



Оптимизация технологических режимов колонны деизопентанизатора подготовки сырьевого потока установки низкотемпературной изомеризации ПГИ-ДИГ/280-НК

Евгения Е. Беденко	¹	chemicaluniversity@mail.ru	.
Артемию А. Береговский	²	chemicaluniversity@mail.ru	.
Сергей В. Попов	¹	svpopov2018@ya.ru	 0000-0003-0533-9049
Оксана В. Хабибрахманова	¹	chemicaluniversity@mail.ru	 0000-0002-1523-9861



¹ Самарский государственный технический университет, филиал в г. Новокуйбышевске, ул. Миронова, 5, г. Новокуйбышевск, 446200, Россия

² Уфимский государственный нефтяной технический университет, ул. Космонавтов, 1, Уфа, Респ. Башкортостан, 450062, Россия

Аннотация. Сырьевые фракции, используемые на установках изомеризации, содержат изопентан, являющийся целевым продуктом, а его присутствие в сырье, как «балласта», занимает полезный объем реактора. Для оптимизации состава перерабатываемого сырья на ряде предприятий в технологическую схему включена колонна деизопентанизатора. В работе оценивается возможность оптимизации технологических режимов и конструктивных параметров деизопентанизатора для установки низкотемпературной изомеризации, не имеющей в технологической схеме колонны для извлечения изопентана из состава сырья. Исследования проводили с использованием моделирующей системы Honeywell UniSim Design. Свойства компонентов фракций рассчитывались по методу Peng-Robinson. Расчеты выполнены для двух видов сырья, имеющих в своем составе 8,7÷19,7% мас. изопентана. Выполненными расчетами установлено, что для достижения практически полного извлечения изопентана, находящегося в сырьевом потоке из секции гидроочистки, ректификационная колонна должна содержать 63 теоретических тарелки, а минимальное флегмовое число должно быть $R_{\min}=12,3$. При этом в дистилляте колонны присутствие нормального пентана составит величину не более 0,07% мас., а в кубовом продукте содержание изопентана – также не более 0,07% мас. Моделируется работа ректификационной колонны, содержащей 80 тарелок (эффективность контактного устройства 0,8), тарелка питания – 33. Расход сырья 62550 кг/ч, температура 40°C и давление 294,2 кПа. Сходимость итерационных процессов средой Honeywell UniSim Design получена с использованием активных спецификаций: содержание изопентана в кубе 0,0007 мас.доля и пентана в дистилляте 0,0007 мас.доля. Полученные технологические режимы обеспечивают практически полное извлечение изопентана из состава сырья, а именно на 99,37÷99,7%, при этом для промышленных условий существенным является реализация рассчитанного профиля температур по высоте колонны. Показана возможность использования колонны с одинаковым диаметром в её исчерпывающей и укрепляющей частях.

Ключевые слова: изомеризация, октановое число, колонна деизопентанизатора, моделирование, Honeywell UniSim Design

Optimization of technological regimes of the deisopentanizer column for the preparation of the feed stream of the low-temperature isomerization unit PGI-DIG/280-NK

Evgenia E. Bedenko	¹	chemicaluniversity@mail.ru	.
Artemiy A. Beregovsky	²	chemicaluniversity@mail.ru	.
Sergey V. Popov	¹	svpopov2018@ya.ru	 0000-0003-0533-9049
Oksana V. Khabibrakhmanova	¹	chemicaluniversity@mail.ru	 0000-0002-1523-9861

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

² Ufa State Oil Technical University, st. Kosmonavtov, 1, Ufa, Republic of Bashkortostan, 446200, Russia

Abstract. Raw fractions used in isomerization plants contain isopentane, which is the target product, and its presence in the feed as “ballast” occupies the useful volume of the reactor. To optimize the composition of processed raw materials, a number of enterprises have included a deisopentanizer column in the technological scheme. The paper evaluates the possibility of optimizing the technological regimes and design parameters of a deisopentanizer for a low-temperature isomerization unit that does not have a column in the technological scheme for extracting isopentane from the composition of the feedstock. The studies were carried out using the Honeywell UniSim Design modeling system. The properties of the fraction components were calculated using the Peng-Robinson method. Calculations were made for two types of raw materials containing 8.7÷19.7 wt. isopentane. The performed calculations established that in order to achieve almost complete recovery of isopentane in the feed stream from the hydrotreating section, the distillation column should contain 63 theoretical plates, and the minimum reflux ratio should be $R_{\min}=12.3$. At the same time, the presence of normal pentane in the distillate of the column will not exceed 0.07 wt., and in the bottom product, the content of isopentane will also not exceed 0.07 wt. The operation of a distillation column is simulated, containing 80 plates (the efficiency of the contact device is 0.8), a feed plate is 33. The feedstock consumption is 62550 kg/h, the temperature is 40°C and the pressure is 294.2 kPa. The convergence of iterative processes by the Honeywell UniSim Design environment was obtained using active specifications: the content of isopentane in the cube is 0.0007 wt. share and pentane in the distillate 0.0007 wt. share. The obtained technological modes provide almost complete extraction of isopentane from the composition of the raw material, namely by 99.37÷99.7%, while for industrial conditions it is essential to implement the calculated temperature profile along the height of the column. The possibility of using a column with the same diameter in its exhaustive and strengthening parts is shown.

