

УДК 665.656.2

**ОСНОВНЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ РАЗВИТИЯ ПРОЦЕССА  
ИЗОМЕРИЗАЦИИ**

**MAIN DIRECTIONS OF DEVELOPMENT  
OF THE ISOMERIZATION PROCESS**

**Н.А. Лихачева, В.В. Митрофанова, Г.В. Шарипова, Э.К. Аминова**

**Уфимский государственный нефтяной технический университет,  
филиал, г. Салават, Российская Федерация**

**Natalia N. Likhacheva, Viktoria V. Mitrofanova,  
Gulnara V. Sharipova, Elmira K. Aminova**

**Ufa State Petroleum Technological University, Branch,  
Salavat, Russian Federation**

**e-mail: likhacheva\_n@mail.ru**

**Аннотация.** В статье представлен обзор существующих технологий процесса изомеризации и их основные показатели. Проанализированы основные особенности процесса ведущих лицензиаров. Приведены данные о состоянии процесса изомеризации на сегодняшний день, а также тенденции развития данного процесса в нашей стране и за рубежом.

Изомернизация является лучшим процессом для увеличения октанового числа легкой нефти. Благодаря этому процессу достигается цель выполнения новых спецификаций по бензину: рост исследовательского октанового числа (ИОЧ) до 92; отсутствие серы, ароматических соединений, олефинов; высокие моторные октановые числа (МОЧ) (крайне парафиновый изомеризат).

**Abstract.** The article provides an overview of existing technologies of the isomerization process and their main indicators. The main features of the process of leading licensors are analyzed. Data on the current state of the isomerization process, as well as trends in the development of this process in our country and abroad, are presented.

Isomerization is the best process for increasing the octane number of light naphtha. This process achieves the goal of meeting the new gasoline specifications: increasing research octane number (RON) to 92; absence of sulfur, aromatic compounds, olefins; high motor octane numbers (MON) (extremely paraffinic isomerate).

**Ключевые слова:** изомеризация; катализатор изомеризации; технологии процесса изомеризации

**Key words:** isomerization; isomerization catalyst; isomerization process technologies

## Введение

Ведущую роль в процессах получения компонентов высокооктановых топлив на сегодняшний день занимает процесс изомеризации. Введенные стандарты «Евро» ограничили содержание ароматических соединений, в том числе бензола, в моторном топливе (таблица 1) [1].

Начальная перегонка сырой нефти дает бензиновые фракции с низким октановым числом:

- легкий бензин (C<sub>5</sub>–C<sub>6</sub>): исследовательское октановое число (ИОЧ) в интервале 60–70;
- тяжелый бензин (C<sub>7</sub>–C<sub>10</sub>): ИОЧ в интервале 30–50.

Очевидно, что в процессе нефтепереработки необходимо значительно повысить качество бензиновых фракций с целью выполнения спецификаций по ИОЧ/ моторные октановые числа (МОЧ).

**Таблица 1.** Европейские тенденции изменения стандартов на бензин

	EN 228 1993 Euro II	Dir 98/70 2000 Euro III	Dir 98/70 2005 Euro IV	Dir 98/70 2009 Euro V (Final Proposal)	WWFC* Четвертая категория
Ароматика, об. %, не более	-	42	35	35	35
Олефины, об. %, не более	-	18	18	18	10
Бензол, об. % не более	5.0	1.0	1.0	1.0	1.0
Кислород, масс. %, не более	-	2.7	2.7	2.7/3.7	2.7
Сера, ppm, не более	500	150	50 (10)	10	5-10
ДНП, кПа	35-100	60.0/70.0	60.0/70.0	60.0/70.0	
Свинец, г/л, не более	0.013	Нет	Нет	Нет	Нет
Примечание: Всемирная топливная хартия					

Очевидно, что в процессе нефтепереработки необходимо значительно повысить качество бензиновых фракций с целью выполнения спецификаций по ИОЧ/МОЧ.

Среди процессов, призванных повысить октановое число топлива, процесс изомеризации выгодно отличается благодаря высоким технико-экономическим показателям [2]. По этой причине интерес к этому процессу очень велик. Большое количество разработанных технологий является подтверждением этому.

Цель процесса каталитической изомеризации – превращение низкооктановых малоразветвленных и нормальных алканов в более разветвленные изомеры, имеющие высокое октановое число.

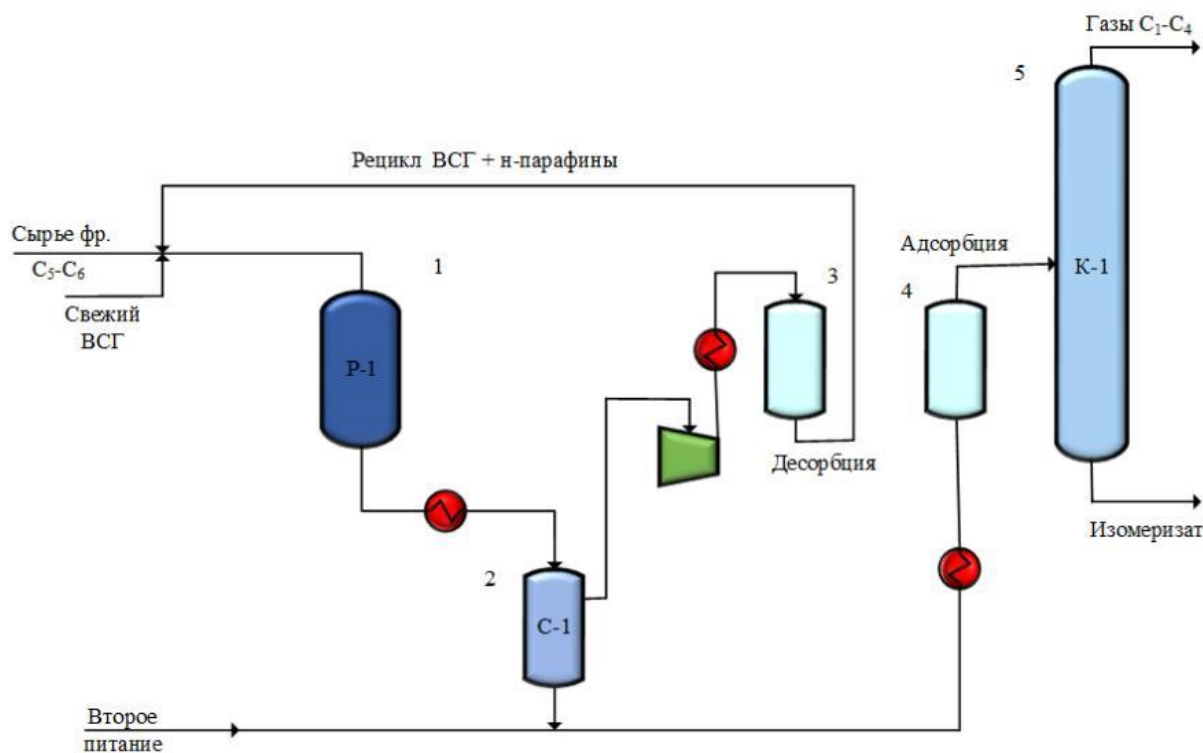
Существует два основных направления увеличения мощностей производства высокооктановых компонентов моторных топлив: реконструкция установок каталитического риформинга и проектирование и ввод в эксплуатацию новых установок [3].

