕСКОЙ ПЕРЕРАБОТКОЙ СМЕСЕЙ ПРЯМОГОННОЙ ДИЗЕЛЬНОЙ ФРАКЦИИ И РАПСОВОГО МАСЛА

Дарья Вячеславовна Соснина ¹, Андрей Андреевич Алтынов ²,
Мария Владимировна Киргина ³, Илья Александрович Богданов ⁴

^{1, 2, 3, 4} Национальный исследовательский Томский политехнический университет, Томск, Россия

¹ dvs66@tpu.ru, <https://orcid.org/0009-0004-7686-4742>

² altynov_andrey@tpu.ru, <https://orcid.org/0000-0002-7216-1773>

³ mkirgina@tpu.ru, <https://orcid.org/0000-0001-7407-8845>

⁴ iab12@tpu.ru, <https://orcid.org/0000-0002-2327-5395>

Аннотация. В работе установлено, что совместная переработка прямогонной дизельной фракции и рапсового масла на цеолитном катализаторе позволяет получить компоненты моторных топлив. Кроме того, в результате переработки наблюдается значительное улучшение базовых физико-химических и низкотемпературных свойств полученных продуктов, что обусловлено изменением группового углеводородного состава. Выявлены закономерности превращения веществ при совместной переработке прямогонной дизельной фракции и рапсового масла на цеолитном катализаторе. Показано, что увеличение доли рапсового масла, вовлекаемого в переработку на цеолитном катализаторе, приводит к увеличению суммарной доли непредельных углеводородов в составе продуктов переработки, что, в свою очередь, приводит к увеличению плотности и снижению цетанового индекса.

Ключевые слова: прямогонная дизельная фракция, рапсовое масло, каталитическая переработка, цеолитный катализатор, топливные фракции.

Для цитирования: Получение компонентов моторных топлив каталитической переработкой смесей прямогонной дизельной фракции и рапсового масла / Д. В. Соснина [и др.] // Ползуновский вестник. 2023. № 4, С. 237–243. doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2023.04.030. EDN: <https://elibrary.ru/NJFSDQ>.

PRODUCTION COMPONENTS OF FUELS BY CATALYTIC PROCESSING OF DIESEL FRACTION AND RAPESEED OIL BLENDS

Daria V. Sosnina ¹, Andrey A. Altynov ², Maria V. Kirgina ³, Ilya A. Bogdanov ⁴

^{1, 2, 3, 4} National Research Tomsk Polytechnic University, Tomsk, Russia

¹ dvs66@tpu.ru, <https://orcid.org/0009-0004-7686-4742>

² altynov_andrey@tpu.ru, <https://orcid.org/0000-0002-7216-1773>

³ mkirgina@tpu.ru, <https://orcid.org/0000-0001-7407-8845>

⁴ iab12@tpu.ru, <https://orcid.org/0000-0002-2327-5395>

Abstract. The paper found that the joint processing of straight-run diesel fraction and rapeseed oil on a zeolite catalyst makes it possible to obtain components of motor fuels. In addition, as a result of processing, a significant improvement in the basic physicochemical and low-temperature properties of the obtained products is observed, which is due to a change in the group hydrocarbon composition.

© Соснина Д. В., Алтынов А. А., Киргина М. В., Богданов И. А., 2023

The regularities of the transformation of substances during the joint processing of straight-run diesel fraction and rapeseed oil on a zeolite catalyst are revealed. It is shown that an increase in the proportion of rapeseed oil involved in processing on a zeolite catalyst leads to an increase in the total proportion of unsaturated hydrocarbons in the composition of processed products, which, in turn, leads to an increase in density and a decrease in the cetane index.

Keywords: straight-run diesel fraction, rapeseed oil, catalytic processing, zeolite catalyst, fuel fractions.

For citation: Sosnina, D. V., Altynov, A. A., Kirgina, M. V. & Bogdanov, I. A. (2023). Production components of fuels by catalytic processing of diesel fraction and rapeseed oil blends. *Polzunovskiy vestnik*, (4), 237-243. (In Russ.). doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2023.04.030. EDN: <https://elibrary.ru/NJFSDQ>.