Keywords: isomerization, octane, deisopentanizer column, modeling, Honeywell UniSim Design

Для цитирования

Беденко Е.Е., Береговский А.А., Попов С.В., Хабибрахманова О.В. Оптимизация технологических режимов колонны деизопентанизатора подготовки сырьевого потока установки низкотемпературной изомеризации ПГИ-ДИГ/280-НК // Вестник ВГУИТ. 2023. Т. 85. № 1. С. 204–211. doi:10.20914/2310-1202-2023-1-204-211

For citation

Bedenko E.E., Beregovsky A.A., Popov S.V., Khabibrakhmanova O.V. Optimization of technological regimes of the deisopentanizer column for the preparation of the feed stream of the low-temperature isomerization unit PGI-DIG/280-NK. *Vestnik VGUIT* [Proceedings of VSUET]. 2023. vol. 85. no. 1. pp. 204–211. (in Russian). doi:10.20914/2310-1202-2023-1-204-211

Введение

При производстве товарных бензинов особое значение имеет процесс изомеризации бензиновых фракций – превращение линейных углеводородов в соединения с разветвленной цепью, которые имеют более высокое октановое число. Его использование позволяет сократить долю ароматических углеводородов, в том числе бензола, снизить содержание серы и олефинов, что удовлетворяет современные требования к качеству автомобильных бензинов [1]. К тому же изомеризация бензиновой фракции позволяет снизить расхождение значений октановых чисел, измеряемых по моторному и исследовательскому методам.

В связи с ужесточением экологических норм и повышением требований к качеству получаемых топлив вопрос совершенствования технологии изомеризации бензиновой фракции на сегодняшний день остаётся актуальным и исследования по совершенствованию процесса и его аппаратного оформления проводятся в различных направлениях. Так, например, исследование кинетики процесса и оптимизация реакционных аппаратов проводится в работе [2]. С целью увеличения производительности реактора в изобретении [3] предлагаются конструктивные изменения аппарата. В исследовании [4] рассматривается способ изомеризации легких бензиновых фракций, затрагивающий контактирование сырья процесса с катализатором, содержащим гидрирующий компонент, оксиды металлов 3В, 4А, 7А, 8А групп периодической системы элементов и кислородсодержащий ион серы.

В большом количестве работ рассматриваются вопросы совершенствования технологии подготовки сырья и разделения компонентов изомеризата. В частности, в патенте [5] предложен адсорбционный способ выделения нормальных парафинов из продукта реакции, что позволяет достичь октанового числа изомеризата 89 пунктов. В работе [6] оценивается возможность снижения энергозатрат в секции разделения установки изомеризации.

Сырьевые фракции, используемые на установках изомеризации содержат изопентан, являющийся целевым продуктом, а его присутствие в сырье, как «баласта», занимает полезный объем реактора. Поэтому вопросы оптимизации состава перерабатываемого сырья рассматриваются во многих исследованиях. В литературных и патентных источниках описаны способы включения в технологическую схему колонн деизопентанизаторов для выделения изопентана из сырьевого потока [7–12]. В [7] результаты исследований получены с использованием комплексной математической модели «HYSYS IZOMER ACTIV».

В патенте RU2 478 601 [9] расчеты выполнены с использованием программы PRO-II. В качестве сырья рассматривается фракция 75–85 °С прямогонного бензина, содержащая 20 и 40% мас. изопентана и пентана соответственно, и не содержащая балластный для реактора бутан. Предлагается использовать деизопентанизатор для выделения из сырьевого потока изопентана. Технологические параметры колонны: давление в колонне от 2 до 4,15 кг/см², температура верха от 48,5 до 73,8 °С; температура низа от 71,9 до 116,8 °С, оценки флегмового числа не приводятся.

Существенным недостатком предложенных технологических режимов колонны является нечеткое разделение компонентов смеси – присутствие пентана в дистилляте в количестве 0.5% мас. и изопентана в кубовом продукте порядка 0.5% мас. даже при использовании в колонне 68 теоретических тарелок.

