

Извлечение исходного реактанта из товарного изомеризата

Сергей В. Попов ¹	svpopov2018@ya.ru	 0000-0003-0533-9049
Николай А. Земсков ¹	zemskov500@gmail.com	.
Алексей В. Моисеев ¹	moiseev.av@samgtu.ru	.

¹ Самарский государственный технический университет, ул. Митрофанова, 5, г. Новокуйбышевск, 446200, Россия

Аннотация. Анализ промышленных данных установки среднетемпературной изомеризации показал, что в отгружаемой продукции (стабильном изомеризате) содержится большое количество не прореагировавшего п-пентана (до 9% масс.), что снижает её октановое число. Вместе с тем, являясь не превращённым реактантом, этот углеводород «теряется» в продукции установки и, соответственно, уменьшается выход выпускаемой товарной продукции. Целью работы являлось извлечение п-пентана из стабильного изомеризата для повышения его октанового числа и увеличения производительности установки. Исследование проводили с использованием программной среды UniSim Design. Предложена изменённая технологическая схема установки изомеризации с включением в неё дополнительной ректификационной колонны для извлечения из стабильного изомеризата фракции п-пентана и её последующим рециркулированием на колонну деизопентанизатор. Определение оптимальных конструктивных и режимных параметров предлагаемой колонны проведено с использованием утилиты Short Cut Distillation. Для промышленной мощности рассматриваемого процесса и интервалов изменения состава стабильного изомеризата рассчитаны конструктивные параметры предлагаемой тарельчатой колонны. Использование дополнительной колонны обеспечивает снижение содержания п-пентана в стабильном изомеризате до 0,08% масс. и повышение его октанового числа на 2,1 пункта. Предлагаемый вариант модернизации схемы является экономически обоснованным, быстро окупаемым и стратегически выгодным решением для предприятия.

Ключевые слова: изомеризация, ректификация, колонна стабилизации, стабильный изомеризат, октановое число, моделирование, UniSim Design

Extraction of the initial reactant from the commercial isomerizate

Sergey V. Popov ¹	svpopov2018@ya.ru	 0000-0003-0533-9049
Nikolay A. Zemskov ¹	zemskov500@gmail.com	.
Alexey V. Moiseev ¹	moiseev.av@samgtu.ru	.

¹ Samara State Technical University, st. Mironova, 5, Novokuibyshevsk, 446200, Russia

Abstract. An analysis of the industrial data of the medium-temperature isomerization plant showed that the shipped product (stable isomerizate) contains a large amount of unreacted n-pentane (up to 9% by weight), which reduces its octane number. At the same time, being an unconverted reactant, this hydrocarbon is "lost" in the plant's products and, accordingly, the yield of commercially available products decreases. The aim of the work was to extract n-pentane from stable isomerizate to increase its octane number and increase plant productivity. The study was conducted using the UniSim Design software environment. A modified technological scheme of the isomerization plant is proposed with the inclusion of an additional distillation column for extracting the n-pentane fraction from the stable isomerizate and its subsequent recycling to the deisopentane column. The optimal design and operating parameters of the proposed column were determined using the Short Cut Distillation utility. For the industrial capacity of the process under consideration and the intervals of change in the composition of the stable isomerizate, the design parameters of the proposed plate column are calculated. The use of an additional column reduces the n-pentane content in the stable isomerizate to 0.08% by weight, and an increase in its octane number by 2.1 points. The proposed scheme modernization option is an economically sound, fast-paying and strategically beneficial solution for the enterprise.

Keywords: isomerization, rectification, stabilization column, stable isomerizate, octane number, modeling, UniSim Design

Введение

Несмотря на развитие альтернативной энергетики, бензин сохраняет статус ключевого топлива в транспортном секторе, что обуславливает стабильный спрос на продукты с улучшенными антидетонационными свойствами. Исторически сложилось так, что каталитический реформинг служил основным источником высокооктановых компонентов, однако высокое содержание ароматических соединений

(свыше 40%) в реформате оказывает негативное влияние как на экологию, так и на здоровье человека [1].

В связи с ужесточением требований к содержанию ароматических и непредельных углеводородов в топливе каталитическая изомеризация в комбинации с другими современными процессами представляет собой эффективный инструмент для увеличения выхода высокооктановых бензинов, соответствующих растущим экологическим стандартам [2].

Для цитирования

Попов С.В., Земсков Н.А., Моисеев А.В. Извлечение исходного реактанта из товарного изомеризата // Вестник ВГУИТ. 2026. Т. 88. № 2. С. 388–396. doi:10.20914/2310-1202-2026-2-388-396

For citation

Popov S.V., Zemskov N.A., Moiseev A.V. Extraction of the initial reactant from the commercial isomerizate. *Vestnik VGUIT* [Proceedings of VSUET]. 2026. vol. 88. no. 2. pp. 388–396. (in Russian). doi:10.20914/2310-1202-2026-2-388-396

Благодаря своим технологическим и экономическим преимуществам, каталитическая изомеризация занимает особое место в структуре современных нефтеперерабатывающих производств, рассматриваясь как один из наиболее рентабельных и экологичных методов получения не только высокооктановых компонентов топлива, но и ценного сырья для нефтехимии, в частности изопентана [3].

Повышение эффективности процесса изомеризации имеет стратегическое значение для укрепления конкурентных позиций на мировом рынке. Ужесточение экологических норм и стандартов качества делает оптимизацию этого процесса необходимым условием для соответствия новым требованиям. Проводимые в данной области исследования способствуют не только улучшению финансовых результатов нефтеперерабатывающих предприятий, но и устойчивому развитию отрасли в целом, позволяя балансировать между экономическими интересами и экологической ответственностью.

