

УДК 622.692/004; <https://doi.org/10.37878/2708-0080/2024-4.15>

<https://orcid.org/0000-0002-1257-0647>

<https://orcid.org/0000-0002-1468-6440>

<https://orcid.org/0009-0005-4112-1030>

<https://orcid.org/0000-0002-4238-3359>

## СОСТАВ БЕНЗИНОВЫХ ФРАКЦИЙ КУМКОЛЬСКОЙ НЕФТИ И УЛУЧШЕНИЕ ИХ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ СВОЙСТВ



**Б.А. АБДИКЕРИМОВ<sup>1\*</sup>**,  
докторант PhD кафедры  
«Технология неорганических и  
нефтехимических производств»,  
[baht2000gold@mail.ru](mailto:baht2000gold@mail.ru)



**К.К. СЫРМАНОВА<sup>1</sup>**,  
доктор технических наук,  
профессор кафедры  
«Технология неорганических  
и нефтехимических производств»,  
[syrmanova.kulash@mail.ru](mailto:syrmanova.kulash@mail.ru)



**Д.С. ЕРЖАНОВ<sup>2</sup>**,  
главный инженер  
Манкентского НПЗ ТОО  
«Mangistau Oil Refining»,  
[daniyar1964@bk.ru](mailto:daniyar1964@bk.ru)



**Н.М. ДАУРЕНБЕК<sup>1</sup>**,  
кандидат технических наук,  
доцент кафедры  
«Технология неорганических  
и нефтехимических  
производств»,  
[daurenbekn@yandex.ru](mailto:daurenbekn@yandex.ru)

<sup>1</sup>ЮЖНО-КАЗАХСТАНСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ ИМ.М.АУЭЗОВА,  
Республика Казахстан, 160012, Шымкент, проспект Тауке-хана, 5

<sup>2</sup>ТОО «MANGISTAU OIL REFINING»,  
Республика Казахстан, 160825, Туркестанская область, Сайрамский район,  
Аксукентский сельский округ, село Аксу, квартал 200, д.219

*Исследованы физико-химические свойства бензиновых фракций парафинистой нефти месторождения Кумколь и установлены отличительные особенности индивидуального углеводородного состава прямогонной бензиновой фракции и бензина каталитического риформинга.*

*Широкая прямогонная бензиновая фракция (62-180°С) Кумкольской нефти подвергалась предварительной гидроочистке на промышленной установке, входящей в блок каталитического риформинга на катализаторах S-12Т и ГО-70 при температуре процесса 315 – 343°С, давлении в реакторе 21 – 27 атм., объёмной скорости подачи сырья 6,4 – 9,4 ч<sup>-1</sup>, с циркуляцией ВСГ (водородсодержащий газ) «на проток». Условия, при которых проводился каталитический риформинг: температура в зоне реакции – 470 ÷ 500°С, давление – 28 кгс / см<sup>2</sup>, объёмная скорость подачи сырья – 1,5 ч<sup>-1</sup>, циркуляция газа 5,9 моль Н<sub>2</sub> / моль сырья.*

*Установлено, что в процессе риформинга в результате изомеризации n-парафинов и дегидрирования цикланов, в составе риформата интенсивно образуются изопарафиновые и ароматические углеводороды и тем самым резко повышается октановое число бензина риформинга. Полученный в процессе каталитического риформинга бензин из узкой фракции кумкольской нефти, по всем качественным показателям соответствуют требованиям для товарных, высокооктановых сортов автомобильного топлива.*

*Установлен значительный синергетический эффект при совместном действии двухкомпонентной смеси по сравнению с таковым для индивидуальных присадок: небольшая концентрация присадки Хайтек (марганецсодержащей) 18мг/л и кислородсодержащей БВД (Беззольная высокооктановая добавка) повышает октановое число М.М. на 3,3 и по И.М. на 5,3 пункта, а при введении присадки Хайтек 18 мг/л в смеси с N-метиланилином, прирост О.Ч. по М.М. составил 4,4 единицы, а по И.М. – 6.*

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** парафинистая нефть; прямогонный бензин; гидрогенизат; изомеризат; риформат; метилциклопентадиенилтрикарбонил марганца; N-метиланилин.

## ҚҰМКӨЛ МАЙЫНЫҢ БЕНЗИН ФРАКЦИЯЛАРЫНЫҢ ҚҰРАМЫ ЖӘНЕ ОЛАРДЫҢ ПАЙДАЛАНУ ҚАСИЕТТЕРІН ЖАҚСARTУ

**Б.А. АБДИКЕРИМОВ**<sup>1\*</sup>, «Бейорганикалық және мұнай-химия өндірісінің технологиясы» кафедрасының PhD докторанты, [baht2000gold@mail.ru](mailto:baht2000gold@mail.ru)

**Қ.Қ. СЫРМАНОВА**<sup>1</sup>, техника ғылымдарының докторы, «Бейорганикалық және мұнай-химия өндірісінің технологиясы» кафедрасының профессоры, [syrmanova.kulash@mail.ru](mailto:syrmanova.kulash@mail.ru)

**Д.С. ЕРЖАНОВ**<sup>2</sup>, «Mangistau Oil Refining» ЖШС Манкент мұнай өңдеу зауытының бас инженері, [daniyar1964@bk.ru](mailto:daniyar1964@bk.ru)