Также нечеткое разделение компонентов сырьевой смеси достигается в деизопентанизаторе подготовки сырья [10] при использовании в колонне 65 теоретических тарелок и давлении верха и низа 3 и 4 кг/см² соответственно – содержание пентана в дистилляте составляет величину порядка 4,4% мас.

При использовании в качестве деизопентанизатора подготовки сырья сложной ректификационной колонны для достижения требуемой четкости разделения компонентов сырьевого потока потребуется существенный расход потока флегмы [11,12].

Цель работы – оптимизация технологических режимов и оценка конструктивных параметров деизопентанизатора для установки низкотемпературной изомеризации, не имеющей в технологической схеме колонны деизопентанизатора для извлечения изопентана из состава сырья.

Методы

Сырьем типовой установки низкотемпературной изомеризации ПГИ-ДИГ/280-НК является фракция НК-80 °С с установки АВТ или смесь фракции НК-80 °С с фракцией 60–90 °С. На рисунке 1 представлен фрагмент технологической схемы блока изомеризации такой установки, на вход которого поступает продукт от секции гидроочистки [13].

В соответствии с технологической схемой обезвоженное сырье от аппаратов DR-201A/B после предварительного нагрева поступает в реактор гидрогенизации (на схеме не показан) и затем направляется в реакторы изомеризации. В таблице 1 показаны возможные промышленные составы сырья.

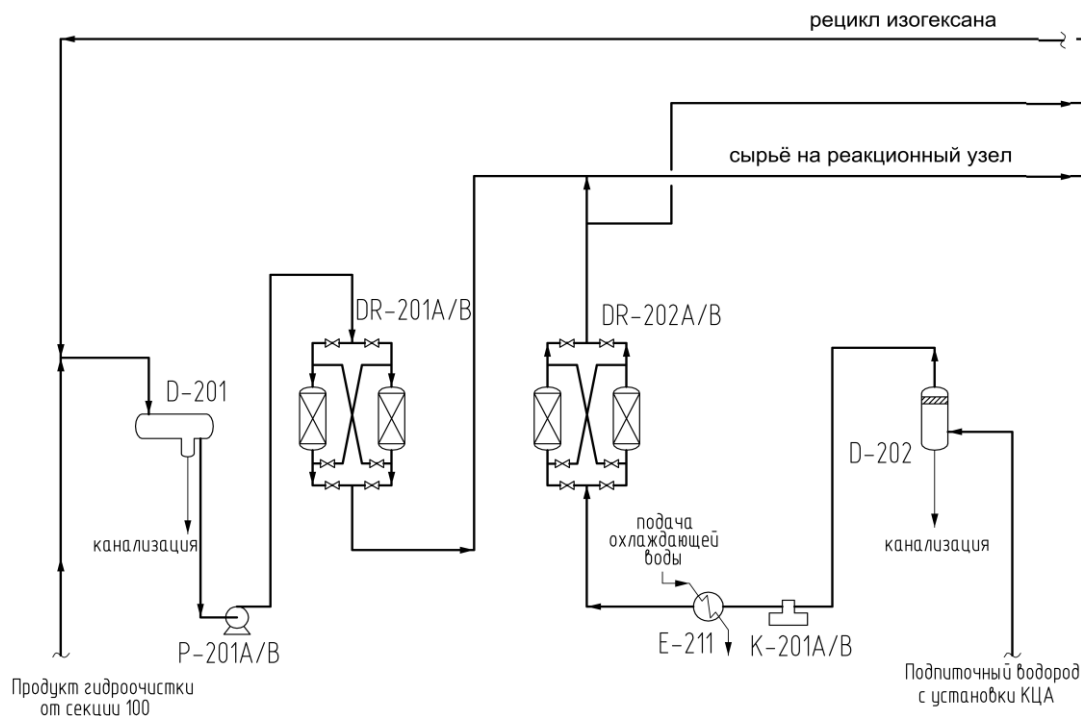


Рисунок 1. Фрагмент технологической схемы блока низкотемпературной изомеризации установки ПГИ-ДИГ/280-НК

Figure 1. Fragment of the technological scheme of the low-temperature isomerization block of the installation ПГИ-ДИГ/280-НК

Таблица 1.
Состав потока, поступающего в реактор
изомеризации первой ступени

Table 1.
The composition of the stream entering the first
stage isomerization reactor

Компоненты Components	Состав сырья № 1, % мас. Content, %	Состав сырья № 2, % мас. Content, %
<i>i</i> -C ₄	0.0048	0.5000
<i>n</i> -C ₄	0.3533	6.4000
<i>i</i> -C ₅	8.7181	19.7000
<i>n</i> -C ₅	12.9660	26.9000
2,2-МБ	1.4213	0.2000
2,3-МБ	4.3822	1.9000
2-МП	20.8848	12.8000
3-МП	14.3410	8.3000
<i>n</i> -C ₆	15.7783	13.7000
ЦП	1.9857	4.3000
МЦП	6.2384	3.4000
БЕНЗОЛ	5.7108	0.9000
ЦГ	3.1320	0.6000
<i>n</i> -C ₇	3.4438	0.2000
МЦГ	0.3965	0.1000
1,1-МЦГ	0.2430	0.1000
ВСЕГО	100.0000	100.0000

