

УДК 662.758.2

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ФРАКЦИИ 170-КК, ПОЛУЧАЕМОЙ НА КОМПЛЕКСЕ ПРОИЗВОДСТВА АРОМАТИЧЕСКИХ УГЛЕВОДОРОДОВ

THE USING OF FRACTION OF 170 TO END OF BOILING OBTAINED ON COMPLEX OF PRODUCTION OF AROMATIC HYDROCARBONS

М.Р. Юсупов, Э.Р. Аюпов, А.Р. Амиров, А.В. Ганцев, А.Ф. Ахметов

Уфимский государственный нефтяной технический университет, г. Уфа, Российская Федерация

Marsel R. Yusupov, Emil R. Ayupov, Artur R. Amirov, Alexander V. Gantsev, Arslan F. Ahmetov

Ufa State Petroleum Technological University, Ufa, Russian Federation

e-mail: marsel.yusupov.2014@mail.ru

Аннотация. В статье рассмотрена возможность использования в качестве компонента моторных топлив фракции 170-кк, которую получают на комплексе по производству ароматических углеводородов.

Рынок моторных топлив динамичен, а ценность ряда моторных топлив непрерывно меняется, НПЗ должен иметь соответствующую гибкость, чтобы получать прибыль и удовлетворять требованиям потребителей. Поэтому имеет место использования некоторых полученных фракций на НПЗ в нескольких направлениях. Одним из таких примеров является фракция 170-кк, получаемая на установке ректификации производства ароматических углеводородов. Для работы основной установки комплекса каталитического риформинга требуется узкая бензиновая фракция 70–170 °C, при выделении которой при ректификации гидрогенизата образуется ряд других нефтепродуктов, в том числе фракция 170-кк. Данная



фракция представляет интерес для исследования, поскольку она подходит по фракционному составу как компонент сырья каталитического риформинга бензинового профиля, компонент товарного дизельного и реактивного топлив, при этом имеет очень низкое содержание серы.

В статье представлены результаты моделирования секции 100 КПА и исследования фракции 170-кк, перспективы ее применения.

Abstract. The article considers the possibility of using the 170-kk fraction, which is obtained at the complex for the production of aromatic hydrocarbons, as a component of motor fuels.

Since the market for motor fuels is constantly changing, and the value of a number of motor fuels is constantly changing, the refinery must have the appropriate flexibility to constantly make a profit and satisfy the requirements of consumers. Therefore, there is a use of some of the fractions obtained at the refinery in several directions. One such example is the 170-kk fraction obtained from a rectification unit for the production of aromatic hydrocarbons. For the main installation of the complex, catalytic reforming, a narrow gasoline fraction of 70-170 °C is required, during the isolation of which a number of other products and semi-finished products are formed. One such product is the 170-kk fraction. This fraction is of interest for research because it is suitable for fractional composition as a component of commercial gasoline, diesel and jet fuel, while having a very low sulfur content.

The article presents the results of modeling the section 100 KPA and the study of the 170-kk fraction, the prospects for its application.

Ключевые слова: бензин; дизельное топливо; реактивное топливо; производство ароматических углеводородов; компаудирование; рыночная потребность

Keywords: petrol; diesel fuel; jet fuel; aromatic hydrocarbon production; compounding; market demand



В настоящее время нефтеперерабатывающая промышленность РФ обеспечивает потребителей широкой линейкой моторных топлив. Спрос и предложение разных видов топлив непрерывно меняются из-за влияния большего количества экономических факторов в мире. Поэтому НПЗ должен обладать некоторой «гибкостью», чтобы обеспечивать прибыль. В разные периоды времени, зависимости OT спроса, В нефтеперерабатывающим компаниям необходимо адаптироваться под правила рынка путём изменения количества вырабатываемых бензинов, дизельных и реактивных топлив, поддерживая необходимое качество товара [1, 2].

В мире ряд НПЗ имеют в составе комплексы по производству ароматических углеводородов (КПА), предназначенные для получения бензола и орто-, параксилолов из гидроочищенных бензиновых фракций. Секция каталитического риформинга (секция 300) на комплексе перерабатывает выделенную гидроочищенную фракцию 70-170 °С в ароматический концентрат, из которого на других установках выделяют и за счет химических превращений получают товарную ароматику [1, 2]. Выделение фракции 70–170 °С производят на установке ректификации бензинов (секция 100), технологическая схема которой представлена на рисунке 1 [3].