ВВЕДЕНИЕ

Развитие мировой экономики приводит к значительному росту спроса на природные полезные ископаемые, которые, в частности, являются сырьем для производства моторных топлив. Наряду с увеличением потребления полезных ископаемых наблюдается истощение их запасов. Добываемые сейчас нефти, как правило, относятся к категории тяжелых, добыча и переработка которых требует больших капитальных и эксплуатационных затрат. Как следствие, возникает необходимость поиска возобновляемых источников энергии, из которых возможно получать углеводороды, по своему составу и свойствам близкие к углеводородам нефтяного происхождения.

В то же время географическое расположение большей части территории Российской Федерации обуславливает необходимость в получении низкосазыстающих топлив, для обеспечения бесперебойной работы различных видов техники и транспорта в условиях низких температур.

Многочисленные исследования показывают, что в настоящее время все большее распространение для получения моторных топлив и их компонентов находят процессы переработки сырья, как нефтяного, так и растительного, на цеолитсодержащих катализаторах.

Основным преимуществом цеолитсодержащих катализаторов является их устойчивость к действию каталитических ядов. Кроме того, структура цеолитов позволяет значительно уменьшить крекирующую активность катализаторов на их основе, а также снизить закоксовывание катализаторов при переработке сырья утяжеленного фракционного состава.

Широкое применение цеолиты нашли в качестве катализаторов облагораживания прямогонных бензиновых фракций. Так, в работах [1–3] показано, что переработка прямогонных бензиновых фракций с различными пределами выкипания на цеолитных катали-

заторах позволяет получать экологически чистые продукты, удовлетворяющие требованиям европейских стандартов, характеризующиеся высоким выходом и значительным увеличением октанового числа.

Однако применение цеолитных катализаторов не ограничивается лишь процессами облагораживания бензинов. В работе [4] исследован процесс совместной переработки растительного масла и вакуумного газойля на бицеолитном катализаторе, в ходе которого наблюдается увеличение конверсии и выхода бензиновой фракции, а также легких олефинов.

Авторами работы [5] было показано, что переработка смеси биомассы и отработанного растительного масла на цеолитном катализаторе структурного типа ZSM-5 позволяет получать углеводороды нефтяного ряда с выходом до 70 %. А в работе [6] при переработке масла кизила было получено биотопливо, состоящее из углеводородов, кислот, спиртов, сложных эфиров и кетонов. При этом максимальный выход углеводородов составил 89 %.

Получение компонентов моторных топлив каталитической переработкой смесей прямогонной дизельной фракции и растительного масла позволит увеличить объемы производства моторных топлив, в частности низкосазыстающих, а также снизить зависимость топливной промышленности от невозобновляемого сырья за счет вовлечения растительного масла.

Цель данной работы – получение компонентов моторных топлив каталитической переработкой смесей прямогонной дизельной фракции и рапсового масла.

Объектами исследования в работе являются прямогонная дизельная фракция (С-1), рапсовое масло, смеси прямогонной дизельной фракции и рапсового масла с долей масла 10 и 25 % об. (С-2 и С-3 соответственно), продукты их переработки на цеолитном катализаторе, а также топливные фракции, полученные в результате разделения продуктов каталитической переработки.

ПОЛУЧЕНИЕ КОМПОНЕНТОВ МОТОРНЫХ ТОПЛИВ КАТАЛИТИЧЕСКОЙ ПЕРЕРАБОТКОЙ СМЕСЕЙ ПРЯМОГОННОЙ ДИЗЕЛЬНОЙ ФРАКЦИИ И РАПСОВОГО МАСЛА

Предмет исследования – состав и свойства сырья и продуктов каталитической переработки, а также закономерности превращения веществ, входящих в состав прямогонной дизельной фракции и рапсового масла, при их переработке на цеолитном катализаторе.

В качестве смесового компонента, используемого спрямогонной дизельной фракцией, было использовано рапсовое масло. Выбор именно рапсового масла обусловлен несколькими факторами: во-первых, выход масла с одного гектара посевной площади у рапса наибольший, во-вторых, наблюдается ежегодное увеличение посевных площадей рапса и, соответственно, увеличение объемов производства рапсового масла; кроме того, рапсовое масло не нашло широкого применения в пищевой промышленности.

МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Процесс каталитической переработки осуществлялся на лабораторной каталитической установке «CATACON», предназначенной для исследования процессов, протекающих в проточном реакторе при давлении не выше 90 бар и температуре не выше 700 °С.

В качестве катализатора процесса был использован цеолитный катализатор структурного типа ZSM-5, марки КН-30, предоставленный ПАО «Новосибирский завод химконцентратов».

Условия каталитической переработки исследуемых образцов представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Условия каталитической переработки

Table 1 – Conditions of catalytic conversion

Параметр	С-1	С-2	С-3
Температура, °С	375		425
Давление, МПа	0,35		
Скорость подачи сырья, ч ⁻¹	0,5		

Для исследуемых образцов были определены состав и свойства:

1) определение вязкости и плотности на вискозиметре Штабингера осуществлялось в соответствии с методикой, представленной в [7];

2) определение массовой доли серы осуществлялось на энергодисперсионном рентгенофлуоресцентном анализаторе Спектроскан S в соответствии с методикой, представленной в [8];

3) определение температуры застывания (метод А), определение температуры помутнения (метод Б) осуществлялось с использованием жидкостного низкотемпературного термостата в соответствии с методикой, представленной в [9];

4) определение предельной температуры фильтруемости (ПТФ) осуществлялось с использованием жидкостного низкотемпературного

термостата и установки определения ПТФ дизельного топлива на холодном фильтре в соответствии с методикой, представленной в [10];

5) определение фракционного состава осуществлялось в соответствии с методикой, представленной в [11];

6) определение группового состава анилиновым методом осуществлялось в соответствии с методикой, представленной в [12];

7) определение цетанового индекса (ЦИ) осуществлялось в соответствии с методикой, представленной в [13].

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

В соответствии с представленными методами исследования были определены состав и свойства образцов, используемых в качестве сырья процесса переработки на цеолитном катализаторе (таблица 2).

Таблица 2 – Состав и свойства сырья

Table 2 – Composition and properties of raw materials

Характеристика	С-1	С-2	С-3
Кинематическая вязкость при 20 °С, мм ² /с	2,59	3,43	5,80
Плотность при 15 °С, кг/м ³	798,6	810,0	828,9
Массовая доля серы, мг/кг	661	544	439
ЦИ, пункты	55,1	53,2	53,5
Температура помутнения, °С	-22	-23	-21
ПТФи, °С	-23	-36	-31
Температура застывания, °С	-37	-36	-34
Фракционный состав, °С:			
0 % об.;	150	135	122
10 % об.;	167	160	162
50 % об.;	227	235	263
90 % об.	325	327	330

Как можно видеть из результатов, представленных в таблице 2, исходная дизельная фракция С-1 по физико-химическим свойствам, таким как плотность (не более 863,4 кг/м³) и кинематическая вязкость (3,0-6,0 мм²/с), а также по низкотемпературным свойствам (ПТФ не выше -15 °С), фракционному составу (50 % об. перегоняется при температуре не выше 280 °С, 90 % об. – при температуре не выше 360 °С) и значению ЦИ (не менее 45 пунктов) соответствует межсезонному дизельному топливу согласно [14].

Также можно видеть, что при добавлении к С-1 10 и 25 % об. рапсового масла наблюдается увеличение вязкости (на 0,84 и 3,21 мм²/с соответственно) и плотности (на 11,4 и 30,3 кг/м³ соответственно), снижение массовой доли серы (на 117 и 222 мг/кг соответственно), улучшение низкотемпературных

свойств (снижение ПТФ на 13 и 8 °С соответственно), а также изменение фракционного состава, которое заключается в облегчении начала кипения (на 15 и 28 °С соответственно) смесей С-2 и С-3 по сравнению с С-1.

Результаты определения группового состава С-1 показали, что преобладающей группой углеводородов в сырье являются парафины (74,1 % мас.), затем следуют непредельные углеводороды (17,3 % мас.) и нафтеновые углеводороды (8,6 % мас.). Групповой состав для смесей С-2 и С-3 не определялся, поскольку рапсовое масло, используемое в качестве смешанного компонента, представляет собой углеводородное сырье, состоящее из жирных кислот различной молекулярной массы.