Из таблицы 1 видно, что в составе потока сырья содержится 8,7÷19,7% мас. изопентана, который является целевым продуктом установки. Его присутствие приводит к уменьшению полезного реакционного объема реакторов изомеризации. В связи с этим для предприятий, не имеющих в технологической схеме установки изомеризации

колоны выделения изопентана, практический интерес представляет оценка оптимальных технологических режимов и конструктивных параметров колоны для извлечения изопентана из состава сырья. Исследования проводили с использованием моделирующей программной среды Honeywell UniSim Design [14–20]. В качестве математического пакета для расчета термодинамических свойств компонентов технологических потоков использовали метод Peng-Robinson.

Результаты и обсуждение

На рисунке 2 показан вариант технологической схемы с включением в ее состав дополнительной ректификационной колоны **Кдоп**. Колонна **Кдоп** расположена после осушителей сырья DR-201A/B до точки смешения сырья блока с водородом. Схема колоны показана на рисунке 3.

На питание колоны **Кдоп** поступает поток **сырьё колоны**, выходящий из аппаратов DR-201A/B. Компонентный состав и значения технологических параметров данного потока представлены в таблице 2.

Верхом колоны отбирается поток изопентана (поток **фр-иC5**), который является целевым продуктом установки, а кубовый остаток (поток **сырьё-наР**) направляют в реактор гидрогенизации бензола.

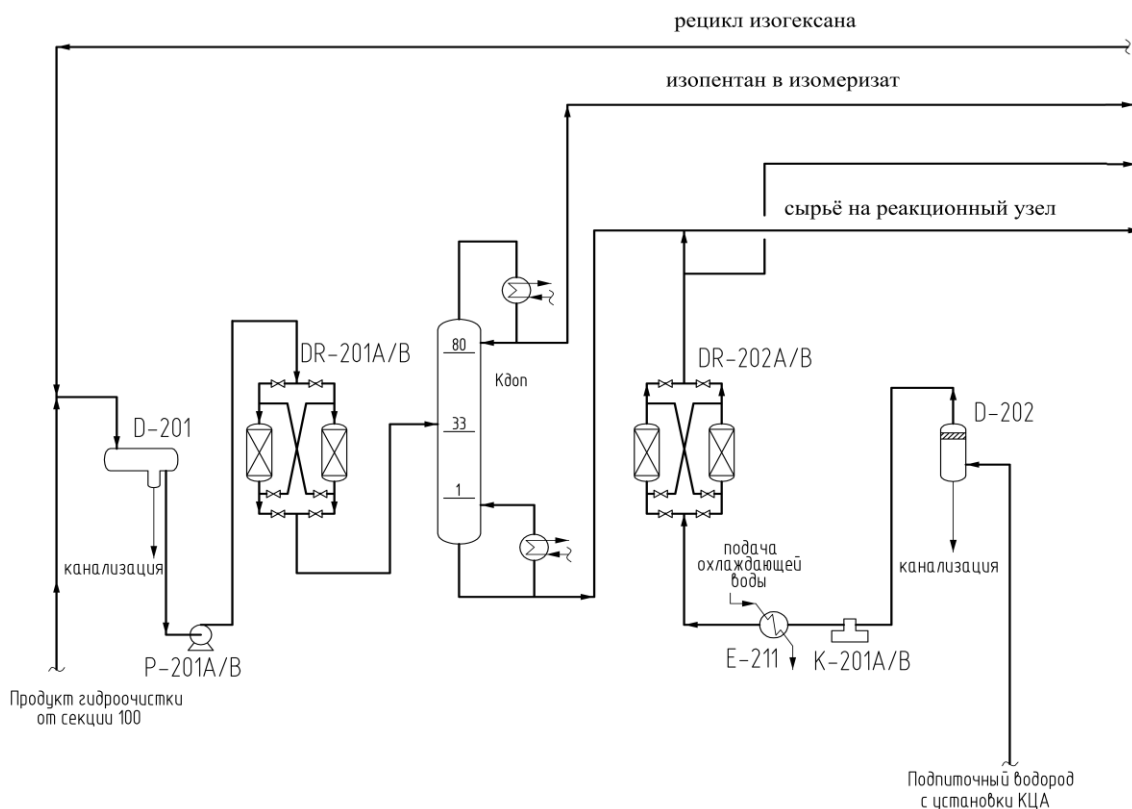


Рисунок 2. Фрагмент измененной технологической схемы блока изомеризации установки ПГИ-ДИГ/280-НК с включением дополнительной колонны извлечения изопентана Кдон