Из гидроочищенных бензинов выделяют изопентановую фракцию нк— 62 °C, 62–70 °C (сырьё изомеризации), фракции 70–130 °C и 130–170 °C (сырье риформинга) и тяжелую бензиновую фракцию 170–кк °C. Для нас интерес представляет хвостовая фракция 170-кк, которая по фракционному составу подходит под бензин, дизельное и реактивное топлива. Свойства фракции могут накладывать ряд ограничений на вовлечение в компаундирование с другими товарными компонентами моторных топлив. Исследовав топливные композиции и определив основные эксплуатационные физико-химические свойства смесей с данной



фракцией, можно добиться увеличения товарной базы для того или иного моторного топлива.

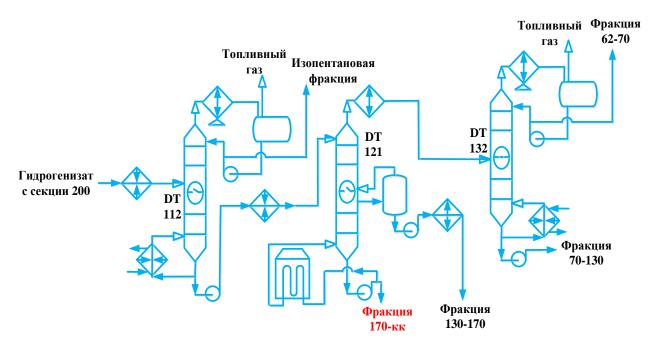


Рисунок 1. Технологическая схема секции 100 КПА

Фракция 170-кк была проанализирована, результаты анализов представлены в таблице 1. Для определения группового углеводородного состава фракцию прогнали через газовый хроматограф «Хроматэк-Кристалл 5000».

Полученный углеводородный состав представлен в таблице 2, из которой видно, что состав фракции представлен преимущественно углеводородами C_{10} .

Из таблицы 1 видно, что фракция имеет высокое цетановое число, низкое содержание серы и хорошие низкотемпературные свойства.

Эти свойства создают предпосылки для использования данной фракции в качестве дизельного топлива, однако требования к дизельному топливу не позволяют использовать её в чистом виде.



Таблица 1. Физико-химические свойства фракции 170-кк, получаемой на КПА

Показатель	Значение
Плотность при 20 °C, кг/м ³	776
Цетановое число	41
Концентрация серы, ppm	0,5
Испытание на медной пластинке	Выдерживает, класс 1
Температура начала кипения, °С	160
Температура отгона 10 %	165
Температура отгона 50 %	169
Температура отгона 90 %	178
Температура конца кипения, °С	198
Предельная температура фильтруемости, °С	-50
Температура помутнения, °С	-46
Температура вспышки в закрытом тигле, °C	53
Вязкость при 40 °C, мм²/с	1,01

Таблица 2. Углеводородный состав фракции 170-кк (в % масс.)

Количес- тво углерода	Пара- фины	Изо- парафины	Олефины	Нафтены	Арома- тика	Неизвест-	Всего
C ₇	0.0000	0.0000	0.0028	0.0000	0.0000	0.0000	0.0028
C ₈	0.0032	0.0000	0.0000	0.0191	0.0730	0.0000	0.0953
C ₉	1.8772	0,3785	0,2273	4,1332	14,1197	0,0033	20,7392
C ₁₀	14,5147	22,5839	0,5639	9,8364	8,6688	4,3127	60,4802
C ₁₁	2,3588	10,4988	0,0000	2,5949	2,0460	0,0000	17,4985
C ₁₂	0,2853	0,1326	0,0000	0,0000	0,4894	0,0000	0,9072
C ₁₃	0,0027	0,0167	0,0006	0,0000	0,2142	0,0000	0,2342
C ₁₄	0,0097	0,0000	0,0000	0,0000	0,0250	0,0000	0,0347
Всего	19,0515	33,6104	0,7946	16,5836	25,6360	4,3160	95,6761

В таблице 3 представлено сравнение данной фракции с требованиями по ГОСТ 32511-2013 [4].



Таблица 3. Сравнение фракции 170-кк с требованиями ГОСТ

Показатель	Требуемое значение по ГОСТ 32511-2013 для ДТ-К5	Значение для фракции 170-кк
Цетановое число, не менее	51	41
Плотность при 15 °C, кг/м ³	820-845	780
Массовая доля серы, мг/кг, не более	10	0,5
Температура вспышки, °С, выше	55	53
Коррозия медной пластинки (3 ч при 50 °C), единицы по шкале	Класс 1	Класс 1
Смазывающая способность: скорректированный диаметр пятна износа при 60 °C, мкм, не более	460	779
Кинематическая вязкость при 40 °C, мм²/с	2-4,5	1,01
Фракционный состав: При температуре 250 °С перегоняется, % об. менее При температуре 350 °С перегоняется, % об. не менее 95% об. перегоняется при температуре, °С, не выше	65 85 360	100 183
Предельная температура фильтруемости, °C, не выше (значения для сорта A-F)	5-(-20)	-50

Таким образом, учитывая ограничения по ГОСТ, фракция 170-кк не соответствует показателям по плотности, температуре вспышки, кинематической вязкости, смазывающей способности и фракционному составу. Следовательно, данную фракцию требуется компаундировать с другими компонентами дизельного топлива.