В качестве сырья установок изомеризации выступают легкие прямогонные бензиновые фракции, выкипающие в пределах НК-62°C (70 и 85°C), бензины-рафинаты после экстракции аренов, легкий бензин гидрокрекинга, фракция $C_5 \div C_6$, полученная из газового конденсата.

Основной функцией процесса изомеризации является повышение октанового числа фракции $C_5 \div C_6$ путем превращения парафинов нормального строения в их изомеры, имеющее более высокое октановое число. Конечный продукт установки (стабильный изомеризат) имеет октановое число по исследовательскому методу (ОЧИМ) 74÷91 пунктов (в зависимости от типа изомеризации и схемы процесса), и не содержит в своём составе бензол, ароматические углеводороды, олефины и сернистые соединения.

Критически важным свойством изомеризата считается минимальный разрыв между показателями октанового числа, измеренными исследовательским и моторным методами. Это позволяет эффективно использовать его в качестве базового компонента при смешении (компаундировании) топлив, в частности для снижения концентрации ароматических соединений в продуктах риформинга.

Основными критериями, определяющими рентабельность установки изомеризации, признаны выход целевого продукта, глубина превращения парафинов и итоговый прирост октанового числа. Актуальные научные разработки направлены на поиск новых химических, кинетических и инженерных решений для максимизации этих производственных показателей.

В работах [4–7] исследуются подходы к повышению октанового числа за счет модернизации существующих установок, тогда как другие авторы [8–10] изучают потенциал применения новых катализаторов и металлоорганических молекулярных сит. Предлагаемые технологические решения направлены в первую очередь на максимизацию выхода стабильного изомеризата, что соответствует общим тенденциям развития отрасли.

Каталитическая изомеризация преобразует низкооктановые нормальные алканы в их разветвленные изомеры с существенно более высокими антидетонационными характеристиками. Получаемый изомеризат представляет собой ценный высокооктановый компонент для компаундирования автомобильных бензинов [11].

Среднетемпературная изомеризация на цеолитных катализаторах демонстрирует значительные технологические преимущества, устраняя недостатки высокотемпературных и низкотемпературных аналогов. Эти катализаторы проявляют исключительную устойчивость к каталитическим ядам, отличаются экологической безопасностью, возможностью многократной регенерации и продолжительным сроком службы. Важным практическим преимуществом является их совместимость с существующими установками каталитического риформинга, которые могут быть переведены на работу по схеме изомеризации «за проход» без существенных капитальных затрат [12].

Однако цеолитные катализаторы требуют поддержания постоянной циркуляции водородсодержащего газа для минимизации коксообразования, а также обеспечивают несколько более низкое октановое число конечного продукта по сравнению с низкотемпературными системами [13]. Несмотря на эти ограничения, их эксплуатационная надежность и устойчивость делают их перспективным выбором для модернизации существующих нефтеперерабатывающих мощностей.

Катализаторы на основе сульфатированного диоксида циркония составляют перспективное направление, сочетающее высокую каталитическую активность с устойчивостью к примесям [14–16].

В работе [17] рассматривается комплексный способ изомеризации легкой бензиновой фракции (ЛБФ) с использованием системы ректификационных колонн для подготовки сырья на изомеризацию и с последующим выделением из изомеризата исходных реактантов и их рециркулированием в реактор изомеризации.

Усовершенствование технологии изомеризации легких бензиновых фракций C5–C7 описывается в работе [18]. Особенностью метода является организация замкнутого цикла по водороду, что повышает общую экономическую эффективность процесса.

Изобретение [19] раскрывает усовершенствованный метод повышения октанового числа углеводородной фракции, содержащей пентаны и гексаны, организацией замкнутого цикла рециркуляции, через который возвращаются хлорсодержащие соединения, которые поддерживают активность каталитической системы.

В патенте [20] представлен комбинированный процесс переработки углеводородного сырья, в котором исходная фракция C5+ предварительно разделяется на легкие (C5–C6) и тяжелые (C7+) углеводороды. Первый поток направляется на установку изомеризации, где происходит преобразование нормальных парафинов в изопарафины с более высоким октановым числом. Второй поток поступает на установку платформинга, где в результате ароматизации тяжелых парафинов и нафтенос образуются риформат с повышенным содержанием ароматических углеводородов. Результатом является возможность прямого смешения полученных продуктов (изомеризата и риформата) для производства высокооктанового бензина.

Математическое моделирование кинетики химической реакции является важным инструментом, поскольку оно может использоваться для оптимизации экспериментальных данных и условий эксплуатации промышленных реакторов. В работе [21] предложена кинетическая модель процесса, включающая 117 реакций изомеризации и 90 реакций крекинга для описания 52 реальных компонентов сырья и реакционной массы. Было обнаружено, что рассчитанные энергии активации для реакций гидрокрекинга выше, чем для других реакций, поскольку большинство реакций гидрокрекинга протекают при более высоких температурах. Кроме того, в ходе исследования было выявлено положительное влияние повышения температуры реакции на повышение октанового числа (RON).

Эффективность эксплуатации установок изомеризации напрямую зависит от точности фракционирования продуктовой фракции. Улучшение этого этапа позволяет увеличить октановое число и глубину переработки сырьевых компонентов. Четкое разделение помогает извлечь из реакционной массы высокооктановые компоненты, удалив из них неразветвленные и малоразветвленные углеводороды, отрицательно

влияющие на качество изомеризата. Процесс осложняется близостью физико-химических свойств разделяемых веществ, в частности их температур кипения. Для преодоления этих трудностей в индустрии могут использоваться как стандартные ректификационные схемы [22,23], так и современные гибридные установки, интегрирующие дистилляцию с адсорбцией [24–26].

Цель работы – совершенствование технологической схемы типовой установки среднетемпературной изомеризации легкой бензиновой фракции с целью повышения октанового числа товарного изомеризата и уменьшения в нём содержания сырьевого n-пентана.