**Н.М. ДӘУРЕНБЕК**<sup>1</sup>, техника ғылымдарының кандидаты, «Бейорганикалық және мұнай-химия өндірісінің технологиясы» кафедрасының доценті, [daurenbekn@yandex.ru](mailto:daurenbekn@yandex.ru)

<sup>1</sup>М.ӘУЕЗОВ АТЫНДАҒЫ ОҢТҮСТІК ҚАЗАҚСТАН УНИВЕРСИТЕТІ,  
Қазақстан Республикасы, 160012, Шымкент қ, Тәуке хан даңғылы, 5

<sup>2</sup>"MANGISTAU OIL REFINING" ЖШС,  
Қазақстан Республикасы, 160825, Түркістан облысы, Сайрам ауданы,  
Аксукент ауылдық округі, Аксу ауылы, 200-т, 219-ү

Құмкөл кен орнының парафинді мұнайының бензин фракцияларының физико-химиялық қасиеттері зерттеліп, бензиннің тіке қуылған фракциясы мен каталитикалық риформинг бензинінің жеке көмірсутек құрамының ерекшеліктері анықталды.

Құмкөл мұнайының тіке қуылған бензин фракциясы (62-180°C) каталитикалық риформинг қондырғысының құрамына енгізілген өнеркәсіп блогында алдын ала гидротазаланды, процесс температурасы 315 – 343°C болған кезде, S-12Т және GO-70 катализаторларында, реактордағы қысым 21 – 27 атм, шикізаттың көлемдік берілу жылдамдығы 6,4 – 9,4 сағ<sup>-1</sup>, ҚСГ (құрамында сутегі бар газ) айналысымен. Каталитикалық риформинг жүргізілген шарттар: реакция аймағындағы температура — 470 ÷ 500°C, қысымы - 28 кгс/см<sup>2</sup>, шикізаттың көлемдік берілу жылдамдығы – 1,5 сағ<sup>-1</sup>, сутекті газ айналымы 5,9 мол Н<sub>2</sub> / мол шикізатқа.

Риформинг процесінде n-парафиндерді изомерлеу және цилкандардың сутексізденуі нәтижесінде риформат құрамында изопарафин мен ароматты көмірсутектер қарқынды қалыптасып, сол арқылы бензиннің октандық саны күрт көбейетіні анықталды. Құмкөл мұнайының тар фракциясынан каталитикалық риформинг процесінде алынған бензин сапасының барлық көрсеткіштері бойынша мотор отынының тауарлық, жоғарыоктанды сорттарына қойылатын талаптарға сәйкес.

Жекелеген қоспалар үшін қоскомпонентті қоспаның біріктірілген әрекетімен елеулі синергетикалық әсер анықталды: Hitech (марганец бар) 18 мг/л және құрамында оттегі бар ВВД (күлсіз жоғарыоктанды қоспа) қоспаларының аз концентрациясы моторлық әдіспен. октан санын 3,3-ке арттырады. және зерттеу әдісімен 5,3-ке, ал N-метиланилинмен қоспаға Hitech 18 мг/л қоспасы негізінде октан санын ұлғаюы моторлық әдіспен. 4,4 және зерттеу әдісімен бойынша – 6 бірліктерді құрады.

**ТҮЙІН СӨЗДЕР:** парафинді май; тіке қуылған бензин; гидрогенизат; изомеризат; риформинг; марганец метилциклопентадиенилтрикарбонилі; N-метиланилин.

## COMPOSITION OF GASOLINE FRACTIONS OF KUMKOL OIL AND IMPROVEMENT OF THEIR OPERATIONAL PROPERTIES

**B.A. ABDIKERIMOV**<sup>1\*</sup>, PhD doctoral student, department of «Technology of inorganic and petrochemical production», [baht2000gold@mail.ru](mailto:baht2000gold@mail.ru)

**K.K. SYRMANOVA**<sup>1</sup>, doctor of technical sciences, professor of the department of «Technology of inorganic and petrochemical production», [syrmanova.kulash@mail.ru](mailto:syrmanova.kulash@mail.ru)

**D.S. YERZHANOV**<sup>2</sup>, Chief engineer of the Mankent «Oil Refinery, Mangistau Oil Refining» LLP, [daniyar1964@bk.ru](mailto:daniyar1964@bk.ru)

**N.M. DAURENBEK**<sup>1</sup>, candidate of technical sciences, associate professor of the Department of «Technology of inorganic and petrochemical production», [daurenbekn@yandex.ru](mailto:daurenbekn@yandex.ru)

<sup>1</sup>M.AUEZOV SOUTH KAZAKHSTAN UNIVERSITY,  
Republic of Kazakhstan, 5 Tauke Khan Avenue, Shymkent, 160012

<sup>2</sup>TOO MANGISTAU OIL REFINING,  
Republic of Kazakhstan, 160825, Turkestan region, Sairamsky district,  
Aksukentsky rural district, Aksu village, block 200, 219

*The physicochemical properties of gasoline fractions of paraffinic oil from the Kumkol field have been investigated and the distinctive features of the individual hydrocarbon composition of the straight-run gasoline fraction and catalytic reforming gasoline have been established.*

*The wide straight-run gasoline fraction (62-180°C) of Kumkol oil was subjected to preliminary hydrotreating at an industrial unit that is part of the catalytic reforming unit using S-12T and GO-70 catalysts at a process temperature of 315 – 343°C, a pressure in the reactor of 21 – 27 atm, a volume feed rate of 6.4 – 9.4 h<sup>-1</sup>, with the circulation of HCG (Hydrogen-containing gas) «on the duct». Conditions under which catalytic reforming was carried out: temperature in the reaction*

zone – 470 ÷ 500°C, pressure – 28 kgf/cm<sup>2</sup>, volumetric feed rate of raw materials – 1.5 h<sup>-1</sup>, gas circulation – 5.9 mol H<sub>2</sub> / mol of raw materials.