В соответствии с условиями, представленными в таблице 1, была осуществлена переработка исследуемых образцов на цеолитном катализаторе.

Результаты определения состава и свойств полученных продуктов переработки представлены в таблицах 3 и 4.

Таблица 3 – Групповой состав продуктов переработки
Table 3 – Group composition of processed products

Группа углеводородов, % мас.	П-1	П-2	П-3
Непредельные	40,3	40,9	44,9
Нафтеновые	9,8	6,7	10,8
Парафиновые	49,9	52,4	44,3

*П-1, П-2, П-3 – продукты переработки С-1, С-2, С-3 соответственно.

Преобладающей группой углеводородов в полученных продуктах являются парафины (для П-1 и П-2) и непредельные углеводороды (для П-3), промежуточное положение занимают непредельные углеводороды (для П-1 и П-2) и парафины (для П-3), а наименьшую долю составляют нафтеновые углеводороды (таблица 3).

Полученные результаты изменения углеводородного состава при переработке исследуемых образцов на цеолитном катализаторе согласуются с представлениями о цеолитном катализе: основными реакциями, протекающими при переработке на цеолите, характерными для углеводородных соединений, являются реакции крекинга тяжелых длинноцепочечных парафиновых углеводородов с образованием более короткоцепочечных парафинов и олефинов. Образовавшиеся в результате крекинга короткоцепочечные олефины вступают в реакции перераспределения водорода с образованием непредельных, в том числе ароматических соединений. Образовавшиеся диеновые углеводороды вступают в реакции диенового синтеза с образованием циклоолефинов, которые, в свою очередь, подвергаются

перераспределению водорода с образованием ароматических и нафтеновых углеводородов.

Для углеводородных соединений – жирных кислот рапсового масла – характерны реакции декарбонизации и декарбоксилирования, в результате которых образуются тяжелые олефины и алкины. Образовавшиеся тяжелые олефиновые углеводороды подвергаются крекингу с образованием более короткоцепочечных парафинов, а также олефинов, вступающих в реакции перераспределения водорода с образованием непредельных, в том числе ароматических соединений.

Изменение доли парафиновых и нафтеновых углеводородов в продуктах переработки с рапсовым маслом обусловлено температурами реализации процесса. Так, для продукта П-2 наблюдается снижение массовой доли нафтеновых углеводородов с одновременным увеличением доли парафиновых углеводородов. Это объясняется тем, что температура процесса переработки П-2, которая составила 375 °С, достаточна для протекания реакций крекинга с образованием короткоцепочечных парафинов из жирных кислот рапсового масла. Из короткоцепочечных олефинов в результате протекания реакций перераспределения водорода с термодинамической точки зрения наиболее вероятно образование ароматических соединений (наблюдаемое увеличение доли непредельных углеводородов), образование нафтенов через диеновый синтез наиболее вероятно из более длинноцепочечных олефинов (наблюдаемое снижение доли нафтеновых углеводородов).

В составе продукта П-3, который был получен в результате переработки при температуре 425 °С, наоборот, наблюдается увеличение доли нафтеновых углеводородов и снижение доли парафиновых углеводородов по сравнению с П-1. Полученные результаты говорят о том, что 425 °С – температура, при которой образовавшиеся в результате крекинга жирных кислот тяжелые олефины не крекируют, а вступают в многостадийные реакции образования нафтенов.

Изменение группового состава продуктов, полученных в результате переработки исследуемых образцов на цеолитном катализаторе, обуславливает изменение физико-химических и низкотемпературных свойств (таблица 4).

По результатам, представленным в таблице 4, можно видеть, что по кинематической вязкости продукты каталитической переработки не удовлетворяют требованиям [14], так как значения вязкости ниже регламентируемых диапазонов.