Методы

Компонентный состав сырья установки изомеризации может изменяться в пределах допустимых интервалов регламентных значений параметров, соответственно, в нестабильном изомеризате, поступающий на стабилизационную колонну, концентрации его компонентов также варьируются в определенных границах значений. На рис. 1 показана разгонка потока питания колонны (нестабильный изомеризат) для его усредненного компонентного состава.

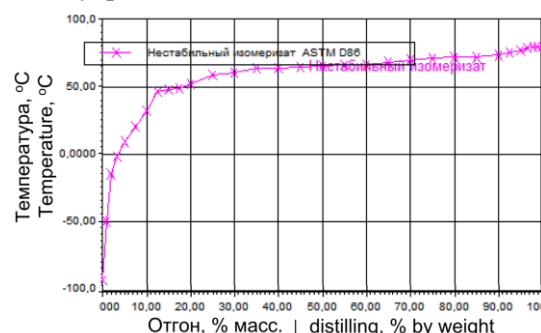


Рисунок 1. Разгонка (ASTM D86) потока нестабильного изомеризата (питание колонны К-2)

Figure 1. Distillation (ASTM D86) of unstable isomerate flow (feeding the K-2 column)

Процесс стабилизации изомеризата не влияет на содержание в нём углеводородов C₅+, вместе с тем, анализ промышленных данных показал, что в стабильном изомеризате, являющимся товарным продуктом установки, содержится до 9% масс. не прореагированного n-пентана, что ухудшает качество отгружаемого изомеризата из-за его низкого октанового числа ОЧИ = 61,7. Этот углеводород является не превращенным реагентом и «теряется» в продукции установки и, соответственно, уменьшается выход выпускаемой товарной продукции. Следовательно, целесообразно его максимальное извлечение из кубового остатка стабилизационной колонны с последующим рециркулированием на реакторный узел.

Для достижения поставленной цели по максимально возможному выделению нормального пентана из готовой продукции для его последующего возврата на блок изомеризации необходимо разработать адекватную математическую модель действующей колонны стабилизации К-2. Исследования выполнялись в программной среде *UniSim Design*.

Колонна содержит 30 клапанных тарелок, 15 из которых однопоточные и находятся в нижней части колонны, а остальные 15 двухпоточные и располагаются в укрепляющей части. При расчёте принимали эффективность контактного устройства равной 0,8. Нестабильный изомеризат подаётся на 15-ю тарелку. Температура верха и куба колонны 49 и 158 °С соответственно, давление в верхней части 1150 кПа, в нижней 1170 кПа.

На рисунке 2 показана модель типовой ректификационной колонны стабилизации К-2 блока изомеризации установки среднетемпературной изомеризации ЛБФ.

Верхом колонны отбирается газовый поток (УВГ), кубовый продукт – стабильный изомеризат (поток Стабильный изомеризат). Рассчитанный компонентный состав потоков колонны представлен в таблице 1.

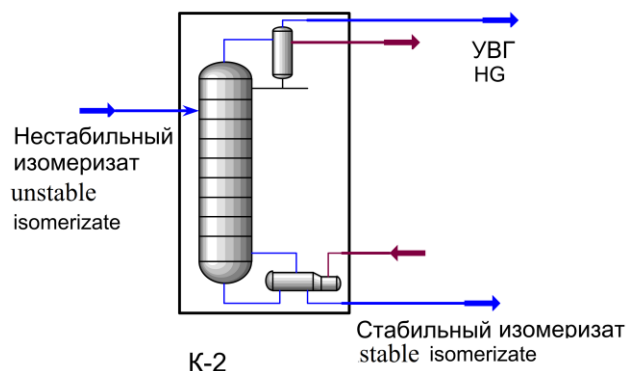


Рисунок 2. Модель типовой ректификационной колонны стабилизации К-2 установки среднетемпературной изомеризации

Figure 2. Model of a typical K-2 stabilization rectification column for medium-temperature isomerization

Для оценки адекватности модели было проведено сравнение рассчитанной по модели и промышленной разгонки стабильного изомеризата (рисунок 3). Видно, что модель адекватно описывает промышленные данные, при этом по углеводородным компонентам, кипящим при температурах выше 65 °С и ниже 50 °С, наблюдается практически полное совпадение.

Таблица 1.

Рассчитанный компонентный состав (% масс.) потоков колонны К-2

Table 1.

Calculated component composition (% mass) of the K-2 column streams

Наименование компонента Component name	Нестабильный изомеризат Unstable isomerizate	Стабильный изомеризат Stable isomerizate	УВГ HG
Водород Hydrogen	0,0044	Следы	0,0585
Метан Methane	0,4392	Следы	5,8398
Этан Ethane	0,5501	Следы	7,3139
Пропан Propane	2,6707	Следы	35,1212
i-бутан i-Butane	3,9661	1,3774	35,7985
n-бутан n-Butane	0,9671	0,5905	5,5985
i-пентан i-Pentane	6,4681	6,6772	3,8965
n-пентан n-Pentane	8,6197	9,0839	2,9114
Циклопентан Cyclopentane	1,8233	1,9479	0,2910
2,2-диметилбутан 2,2-dimethylbutane	6,2818	6,7367	0,6878
2,3-диметилбутан 2,3-dimethylbutane	5,4212	5,8356	0,3251
2-метилпентан 2-methylpentane	16,9600	18,2696	0,8569
3-метилпентан 3-methylpentane	11,5566	12,4581	0,4708
n-гексан n-Hexane	15,5271	16,757	0,4032
Метилциклопентан Methylcyclopentane	14,591	15,7482	0,3620
Циклогексан Cyclohexane	4,1524	4,4848	0,0649
Бензол Benzene	0,0000	0,0000	0,000000
n-гептан n-Heptane	0,0000	0,0000	0,000000
Метилциклогексан Methylcyclohexane	0,0001	0,0011	0,000000
Толуол Toluene	0,0002	0,0002	0,000000
Итого Total	100,0	100,0	100,0

Из таблицы 1 можно отметить (выделено жирным шрифтом), что в стабильном изомеризате содержится порядка 9% масс. непрореагировавшего нормального пентана, присутствие которого снижает октановое число товарного изомеризата и, с другой стороны, являясь не превращенным реагентом, этот углеводород

«теряется» в продукции установки и, соответственно, уменьшается выход выпускаемой товарной продукции. Следовательно, целесообразно его максимально возможное извлечение из стабильного изомеризата с последующим рециклом на реакционный узел.