It has been established that in the process of reforming, as a result of isomerization of n-paraffins and dehydrogenation of cyclanes, isoparaffin and aromatic hydrocarbons are intensively formed in the composition of reformant, and thereby the octane number of reforming gasoline is sharply increased. Gasoline obtained in the process of catalytic reforming from a narrow fraction of Kuikol oil meets the requirements for commercial, high-octane grades of motor fuel in all quality indicators.

A significant synergistic effect has been established with the combined action of a two-component mixture compared to that for individual additives: a small concentration of the additive Hightech (manganese-containing) 18 mg/l and oxygen-containing AHA (ash-free high-octane additive) increases the octane number M.M. (motor method) by 3.3 points and according to R.M. (research method) by 5.3 points, and when introducing the additive Hitech 18 mg/l in a mixture with N-methylaniline, the increase in the O.N. (octane number) for M.M. was 4.4 units, and for R.M. (research method) – 6.

**KEYWORDS:** paraffinic oil; straight-run gasoline; hydrogenate; isomerase; reformate; manganese methylcyclopentadiene tricarbonyl; N-methylaniline.

**В**ведение. Разрабатываемые нефтяные месторождения Южного региона в основном представляют собой высоковязкое углеводородное сырье со значительным содержанием парафиновых углеводородов и смолистых веществ, которые требуют нетрадиционных подходов к их переработке.

Разработка рациональных вариантов переработки различных фракций парафинистых нефтей новых месторождений позволяет эффективно решать задачу удовлетворения потребности страны в высококачественных моторных и котельных топливах, смазочных маслах, в нефтяном коксе и в сырье для нефтехимического синтеза.

Одним из важнейших направлений в развитии нефтеперерабатывающей промышленности Республики Казахстан является получение высококачественных моторных и реактивных топлив, в частности, высокооктанового автомобильного бензина, авиакеросина и низкозастывающего дизельного топлива из нефтей с высоким содержанием парафинистых соединений.

Выяснение возможности получения высокооктанового бензина из низкосортной прямогонной бензиновой фракций парафинистой нефти представляет важный интерес.

**Экспериментальная часть.** Целью работы является исследование закономерностей изменения индивидуального и группового составов сырья и продуктов в процессе каталитического риформинга бензиновых фракций и изучение возможности улучшения эксплуатационных свойств товарных бензинов Кумкольской нефти.

Физико-химическая характеристика фракций, являющихся сырьем для процесса каталитического риформинга, представлена в *таблице 1*.

**Таблица 1 – Физико-химическая характеристика сырья для каталитического риформинга**

Показатель	Температура отбора фракций, °С					
	62-85	62-180	85-120	85-180	120-140	140-180
Выход, %	2,7	20,4	7,7	17,7	3,8	6,2
Плотность, кг/м <sup>3</sup>	691,2	741,3	730,2	745,2	746,6	760,4
Содержание серы, %	0,02	0,03	0,03	0,03	0,03	0,04
Групповой состав, %						
парафиновые	69	60	56	59	59	62
нафтеновые	30	34	40	34	32-	28
ароматические	1	6	4	7	9	10

Широкая прямогонная бензиновая фракция (62-180°C) Кумкольской нефти подвергалась предварительной гидроочистке на промышленной установке, входящей в блок каталитического риформинга на катализаторах S-12Т и ГО-70 при температуре процесса 315 – 343°C, давлении в реакторе 21 – 27 атм., объёмной скорости подачи сырья 6,4 – 9,4 ч<sup>-1</sup>, с циркуляцией ВСГ «на проток». Условия, при которых проводился каталитический риформинг: температура в зоне реакции – 470 ÷ 500°C, давление – 28 кгс / см<sup>2</sup>, объёмная скорость подачи сырья – 1,5 ч<sup>-1</sup>, циркуляция газа 5,9 моль Н<sub>2</sub> / моль сырья.

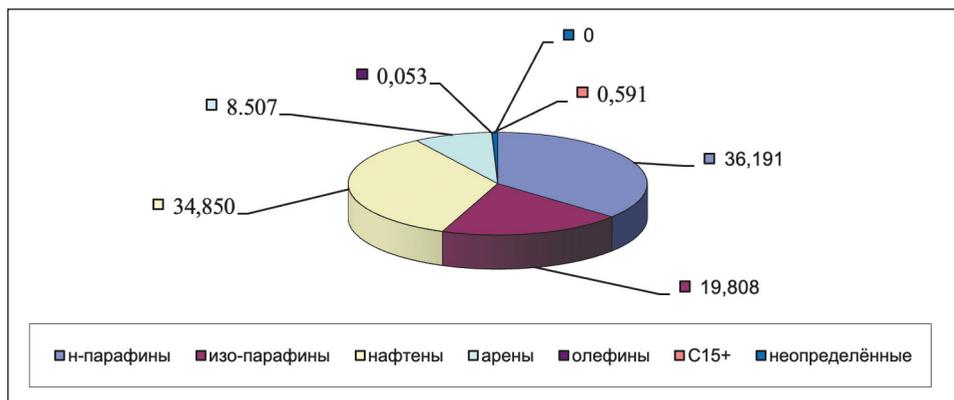
Свойства фракций определены на основании результатов анализа узких фракций и результатов определения группового углеводородного состава фракций. Фракции 62-180°C и 85-180°C содержат более 30% нафтеновых углеводородов и являются благоприятным сырьем для процесса каталитического риформинга.