**ПОЛУЧЕНИЕ КОМПОНЕНТОВ МОТОРНЫХ ТОПЛИВ КАТАЛИТИЧЕСКОЙ ПЕРЕРАБОТКОЙ
СМЕСЕЙ ПРЯМОГОННОЙ ДИЗЕЛЬНОЙ ФРАКЦИИ И РАПСОВОГО МАСЛА**

Таблица 4 – Состав и свойства продуктов переработки

Table 4 – Composition and properties of processing products

Характеристика	П-1	П-2	П-3
Кинематическая вязкость при 20 °С, мм ² /с	1,35	1,38	1,43
Плотность при 15 °С, кг/м ³	800,5	793,3	806,5
Массовая доля серы, мг/кг	232	284	252
ЦИ, пункты	55,3	53,5	48,9
Температура помутнения, °С	ниже -70	ниже -70	ниже -70
ПТФ, °С	ниже -70	ниже -70	ниже -70
Температура застывания, °С	ниже -70	ниже -70	ниже -70
Фракционный состав, °С:			
0 % об.;	46	35	41
10 % об.;	123	88	100
50 % об.;	230	216	218
90 % об.	338	321	337

По плотности (не более 833,5 кг/м³), массовой доле серы (не более 500 мг/кг) и фракционному составу (50 % об. перегоняется при температуре не выше 255 °С, 90 % об. – при температуре не выше 360 °С) и значению ЦИ (не менее 45 пунктов), полученные продукты каталитической переработки удовлетворяют требованиям [14], предъявляемым для арктической марки дизельных топлив.

Низкотемпературные свойства полученных продуктов также удовлетворяют требованиям [14] для арктической марки дизельных топлив (ПТФ не выше -45 °С).

Крекинг парафиновых углеводородов приводит к снижению плотности и вязкости, облегчению фракционного состава, улучшению низкотемпературных свойств полученных продуктов переработки.

Также можно видеть, что вовлечение рапсового масла привело к незначительному увеличению вязкости полученных продуктов, а также к снижению для П-2 и увеличению для П-3 плотности (на 7,2 и 6,0 кг/м³ соответственно) по сравнению с П-1. Изменение плотности для продуктов совместной переработки с маслом объясняется тем, что из различных групп углеводородов наибольшей плотностью обладают ароматические, а наименьшей – парафиновые углеводороды, что наглядно отражает групповой состав полученных продуктов. Для П-2 наблюдается увеличение доли парафиновых углеводородов и, соответственно, снижение плотности, а для П-3 – увеличение доли непредельных углеводородов и повышение плотности по сравнению с П-1.

Снижение ЦИ у продуктов совместной переработки с маслом П-2 и П-3 (на 1,8 и

6,4 пункта соответственно) обусловлено образованием непредельных, в частности, ароматических соединений, которые обладают наименьшими значениями ЦИ по сравнению с другими группами углеводородов.

Кроме того, продукты, полученные в результате переработки смесей прямогонная дизельная фракция/рапсовое масло на цеолитном катализаторе, характеризуются значительным облегчением начала кипения и широким фракционным составом (таблица 4).

Значения вязкости полученных продуктов не удовлетворяют требованиям, предъявляемым к дизельным топливам в соответствии с [14] и обуславливают необходимость разделения П-2 и П-3 на топливные фракции, такие как бензиновая (БФ), керосиновая (КФ) и дизельная (ДФ) с пределами выкипания н.к.-180 °С, 140–240 °С, 180 °С-к.к. соответственно.

Результаты определения характеристик топливных фракций, полученных при разделении продуктов переработки смесей прямогонной дизельной фракции и рапсового масла на цеолитном катализаторе, представлены в таблицах 5–7.

Бензиновая фракция, полученная в результате разделения продукта каталитической переработки смеси прямогонной дизельной фракции и 10 % об. рапсового масла, удовлетворяет требованиям [15] для бензина марки АИ-80 экологического класса К2 (содержание бензола не более 5 % об.). Бензиновая фракция продукта каталитической переработки прямогонной дизельной фракции и 25 % об. рапсового масла не удовлетворяет требованиям [15] по содержанию бензола (не более 1 % об. для экологического класса К5 и не более 5 % об. для К2) ароматических соединений (не более 35,0 % об. для экологического класса К5) и плотности (725,0–780, кг/м³). Однако полученная бензиновая фракция характеризуется высоким значением ОЧИ (более 90,0 пунктов) и может быть использована в качестве смесового компонента при получении товарных бензинов методом компаундирования.