Результаты и обсуждение

Для оценки возможности максимального извлечения н-пентана из кубового остатка колонны К-2 рассматривали вариант аппаратного изменения схемы с включением в неё дополнительной ректификационной колонны К-2–1 для выделения этого низкооктанового компонента.

Определение оптимальных конструктивных и режимных параметров колонны К-2–1 проведено с использованием утилиты Short Cut Distillation (рисунок 4, таблица 2).

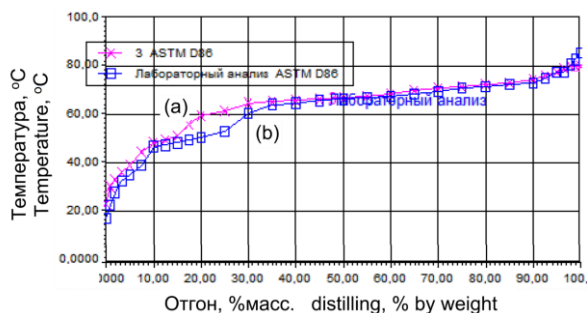


Рисунок 3. Рассчитанная по модели (а) и промышленная (б) разгонки стабильного изомеризата

Figure 3. Calculated by the model (a) and industrial (b) distillation of stable isomerizate

На рисунке 5 показан предлагаемый вариант технологической схемы с включением в неё дополнительной ректификационной колонны К-2–1.

С учётом результатов расчета, приведенных в таблице 2, рассматривали включение в схему ректификационную колонну К-2–1, состоящая из 30 клапанных тарелок (принимали эффективность контактных устройств 0,8). Колонна размещается после аппарата К-2. Кубовый продукт колонны К-2 (технологический поток стабильного изомеризата) является питанием колонны К-2–1 и поступает на её 14-ю тарелку. Поддержание температуры куба обеспечивается с помощью ребойлера. В качестве дистиллята отбирается углеводородная фракция (поток фр. н-С₅), содержащая н-пентан (~ 50% масс.), изо-пентан (~ 37% масс.) и другие компоненты изомеризата (~ 13% масс.) (таблица 3). Кубовый продукт – поток Стабильный изомеризат, из которого выведен н-пентан.

Расчёты показали, что на ректификационной колонне К-2–1 полностью воспроизводятся режимы и компонентные составы технологических потоков, полученные для колонны К-2–1_SCD и приведенные в таблице 2 и таблице 3.

Верхом колонны К-2–1_SCD отбирается фракция н-пентана (поток фр. н-С₅), кубовый продукт – поток Стабильный изомеризат. Компонентные составы потоков показаны в таблице 3.

Анализ полученных результатов показывает, что в кубовом продукте остаточное содержание н-пентана составляет 0,08% масс. (было 9% масс., таблица 1), соответственно, дистиллятом (фракция фр. н-С₅) он отбирается практически полностью (99,3% масс.).

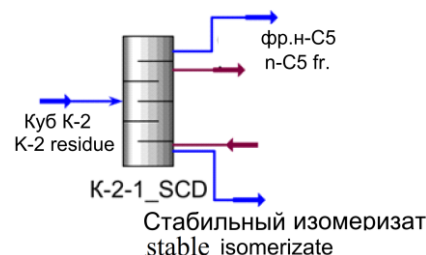


Рисунок 4. Схема колонны К-2–1_SCD

Figure 4. Diagram of the K-2–1_SCD column

Таблица 2.

Оценки конструктивных и режимных параметров колонны К-2–1_SCD

Table 2.

Estimates of the structural and regime parameters of the K-2–1_SCD column

Наименование Description	Значение Value
Минимальное флегмовое число Minimum Reflux	4,7
Минимальное число тарелок Minimum Trays	28,4
Актуальное число тарелок Actual Trays	32,5
Оптимальная тарелка питания Optimal Feed	8,0
Давление в конденсаторе, кПа Condenser pressure, kPa	110
Давление в ребойлере, кПа Reboiler pressure, kPa	160
Температура в конденсаторе, °C Condenser temperature, °C	25,3
Температура в ребойлере, °C Reboiler temperature, °C	79,3

Оптимальный температурный профиль по высоте предлагаемой дополнительной колонны К-2–1 показан на рисунке 6.

На рисунке 7 показана измененная принципиальная схема процесса изомеризации. Красным цветом выделен добавляемый аппарат и его технологические потоки. Выделенная в колонне К-2–1 фракция н-пентана (поток фр. н-С₅) направляется в качестве рециклового потока на колонну К-101 (деизопентанизатор), в которой из сырья реакторов изомеризации выводится

изопентан, являющийся одним из целевых продуктов установки. Расчеты по модели колонны К-101 (не приводятся в настоящем исследовании)

показали, что с увеличением её нагрузки по питанию за счёт добавления потока фр. н-С5 не нарушается устойчивая работа её контактных устройств.

Таблица 3.

Компонентный состав (% масс.) потоков колонны К-2–1_SCD

Table 3.