Для определения потенциала вовлечения данной фракции в товарное дизельное топливо производили компаундирование данной фракции с дизельным топливом летним и зимним, получаемыми на установке Л-24-7. Долю фракции 170-кк в смеси с гидроочищенным дизельным топливом летним постепенно увеличивали с шагом 5 % об., результаты анализов полученных композиций представлены в таблице 4. Анализировали основные показатели смеси, по которым фракция 170-кк не подходит под требования по ГОСТ: плотность, температура вспышки, смазывающие свойства, фракционный состав [4].



Таблица 4. Результаты определения физико-химических свойств смеси гидроочищенного дизельного топлива летнего и фракции 170-кк

						י 11			
	ия по 11-2013 Л-К5	3начение 3.1.4.К.2 3.1.4.К.2							
Показатель	Требования по ГОСТ 32511-2013 для ДТ-Л-К5	ГОДТЛ	170-кк	170-кк 5 %	170-кк 10 %	170-кк 15 %	170-кк 20 %	170-кк 25 %	170-кк 30 %
Плотность при 15 °C, кг/м ³	820–845	831	780	826	825	824	820	816	814
Кинематическая вязкость при 40 °C, мм ² /с	2,0–4,5	2,579	1,01	2,43	2,39	2,37	2,2	2,08	1,98
Скорректиро- ванный диаметр пятна износа (СДПИ), мкм	460	664	779	_	295	_	644	_	655
Температура вспышки, °С	55	66	53	62	56	55	54	53	53
Фракционный состав									
Температура начала кипения	_	178	160	171	165	161	159	159	159
10 % перегоняется при температуре	_	220	165	195	188	182	180	176	173
20 % перегоняется при температуре	_	238	166	215	202	194	190	184	180
30 % перегоняется при температуре	_	251	168	229	228	209	205	193	190
40 % перегоняется при температуре	_	263	169	246	237	231	225	206	202
50 % перегоняется при температуре	_	276	169	262	255	248	243	225	219
60 % перегоняется при температуре	_	285	171	278	274	272	266	258	247
80 % перегоняется при температуре	-	311	175	311	310	308	305	299	294
90 % перегоняется при температуре	_	329	178	332	332	332	331	325	323
95 % перегоняется при температуре	360	350	181	354	341	340	339	338	336
Конец кипения	_	355	198	354	352	352	352	350	350



Из таблицы 4 можно сделать следующие выводы.

По фракционному составу композиции соответствует требованиям к дизельному топливу летнему.

По плотности, согласно ГОСТ 32511-2013 (820-845 кг/м³), максимальная доля вовлечения фракции 170-кк составляет 20 %, по вязкости $(2,0-4,5 \text{ мм}^2/\text{c})$ составляет 25 %, по температуре вспышки (не менее 55 °C) составляет 20 %.

Таким образом, общая доля фракции 170-кк в топливных композициях для получения дизельного топлива летнего должна составлять не более 20 %.

При вовлечении фракции 170-кк 10 % наблюдается значительное снижение диаметра пятна износа (295 мкм), при дальнейшем увеличении доли фракции данный показатель растет. Данное явление можно объяснить следующим образом: при малых концентрациях фракции 170-кк образуется некоторый комплекс, имеющий постоянный дипольный момент, который притягивается к поверхности трущихся деталей и обеспечивает снижение СДПИ, т.е. имеет место эффект синергизма между компонентами ДТ и фракции 170-кк.

При больших концентрациях эффект начинает теряться либо за счет большего содержания фракции 170-кк, имеющей плохие смазывающие свойства, либо из-за сложных механо-химических взаимодействий, происходящих в процессе трения, при которых данный комплекс разрушается.

Можно предположить, что при вовлечении фракции 170-кк в небольших количествах, композиции можно использовать без вовлечения противоизносных присадок [5].

Фракция 170-кк имеет хорошие низкотемпературные свойства, поэтому предположительно может использоваться для получения более ценных дефицитных дизельных зимних топлив. По аналогии с дизельным топливом



летним, добавляли фракцию 170-кк в гидроочищенное топливо зимнее с шагом 5 % об., результаты исследований смешения в таблице 5.