В настоящее время технологии каталитической изомеризации в основном представлены процессами TIP, Penex, Par-Isom (UOP), Ipsorb, Hexorb, (Axens), Nysopar (Sub-Chemie), а также отечественным процессом Изомалк-2, разработанным НПП «Нефтехим».

### Процесс «TIP»

Процесс «TIP» компании UOP осуществляется на цеолитном катализаторе NS-10 и предназначен для изомеризации лёгкой бензиновой фракции. Отличительной особенностью процесса является комбинация изомеризации на цеолитах и процесса «IsoSiv».

Данное решение позволяет увеличить ИОЧ изомеризата до 87-90 пунктов, что значительно больше, чем в «стандартном» процессе изомеризации «за проход (ИОЧ 78-79) [4, 5]. Реализация процесса «TIP» не требует строительства новой установки. Достаточно к существующей на НПЗ установке добавить блок выделения нормальных парафинов на молекулярных ситах. Принципиальная схема процесса представлена на рисунке 1.



**Рисунок 1.** Принципиальная схема процесса «TIP»

Всего в мире находятся в эксплуатации более 30 установок, использующих процесс «TIP» [3].

### Процесс «Penex»

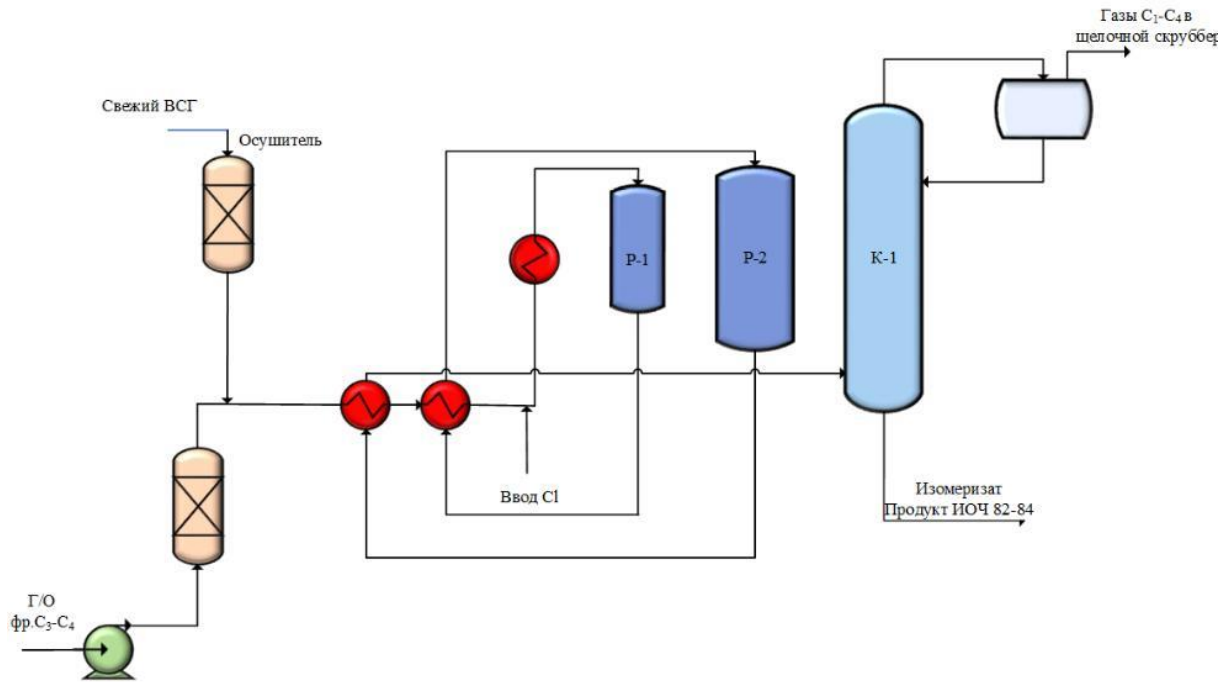
Для изомеризации светлой нефти фирмой «UOP» в 1958 г. разработан процесс «Penex». При проведении процесса используются хлорированные алюмооксидные катализаторы I-82/84 (UOP), которые обеспечивают протекание процесса в температурном интервале 100–150 °С [5, 6].

Процесс «Penex» не требует циркуляции водорода. Высокая степень превращения достигается при низкой температуре с хорошим выходом. Обычно устанавливаются последовательно два реактора, в которые загружаются равные количества катализатора. Двухреакторная схема способствует повышению эффективности и глубины процесса, помимо этого дает возможность заменять катализатор посредством вывода одного реактора из технологической схемы без остановки производства.

К недостаткам процесса можно отнести «жесткие» требования к содержанию примесей в сырье, вызванные использованием хлорированных алюмооксидных катализаторов. В связи с этим возрастают затраты на глубокую гидроочистку. В качестве промотора добавляют хлорорганические соединения, превращающиеся на катализаторе в хлороводород. По этой причине газы стабилизации требуют щелочной промывки. Еще одним минусом хлорированного алюмооксидного катализатора является невозможность регенерации и непродолжительный срок службы.

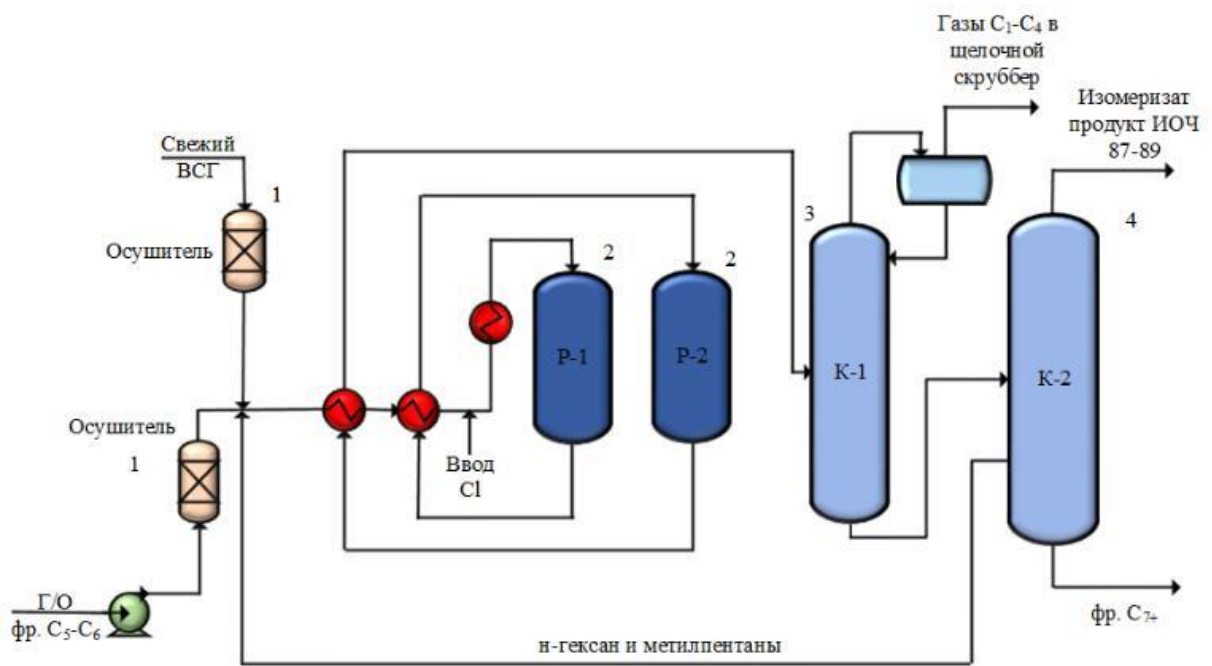
Сейчас эксплуатируется более 200 установок изомеризации C<sub>5</sub>–C<sub>6</sub> по технологии «Penex». Еще ряд установок находится на различных стадиях проектирования и строительства [5].