Component composition (% mass.) of the K-2–1_SCD column streams

Наименование компонента Component name	фр. н-С ₅ n-C ₅ fr.	Стабильный изомеризат Stable isomerizate
Водород Hydrogen	следы traces	следы traces
Метан Methane	следы traces	следы traces
Этан Ethane	0,0002	следы traces
Пропан Propane	0,1764	следы traces
i-бутан i-Butane	7,6643	следы traces
n-бутан n-Butane	3,2852	следы traces
i-пентан i-Pentane	37,1357	0,0008
n-пентан n-Pentane	50,1466	0,0838
Циклопентан Cyclopentane	1,1304	2,1271
2,2-диметилбутан 2,2-dimethylbutane	0,4508	8,1144
2,3-диметилбутан 2,3-dimethylbutane	0,0041	7,1137
2-метилпентан 2-methylpentane	0,0027	22,2731
3-метилпентан 3-methylpentane	0,0005	15,1885
n-гексан n-Hexane	следы traces	20,4296
Метилциклопентан Methylcyclopentane	следы traces	19,1996
Циклогексан Cyclohexane	следы traces	5,4677
Бензол Benzene	следы traces	0,0000
n-гептан n-Heptane	следы traces	0,0000
Метилциклогексан Methylcyclohexane	следы traces	0,0013
Толуол Toluene	следы traces	0,0003
Итого Total	100,0	100,0

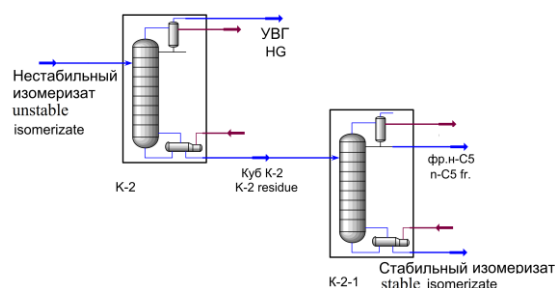


Рисунок 5. Предлагаемая схема с дополнительной колонной К-2–1

Figure 5. Proposed scheme with additional column K-2–1

При использовании предлагаемого аппаратурного оформления схемы ожидается повышение октанового числа товарного изомеризата на 2,1 пункта за счёт снижения в нём содержания низкооктанового н-пентана и увеличение выхода продукции на 8%.

Для промышленной мощности рассматриваемого процесса изомеризации и интервалов

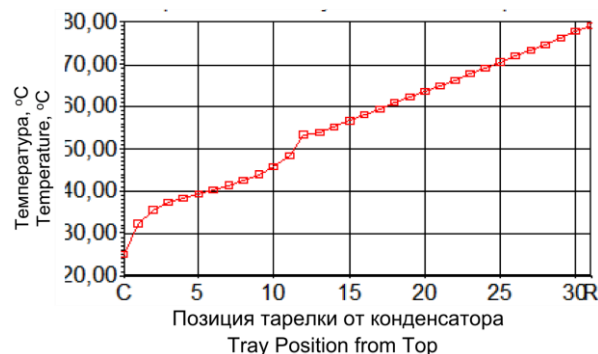


Рисунок 6. Температурный профиль по высоте дополнительной колонны К-2–1

Figure 6. Temperature profile along the height of the K-2–1 additional column

изменения состава стабильного изомеризата конструкционные параметры тарельчатой колонны К-2–1 показаны в таблице 4.

Экономическая эффективность предлагаемого использования дополнительной колонны К-2–1 заключается в изменении количества сырьевой и товарной продукции предприятия при компаундировании автобензинов.

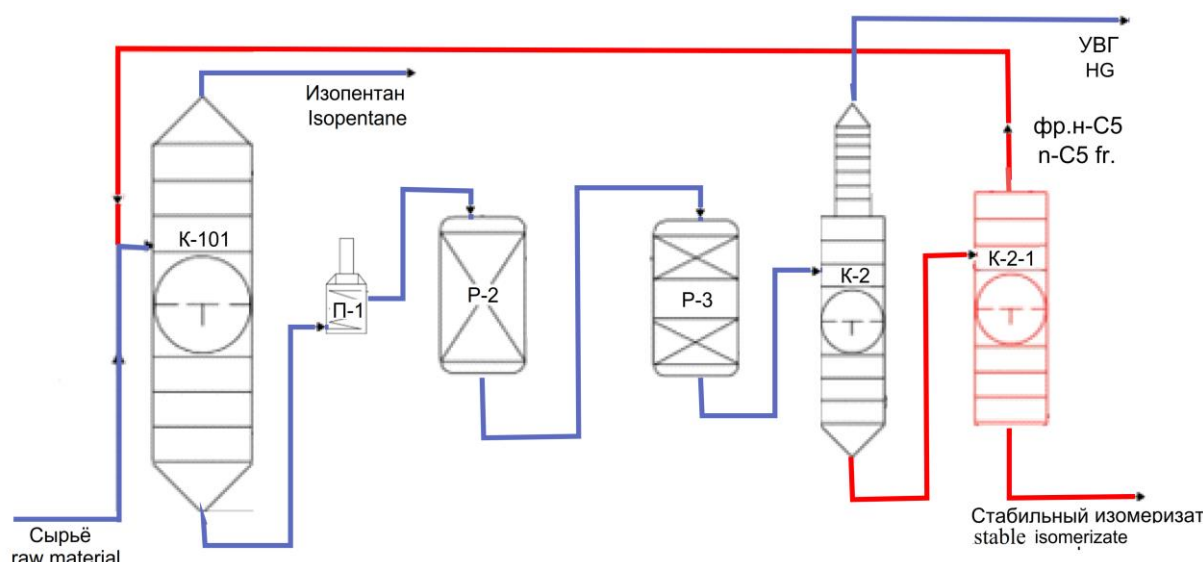


Рисунок 7. Принципиальная схема процесса изомеризации с включением дополнительной колонны: K-101 – колонна деизопентанизатор; П-1 – печь; P-2 и P-3 – реакторы изомеризации; K-2 – стабилизационная колонна; K-2-1 – дополнительная колонна

Figure 7. Schematic diagram of the isomerization process with an additional column: K-101 is the deisopentimizer column; П-1 is the furnace; R-2 and R-3 are the isomerization reactors; K-2 is the stabilization column; K-2-1 is the additional column

Таблица 4.