Таблица 5 – Характеристики бензиновых фракций продуктов переработки смесей

Table 5 – Characteristics of gasoline fractions of processed mixtures

Характеристика	Фракция	
	БФ(П-2)	БФ(П-3)
Октановое число, пункты: по исследовательскому методу;	85,8	91,4
по моторному методу	79,3	85,0
Объемная доля бензола, %	2,2	5,4
Объемная доля углеводородов, %:		
олефиновых;	9,4	11,1
ароматических	22,3	43,4
Плотность при 15 °С, кг/м ³	754,3	787,0

Таблица 6 – Характеристики керосиновых фракций продуктов переработки смесей

Table 6 – Characteristics of kerosene fractions of processed mixtures

Характеристика	Фракция	
	КФ(П-2)	КФ(П-3)
Кинематическая вязкость при 20 °С, мм ² /с	1,26	1,28
Плотность при 20 °С, кг/м ³	813,5	819,5
Массовая доля серы, мг/кг	99	106
Температура начала кристаллизации, °С	ниже -70	ниже -70

Керосиновые фракции КФ(П-2) и КФ(П-3), полученные из продуктов переработки по низкотемпературным и физико-химическим свойствам, соответствуют требованиям, предъявляемым [16] для марки РТ (температура начала кристаллизации не выше -55 °С, вязкость не ниже 1,25 мм²/с, плотность не ниже 775 кг/м³).

Таблица 7 – Характеристики дизельных фракций продуктов переработки смесей

Table 7 – Characteristics of diesel fractions of processed mixtures

Характеристика	Фракция	
	ДФ(П-2)	ДФ(П-3)
Кинематическая вязкость при 20 °С, мм ² /с	4,16	4,57
Плотность при 15 °С, кг/м ³	847,9	854,7
Массовая доля серы, мг/кг	473	423
ПТФ, °С	-46	-45

Дизельные фракции, полученные в результате разделения продуктов переработки П-2 и П-3 по низкотемпературным свойствам, соответствуют требованиям [14], предъявляемым для арктической марки дизельных топлив (ПТФ не выше -45 °С) (таблица 7). Однако по физико-химическим свойствам фракции ДФ(П-2) и ДФ(П-3) соответствуют требованиям для межсезонного по плотности (не выше 863,4 кг/м³) и зимнего по вязкости (1,8–5,0 мм²/с) дизельного топлива [14].

Полученные результаты свидетельствуют о целесообразности и перспективности разделения полученных продуктов совместной переработки прямогонной дизельной фракции и рапсового масла на цеолитном катализаторе для получения компонентов различных топлив – бензинов, керосинов и дизельных топлив.

ВЫВОДЫ

В ходе работы были получены следующие результаты:

1. Установлено, что образец прямогонной дизельной фракции по физико-химическим и низкотемпературным свойствам соответствует требованиям [14] для межсезонного дизельного топлива. Показано, что при добавлении рапсового масла к прямогонной дизельной фракции в количестве 10 и 25 % об. наблюдается увеличение вязкости, плотности, снижение массовой

доли серы, снижение ПТФ, а также облегчение начала кипения.

2. Показано, что продукты переработки прямогонной дизельной фракции и смесей прямогонной дизельной фракции и рапсового масла с долей масла 10 и 25 % об. удовлетворяют требованиям [14] для арктической марки дизельных топлив по плотности, массовой доле серы, низкотемпературным свойствам и фракционному составу. Кинематическая вязкость полученных продуктов ниже диапазона, установленного требованиями [14].