Характеристики исходного гидрогенизата и полученного реформата приведены в *таблице 2*.

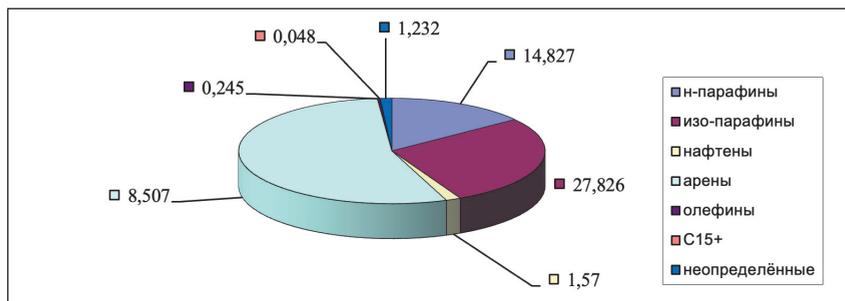
**Таблица 2 – Характеристики сырья и продуктов риформинга**

Показатели	До риформинга (гидрогенизат)	После риформинга (катализат)
Характеристика бензина:		
Плотность, г / см <sup>3</sup>	0.733	0.749
Фракционный состав:		
Н.К.	74	32
10%	81	53
50%	107	98
90%	145	149
К.К.	171	182
Содержание общей серы, % масс.	0,001	Отсутств.
Октановое число:		
моторный метод (М.М.)	53,2	87,5
исследовательский метод (И.М.)	55,1	92,1

Содержание групп углеводородов до риформинга (в стабильном гидрогенизате) и после риформинга (в стабильном катализате) представлены на *рисунках 1 и 2*.



**Рисунок 1 – Детализированный групповой углеводородный состав гидрогенизата**



**Рисунок 2 – Детализированный групповой углеводородный состав стабильного катализатора**

Из данных, приведенных на *рисунках 1 и 2* видно, что в процессе риформинга содержание парафинов нормального строения уменьшилось с 36,191 до 14,827 % (масс.). Для парафиновых углеводородов в процессе риформинга характерно протекание реакций дегидроциклизации, гидрокрекинга и изомеризации. Тот факт, что в стабильном катализате обнаружено наличие парафинов с более высоким содержанием углеводородов в цепи, доказывает протекание реакции полимеризации. Как известно, с увеличением атомов углеродов в молекуле возрастает вероятность образования карбоний-иона первичного атома углерода, и возможны реакции полимеризации с образованием не только изопарафинов (взаимодействие карбоний-ионов первичного и вторичного атома углерода), но и с образованием парафинов нормального строения (взаимодействие карбоний-ионов первичных атомов углерода). Протекание реакций гидрокрекинга объясняется тем, что в продуктах риформинга обнаружено наличие этана, пропана, бутана и пентана, которые отсутствуют в исходном сырье [3].

Содержание парафинов изостроения увеличилось с 19,808 до 27,826 % (масс.). Как видно из результата анализа, значительному изменению подвергаются углеводороды с наличием двух и трёх радикалов, что объясняется более слабой энергией связи третичного атома углерода, а с увеличением числа заместителей атома водорода вероятность разрыва связи заметно возрастает. Это иллюстрируют полученные данные по изменению содержания компонентов в сырье и продукте риформинга в зависимости от числа атомов углерода в молекуле (*таблица 3*).

**Таблица 3 – Содержание изопарафинов в сырье и в катализате риформинга в зависимости от числа атомов углерода**

Число атомов углерода	Содержание, % (масс.)		Отношение содержания атомов углерода в продукте к содержанию в сырье риформинга
	Сырьё Риформинга (гидрогенизат)	Продукт риформинга (катализат)	
C <sub>4</sub>	0,000	1,363	0
C <sub>5</sub>	0,017	5,002	294,24
C <sub>6</sub>	3,303	9,844	2,98
C <sub>7</sub>	4,506	7,974	1,77
C <sub>8</sub>	3,425	2,607	0,76
C <sub>9</sub>	3,731	0,634	0,17
C <sub>10</sub>	4,287	0,100	0,02
C <sub>11</sub>	0,538	0,274	0,51
C <sub>12</sub>	0,000	0,000	0
C <sub>13</sub>	0,000	0,028	0
C <sub>14</sub>	0,000	0,000	0

Изменение содержания индивидуальных углеводородов до риформинга (в стабильном гидрогенизате) и после риформинга (в стабильном катализате) представлены в *таблице 4*.