Конструкционные параметры
ректификационной колонны K-2-1

Table 4.

Design parameters of the K-2-1
rectification column

Параметры Parameters	Значение Value
Высота [м] Height [m]	18,29
Диаметр [м] Diameter [m]	2,8
Число тарелок Number of plates	30
Тип тарелки Internals	Клапанные Valve
Тарелка питания The feed plate	16
Расстояние между тарелками [мм] Tray Spacing [mm]	500
Поточность Flow Paths	2

Закключение

В стабильном изомеризате установки среднетемпературной изомеризации содержится до 9% масс. непрореагировавшего нормального пентана, присутствие которого снижает октановое число товарного изомеризата. При этом н-пентан является не превращенным реагентом, то есть указанное количество «теряется» в продукции установки и, соответственно, уменьшает выход выпускаемой товарной продукции.

Выполненными исследованиями показана возможность его максимального извлечения из стабильного изомеризата с последующим рециклом на реакционный узел включением в технологическую схему дополнительной ректификационной колонны для извлечения н-пентана.

Экономические расчеты показывают целесообразность предложенного технологического решения и прогнозируют его краткосрочную окупаемость.

Литература

- 1 Брежнева О.А., Сидоров Г.М. Получение компонента моторного топлива с улучшенными экологическими свойствами на установке каталитического риформинга // Вестник науки. 2020. Т. 1. № 6 (27). С. 142–148.
- 2 Ивашкина Е.Н., Буевич А.А., Колесникова М.И. и др. Инженерные модели процессов нефтепереработки: повышение эффективности многостадийного производства бензинов // Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов. 2023. Т. 334. № 4. С. 195–208. doi: 10.18799/24131830/2023/4/3992
- 3 Velázquez H.D., Santes V., Amezcua A. et al. Recent progress on catalyst technologies for high quality gasoline production // Catalysis Reviews. 2023. V. 65. № 4. P. 1079–1299. doi: 10.1080/01614940.2021.2003084
- 4 Panfilov N., Semenov I. Problem points of light-naphtha rectification process of isomerization technology // Modern Technologies and Scientific and Technological Progress. 2020. P. 282–287. URL: <https://sci-hub.ru/10.1016/j.proche.2015.10.045>
- 5 Li G., Chen H. Combined technology of continuous reforming and C5/C6 isomerization and its commercial application // Petroleum Processing and Petrochemicals. 2018. V. 49. P. 33–37. URL: <http://www.sylzyhg.com/EN/Y2018/V49/I10/33>
- 6 Zhang Y. Selection and optimization for C5/C6 paraffins isomerization process flowsheet // Petroleum Processing and Petrochemicals. 2013. V. 44. P. 93–96. URL: <http://www.sylzyhg.com/CN/Y2013/V44/I9/93>