Наиболее простой схемой изомеризации по технологии «Penex» является схема однопроходного пропуска углеводородного сырья через реакторы (установка «за проход»), представленная на рисунке 2.



**Рисунок 2.** Принципиальная схема процесса «Репех» «за проход»

Термодинамическое равновесие позволяет получать продукт с ОЧИМ не более 82–84 пунктов.



**Рисунок 3.** Принципиальная схема процесса «Репех» с рециклом малоразветвленных гексанов

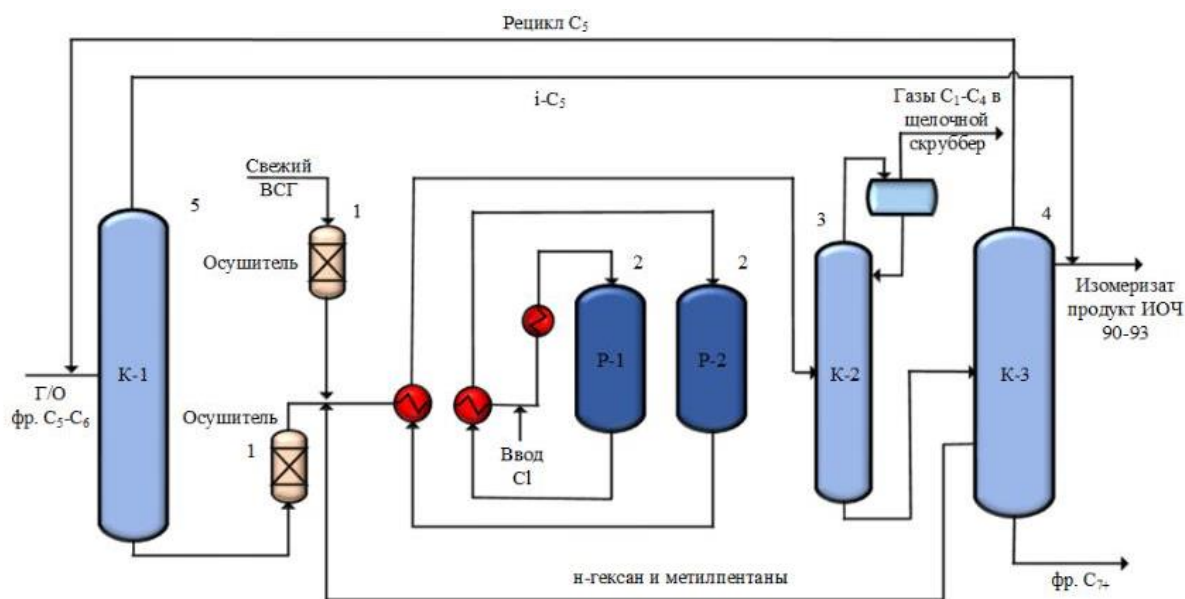
Наименьших затрат на повышение октанового числа изомеризата в процессе «Репех» требует комбинирование блока изомеризации с колонной

деизогексанизатором (рисунок 3). В последней происходит выделение н-гексана и малоразветвленных гексанов, которые потом направляются на смешение с очищенным сырьем установки, выделение высокооктановых компонентов (изопентана, диметилбутанов), отбирающихся в качестве продукта, кроме того нижним отбором выделяется фракция  $C_{7+}$ .

Такая схема позволяет получать изокомпонент с ИОЧ от 87 до 89 пунктов.

Для получения максимальной эффективности процесса «Penex» блок изомеризации используют совместно с деизопентанизатором (ДИП) и супердеизогексанизатором (супер ДИГ) (рисунок 4).

Данная схема позволяет получать изокомпонент с ИОЧ от 90 до 93 пунктов. Катализатор I-8x используется достаточно широко: 12 установок «Penex» [7].



**Рисунок 4.** Принципиальная схема процесса «Penex» с деизопентанизатором и рециклом н-пентана и малоразветвленных гексанов

### Процесс «ParIsom»

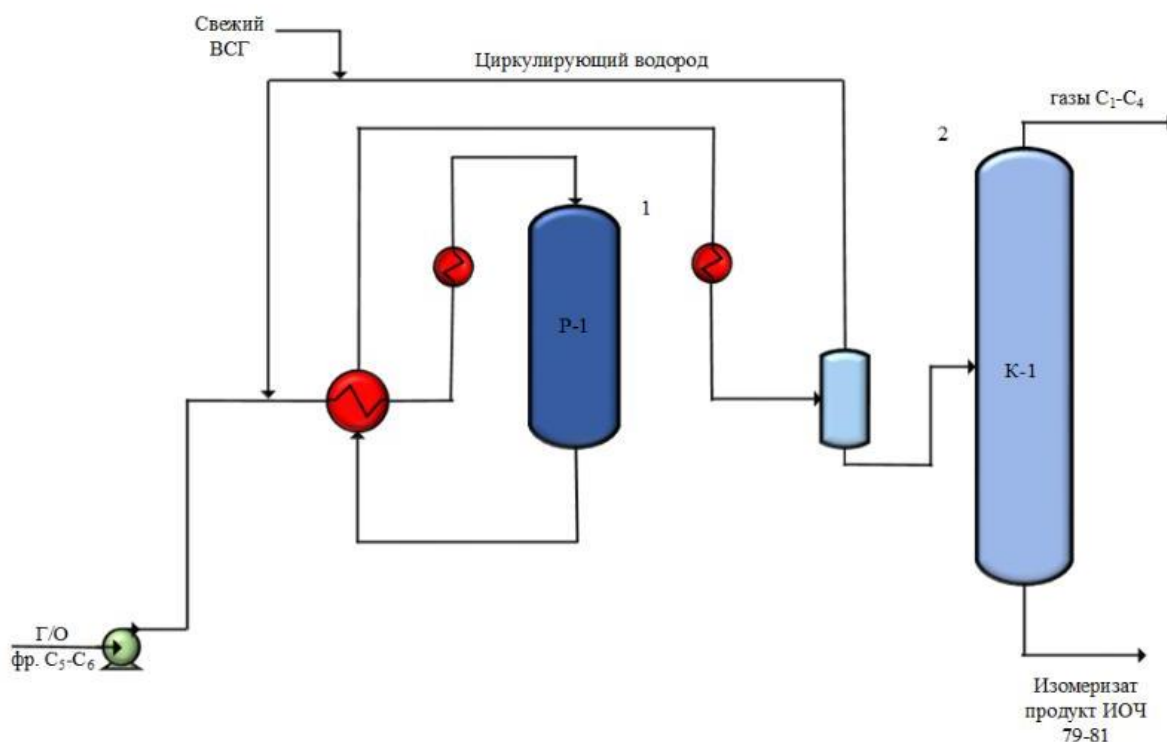
Процесс «ParIsom» также является разработкой компании UOP и предназначен для изомеризации пентан-гексановой фракции.