3. Выявлены закономерности превращения веществ при переработке прямогонной дизельной фракции и смесей прямогонной дизельной фракции и рапсового масла на цеолитном катализаторе. Установлено, что изменение группового углеводородного состава обусловлено протеканием реакций крекинга тяжелых, длинноцепочечных парафинов с образованием короткоцепочечных парафинов и олефинов. Образующиеся короткоцепочечные олефины вступают в реакции перераспределения водорода с образованием ароматических углеводородов. Крекинг длинноцепочечных парафинов приводит к снижению кинематической вязкости, облегчению фракционного состава, улучшению низкотемпературных свойств продукта каталитической переработки. Показано, что с увеличением доли масла, вовлекаемого в переработку, в составе продуктов увеличивается доля непредельных и нафтеновых углеводородов и снижается доля парафинов. Это обусловлено тем, что при высоких температурах жирные кислоты, входящие в состав рапсового масла, подвергаются реакциям декарбонилирования и декарбонилирования с образованием непредельных углеводородов, в частности длинноцепочечных олефинов и алкинов. Из длинноцепочечных олефинов образуются диены, которые, в свою очередь, вступают в реакции образования нафтеновых и ароматических углеводородов. Также показано, что увеличение доли масла при совместной переработке приводит к повышению плотности, вязкости, снижению ЦИ и массовой доли серы, утяжелению фракционного состава продукта каталитической переработки смеси прямогонной дизельной фракции и 25 % об. рапсового масла по сравнению с продуктом переработки прямогонной дизельной фракции и 10 % об. рапсового масла, что обусловлено увеличением доли ароматических и нафтеновых углеводородов.

4. Показано, что в связи с широким фракционным составом полученных продуктов каталитической переработки целесообразным является разделение их на топливные фракции – бензиновую (н.к.-180 °С), керосиновую (140–240 °С) и дизельную (180 °С-к.к.). Показано, что полученные топливные фракции являются перспективными смесевыми компонентами моторных топлив. В частности, бензиновая фракция продукта переработки смеси прямо-

ПОЛУЧЕНИЕ КОМПОНЕНТОВ МОТОРНЫХ ТОПЛИВ КАТАЛИТИЧЕСКОЙ ПЕРЕРАБОТКОЙ СМЕСЕЙ ПРЯМОГОННОЙ ДИЗЕЛЬНОЙ ФРАКЦИИ И РАПСОВОГО МАСЛА

гонной дизельной фракции и 10 % об. рапсового масла удовлетворяет требованиям [15] для бензина марки АИ-80, а бензиновая фракция продукта переработки смеси прямогонной дизельной фракции и 25 % об. рапсового масла характеризуется ОЧИ более 90 пунктов, что позволяет использовать её в качестве смесового компонента при получении товарного бензина методом компаундирования. Керосиновые фракции полученных продуктов соответствуют требованиям [16], предъявляемым для керосина марки РТ, который нашел широкое применение в качестве авиационного топлива. Дизельные фракции, полученные в результате разделения продуктов каталитической переработки, удовлетворяют требованиям для арктической марки дизельных топлив по значениям ПТФ и могут быть использованы в качестве смесовых компонентов низкокотных топлив для обеспечения бесперебойной работы различных видов техники и транспорта в условиях низких температур.

Исследование выполнено за счёт гранта Российского научного фонда № 23-23-00101, <https://rscf.ru/project/23-23-00101>.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Зеленская Е.А. Исследование процесса облагораживания низкооктановых углеводородных фракций на органически модифицированных цеолитных катализаторах / Е.А. Зеленская, Ю.П. Ясьян, И.С. Завалинская, В.В. Илларионова // Экспозиция Нефть Газ. 2011. № 5/Н. С. 48–49.
2. Мамедов С.Э. Каталитические свойства биметаллических Zr-Zn содержащих ультрацилов в превращении прямогонной бензиновой фракции / С.Э. Мамедов, Н.Ф. Ахмедова, С.Э. Мирзалиева, А.З. Мамедова [и др.] // Башкирский химический журнал. 2019. Т. 26. № 1. С. 54–58.
3. Туктин Б.Т. Безводородное облагораживание низкосортных бензиновых фракций на модифицированных цеолит-содержащих катализаторах / Б.Т. Туктин, Л.Б. Шаповалова, А.А. Омарова, Г.Д. Закумбаева // Серия химии и технологии. 2012. № 5. С. 60–66.
4. Махмудова Л.Ш. облагораживание фракций «черного соляра» на деалюминированных цеолитах / Л.Ш. Махмудова, Х.Х. Ахмадова, З.А. Абдулмежидова, Ж.Т. Хадисова // Интеграционные процессы в науке в современных условиях. 2018. С. 159–162.
5. Dada T.K. Probing the effect of Cu-SrO loading on catalyst supports (ZSM-5, Y-zeolite, activated carbon, Al₂O₃, and ZrO₂) for aromatics production during catalytic co-pyrolysis of biomass and waste cooking oil / T.K. Dada, A. Vuppaladadiyam, A.X. Duan, R. Kumar, E. Antunes // Bioresource Technology. 2022. Vol. 360. 127515.
6. Li C. Catalytic cracking of Swidawilsoniana oil for hydrocarbon biofuel over Cu-modified ZSM-5 zeolite / C. Li, J. Ma, Z. Xiao [et. al] // Fuel. 2018. Vol. 218. P. 59–66.
7. ГОСТ 33-2016. Нефть и нефтепродукты. Прозрачные и непрозрачные жидкости. Определение кинематической и динамической вязкости. М. : Издательство стандартов, 2017. 34 с.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