- 7 Khajah M., Chehadeh D. Modeling and active constrained optimization of C5/C6 isomerization via Artificial Neural Networks // Chemical Engineering Research and Design. 2022. V. 182. P. 353–367. doi: 10.1016/j.cherd.2022.04.015
- 8 Hidalgo Herrador J.M., Kaucký D., Bortnovsky O. et al. Tailoring of the structure of Pt/WO₃-ZrO₂ catalyst for high activity in skeletal isomerization of C5-C6 paraffins under industrially relevant conditions // Research on Chemical Intermediates. 2015. V. 41. P. 9259–9271. doi: 10.1007/s11164-015-1968-7
- 9 Yu Z., Sun Y., Ren J., Ma A. C5/C6 paraffin isomerization on solid superacid catalyst // Petroleum Processing and Petrochemicals. 2010. V. 26. P. 88–92. doi: 10.3969/j.issn.1001-8719.2010.z1.016
- 10 Wang H., Li J. Microporous Metal-Organic Frameworks for Adsorptive Separation of C5-C6 Alkane Isomers // Accounts of Chemical Research. 2019. V. 52. P. 1325–1334. doi: 10.1021/acs.accounts.8b00658
- 11 Awan Z.H., Bukhari A., Ali A. et al. Process system engineering (PSE) analysis on process and optimization of the isomerization process // Iranian Journal of Chemistry and Chemical Engineering. 2021. V. 40. № 1. P. 289–302.
- 12 Шакун А.Н., Федорова М.Л. Эффективность различных типов катализаторов и технологий изомеризации легких бензиновых фракций // Катализ в промышленности. 2014. № 5. С. 29–37. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=21997500>
- 13 Шакун А.Н., Федорова М.Л., Карпенко Т.В., Демидова Е.В. Развитие процессов изомеризации парафиновых углеводородов // Мир нефтепродуктов. 2020. № 6. С. 6–14. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=44611389>
- 14 Awadh A.J., Ammar S.H. Advances in Catalytic Isomerization Using Heteropolyacid-Based Nanocomposites: A Comprehensive Review // Al-Nahrain Journal for Engineering Sciences. 2024. V. 27. № 4. P. 413–421.
- 15 Smolikov M.D., Shkurenok V.A., Yablokova S.S. et al. Integrated processes of the reforming and isomerization of gasoline fractions for the production of environmentally friendly motor gasolines // Catalysis in Industry. 2022. V. 14. № 3. P. 268–282. doi: 10.1134/S2070050422030116
- 16 Al-Tabbakh B.A., Dawood M.M. Synthesis and characterization of sulfated zirconia catalyst for light naphtha isomerization process // Journal of Petroleum Research and Studies. 2022. V. 12. № 1 (Suppl.). P. 186–198.
- 17 Пат. 2013109862 Российская Федерация, МПК C07C 5/23. Способ изомеризации легких бензиновых фракций / Мнушкин И.А. № 2013109862/04; заявл. 05.03.2013; опубл. 10.09.2014. Бюл. № 25.
- 18 Пат. 2757769 Российская Федерация, МПК C07C 5/22. Способы изомеризации углеводородов / Сачан Р. № 2020136733; заявл. 01.05.2019; опубл. 21.10.2021. Бюл. № 30.
- 19 Пат. 2695218 Российская Федерация, МПК C10G 35/04, 45/60. Способ изомеризации углеводородных фракций C5/C6 с рециркуляцией хлорсодержащих соединений / Пигурье Ж. № 2015143021; заявл. 13.04.2017; опубл. 22.07.2019. Бюл. № 11.
- 20 Пат. 2708613 Российская Федерация, МПК C10G 59/100, 63/100. Способы и устройства для интегрированного процесса изомеризации и платформинга / Глоувер Б.К. № 2017135457; заявл. 08.04.2019; опубл. 10.12.2019. Бюл. № 10.
- 21 Hamied R.S., Al-Jubouri S.M., Al-Hassani M.H. et al. Kinetic Modeling of Light Naphtha Hydroisomerization in an Industrial Universal Oil Products Penex™ Unit // Energy Engineering. 2023. V. 120. № 6. doi: 10.32604/ee.2023.028441
- 22 Потапов М.С., Попов С.В. Совершенствование технологической схемы установки низкотемпературной изомеризации легкой бензиновой фракции // Вестник ВГУИТ. 2024. Т. 86. № 1. С. 258–264. doi: 10.20914/2310-1202-2024-1-258-264
- 23 Попов С.В., Осипян Д.Г. Уменьшение потерь исходного реактанта н-гексана с товарным изомеризатом // Вестник ВГУИТ. 2024. Т. 86. № 3. С. 250–257. doi: 10.20914/2310-1202-2024-3-250-257
- 24 Osman W.S., Abdulrahman A.K., Al-Ghamdi A.A. et al. Optimum Design of Naphtha Recycle Isomerization Unit with Modification by Adding De-Isopentanizer // Processes. 2023. V. 11. P. 3406. doi: 10.3390/pr11123406
- 25 Anugraha R.P., Pramudita D., Susanto H. Techno-economical study on the production of high octane gasoline in light naphtha plant // Journal of Chemical Technology and Metallurgy. 2024. V. 59. № 1. P. 81–86.
- 26 Shehata W.M., Mohamed M.F., Gad F.K. Monitoring and modelling of variables affecting isomerate octane number produced from an industrial isomerization process // Egyptian Journal of Petroleum. 2018. V. 27. № 4. P. 945–953. doi: 10.1016/j.ejpe.2018.02.009

References

- 1 Brezhneva O.A., Sidorov G.M. Obtaining a motor fuel component with improved environmental properties at a catalytic reforming plant. Bulletin of Science. 2020. vol. 1. no. 6 (27). pp. 142–148. (in Russian).
- 2 Ivashkina E.N. et al. Engineering models of oil refining processes: improving the efficiency of multi-stage gasoline production. Proceedings of Tomsk Polytechnic University. Geo Assets Engineering. 2023. vol. 334. no. 4. pp. 195–208. (in Russian).
- 3 Velázquez H.D. et al. Recent progress on catalyst technologies for high quality gasoline production. Catalysis Reviews. 2023. vol. 65. no. 4. pp. 1079–1299. doi: 10.1080/01614940.2021.2003084.
- 4 Panfilov N., Semenov I. Problem points of light-naphtha rectification process of isomerization technology. Modern Technologies and Scientific and Technological Progress. 2020. pp. 282–287. Available at: <https://sci-hub.ru/10.1016/j.proche.2015.10.045>.
- 5 Li G., Chen H. Combined technology of continuous reforming and C5/C6 isomerization and its commercial application. Petroleum Processing and Petrochemicals. 2018. vol. 49. pp. 33–37. Available at: <http://www.sylzyhg.com/EN/Y2018/V49/I10/33>.
- 6 Zhang Y. Selection and optimization for C5/C6 paraffins isomerization process flowsheet. Petroleum Processing and Petrochemicals. 2013. vol. 44. pp. 93–96. Available at: <http://www.sylzyhg.com/CN/Y2013/V44/I9/93>.
- 7 Khajah M., Chehadeh D. Modeling and active constrained optimization of C5/C6 isomerization via Artificial Neural Networks. Chemical Engineering Research and Design. 2022. vol. 182. [Online first]. doi: 10.1016/j.cherd.2022.04.015.
- 8 Hidalgo Herrador J.M., Kaucký D., Bortnovsky O., Sobalik Z., Černý R. Tailoring of the structure of Pt/WO₃-ZrO₂ catalyst for high activity in skeletal isomerization of C5-C6 paraffins under industrially relevant conditions. Research on Chemical Intermediates. 2015. p. 13. doi: 10.1007/s11164-015-1968-7.
- 9 Yu Z., Sun Y., Ren J., Ma A. C5/C6 paraffin isomerization on solid superacid catalyst. Petroleum Processing and Petrochemicals. 2010. vol. 26. pp. 88–92. doi: 10.3969/j.issn.1001-8719.2010.z1.016.
- 10 Wang H., Li J. Microporous Metal-Organic Frameworks for Adsorptive Separation of C5-C6 Alkane Isomers. Accounts of Chemical Research. 2019. vol. 52. [Online first]. doi: 10.1021/acs.accounts.8b00658.