**Таблица 4 – Изменение содержания индивидуальных углеводородов в процессе каталитического риформинга**

Наименование компонента	Содержание, % (масс.)	
	До риформинга (гидрогенизат)	После риформинга (катализат)
<b>Парафиновые углеводороды нормального строения</b>		
Этан	0,000	0,034
Пропан	0,000	0,237
Бутан	0,000	3,010
Пентан	0,116	3,447
Гексан	6,249	4,368
Гептан	8,865	2,444
Октан	8,446	0,793
Нонан	7,028	0,248
Декан	4,599	0,098
Ундекан	1,065	0,015
Додекан	0,094	0,020
Тридекан	0,000	0,096
Тетрадекан	0,000	0,016
<b>Парафиновые углеводороды изостроения</b>		
Изобутан	0,000	1,363
Изопентан	0,017	5,002
2,2-Диметилпентан	0,050	0,939
2,3-Диметилбутан	0,227	0,893
2-Метилпентан	1,760	4,489
3-Метилпентан	1,266	3,523
2,2-Диметилпентан	0,120	0,365
2,4-Диметилпентан	0,198	0,406
2,2,3-Триметилбутан	0,025	0,049
3,3-Диметилпентан	0,065	0,335
2-Метилгексан	1,708	2,556
2,3-Диметилпентан	0,502	0,911
3-Метилгексан	1,746	3,042
3-Этилпентан	0,142	0,310
2,5-Диметилгексан	0,159	0,144
2,4-Диметилгексан	0,234	0,265
3,3-Диметилгексан	0,098	0,101
2,3,4-Триметилпентан	0,000	0,034
2,3-Диметилгексан	0,372	0,217
2-Метил-3-этилпентан	0,000	0,120
2-Метилгептан	1,943	0,707
4-Метилгептан	0,435	0,287
3,4-Диметилгептан	0,020	0,000
3-Метилгептан	0,000	0,886

Таблица 4 – Изменение содержания индивидуальных углеводородов в процессе каталитического риформинга

2,3,5-Триметилгексан	0,204	0,000
3,3-Диметилгептан	0,000	0,100
2,4-Диметилгептан	0,325	0,000
3,4-Диметилгептан	0,529	0,036
2,3-Диметилгептан	0,178	0,000
4-Этилгептан	0,064	0,000
4-Метиллоктан	0,518	0,155
2-Метиллоктан	0,745	0,154
3-Метиллоктан	0,000	0,190
1-цис-3-цис-5-Триметилгексан	0,115	0,000
3-Этилгептан	0,113	0,000
3-Метиллоктан	0,789	0,000
2,2-Диметилциклопентан	0,055	0,000
2,6-Диметилциклопентан	0,847	0,000
2,5-Диметилциклопентан	0,151	0,000
3,3-Диметилциклопентан	0,415	0,000
3,6-Диметиллоктан	0,029	0,000
3-Метил-5-этилгептан	0,504	0,000
2,3-Диметиллоктан	0,345	0,000
5-Метилнонан	0,133	0,000
2-Метилнонан	0,541	0,034
3-Этилоктан	0,072	0,000
3-Метилнонан	0,417	0,000
<b>Нафтеновые углеводороды</b>		
Циклопентан	0,130	0,128
Метилциклопентан	2,242	0,000
Циклогексан	3,650	0,118
1,1-Диметилциклопентан	0,324	0,055
1-цис-3-Диметилциклопентан	0,667	0,094
1-транс-3-Диметилциклопентан	0,656	0,097
1-транс-2-Диметилциклопентан	1,129	0,119
1-цис-2-Диметилциклопентан	0,000	0,037
Метилциклогексан	10,110	0,239
1,1,3-Триметилциклопентан	0,392	0,123
Этилциклопентан	0,432	0,070
Изобутилциклопентан	0,024	0,000
1-цис-2-транс-4-Триметилциклопентан	0,351	0,026
1-транс-2-цис-3-Триметилциклопентан	0,386	0,000
1,1,2-Триметилциклопентан	0,000	0,029
1-цис-2-цис-4-Триметилциклопентан	0,014	0,000
1-цис-2-транс-3-Триметилциклопентан	4,558	0,255
1-транс-4-Диметилциклогексан	1,081	0,020
1,1-Диметилциклогексан	0,284	0,000
3-цис-Этилметилциклопентан	0,146	0,000
3-транс-Этилметилциклопентан	0,138	0,012
1,1-Метилэтилциклопентан	0,034	0,000
2-транс-Этилметилциклопентан	0,372	0,000
1-транс-2-Диметилциклогексан	1,203	0,026
1-цис-2-Диметилциклогексан	0,193	0,034