Катализатором процесса является сульфатированный оксид циркония в водородной среде на неподвижном слое катализатора [5, 7].

Использование катализаторов марок PI-242 и PI-244В процессе «ParIsom» позволяет достичь прирост ИОЧ при использовании схемы «за проход» на 12–14 пунктов. По сравнению с хлорированным алюмооксидным катализатором данные катализаторы предъявляют меньшие требования к качеству сырья и подлежат регенерации.

В процессе «ParIsom» ИОЧ изомеризата при использовании схемы «за проход» (рисунок 5) немного ниже, чем в процессе «Penex». Это связано с температурой проведения процесса («ParIsom» – 130–180 °С, «Penex» – 100–150 °С).

Реализовать данный процесс на производстве можно модернизировав имеющиеся на НПЗ установки риформинга или гидроочистки.



**Рисунок 5.** Принципиальная схема процесса «ParIsom» «за проход»

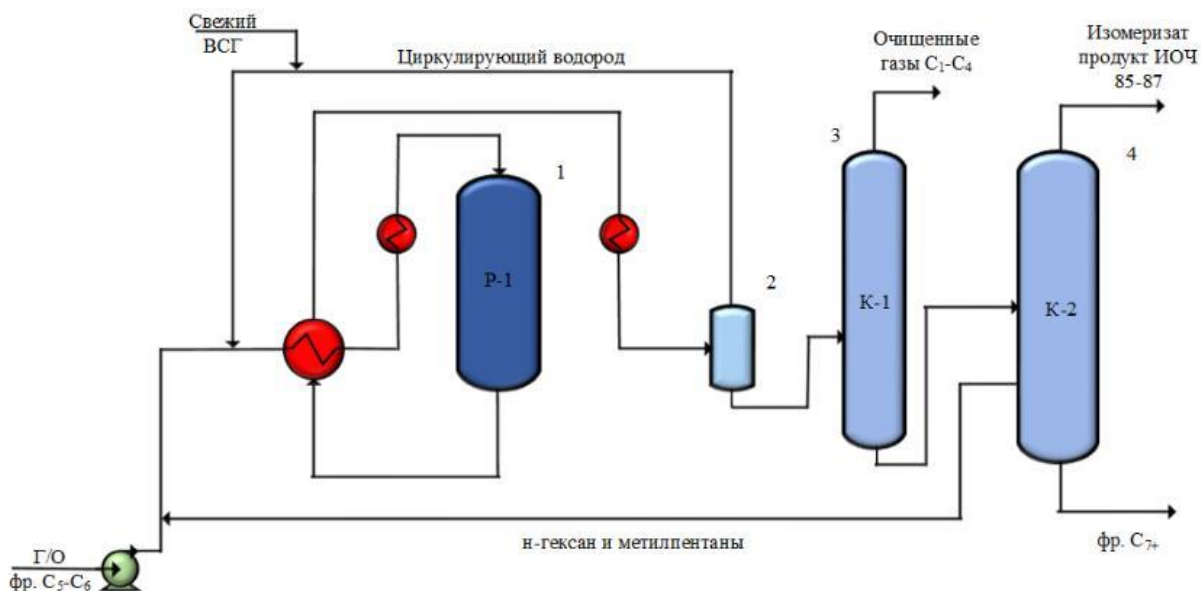
Схема позволяет получать изомеризат с ИОЧ в пределах 79–81 пунктов.

Компания UOP предлагает несколько вариантов усовершенствования схемы «за проход» для увеличения ИОЧ изомеризата [6, 7]. Например,

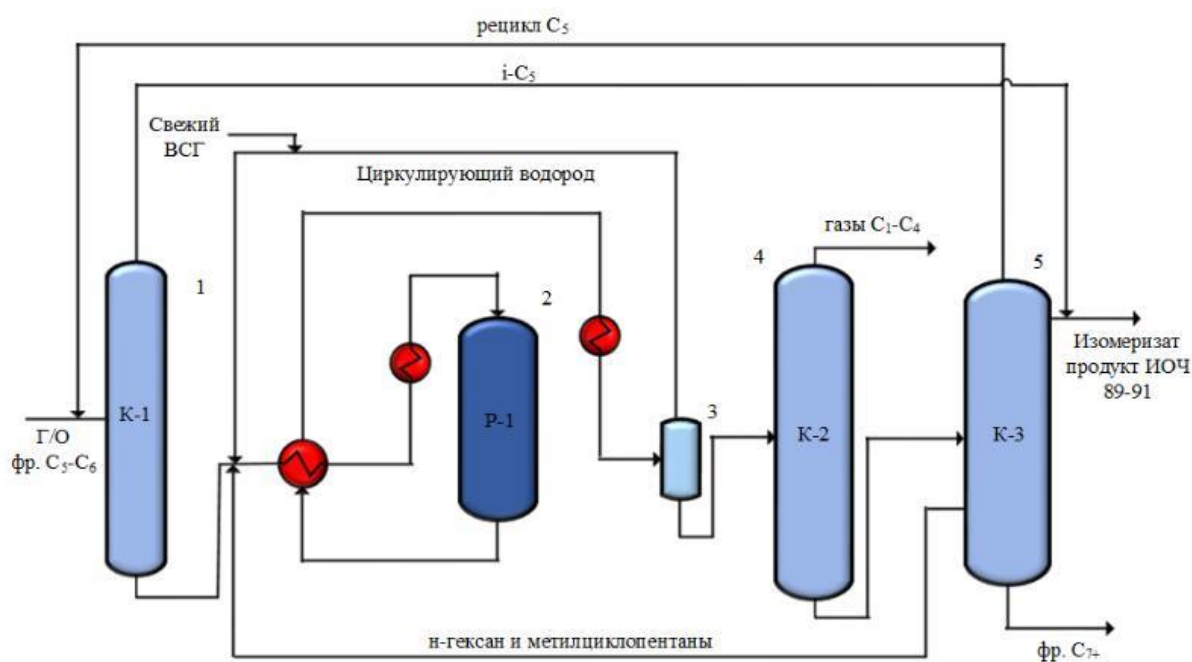


установка изомеризации с рециклом малоразветвленных гексанов (рисунок 6) позволяет получать изокомпонент с ИОЧ от 85 до 87 пунктов.