- 11 Awan Z.H. et al. Process system engineering (PSE) analysis on process and optimization of the isomerization process. *Iranian Journal of Chemistry and Chemical Engineering*. 2021. vol. 40. no. 1. pp. 289–302.
- 12 Shakun A.N., Fedorova M.L. Efficiency of various types of catalysts and technologies for isomerization of light gasoline fractions. *Catalysis in Industry*. 2014. no. 5. pp. 29–37. Available at: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=21997500> (in Russian).
- 13 Shakun A.N. et al. Development of isomerization processes of paraffinic hydrocarbons. *World of Petroleum Products*. 2020. no. 6. pp. 6–14. Available at: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=44611389> (in Russian).
- 14 Awadh A.J., Ammar S.H. Advances in Catalytic Isomerization Using Heteropolyacid-Based Nanocomposites: A Comprehensive Review. *Al-Nahrain Journal for Engineering Sciences*. 2024. vol. 27. no. 4. pp. 413–421.
- 15 Smolikov M.D. et al. Integrated processes of the reforming and isomerization of gasoline fractions for the production of environmentally friendly motor gasolines. *Catalysis in Industry*. 2022. vol. 14. no. 3. pp. 268–282.
- 16 Al-Tabbakh B.A., Dawood M.M. Synthesis and characterization of sulfated zirconia catalyst for light naphtha isomerization process. *Journal of Petroleum Research and Studies*. 2022. vol. 12. no. 1 (suppl.). pp. 186–198.
- 17 Patent no. 2013109862 RF. Method of isomerization of light gasoline fractions. Mnushkin I.A. 2014. (in Russian).
- 18 Patent no. 2757769 RF. Methods of isomerization of hydrocarbons. Sachan R. 2021. (in Russian).
- 19 Patent no. 2695218 RF. Method of isomerization of hydrocarbon fractions C5/C6 with recirculation of chlorine-containing compounds. Pigurier J. 2019. (in Russian).
- 20 Patent no. 2708613 RF. Methods and devices for the integrated isomerization and platforming process. Glover B.K. 2019. (in Russian).
- 21 Hamied R.S. et al. Kinetic Modeling of Light Naphtha Hydroisomerization in an Industrial Universal Oil Products Penex™ Unit. *Energy Engineering*. 2023. vol. 120. no. 6. [Online first]. doi: 10.32604/ee.2023.028441.
- 22 Potapov M.S., Popov S.V. Improvement of the technological scheme of the installation of low-temperature isomerization of light gasoline fraction. *Bulletin of VSUET*. 2024. vol. 86. no. 1. pp. 258–264. doi: 10.20914/2310-1202-2024-1-258-264 (in Russian).
- 23 Popov S.V., Osipyan D.G. Reduction of losses of the initial n-hexane reactant with a commercial isomerizate. *Bulletin of VSUET*. 2024. vol. 86. no. 3. pp. 250–257. doi: 10.20914/2310-1202-2024-3-250-257 (in Russian).
- 24 Osman W.S. et al. Optimum Design of Naphtha Recycle Isomerization Unit with Modification by Adding De-Isopentanizer. *Processes*. 2023. vol. 11. article 3406. doi: 10.3390/pr11123406.
- 25 Anugraha R.P. et al. Techno-economical study on the production of high octane gasoline in light naphtha plant. *Journal of Chemical Technology and Metallurgy*. 2024. vol. 59. no. 1. pp. 81–86.
- 26 Shehata W.M., Mohamed M.F., Gad F.K. Monitoring and modelling of variables affecting isomerate octane number produced from an industrial isomerization process. *Egyptian Journal of Petroleum*. 2018. vol. 27. no. 4. pp. 945–953.

Сведения об авторах

Сергей В. Попов к.т.н., доцент, кафедра химии и химической технологии, Самарский государственный технический университет, филиал в г. Новокуйбышевске, ул. Миронова, 5, г. Новокуйбышевск, 446200, Россия, svpopov2018@ya.ru

 <https://orcid.org/0000-0003-0533-9049>

Николай А. Земсков магистрант, кафедра химии и химической технологии, Самарский государственный технический университет, филиал в г. Новокуйбышевске, ул. Миронова, 5, г. Новокуйбышевск, 446200, Россия, zemskov500@gmail.com

Алексей В. Моисеев к.х.н., доцент, кафедра химии и химической технологии, Самарский государственный технический университет, филиал в г. Новокуйбышевске, ул. Миронова, 5, г. Новокуйбышевск, 446200, Россия, moiseev.av@samgtu.ru

Вклад авторов

Все авторы в равной степени принимали участие в написании рукописи и несут ответственность за плагиат

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Information about authors

Sergey V. Popov Cand. Sci. (Engin.), assistant professor, Department of Chemistry and Chemical Technology, Samara State Technical University, branch in Novokuibyshevsk, st. Mironova, 5, Novokuibyshevsk, 446200, Russia, svpopov2018@ya.ru

 <https://orcid.org/0000-0003-0533-9049>

Nikolay A. Zemskov undergraduate, Department of Chemistry and Chemical Technology, Samara State Technical University, branch in Novokuibyshevsk, st. Mironova, 5, Novokuibyshevsk, 446200, Russia, zemskov500@gmail.com

Alexey V. Moiseev Cand. Sci. (Chem.), assistant professor, Department of Chemistry and Chemical Technology, Samara State Technical University, branch in Novokuibyshevsk, st. Mironova, 5, Novokuibyshevsk, 446200, Russia, moiseev.av@samgtu.ru

Contribution

All authors are equally involved in the writing of the manuscript and are responsible for plagiarism

Conflict of interest

The authors declare no conflict of interest.

Поступила 29/03/2026	После редакции 06/04/2026	Принята в печать 29/04/2026
Received 29/03/2026	Accepted in revised 06/04/2026	Accepted 29/04/2026