Таблица 5. Результаты анализов физико-химических свойств смеси гидроочищенного дизельного топлива зимнего и фракции 170-кк

Показатель	Требования по ГОСТ 32511-2013 для ДТ-3-К5	ГО ДТЗ	170-кк	170-кк 5 %	170-кк 10 %	170-кк 15 %	170-кк 20 %	170-кк 25 %	170-кк 30 %
Плотность при 15 °C, кг/м ³	800–840	811	780	809	808	806	804	802	801
Кинематическая вязкость при 40 °C, мм²/с	1,4–4	1,57	1,0	1,55	1,53	1,52	1,41	1,34	1,27
Температура помутнения, °С не выше	(-10) – (-28)	-24	-46	-24	-26	-27	-28	-29	-31
		Фракці	ионны	й соста	В				
Температура начала кипения	_	158	160	159	159	158	158	158	158
До 180 °C перегоняется, % об. при температуре не менее	10	8	95	10	12	14	17	21	35
10 % перегоняется при температуре	_	186	165	180	174	172	171	168	167
20 % перегоняется при температуре	_	198	166	198	193	188	183	178	175
30 % перегоняется при температуре	-	209	168	205	199	195	190	182	179
40 % перегоняется при температуре	_	217	169	211	203	201	196	187	182
50 % перегоняется при температуре	_	221	169	217	213	210	207	200	193
60 % перегоняется при температуре	_	228	171	230	227	222	219	215	209
70 % перегоняется при температуре	_	246	173	250	248	244	241	235	231
80 % перегоняется при температуре	_	259	175	266	263	258	254	252	250
90 % перегоняется при температуре	-	290	178	288	286	282	276	279	274
95 % перегоняется при температуре не менее	95	306	181	300	297	297	296	295	293
Конец кипения	_	310	198	309	308	306	306	305	305



К ДТ-3 предъявляются более жесткие требования по низкотемпературным свойствам, поэтому анализировалось изменение такого показателя, как температура помутнения.

Из таблицы 5 видно, что требование к фракционному составу по содержанию фракций, выкипающих до 180 °C, должно составлять не более 10 % об., в нашем случае при добавлении фракции 170-кк в количестве 5 % было получено предельное значение данного параметра.

По плотности все полученные композиции удовлетворяют требованиям ГОСТ.

Кинематическая вязкость имеет предел при 20 % вовлечения фракции 170-кк при условии получения значения температуры помутнения соответствующего классу 3 ДТ-3.

Таким образом, учитывая все проанализированные показатели, вовлечь фракцию 170-кк в зимнее гидроочищенное дизельное топливо выше 5 % по ГОСТ 32511-2013 не представляется возможным [4].

Рассмотрим потенциал фракции 170-кк как реактивного топлива, сравнив имеющие ФХС фракции и требования ГОСТ 10227-2013 на ТС-1 и ГОСТ 32595-2013 на Джет А-1. Результаты сравнения приведены в таблице 6 [6, 7].

Как видно из таблицы 6, фракция 170-кк подходит под все требования TC-1, кроме начала кипения, вязкости и содержания ароматических углеводородов.

Отклонения от требований ГОСТ незначительно и компаундировав с другими более тяжелыми фракциями можно получить полноценное топливо ТС-1. Для Джет А-1 фракция 170-кк подходит под все требования.

Следовательно, фракцию 170-кк можно использовать как реактивное топливо Джет А-1 или компонент топлива ТС-1.



Перспективным применением 170-кк рассматривается использование в качестве растворителя Уайт-спирит или его компонента.

В таблице 7 приведено сравнение требований ГОСТ 3134-78 [8].

Таблица 6. Сравнение требования к ТС-1 и фракции 170-кк

		1	
Показатель	Требуемое значение по ГОСТ 10227- 2013 TC-1	Требуемое значение по ГОСТ Р 52050-2020 Джет А-1	Значение для 170-кк
Плотность при 20°С, кг/м ³	не менее775	775-840	776
Температура начала кипения, °С не ниже не выше	- 150	_ _	160
10 % об. отгоняется при температуре °C, не выше	165	205	165
50 % об. отгоняется при температуре °C, не выше	195	Не нормируется	169
90 % об. отгоняется при температуре °C, не выше	230	-	178
98 % об. отгоняется при температуре °C, не выше	250	Температура конца кипения не выше 300°C	198
Остаток от перегонки, % не более	1,5	1,5	1
Низшая теплота сгорания, кДж/кг, не менее	42000	42800	44080
Высота некоптящего пламени, мм, не менее	25	25	26
Содержание фактических смол, мг на 100 см ³ топлива, не более	5	7	Отсутствие
Вязкость при 20 °C, мм²/с, не менее	1,25	-	1,2
Температура начала кристаллизации, °С, не выше	-60	-47	-60
Температура вспышки в закрытом тигле, °C, не ниже	28	38	53
Массовая доля ароматических, % масс., не более	22	25	25
Массовая доля общей серы, % не более	0,2	0,25	0,00005