**Таблица 4 – Изменение содержания индивидуальных углеводородов в процессе каталитического риформинга**

1,1,4-Триметилциклогексан	2,112	0,000
Этилциклогексан	0,569	0,000
3,3-Диметилгептан	0,230	0,000
2,5-Диметилциклогептан	0,036	0,000
1-цис-2-транс-4-транс-Триметилциклогексан	0,472	0,000
3,3-Диметилотан	0,108	0,000
н-Бутилциклоциклопентан	0,232	0,000
Изобутилциклогексан	0,121	0,000
1-транс-Метил-2-н-пропилциклогексан втор-Бутилциклогексан	0,097	0,000
<b>Ароматические углеводороды</b>		
Бензол	0,222	4,532
Толуол	1,512	16,822
Этилбензол	0,365	2,508
м-Ксилол	1,344	7,871
п-Ксилол	0,435	3,448
о-Ксилол	0,492	3,715
Изопропилбензол	0,061	0,000
н-Пропилбензол	0,158	0,714
1-Метил-3-этилбензол	0,528	2,556
1-Метил-4-этилбензол	0,186	1,138
1,3,5-Триметилбензол	0,440	1,314
1-Метил-2-этилбензол	0,502	0,784
1,2,4-Триметилбензол	0,571	3,700
Изобутилбензол	0,000	0,039
транс-Бутилбензол	0,062	0,000
втор-Бутилбензол	0,034	0,000
1,2,3-Триметилбензол	0,185	0,634
1-Метил-3-изопропилбензол	0,089	0,049
1-Метил-4-изопропилбензол	0,043	0,013
1,4-Диэтилбензол	0,042	0,311
2,3-Дигидроиндан	0,025	0,000
1-Метил-2-изопропилбензол	0,274	0,000
1,3-Диэтилбензол	0,044	0,194
1-Метил-3-н-пропилбензол	0,105	0,506
1-Метил-4-н-пропилбензол	0,043	0,084
н-Бутилбензол	0,082	0,534
1,3-Диметил-5-этилбензол	0,009	0,000
1,2-Диэтилбензол	0,000	0,026
1-Метил-2-н-пропилбензол	0,076	0,140
1,4-Диметил-2-этилбензол	0,038	0,286
1,3-Диметил-4-этилбензол	0,203	0,312
1,2-Диметил-4-этилбензол	0,158	0,545
1,2-Диметил-3-этилбензол	0,025	0,096
1-Метил-4-транс-бутилбензол	0,013	0,000
1,3-Диметил-2-этилбензол	0,000	0,023
1,2,4,5-Тетраметилбензол	0,019	0,257
1,2,3,5-Тетраметилбензол	0,027	0,365

Таблица 4 – Изменение содержания индивидуальных углеводородов в процессе каталитического риформинга

2-Метилиндан	0,036	0,135
5-Метилиндан	0,000	0,129
1-Этил-2-п-пропилбензол	0,000	0,052
4-Метилиндан	0,011	0,000
1,3-Диизопропилбензол	0,000	0,106
втор-Пентилбензол	0,000	0,018
1,2-Диизопропилбензол	0,000	0,025
1,3-Ди-н-пропилбензол	0,000	0,031
2-Метилнафталин	0,000	0,217
1,2,3,4-Тетрагидронафталин	0,020	0,000
1-транс-Бутил-3,5-диметилбензол	0,008	0,000
н-Пентилбензол	0,016	0,000
<b>Непредельные углеводороды</b>		
Бутен-1	0,000	1,363
2-Метилбутен-1	0,000	0,020
транс-Пентен-2	0,000	0,012
2-Метилбутен-2	0,000	0,048
2-Метилпентен-1	0,000	0,012
транс-Гексен-2	0,000	0,015
2-Метилпентен-2	0,000	0,030
3-Метилциклопентен-2	0,000	0,013
3,3-Диметилпентен-1	0,000	0,026
4-Метилгексен-2	0,000	0,012
транс-Нонен-2	0,357	0,000
транс-Нонен-3	0,053	0,000
3-Этил-2-метилгептен-2	0,000	0,043
2,2-Диметилоктен-2	0,059	0,000

Определённая зависимость, как видно, соблюдается, в интервале от  $C_4$  до  $C_{10}$ . Что же касается молекул с числом атомов углерода  $C_{11}$ , то, казалось бы, эти молекулы легче всего должны подвергаться разрыву связи, но полученные результаты говорят о том, что эти молекулы вероятно участвуют в реакциях перераспределения атомов углерода.

В продуктах риформинга обнаружено наличие изобутана (1,363 %), который отсутствует в гидрогенизате, резко возрастает содержание изопентана. Такое явление, очевидно, объясняется интенсивным протеканием реакций гидрокрекинга.

Содержание нафтеновых углеводородов уменьшается с 34,850 до 1,570 % (масс.). Известно, что нафтены являются наиболее оптимальным сырьём для процесса каталитического риформинга. Как видно из данных хроматографического анализа (таблица 4), нафтены практически полностью подверглись реакциям дегидрирования. Полностью подверглись воздействию также: циклопентан, 1-транс-2-цис-3-триметилциклопентан, 1-цис-2-цис-4-триметилциклопентан, 1,1-диметилциклогексан, 3-цис-этилциклопентан, 1,1-метилэтилциклопентан, 2-транс-этилметилциклопентан, 1,1,4-триметилциклогексан, этилциклогексан, 3,3-диметилгептан, 2,5-диметилциклогептан, 1-цис-2-транс-4-транс-триметилциклогексан, н-бутилциклопентан, изобутилциклогексан, 1-транс-метил-2-н-пропилциклогексан, втор-бутилциклогек-

сан. Содержание метилциклогексана, который является наиболее благоприятным сырьём для получения бензола и толуола снизилось с 10,110 % (масс.) в исходном сырье до 0,239 % (масс.) в катализате [4].