Figure 2. A fragment of the modified process flow diagram of the isomerization block of the PGI-DIG/280-NK unit with the inclusion of an additional isopentane recovery column Кдон

Таблица 2.
Значения технологических параметров (а) и компонентный состав (б) сырья колонны Кдон
(распечатка в Honeywell UniSim Design)

Table 2.
Values of technological parameters (a) and component composition (b) of the feedstock of the Kdon column
(printout in Honeywell UniSim Design)

Stream Name	сырьё+Кдон
Vapour / Phase Fraction	0,0000
Temperature [C]	40,00
Pressure [kPa]	294,2
Molar Flow [kgmole/h]	762,6
Mass Flow [kg/h]	6,255e+004
Std Ideal Liq Vol Flow [m3/h]	92,77
Molar Enthalpy [kJ/kgmole]	-1,708e+005
Molar Entropy [kJ/kgmole-C]	9,505
Heat Flow [kJ/h]	-1,302e+008
Liq Vol Flow @Std Cond [m3/h]	92,23

(a)

	MassFraction
i-Butane	0,000048
n-Butane	0,003533
i-Pentane	0,087181
n-Pentane	0,129660
22-Mbutane	0,014213
23-Mbutane	0,043822
2-Mpentane	0,208848
3-Mpentane	0,143410
n-Hexane	0,157783
Cyclopentane	0,019857
Mcyclopentan	0,062384
Benzene	0,057108
Cyclohexane	0,031320
n-Heptane	0,034438
Mcyclohexane	0,003965
11-Mcychexan	0,002430

(b)

Выполненными расчетами установлено, что для достижения практически полного извлечения изопентана, находящегося в сырьевом потоке из секции гидроочистки, ректификационная колонна должна содержать 63 теоретические тарелки, а минимальное флегмовое число должно

быть $R_{\min} = 12,3$. При этом в дистилляте колонны присутствие нормального пентана составит величину не более 0,07% мас., а в кубовом продукте содержание изопентана – также не более 0,07% мас.

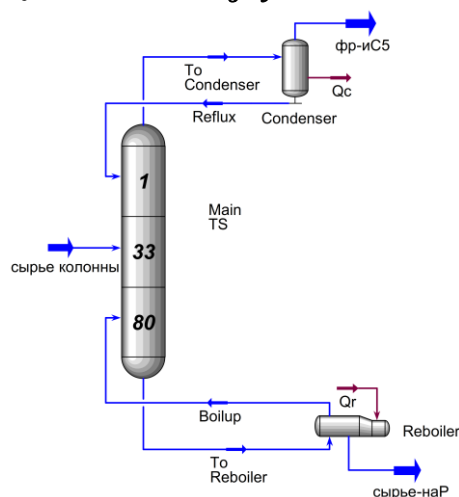


Рисунок 3. Схема ректификационной колонны Кдоп (распечатка в Honeywell UniSim Design)

Figure 3. Scheme of the distillation column Кдоп (printout in Honeywell UniSim Design)

Для моделирования работы колонны и оценки достигаемых технологических показателей использовали следующие конструкционные параметры: число тарелок $N_T = 80$, тарелка питания $N_{пит} = 33$, эффективность контактного устройства 0,8. Расход сырья из секции гидроочистки составил 62550 кг/час. Расчеты показали, что для рассмотренных интервалов содержания компонентов в сырьевом потоке (таблица 1) оптимальные значения флегмового числа $R = 12,3 \div 20,1$; температура в конденсаторе и ребойлере $T_{конд} = 21,5 \div 26,9^\circ \text{C}$ и $T_{реб} = 57,1 \div 66,2^\circ \text{C}$

соответственно при поддержании давления верха $P_{верх} = 101,3$ кПа и давления в кубе колонны $P_{низ} = 130$ кПа. Следует отметить, что полученные технологические режимы являются более «мягкими» по сравнению с соответствующими режимами, описанными в литературе и используемыми на промышленных установках.

Значения рассчитанных технологических параметров и компонентный состав потоков колонны приведены в таблице 3. Графики изменения температурного профиля и величин потоков фаз по высоте колонны показаны на рисунке 4.

Из анализа полученных показателей для колонны Кдоп следует, что предложенные технологические режимы обеспечивают практически полное извлечение изопентана из состава сырья, а именно на $99,37 \div 99,7\%$, при этом для промышленных условий существенным является реализация рассчитанного профиля температур по высоте колонны (рисунок 4а).