Таблица 7. Сравнение свойств фракции 170-кк с требованиями ГОСТ 3134-78

Показатель	Норма	Значение для фр. 170-кк
Плотность при 20 °C, кг/м ³ , не выше	790	778
Фракционный состав:		
Температура начала перегонки, °С, не выше	160	160
10 % перегоняется при, °С, не выше	170	165
90 % перегоняется при, °С, не выше	195	178
До 200 °С перегоняется, %, не менее	98	100
Остаток в колбе, %, не более	2	1,4
Температура вспышки, определяемая в закрытом тигле, °C, не менее	33	53
Анилиновая точка, °С, не выше	65	54
Массовая доля ароматических углеводородов, %, не более	16	25
Массовая доля общей серы, %, не более	0,025	0,00005
Испытание на медной пластинке	Выдерживает	Выдерживает

Из таблицы 7 видно, что фракция 170-кк подходит под использование Уайт-спирит по всем параметрам кроме содержания ароматических углеводородов. Данный параметр зависит от типа перерабатываемой нефти на заводе и сырья, которое направляется на комплекс, поэтому при переработке более легкой нефти или в зимний период, когда на АВТ облегчают состав бензина для получения дизельного топлива зимнего, данная фракция будет удовлетворять требованиям под данный растворитель.

Чтобы полностью оценить потенциал применения фракции 170-кк, произвели моделирование установки ректификации бензинов (секция 100 КПА) в программном продукте AspenHysysv. Для этого на хроматографе были проанализированы все получаемые продукты на данной установке (фракция нк-62 °C, 62-70 °C, 70-130 °C и 130-170 °C) и полученные углеводородные составы использовали для моделирования потоков. После 100. Была полученные потоки смешали, получив сырье секции смоделирована работа колонн DT112, 121, 132 в соответствии с их технологическим режимом. Свойства полученных продуктов хорошо



сходятся с аналитическими данными в пределах допустимой погрешности. Мнемосхема модели секции 100 представлена на рисунке 2.

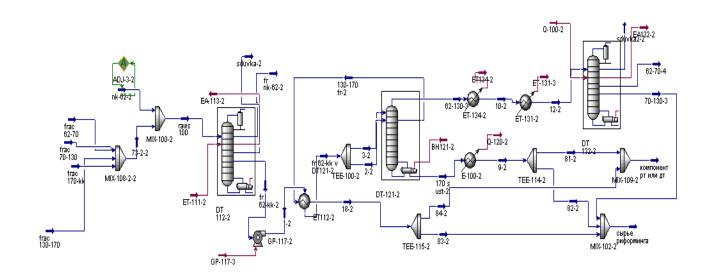


Рисунок 2. Модель секции 100 КПА, выполненная в AspenHysys

Фракция 170-кк включает 90 % фракций, выкипающих до $180\,^{\circ}$ С, остальные $10\,\%$ фракции представлены компонентами, выкипающие в пределах $180\text{-}198\,^{\circ}$ С.

Таким образом, фракцию 170-кк можно использовать в качестве сырья каталитического риформинга, и при небольшом её дозировании в сырье можно загрузить установку риформинга на большую мощность. Одним из основных ограничений по сырью риформинга является конец кипения сырья (не выше 180 °C), и при разбавлении сырья тяжелыми фракциями конец кипения может увеличиваться [9–11]. Процесс компаундирования сырья риформинга с фракцией 170-кк осуществили в модели секции 100. Полученные результаты представлены в таблице 8.

Из таблицы 7 видим, что, вовлекая фракцию 170-кк в сырьё риформинга больше 20 %, конец кипения смеси становится больше 180 °C, поэтому добавлять больше 10–15% об. фракции 170-кк нежелательно.



Таблица 8. Смешение фракции 70-170 °C фракцией 170-кк в AspenHysys	Таблица 8.	Смешение	фракции 70)-170 °C фрак	цией 170-кк в	AspenHysys
---	------------	----------	------------	---------------	---------------	------------