Установка изомеризации с ДИП и рециклом н-пентана и малоразветвленных гексанов (рисунок 7) позволяет получать изокомпонент с ИОЧ от 89 до 91 пунктов.



**Рисунок 6.** Принципиальная схема процесса «ParIsom» с рециклом малоразветвленных гексанов



**Рисунок 7.** Принципиальная схема процесса «ParIsom» с ДИП и рециклом н-пентана и малоразветвленных гексанов

К недостаткам данной схемы можно отнести значительные капитальные затраты при строительстве, а также высокие эксплуатационные затраты, что связано с большим количеством рецикловых потоков.

### **Процесс «Изомалк-2»**

Технология изомеризации «Изомалк-2» разработана НПП «Нефтехим» в 2003 г. Она предназначена для изомеризации легких бензиновых фракций. Основой данной технологии является оксидный сульфатированный катализатор СИ-2, обладающий повышенной устойчивостью к действию каталитических ядов. Процесс протекает в низкотемпературной области 130–180 °С.

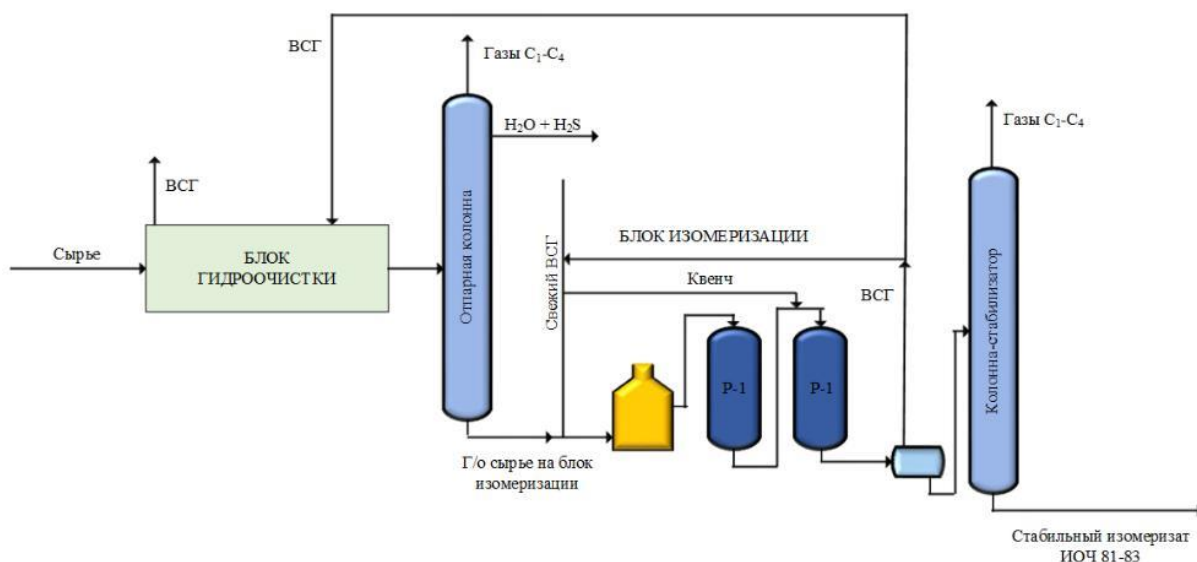
Технология «Изомалк-2» предусматривает предгидроочистку сырья, но в отличие от хлорированных катализаторов, специальная адсорбционная очистка гидрогенизата от микропримесей серы, азота и воды не требуется. Реакторный блок «Изомалк-2» включает один (с двумя слоями катализатора) или два реактора с охлаждением газопродуктового потока в теплообменнике. При выборе одного реактора требуется «квенч» холодного ВСГ на входе во второй слой катализатора.

Октановое число изокомпонента, получаемого по технологии «Изомалк- 2», определяется в основном выбором варианта технологической схемы.

Все остальные показатели остаются неизменными – межрегенерационный период не менее 4-х лет и может достигать 8 лет, общий срок службы катализатора 10 лет, выход изокомпонента 98–99 % масс. и может снижаться только при увеличении концентрации углеводородов  $C_7$  более 3 % [8].

Реализация технологии «Изомалк-2» по схеме «за проход» отличается наименьшими капитальными и эксплуатационными затратами.

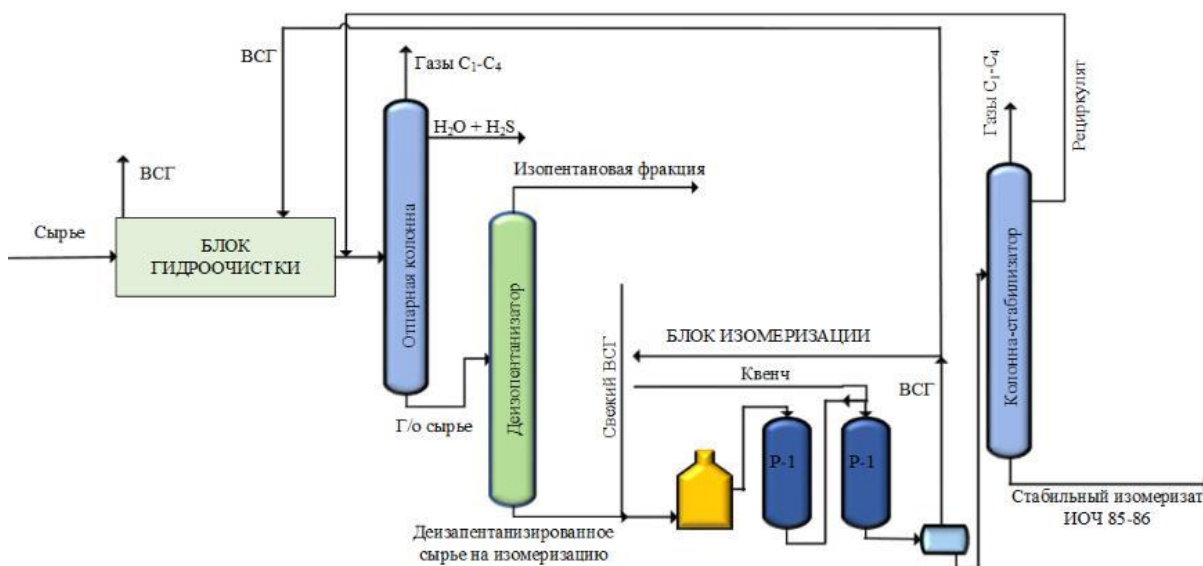
Эта схема (рисунок 8) позволяет получать изокомпонент с ИОЧ от 82 до 84 пунктов при выходе не менее 98 % масс.



**Рисунок 8.** Принципиальная схема процесса «Изомалк-2» «за проход»

Установка изомеризации «Изомалк-2» с рециклом н-пентана (рисунок 9) применяется для переработки сырья с содержанием пентанов 50–70 %.