The authors declare that there is no conflict of interest.

Статья поступила в редакцию 26 марта 2023; одобрена после рецензирования 18 сентября 2023; принята к публикации 20 ноября 2023.

The article was received by the editorial board on 26 Mar 2023; approved after editing on 18 Sep 2023; accepted for publication on 20 Nov 2023.

8. ГОСТ 32139-2013. Нефть и нефтепродукты. Определение содержания серы методом энергодисперсионной рентгенофлуоресцентной спектроскопии (с Поправкой). М. : Стандартинформ, 2014. 18 с.

9. ГОСТ 5066-2018. Топлива моторные. Методы определения температур помутнения, начала кристаллизации и замерзания. М. : Стандартинформ, 2019. 7 с.

10. ГОСТ 22254-92. Топливо дизельное. Метод определения предельной температуры фильтруемости на холодном фильтре. М. : Издательство стандартов, 1992. 15 с.

11. ГОСТ 2177-99. Нефтепродукты. Методы определения фракционного состава. М. : Издательство стандартов, 2001. 23 с.

12. Определение группового и структурно-группового составов нефтяных фракции : методические указания к лабораторной работе для студентов химико-технологического факультета / сост. О.С. Сухинина, А.И. Левашова. Томск : Изд-во Томского политехнического университета, 2010. 22 с.

13. ГОСТ 27768-88 «Топливо дизельное. Определение цетанового индекса расчетным методом» [Электронный ресурс]. Электрон. дан. URL <https://docs.cntd.ru/document/1200008532>. Доступ свободный. Дата обращения: 05.06.2023.

14. ГОСТ 305-2013 «Топливо дизельное Технические условия». Электрон. дан. URL : <https://docs.cntd.ru/document/1200107826>. Доступ свободный. Дата обращения: 09.06.2023.

15. ГОСТ 32513-2013 «Топлива моторные. Бензин неэтилированный. Технические условия». Электрон. дан. URL : <https://files.stroyinf.ru/Data/563/56325.pdf>. Доступ свободный. Дата обращения: 09.06.2023.

16. ГОСТ 10227-2013 «Межгосударственный стандарт. Топлива для реактивных двигателей. Технические условия» [Электронный ресурс]. Электрон. дан. URL : <https://files.stroyinf.ru/Index2/1/4293774/4293774595.htm>. Доступ свободный. Дата обращения: 10.06.2023.

Информация об авторах

Д. В. Соснина – инженер, ФГАОУ ВО Национальный исследовательский Томский политехнический университет.

А. А. Алтынов – инженер, ФГАОУ ВО Национальный исследовательский Томский политехнический университет.

М. В. Киргина – к.т.н., доцент, ФГАОУ ВО Национальный исследовательский Томский политехнический университет.

И. А. Богданов – ассистент, ФГАОУ ВО Национальный исследовательский Томский политехнический университет.

Author information

D. V. Sosnina - engineer, National Research Tomsk Polytechnic University.

A. A. Altynov - engineer, National Research Tomsk Polytechnic University.

M. V. Kirgina - Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, National Research Tomsk Polytechnic University.

I. A. Bogdanov - Assistant, National Research Tomsk Polytechnic University.