Фракционный состав сырья, % выкипает при температуре, °С	Требования к сырью каталитического риформинга	Сырье риформинга бензинового профиля	Фракция 170-кк	1 рис	Количество 170-кк в риформин 5 10		е об.
Начало кипения, °C	Не ниже 65	85	156	85	86	15 87	20 88
10 % выкипает при, °C	Не ниже 87	94	163	94	96	96	97
20 % выкипает при, °C	_	105	165	106	108	110	112
30 % выкипает при, °С	_	111	165	111	112	113	118
40 % выкипает при, °C	_	120	168	120	123	124	126
50 % выкипает при, °С	_	123	170	123	127	130	133
60 % выкипает при, °С	_	128	171	128	139	141	143
70 % выкипает при, °C	_	139	173	139	143	147	153
80 % выкипает при, °С	_	145	174	145	153	158	160
90 % выкипает при, °С		158	179	159	163	164	166
98 % выкипает при, °С	_	171	199	171	175	177	182
100 % выкипает при, °С	Не выше 183	183	203	183	187	188	189

Для проверки влияния фракции 170-кк на фракционный состав платформата использовали полученную нами модель ректификации бензинов и математическую модель каталитического риформинга, разработанную ассистентом кафедры ТНГ Зайнулинным Р.Р. [8], мнемосхема представлена на рисунке 3.

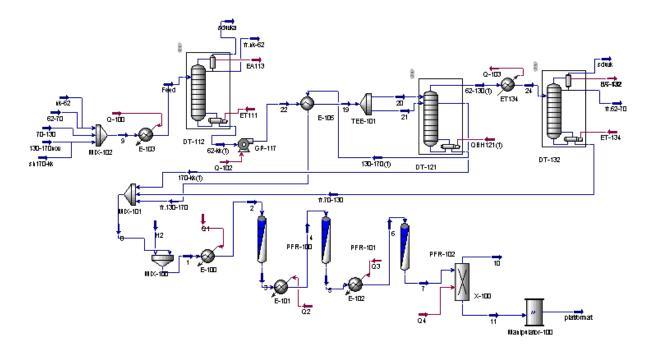


Рисунок 3. Модель установки ректификации бензинов совместно с установкой каталитического риформинга, выполненная в AspenHysys



На модели процесс риформинга проводили при давлении 32,29 кгс/см², температуре 491 °C, 492 °C, 495 °C в реакторах и чистоте ВСГ 71,28 %. Полученные результаты вовлечения фракции 170-кк в сырьё риформинга представлены в таблице 9. Из таблицы 9 видно, что при добавлении фракции 170-кк, содержание ароматических углеводородов и плотность платформата растет, т.к. более тяжелые сырьевые фракции легче превращается в ароматику. Одновременно содержание бензола падает, что также положительно влияет на платформат. Поэтому для такого утяжеленного сырья требуется скоректировать температурный режим на входе в реактор каталитического риформинга.

Таблица 9. Характеристика платформата, полученного на модели

Показатели качества	Платформат	Количество фракции 170-кк в сырье риформинга, % об.				
платформата	Платформат	5	10	15	20	
Содержание ароматических углеводородов, % масс.	52,48	52,55	53,82	54,47	55,11	
Содержание бензола, % масс.	4,1	4,0	3,9	3,8	3,7	
Содержание толуола, % масс	13,7	4,0%	3,85	12,62	12,25	
Содержание ксилолов, % масс.	16,9	13,7	12,99	15,34	14,81	
Содержание ароматики С ₉ , % масс	12,1	16,9	15,87	13,43	13,90	
Содержание ароматики C_{10} , % масс	3,9	12,1	12,97	6,98	8,00	
Содержание ароматики С ₁₁ , % масс	1,9	4,0	5,95	2,35	2,51	
Плотность при 20 °C, кг/м ³	766	766,5	768,2	769	769,8	
Давление насыщенных паров, кПа	40,65	40,71	41,13	42,42	43	
Начало кипения	55	55	55	55	55	
10 % выкипает при, °С	59	59	58	58	58	
20 % выкипает при, °С	68	68	66	65	65	
30 % выкипает при, °С	80	80	79	79	78	
40 % выкипает при, °С	86,5	86	86	86	85	
50 % выкипает при, °С	101	101	102	102	103	
60 % выкипает при, °С	113	113	114	114	115	
70 % выкипает при, °С	140	140	140	140	140	
80 % выкипает при, °С	143	143	145	157	158	
90 % выкипает при, °С	160	160	162	163	164	
98 % выкипает при, °С (конец кипения)	179	179	180	191	191	
100 % выкипает при, °C	189	189	192	193	193	



Таким образом, учитывая все вышесказанное, можно обозначить следующую схему направлений использования фракции 170-кк, изображенной на рисунке 4.