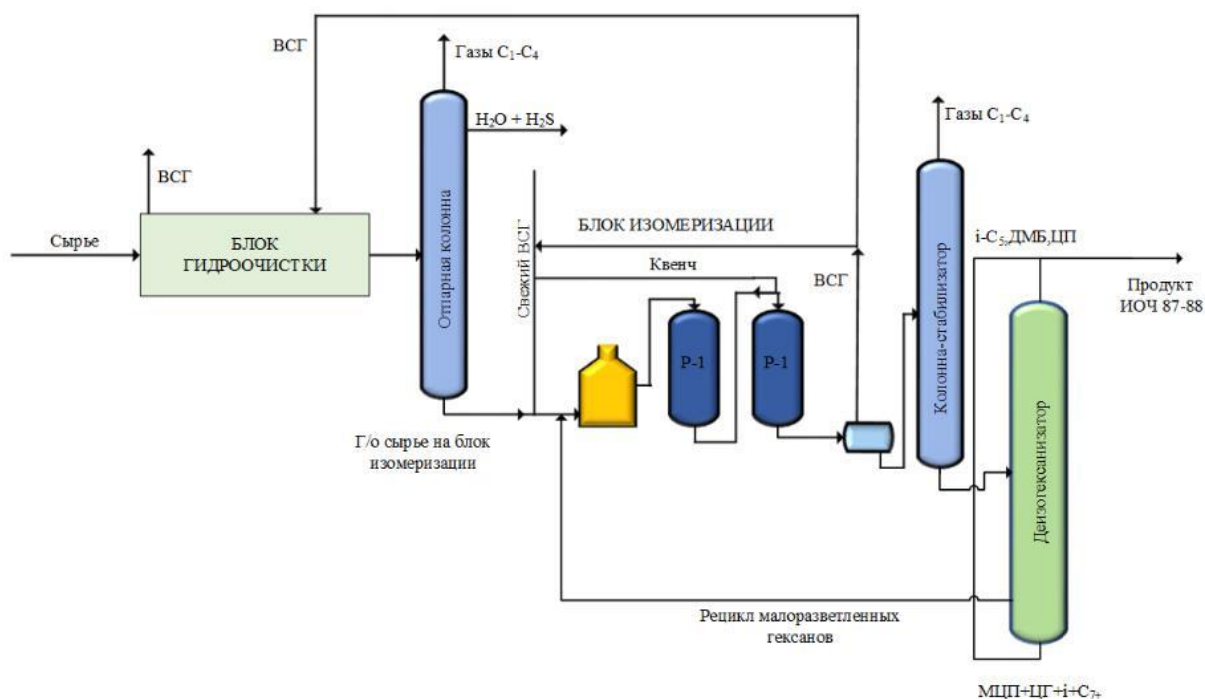
За счет рецикла н-пентана ИОЧ изокомпонента можно повысить до 86–88 пунктов, выход изокомпонента составляет не менее 98 % масс.



**Рисунок 9.** Принципиальная схема процесса «Изомалк-2» с рециклом н-пентана

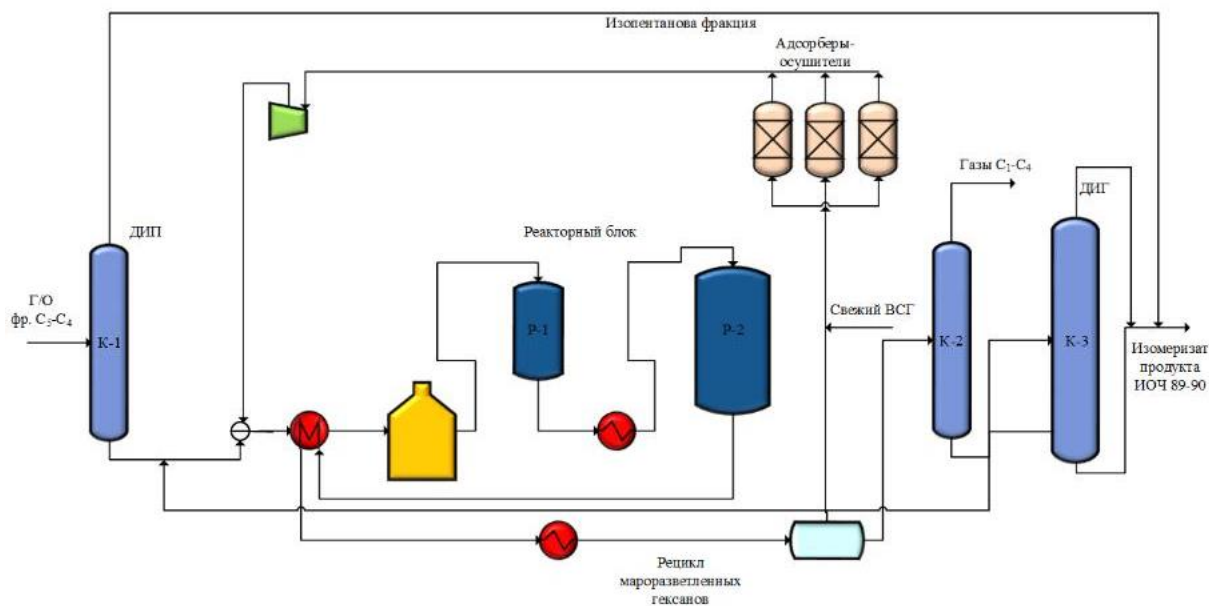
Установка изомеризации «Изомалк-2» с рециклом малоразветвленных гексанов (рисунок 10) позволяет повысить октановое число вырабатываемого изокомпонента за счет возврата малоразветвленных

гексанов на смешение с сырьем реакторного блока. По сравнению с вариантом «за проход» эта схема включает дополнительную колонну деизогексанизатор (ДИГ) и обеспечивает получение изокомпонента с ИОЧ 87–88 пунктов. Установка ДИГ является оптимальным технологическим решением для переработки сырья с содержанием гексанов 50–70 % и высоким содержанием примесей углеводородов  $C_{7+}$  и бензола [9, 10].