Расчеты показали, что уменьшение числа тарелок в колонне извлечения изопентана Кдоп ниже 80 приведет к существенному увеличению флегмового числа, что в свою очередь повлияет на конструкционные параметры аппарата.

Оценка конструкционных параметров колонны Кдоп приведена в таблице 4. Видно, что возможно использование колонны с одинаковым диаметром в её исчерпывающей и укрепляющей частях, при этом изменение состава сырья не вызывает отклонение от устойчивой работы контактных устройств тарелок.

Таблица 3.

Значения технологических параметров (а) и компонентный состав (б) потоков колонны деизопентанизатора Кдоп (распечатка в Honeywell UniSim Design)

Table 3.

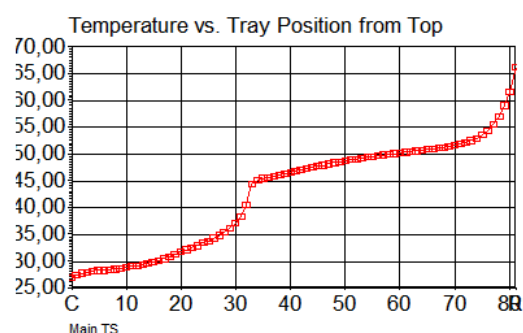
Values of technological parameters (a) and component composition (b) of the flows of the Кдоп deisopentimizer column (printout in Honeywell UniSim Design)

Name	сырье+Кдоп	сырье-наР	фр-иС5
Vapour	0,0000	0,0000	1,0000
Temperature [C]	40,00	66,24	26,92
Pressure [kPa]	294,2	130,0	101,3
Molar Flow [kgmole/h]	762,6	683,6	79,02
Mass Flow [kg/h]	6,255e+004	5,690e+004	5647
Std Ideal Liq Vol Flow [m3/h]	92,77	83,69	9,083
Molar Enthalpy [kJ/kgmole]	-1,708e+005	-1,654e+005	-1,532e+005
Molar Entropy [kJ/kgmole-C]	9,505	17,00	122,1
Heat Flow [kJ/h]	-1,302e+008	-1,130e+008	-1,211e+007

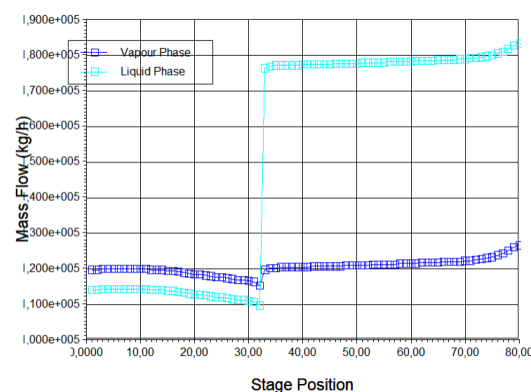
(a)

	сырье+Кдоп	сырье-наР	фр-иС5
i-Butane	0,000068	0,000000	0,000654
n-Butane	0,004985	0,000000	0,048118
i-Pentane	0,099105	0,000691	0,950542
n-Pentane	0,147394	0,164352	0,000686
22-Mbutane	0,013527	0,015091	0,000000
23-Mbutane	0,041707	0,046528	0,000000
2-Mpentane	0,198770	0,221745	0,000000
3-Mpentane	0,136490	0,152266	0,000000
n-Hexane	0,150169	0,167527	0,000000
Cyclopentane	0,023222	0,025906	0,000000
Mcyclopentan	0,060796	0,067823	0,000000
Benzene	0,059966	0,066898	0,000000
Cyclohexane	0,030523	0,034051	0,000000
n-Heptane	0,028188	0,031446	0,000000
Mcyclohexane	0,003312	0,003695	0,000000
11-Mcychexan	0,001776	0,001982	0,000000

(b)



(a)



(b)

Рисунок 4. Графики изменения технологических параметров по высоте колонны: (a) – температурный профиль в °C; (b) – потоки паровой и жидкой фаз в кг/ч (распечатка в Honeywell UniSim Design)

Figure 4. Graphs of changes in technological parameters along the height of the column: (a) – temperature profile in °C; (b) – vapor and liquid phase flows in kg/h (printout in Honeywell UniSim Design)

Таблица 4.
Конструкционные параметры колонны Кдоп
(распечатка в Honeywell UniSim Design)

Table 4.
Structural parameters of the Кдоп column (printout in Honeywell UniSim Design)