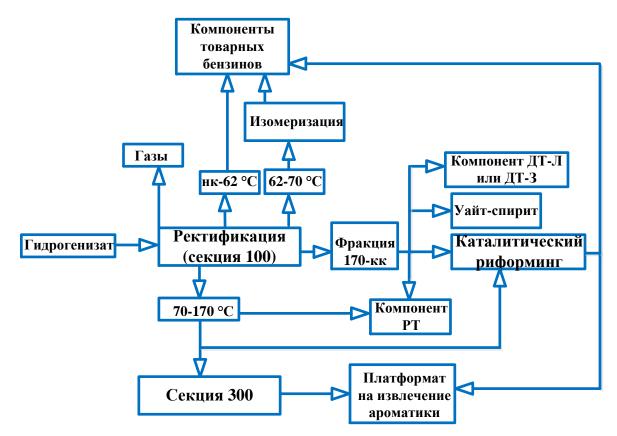


Рисунок 4. Схема направлений использования фракции 170-кк

Выводы

Обосновано применение фракции 170-кк с учетом физико-химических свойств и группового углеводородного состава в различных направлениях: в качестве компонента дизельного топлива летнего и зимнего, компонента реактивного топлива, компонента растворителя Уайт-Спирит и сырья каталитического риформинга. Смоделирована установка ректификации гидроочищенных бензинов комплекса производства ароматических углеводородов.

Исследование выполнено при финансовой поддержке $P\Phi\Phi U$ в рамках научного проекта N 20-38-90189.



Список используемых источников

- 1. Цены на бензин по данным Росстат // Статистика и показатели. Региональные и федеральные. URL: https://rosinfostat.ru/tseny-na-benzin/ (дата обращения: 01.06.2021).
- 2. Производство ароматики в России. Краткий отчет о международной конференции Creon «Ароматика 2011», прошедшей в Москве в ноябре 2011 года // New Chemistry.ru. Новые химические технологии. URL: https://www.newchemistry.ru/letter.php?n_id=8508 (дата обращения: 01.06.2021).
- 3. Мейерс Р.А. Основные процессы нефтепереработки: справочник / Под ред. О.Ф. Глаголевой, О.П. Лыкова. СПб.: Профессия, 2011. 944 с.
- 4. ГОСТ 32511-2013. Топливо дизельное ЕВРО. Технические условия. М.: Стандартинформ, 2019. 27 с.
- 5. Григорьева О.С., Вдовина С.В. Улучшение смазывающих свойств дизельного топлива введением присадок // Актуальные проблемы развития нефтегазового комплекса России: сб. тез. XII всеросс. науч.-технич. Конф.. М.: РГУ нефти и газа (НИУ) им. И.М. Губкина, 2018. С. 231-232.
- 6. ГОСТ 10227-2013. Топливо для реактивных двигателей. Технические условия. М.: Стандартинформ, 2014. 20 с.
- 7. ГОСТ 32595-2013. Топливо авиационное для газотурбинных двигателей Джет А-1 (JET A-1). Технические условия. М.: Стандартинформ, 2019. 20 с.
- 8. ГОСТ 3134-78. Уайт-спирит. Технические условия. М.: ИПК Изд-во стандартов, 1998. 5 с.
- 9. Гаранин Д.И. Каталитический риформинг бензиновых фракций. Основы теории, эксплуатация и интенсификация процесса. Краснодар: НАФТ, 1996. 90 с.
- 10. Маслянский Г.Н., Шапиро Р.Н. Каталитический риформинг бензинов: Химия и технология. Л.: Химия, 1985. 221 с.



11. Зайнуллин Р.З., Коледина К.Ф., Губайдуллин И.М., Ахметов А.Ф., Коледин С.Н. Кинетическая модель каталитического риформинга бензина с учетом изменения реакционного объема и термодинамических параметров // Кинетика и катализ. 2020. Т. 61. № 4. С. 550-559. DOI: 10.31857/S0453881120040176.

References

- 1. Tseny na benzin po dannym Rosstat [Gasoline Prices According to Rosstat]. *Statistika i pokazateli. Regional'nye i federal'nye*. Available at: https://rosinfostat.ru/tseny-na-benzin/ (accessed 01.06.2021). [in Russian].
- 2. Proizvodstvo aromatiki v Rossii. Kratkii otchet o mezhdunarodnoi konferentsii Creon «Aromatika 2011», proshedshei v Moskve v noyabre 2011 goda [Aromatics Production in Russia. Brief Report on the International Conference Creon «Aromatika 2011», Held in Moscow in November 2011]. *New Chemistry.ru. Novye khimicheskie tekhnologii*. Available at: https://www.newchemistry.ru/letter.php?n_id=8508 (accessed 01.06.2021). [in Russian].
- 3. Meiers R.A. *Osnovnye protsessy neftepererabotki: spravochnik* [Handbook of Petroleum Refining Processes]. Ed. by O.F. Glagolevoi, O.P. Lykova. St. Petersburg, Professiya Publ., 2011. 944 p. [in Russian].
- 4. GOST 32511-2013. Toplivo dizel'noe EVRO. Tekhnicheskie usloviya [State Standard 32511-2013. Diesel Fuel EURO. Specifications]. Moscow, Standartinform Publ., 2019. 27 p. [in Russian].
- 5. Grigoreva O.S., Vdovina S.V. Uluchshenie smazyvayushchikh svoistv dizel'nogo topliva vvedeniem prisadok [Improving the Lubricating Properties of Diesel Fuel by Introducing Additives]. *Sbornik tezisov XII Vserossiiskoi nauchnotekhnicheskoi konferentsii «Aktual'nye problemy razvitiya neftegazovogo kompleksa Rossii»* [Collection of Abstracts of the XII All-Russian Scientific and Technical Conference «Actual Problems of the Development of the Oil and Gas Complex of Russia»]. Moscow, RGU nefti i gaza (NIU) im. I.M. Gubkina Publ., 2018, pp. 231-232. [in Russian].