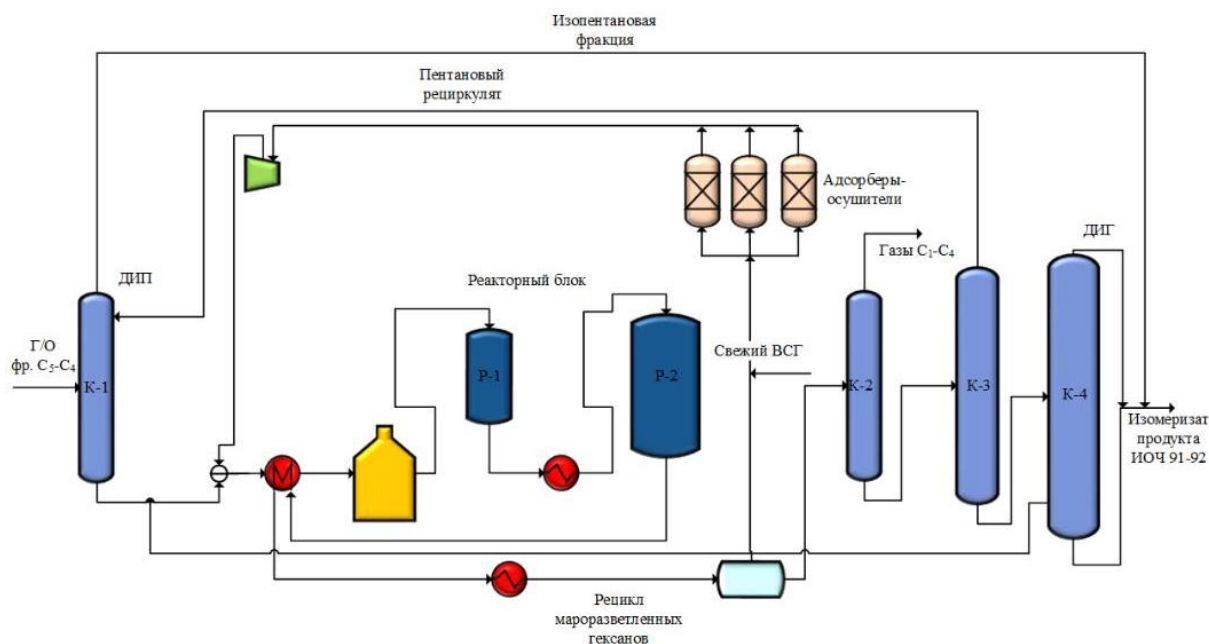
**Рисунок 10.** Принципиальная схема процесса «Изомалк-2» с рециклом малоразветвленных гексанов

Дооборудование схемы с рециклом малоразветвленных гексанов колонной ДИП (рисунок 11) позволяет снизить нагрузку на реакторный блок, повысить глубину изомеризации пентана. Октановое число изокомпонента составляет 89–90 пунктов.



**Рисунок 11.** Принципиальная схема процесса «Изомалк-2» с ДИП сырья и ДИГ

Установка изомеризации «Изомалк-2» с рециклом н-пентана и гексана, а также предварительной деизопентанизацией сырья (рисунок 12) позволяет максимально использовать возможности технологии «Изомалк-2» в изомеризации пентан-гексановой фракции. Октановое число изокомпонента (91–92 пункта) достигается за счет осуществления рецикла н-пентана и гексанов.



**Рисунок 12.** Принципиальная схема процесса «Изомалк-2» с рециклом н-пентана и малоразветвленных гексанов

В настоящее время в России эксплуатируется 11 установок по технологии «Изомалк», что составляет примерно 60 % от всего изомеризата [9].

### **Изомеризация Axens на хлорированных катализаторах**

Еще одной компанией, являющейся лицензиаром технологии изомеризации на хлорированном алюмооксидном катализаторе, является компания «Axens», которая совместно с «AkzoNobel» разработала свой катализатор ATIS-2L. Принципиальные схемы процессов на данном катализаторе аналогичны схемам, представленным для процесса «Penex» (рисунки 4–6) компании «UOP», октановые числа продуктов также совпадают.

Однако компания «Axens», кроме известных схем изомеризации, предлагает также дополнить их адсорбцией на молекулярных ситах. Для этого ими разработаны 2 технологии: «Ipsorb» и «Hexorb», которые позволяют повысить ОЧИМ изомеризата до 90 и 91–92 пунктов, соответственно [7].

### **Процесс Nysopar**

Процесс «Nysopar» (компания «Sud-Chemie») протекает на цеолитном катализаторе. В отличие от аналогичных катализаторов других фирм этот катализатор наиболее устойчив к действию каталитических ядов и, как следствие, требует минимальной очистки сырья от примесей. Катализатор считается одним из самых прогрессивных из имеющихся цеолитных катализаторов изомеризации [2].

Принципиальная схема процесса аналогична схеме «за проход» для цеолитных катализаторов, представленной на рисунке 2. Кроме того, для повышения октановых характеристик продукта в схему могут быть добавлены блоки рециркуляции непрореагировавших пентана и гексана, а также выделения изопентана из сырьевой смеси. Данные схемы будут

аналогичны схемам, представленным для процесса «ParIsom» компании «UOP» (рисунки 8, 9).

### **Перспективы развития процесса изомеризации в России и в мире**

Глубина переработки нефти в западных странах составляет 97 %. По этому показателю наша страна значительно отстает. Глубина переработки нефти в России в среднем составляет 79 %. Однако следует отметить устойчивую тенденцию к сокращению этого разрыва посредством внедрения новых технологий. На российских предприятиях за последние 10 лет запущены установки изомеризации суммарной мощностью в 7,2 млн т. Первое место среди российских технологий по уровню внедрения занимает технология «Изомалк-2». По ней в стране работают 12 установок [11, 12].

Мировые тенденции развития процесса изомеризации в ближайшей перспективе (до 2030 г.), в первую очередь, связывают с 40–50 %-ым ростом рынка катализаторов, причем наиболее перспективным процессом будет являться низкотемпературная изомеризация. Что касается отечественного производства, то в России прогнозируют рост числа установок изомеризации в 2 раза (до 30), в связи с чем будет происходить и рост потребления катализаторов.

### **Вывод**

Подводя итог вышеизложенному можно сказать, что изомернизация является лучшим процессом для увеличения октанового числа легкой нефти. Благодаря этому процессу достигается цель выполнения новых спецификаций по бензину: рост ИОЧ до 92; отсутствие серы, ароматических соединений, олефинов; высокие МОЧ (крайне парафиновый изомеризат).



## Список используемых источников

1. TR CU 013/2011. On Requirements to the Motor and Aviation Gasoline, Diesel and Ship Fuel, Jet Propulsion Fuel and Fuel Oil. 2011. No. 826.
2. Строкин А.В., Черкасова Е.И. Основные тенденции процесса изомеризации // Вестник Казанского технологического университета. 2014. Т. 17. № 8. С. 66-68.
3. Арсланов А.Н., Абдуллин А.И. Перспективы развития процесса изомеризации // Вестник технологического университета. 2015. Т. 18. № 9. С. 39-40.
4. Хаимова Т.Г., Мхитарова Д.А. Изомеризация как эффективный путь производства высокооктановых компонентов бензина. М.: ЦНИИТЭнефтехим, 2005. 80 с.
5. Official Website of UOP LLC. URL: <http://www.uop.com> (дата обращения: 11.12.2020).
6. Ясакова Е.А., Ситдикова А.В., Ахметов А.Ф. Тенденции развития процесса изомеризации в России и за рубежом // Электронный научный журнал «Нефтегазовое дело». 2010. № 1. URL: [http://ogbus.ru/files/ogbus/authors/Yasakova/Yasakova\\_1.pdf](http://ogbus.ru/files/ogbus/authors/Yasakova/Yasakova_1.pdf) (дата обращения: 11.12.2020).
7. Чупарев Е.В. Изомеризация легкой бензиновой фракции в колонне реакционно-ректификационного типа: дис. ... канд. техн. наук. СПб.: СПбГТИ, 2014. 140 с.
8. Чузлов В.А. Совершенствование процесса изомеризации прямогонных бензиновых фракций на стадиях каталитического превращения и ректификации типа: дис. ... канд. техн. наук. Томск: Институт химии нефти СО РАН, 2018. 160 с.
9. Лучшие отечественные решения для повышения эффективности производства высокооктановых бензинов класса К5 // Экспозиция Нефть Газ. 2017. № 2 (55). С. 122-123.