Содержание аренов увеличилось от 8,507 до 54,252 % (масс.), в том числе, содержание бензола в катализате увеличилось в 20,41 раз, толуола в 11,13 раз. Как видно из данных хроматографического анализа (*таблица 4*), содержание всех компонентов в катализате практически увеличивается. Исключение составляют: 1-метил-3-изопропилбензол, 1-метил-4-изопропилбензол. Полностью исчезли в катализате: изопропилбензол, транс-бутилбензол, втор-бутилбензол, 2,3-дигидроиндан, 1-метил-2-изопропилбензол, 1,3-диметил-5-этилбензол, 1-метил-4-транс-бутилбензол, 4-метилиндан, 1,2,3,4-тетрагидронафталин, 1-транс-бутил-3,5-диметилбензол, n-пентилбензол. Деструкция данных молекул объясняется их чрезмерной разветвлённостью, в результате которой происходит отщепление радикала с образованием других аренов. В частности, в катализате риформинга найдены ароматические углеводороды, которые не обнаружены в гидрогенизате. Они могли образоваться в результате не только реакций дегидрирования и дегидроциклизации, а также в результате гидрокрекинга ароматических углеводородов с образованием аренов с меньшей молекулярной массой. В катализате найдены: изобутилбензол, 1,2-диэтилбензол, 1,3-диметил-2-этилбензол, 5-метилиндан, 1-этил-2-n-пропилбензол, 1,3-диизопропилбензол, s-пентилбензол, 1,2-диизопропилбензол, 1,3-ди-n-пропилбензол, 2-метилнафталин.

Таким образом из вышеизложенного следует, что в результате изомеризации n-парафинов и дегидрирования цикланов, в составе риформата интенсивно образуются изопарафиновые и ароматические углеводороды и тем самым резко повышается октановое число бензина риформинга. Полученный в процессе каталитического риформинга бензин из узкой фракции парафинистой нефти, по всем качественным показателям соответствуют требованиям для товарных, высокооктановых сортов автомобильного топлива.

Для выяснения возможности получения из катализата риформинга с октановым числом по исследовательскому методу 92 компонентов товарных бензинов с более высокими октановыми числами произвели испытание некоторых антидетонационных присадок в лабораторных условиях. Полученные данные сведены в *таблицу 5*.

Из представленных данных можно видеть, что наблюдается значительный синергетический эффект при совместном действии двухкомпонентной смеси по сравнению с таковым для индивидуальных присадок: небольшая концентрация присадки Хайтек (марганецсодержащей) 18 мг/л и кислородсодержащей БВД повышает октановое число М.М. на 3,3 и по И.М. на 5,3 пункта, а при введении присадки Хайтек 18 мг/л в смеси с N-метиланилином, прирост О.Ч. по М.М. составил 4,4 единицы, а по И.М. – 6.

**Выводы.** Установлены отличительные особенности индивидуального углеводородного состава прямогонной бензиновой фракции и бензина каталитического риформинга.

Установлено, что в процессе риформинга в результате изомеризации n-парафинов и дегидрирования цикланов, в составе риформата интенсивно образуются

Таблица 5 – Влияние присадки на октановое число базового бензина АИ-92

Название присадки	Базовый АИ-92, % об	Присадка, % об	О.Ч. (М.М.)	О.Ч. (И.М.)
Бензин без присадки	100	0	84,0	92,3
N-метиланилин	99,0	1,0	85,0	94,8
	98,5	1,5	85,7	95,3
	98,0	2,0	86,0	96,1
БВД	99,0	1,0	86,2	95,8
	98,5	1,5	86,7	97,0
	98,0	2,0	87,1	92,0
*Хайтек (метилциклопентадиенилтрикарбонил марганца)		18 Mn		96,4
		36 Mn		97,1
		50 Mn		97,4
Хайтек (18Mn) + N-метиланилин	99,0	1,0	87,4	97,0
	98,5	1,5	87,8	98,1
	98,0	2,0	88,4	98,3
Хайтек (18Mn) + **БВД	99,0	1,0	86,2	96,0
	98,5	1,5	87,0	96,8
	98,0	2,0	87,3	97,5

\*Хайтек - метилциклопентадиенилтрикарбонил марганца

\*\*Композиция добавки БВД включает антидетонационную добавку АДА и метилтретбутиловый эфир (МТБЭ)

изопарафиновые и ароматические углеводороды и тем самым резко повышается октановое число бензина риформинга. Полученный в процессе каталитического риформинга бензин из узкой фракции кумкольской нефти, по всем качественным показателям соответствуют требованиям для товарных, высокооктановых сортов автомобильного топлива.

Установлен значительный синергетический эффект при совместном действии двухкомпонентной смеси по сравнению с таковым для индивидуальных присадок: небольшая концентрация присадки Хайтек (марганецсодержащей) 18мг/л и кислородсодержащей БВД повышает октановое число М.М. на 3,3 и по И.М. на 5,3 пункта, а при введении присадки Хайтек 18мг/л в смеси с N-метиланилином, прирост О.Ч. по М.М. составил 4,4 единицы, а по И.М. – 6. 

## ЛИТЕРАТУРА

- Капустин В.М., Ершов М.А., Хакимов Р.В. Автомобильные бензины с высокооктановыми добавками: Учебное пособие. – М.: Российский государственный университет нефти и газа (НИУ) имени И.М. Губкина, 2021. – 160 с. [Kapurstin V.M., Ershov M.A., Hakimov R.V. Avtomobilnie benzini s visokooktanovimi dobavkami: Uchebnoe posobie. – M.: Rossiiskii gosudarstvennii universitet nefti i gaza (NIU), imeni I.M. Gubkina, 2021. – 160 s.]
- Данилов А.М. Применение присадок в топливах: Справочник. - 3-е изд., доп. - СПб.: Химиздат, 2010. - 368 с. [Danilov A.M. Primenenie prisadok v toplivah: Spravochnik. 3-e izd. dop. SPb. Himizdat, 2010. -368 s.]
- Пчелинцева И.В. Закономерности каталитического превращения углеводородов в процессе риформинга при снижении давления: автореферат диссертация кандидата технических наук. -Томск: ТПУ, 2019. -22 с. [Pchelinceva I.V. Zakonomernosti