- 6. GOST 10227-2013. Toplivo dlya reaktivnykh dvigatelei. Tekhnicheskie usloviya [State Standard 10227-2013. Jet Fuels. Specifications]. Moscow, Standartinform Publ., 2014. 20 p. [in Russian].
- 7. GOST 32595-2013. Toplivo aviatsionnoe dlya gazoturbinnykh dvigatelei Dzhet A-1 (JET A-1). Tekhnicheskie usloviya [State Standard 32595-2013. Aviation Turbine Fuel Jet A-1. Specifications]. Moscow, Standartinform Publ., 2019. 20 p. [in Russian].
- 8. GOST 3134-78. Uait-spirit. Tekhnicheskie usloviya [State Standard 3134-78. White Spirit. Specifications]. Moscow, IPK Izd-vo standartov Publ., 1998. 5 p. [in Russian].
- 9. Garanin D.I. *Kataliticheskii riforming benzinovykh fraktsii. Osnovy teorii, ekspluatatsiya i intensifikatsiya protsessa* [Catalytic Reforming of Gasoline Fractions. Fundamentals of Theory, Operation and Process Intensification]. Krasnodar, NAFT Publ., 1996. 90 p. [in Russian].
- 10. Maslyanskii G.N., Shapiro R.N. *Kataliticheskii riforming benzinov: Khimiya i tekhnologiya* [Catalytic Gasoline Reforming: Chemistry and Technology]. Leningrad, Khimiya Publ., 1985. 221 p. [in Russian].
- 11. Zainullin R.Z., Koledina K.F., Gubaidullin I.M., Akhmetov A.F., Koledin S.N. Kineticheskaya model' kataliticheskogo riforminga benzina s uchetom izmeneniya reaktsionnogo ob"ema i termodinamicheskikh parametrov [Kinetic Model of Catalytic Gasoline Reforming with Consideration for Changes in the Reaction Volume and Thermodynamic Parameters]. *Kinetika i kataliz Kinetika i Kataliz*, 2020, Vol. 61, No. 4, pp. 550-559. DOI: 10.31857/S0453881120040176. [in Russian].



Сведения об авторах

About the authors

Юсупов Марсель Разифович, аспирант кафедры «Технология нефти и газа», УГНТУ, г. Уфа, Российская Федерация

Marsel R. Yusupov, Post-graduate Student of Oil and Gas Technology Department, USPTU, Ufa, Russian Federation

e-mail: marsel.yusupov.2014@mail.ru

Аюпов Эмиль Рамилович, магистрант кафедры «Технология нефти и газа», УГНТУ, г. Уфа, Российская Федерация

Emil R. Ayupov, Undergraduate Student of Oil and Gas Technology Department, USPTU, Ufa, Russian Federation

e-mail: emilem-ufa@mail.ru

Амиров Артур Рустемович, магистрант кафедры «Технология нефти и газа», УГНТУ, г. Уфа, Российская Федерация

Artur R. Amirov, Undergraduate Student of Oil and Gas Technology Department, USPTU, Ufa, Russian Federation

e-mail: Ade-21@mail.ru

Ганцев Александр Викторович, доцент кафедры «Технология нефти и газа», УГНТУ, г. Уфа, Российская Федерация

Alexander V. Gantsev, Assistant Professor of Oil and Gas Technology Department, USPTU, Ufa, Russian Federation

e-mail: a.v.ganzev@yandex.ru

Ахметов Арслан Фаритович, д-р техн. наук, профессор, заведующий кафедрой «Технология нефти и газа», УГНТУ, г. Уфа, Российская Федерация

Arslan F. Akhmetov, Doctor of Engineering Sciences, Professor, Head of Oil and Gas Technology Department, USPTU, Ufa, Russian Federation

e-mail: tngrusoil@mail.ru