10. Плешакова Н.А., Рохманько Е.Н., Лаптева А.Ю., Иващенко И.С. Эксплуатация установок изомеризации НПЗ ПАО «НК «Роснефть» (ПАО АНК «Башнефть») // Научный журнал. 2018. № 7 (30). С. 21-22.

11. Зубакина М.А. Развитие процесса изомеризации в РФ // Научный электронный журнал «Меридиан». 2018. № 6 (17). С. 27-29. URL: <http://meridian-journal.ru/site/article?id=1116> (дата обращения: 11.12.2020).

12. Соломонов А.П. Проблемы международной конкурентоспособности российских нефтеперерабатывающих компаний // Производственный менеджмент: теория, методология, практика. 2016. № 6. С. 195-209.

## References

1. TR CU 013/2011. On Requirements to the Motor and Aviation Gasoline, Diesel and Ship Fuel, Jet Propulsion Fuel and Fuel Oil. 2011. No. 826.

2. Strokin A.V., Cherkasova E.I. Osnovnye tendentsii protsessa izomerizatsii [The Main Trends in the Isomerization Process]. Vestnik Kazanskogo tekhnologicheskogo universiteta – Herald of Kazan Technological University, 2014, Vol. 17, No. 8, pp. 66-68. [in Russian].

3. Arslanov A.N., Abdullin A.I. Perspektivy razvitiya protsessa izomerizatsii [Prospects for the Development of the Isomerization Process]. Vestnik tekhnologicheskogo universiteta – Herald of Technological University, 2015, Vol. 18, No. 9, pp. 39-40. [in Russian].

4. Khaimova T.G., Mkhitarova D.A. Izomerizatsiya kak effektivnyi put' proizvodstva vysokooktanovykh komponentov benzina [Isomerization as an Efficient Way of Producing High-Octane Gasoline Components]. Moscow, TsNIITeneftkhim Publ., 2005. 80 p. [in Russian].

5. Official Website of UOP LLC. Available at: <http://www.uop.com> (accessed 11.12.2020).

6. Yasakova E.A., Sitdikova A.V., Akhmetov A.F. Tendentsii razvitiya protsessa izomerizatsii v Rossii i za rubezhom [Tendency of Isomerization Process Development in Russia and Foreign Countries]. Elektronnyi nauchnyi zhurnal «Neftegazovoe delo» – Electronic Scientific Journal «Oil and Gas Business», 2010, No. 1, URL: [http://ogbus.ru/files/ogbus/authors/Yasakova/Yasakova\\_1.pdf](http://ogbus.ru/files/ogbus/authors/Yasakova/Yasakova_1.pdf) (accessed 11.12.2020). [in Russian].

7. Chuparev E.V. Izomerizatsiya legkoi benzinovoi fraktsii v kolonne reaktsionno-rektifikatsionnogo tipa: dis. kand. tekhn. nauk [Isomerization of Light Gasoline Fraction in a Reaction-Distillation Column: Cand. Engin. Sci. Diss.]. St. Petersburg, SPbGTI Publ., 2014. 140 p. [in Russian].

8. Chuzlov V.A. Sovershenstvovanie protsessa izomerizatsii pryamogonnykh benzinovykh fraktsii na stadiyakh kataliticheskogo prevrashcheniya i rektifikatsii tipa: dis. kand. tekhn. nauk [Improvement of the Process of Isomerization of Straight-Run Gasoline Fractions at the Stages of Catalytic Conversion and Rectification of the Type: Cand. Engin. Sci. Diss.]. Tomsk, Institut khimii nefti SO RAN Publ., 2018. 160 p. [in Russian].

9. Luchshie otechestvennye resheniya dlya povysheniya effektivnosti proizvodstva vysokootanovykh benzinov klassa K5 [The Best Domestic Solutions to Improve the Efficiency of Production of High-Octane K5 Gasoline]. Ekspozitsiya Neft' Gaz – Exposition Oil Gas, 2017, No. 2 (55), pp. 122-123. [in Russian].

10. Pleshakova N.A., Rokhman'ko E.N., Lapteva A.Yu., Ivashchenko I.S. Eksploatatsiya ustanovok izomerizatsii NPZ PAO «NK «Rosneft'» (PAO ANK «Bashneft'») [Operation of Isomerization Units at the Oil Refinery of PJSC NK Rosneft (PJSC ANK Bashneft)]. Nauchnyi zhurnal – Scientific Journal, 2018, No. 7 (30), pp. 21-22. [in Russian].

11. Zubakina M.A. Razvitie protsessa izomerizatsii v RF [Development of the Isomerization Process in the Russian Federation]. Nauchnyi elektronnyi zhurnal «Meridian» – Scientific Electronic Journal «Meridian», 2018, No. 6 (17, pp. 27-29. Available at: <http://meridian-journal.ru/site/article?id=1116> (accessed 11.12.2020). [in Russian].

12. Solomonov A.P. Problemy mezhdunarodnoi konkurentosposobnosti rossiiskikh neftepererabatyvayushchikh kompanii [Problems of the International Competitiveness of Russian Oil Refineries]. Proizvodstvennyi menedzhment: teoriya, metodologiya, praktika – Production Management: Theory, Methodology, Practice, 2016, No. 6, pp. 195-209. [in Russian].

### **Сведения об авторах**

#### **About the authors**

Лихачева Наталья Анатольевна, канд. хим. наук, доцент кафедры химико-технологических процессов, УГНТУ, филиал, г. Салават, Российская Федерация

Natalia A. Likhacheva, Candidate of Chemical Sciences, Assistant Professor of Chemical and Technological Processes Department, USPTU, Branch, Salavat, Russian Federation

e-mail: [likhacheva\\_n@mail.ru](mailto:likhacheva_n@mail.ru)

Митрофанова Виктория Винаминовна, студент кафедры химико-технологических процессов, УГНТУ, филиал, г. Салават, Российская Федерация

Viktoria V. Mitrofanova, Student of Chemical and Technological Processes Department, USPTU, Branch, Salavat, Russian Federation

e-mail: [mvv-99@mail.ru](mailto:mvv-99@mail.ru)

Шарипова Гульнара Вилеровна, студент кафедры химико-технологических процессов, УГНТУ, филиал, г. Салават, Российская Федерация

Gulnara V. Sharipova, Student of Chemical and Technological Processes Department, USPTU, Branch, Salavat, Russian Federation

e-mail: gulnara.aslaeva@gmail.com

Аминова Эльмира Курбанаглиевна, канд. хим. наук, доцент кафедры химико-технологических процессов, УГНТУ, филиал, г. Салават, Российская Федерация

Elmira K. Aminova, Candidate of Chemical Sciences, Assistant Professor of Chemical and Technological Processes Department, USPTU, Branch, Salavat, Russian Federation

e-mail: k.elmira.k@yandex.ru