Tray Results		
Section	Section_1	Section_2
Internals	Valve	Valve
Section Diameter [m]	3,505	3,505
Max Flooding [%]	83,98	78,46
X-Sectional Area [m2]	9,650	9,650
Section Height [m]	16,00	21,60
Section DeltaP [kPa]	25,46	33,31
Number of Flow Paths	2	3
Flow Length [mm]	1321	977,9
Flow Width [mm]	3006	2949
Max DC Backup [%]	47,40	46,03
Max Weir Load [m3/h-m]	34,04	35,16
Max DP/Tray [kPa]	0,829	0,711
Tray Spacing [mm]	500,0	450,0
Total Weir Length [mm]	5481	8298
Weir Height [mm]	50,80	50,80
Active Area [m2]	7,942	8,651
DC Clearance [mm]	38,10	38,10
DC Area [m2]	0,8541	0,4995
Side Weir Length [m]	1,975	1,638
Hole Area [m2]	1,215	1,324

Заключение

Анализ состава технологических потоков промышленной установки низкотемпературной изомеризации, не имеющей в технологической схеме колонны выделения изопентана из состава

сырья, показал, что в технологическом потоке, поступающем в реактор изомеризации первой ступени содержится от 8,72 до 19,7% мас. изопентана, присутствие которого в реакторе приводит к соответствующему уменьшению его полезного реакционного объема. Изменение технологической схемы процесса с включением в ее состав дополнительной колонны извлечения изопентана из потока сырья **Кдоп** позволит на функционирующих реакторах изомеризации повысить их производительность. В программной среде Honeywell UniSim Design было выполнено моделирование работы ректификационной колонны **Кдоп** и найдены оценки её оптимальных технологических режимов и конструкционных параметров, которые в соответствии с результатами вычислительного эксперимента обеспечивают извлечение изопентана из состава сырья на 99,37÷99,7%, что соответствует «высвобождению» используемого реакционного объема примерно на 9÷20%. Рассчитанные технологические режимы существенно отличаются от соответствующих режимов, описанных в литературных и патентных источниках или используемых на промышленных установках, и являются более «мягкими» по значениям температурных интервалов и диапазона давлений в колонне, что в промышленных условиях обеспечит снижение затрат на энергоресурсы.

Литература

- 1 ИТС 30–2017. М.: Бюро НДТ, 2017. 635 с.
- 2 Long N. V. D., Lee M. A novel NGL (natural gas liquid) recovery process based on self-heat recuperation // Energy. 2013. V. 57. P. 663-670. doi: 10.1016/j.energy.2013.04.078
- 3 Пат. № 2034643, RU, B01J 8/02. Реактор / Панкратов А.В., Стариков Н.Ф. № 4939902/26; Заяв. 29.05.1991; Оpubл. 10.05.1995.
- 4 Пат. № 2321575, RU, C07C 5/27, B01J 23/40, 21/04, 21/06, 23/84, 27/053. Способ изомеризации легких бензиновых фракций / Шакунов А.Н., Федорова М.Л. № 2006128932/04; Заяв. 19.06.2006; Оpubл. 10.04.2008.