- kataliticheskogo prevrascheniya uglevodorodov v processe riforminga pri snizhenii davleniya: avtoreferat dissertatsiya kandidata tehnikeskikh nauk. -Tomsk: -TPU, 2019. -22 s.]
- 4 Калдыгозов Е., Капустин В.М., Изтлеуов Г.М., Абдикаримов Б.А., Тлеубаева Э.С. Каталитический риформинг бензиновой фракции смеси нефти южного региона Республики Казахстан// Научно-Технический журнал «Нефть и газ», Алматы, 2020, №2(116), С.100-108. [Kaldigozov E., Kapustin V.M., Iztleuov G.M., Abdikarimov B.A., Tleubaeva E.S. Kataliticheskii riforming benzinovoi fraktsii smesi nefli yujnogo regiona Respubliki Kazahstan// Nauchno-Tehnicheskii jurnal «Neft i gaz», Almati, 2020, №2(116), S.100-108.]
  - 5 <http://toplivopromprisadki.ru>.
  - 6 Костромин Р.Н. Получение и структура жидкофазных органических топливных смесей: автореферат диссертация кандидата технических наук.-Казань.-2007.-20 с. [Kostromin R.N. Poluchenie i struktura jidkofaznih organicheskikh toplivnih smesei: avtoreferat dissertatsiya kandidata tehnikeskikh nauk. -Kazan. -2007.-20s.]
  - 7 Ганина А.А. Новые компоненты и присадки для производства автомобильных бензинов на базе доступного отечественного сырья: диссертация кандидата технических наук. - Иркутск. - 2021. – 138 с. [Ganina A.A. Novie komponenti i prisadki dlya proizvodstva avtomobilnih benzinov na baze dostupnogo otechestvennogo sirya: dissertatsiya kandidata tehnikeskikh nauk. -Irkutsk. - 2021. – 138 s.]
  - 8 Капустин В.М., Карпов С.А., Царев А.В. Оксигенаты в автомобильных бензинах. - Москва: КолосС, 2013. - 336 с. [Kapustin V.M., Karpov S.A., Tsarev A.V. Oksigenaty v avtomobil'nykh benzinakh. - Moskva: KolosS, 2013. - 336 s.]
  9. Рассказчикова Т.В., Капустин В.М., Карпов С.А. Этанол как высокооктановая добавка к автомобильным топливам // Химия и технология топлив и масел (ХТТМ) - 2004. - №4. - С. 3. [Rasskazchikova T.V., Kapustin V.M., Karpov S.A. Etanol kak vysokooktanovaya dobavka k avtomobil'nyim toplivam // Khimiya i tekhnologiya topliv i masel (KHTTM) - 2004. - №4. - S. 3.]
  - 10 Карпов С.А. Современные аспекты применения антидетонаторов в автомобильных бензинах // Нефтепереработка и нефтехимия. - 2006. - №10. - С. 26-33. [Karpov S.A. Sovremennyye aspekty primeneniya antidetonatorov v avtomobil'nykh benzinakh // Neftpererabotka i neftekhimiya. - 2006. - №10. - S. 26-33.]
  - 11 Онойченко С.Н., Емельянов В.Е., Крылов И.Ф. Современные и перспективные автомобильные бензины // Химия и технология топлив и масел (ХТТМ). - 2003. - №6. - С. 3. [Onoychenko S.N., Yemel'yanov V.Ye., Krylov I.F. Sovremennyye i perspektivnyye avtomobil'nyye benziny // Khimiya i tekhnologiya topliv i masel (KHTTM). - 2003. - №6. -S. 3.]
  12. Емельянов В.Е., Симоненко Л.С., Скворцов В.Н. Ферроцен - нетоксичный антидетонатор для автомобильных бензинов // Химия и технология топлив и масел. - 2001. - № 4. - С. 6-8. [Yemel'yanov V.Ye., Simonenko L.S., Skvortsov V.N. Ferrotsen – netoksichnyy antidetonator dlya avtomobil'nykh benzinov // Khimiya i tekhnologiya topliv i masel. - 2001. - № 4. - S. 6-8.]
  - 13 Карпов С.А., Капустин В.М., Старков А.К. Автомобильные топлива с биоэтанолом. - Москва.: Колос, 2007. -216 с. [Karpov S.A., Kapustin V.M., Starkov A.K. Avtomobil'nyye topliva s bioetanolom. - Moskva.: Kolos, 2007. - 216 s.]
  - 14 Н.К. Надиров, А.Е. Калдыгозов, Е. Калдыгозов, Ю.А. Зайкин. Сравнительная характеристика процессов и продуктов каталитического риформинга и радиационно-термического крекинга Кумкольской нефти. Журнал «Нефть и газ». 2014.- №1.- С.61-68. [N.K.Nadirov, A.E.Kaldygozov, E.Kaldygozov, Iy.A.Zaikin. Srovnitel'naiia harakteristika protsessov i prodýktov kataliticheskogo riforminga i radiatsionno-termicheskogo krekinga Kýmkol'skoi nefli» Jýrnal «Neft i gaz». 2014.- №1.- s.61-68]