- 5 Пат. № 182214, RU, C07C 5/27, 7/12, C10G 25/000, C07C 9/16. Установка для изомеризации легких бензиновых фракций / Гурко Н.С., Кузичкин Н.В., Сладковский Д.А., Семикин К.В., Сладковская Е.В., Смирнова Д.А., Осипенко У.Ю. № 2017145033; Заяв. 21.12.2017; Опубл. 07.08.2018.
- 6 Фаизов А.Р. и др. Совершенствование технологии разделения продуктов изомеризации // Нефтегазовое дело. 2014. Т. 12. № 4. С. 76–82.
- 7 Чеканцев Н.В. и др. Оптимизация состава перерабатываемого сырья на установках каталитического риформинга бензинов и изомеризации пентан-гексановой фракции с использованием комплексной математической модели «HYSYS IZOMER ACTIV» // Фундаментальные исследования. 2013. № 8. С. 766–772.
- 8 Оганесян С.А., Нападковский В.В., Ежов В.В. и др. Установка изомеризации в ОАО «НК Роснефть-Комсомольский нефтеперерабатывающий завод» // Химия и технология топлив и масел. 2002. № 5. С. 6–7.
- 9 Пат. № 2478601, RU, C07C 7/04, 5/27, 9/18, 9/10, 9/16. Способ разделения изопентан-пентан-гексановой фракции / Мнушкин И.А., Ханнанов В.Р., Гасанова О.И. № 2012102213/04; Заявл. 23.01.2012; Опубл. 10.04.2013, Бюл. № 10.
- 10 Пат. № 2680377, RU, C07C 5/22, 9/12, 9/16. Способ разделения бензиновых фракций в процессе изомеризации / Мнушкин И.А. № 2018132218; Заявл. 10.09.2018; Опубл. 20.02.2019, Бюл. № 5.
- 11 Береговский А.А., Попов С.В., Хабибрахманова О.В. Об использовании на установке изомеризации фракции нк-62 блока выделения бензолсодержащей фракции установки каталитического риформинга // Нефтепереработка и нефтехимия. 2020. № 11. С. 3–4.
- 12 Береговский А.А., Попов С.В., Хабибрахманова О.В. Повышение эффективности работы установки изомеризации вовлечением фракции нк-62 блока выделения бензолсодержащей фракции установки каталитического риформинга // Нефтепереработка и нефтехимия. 2021. № 3. С. 20–22.
- 13 Kalita R., Kanda A., Gentry J.C. Network of dividing wall columns in complex process units // Chemical engineering. 2018. V. 69.
- 14 Chuzlov V.A., Ivanchina E.D., Dolganov I.M., Sejtanova G.Z. et al. The Branched C5-C6 Hydrocarbons Synthesis on Pt-Catalyst // Current Organic Synthesis. 2017. V. 14. №. 3. P. 332-341.
- 15 Long N.V.D., Lee M., Lee M., Long N.V.D. Promising Retrofit Technologies for Single Column // Advances in Distillation Retrofit. 2017. P. 43-70.
- 16 Reddy C.C.S., Fang Y., Rangaiah G.P. Improving energy efficiency of distillation using heat pump assisted columns // Asia-Pacific Journal of Chemical Engineering. 2014. V. 9. №. 6. P. 905-928. doi: 10.1002/apj.1842
- 17 Capron B.D.O., Odloak D. A combined Lqr-MPC robust strategy with input saturation for the control of a deisobutanizer distillation column // Proceedings. 2013.
- 18 Long N.V.D., Lee M.Y. Design and optimization of heat integrated dividing wall columns for improved debutanizing and deisobutanizing fractionation of NGL // Korean Journal of Chemical Engineering. 2013. V. 30. P. 286-294. doi: 10.1007/s11814-012-0149-2
- 19 Azizah Z., Sutikno J.P., Handogo R., Hikmadiyah R.A. Inverted decoupling MIMO internal model control using Mp tuning // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. IOP Publishing, 2020. V. 736. №. 2. P. 022101. doi: 10.1088/1757-899X/736/2/022101
- 20 Zhou S., Shekhah O., Jia J., Czaban-Jóźwiak J. et al. Electrochemical synthesis of continuous metal-organic framework membranes for separation of hydrocarbons // Nature Energy. 2021. V. 6. №. 9. P. 882-891. doi: 10.1038/s41560-021-00881-y

References

- 1 ITS 30-2017. Moscow, Bureau of NDT, 2017. 635 p. (in Russian).
- 2 Long N. V. D., Lee M. A novel NGL (natural gas liquid) recovery process based on self-heat recuperation. Energy. 2013. vol. 57. pp. 663-670. doi: 10.1016/j.energy.2013.04.078
- 3 Pankratov A.V., Starikov N.F. Reactor. Patent RF, no. 2034643, 1995.
- 4 Shakun A.N., Fedorova M.L. Method of isomerization of light gasoline fractions. Patent RF, no. 2321575, 2008.
- 5 Gurko N.S., Kuzichkin N.V., Sladkovsky D.A., Semikin K.V. et al. Installation for isomerization of light gasoline fractions. Patent RF, no. 182214, 2018.
- 6 Fayzov A.R. et al. Improving the technology of separation of isomerization products. Oil and gas business. 2014. vol. 12. no. 4. pp. 76-82. (in Russian).
- 7 Chekantsev N.V. et al. Optimization of the composition of processed raw materials at installations of catalytic reforming of gasoline and isomerization of the pentane-hexane fraction using a complex mathematical model "HYSYS IZOMER ACTIV". Fundamental Research. 2013. no. 8. pp. 766-772. (in Russian).
- 8 Oganessian S.A., Atakovsky V.V., Yezhov V.V. et al. Isomerization unit in JSC "NK Rosneft-Komsomolsk Oil Refinery". Chemistry and technology of fuels and oils. 2002. no. 5. pp. 6-7. (in Russian).
- 9 Mnushkin I.A., Khannanov V.R., Gasanova O.I. Method of separation of isopentane-pentane-hexane fraction. Patent RF, no. 2478601, 2013.
- 10 Mnushkin I.A. Method of separation of gasoline fractions in the process of isomerization. Patent RF, no. 2680377, 2019.
- 11 Beregovsky A.A., Popov S.V., Habibrakhmanova O.V. On the use of fraction isomerization at the installation nk 62 of the benzene-containing fraction separation unit of the catalytic reforming unit. Oil refining and petrochemistry. 2020. no. 11. pp. 3-4. (in Russian).
- 12 Beregovsky A.A., Popov S.V., Khabibrakhmanova O.V. Improving the efficiency of the isomerization unit by involving the nk 62 fraction of the benzene-containing fraction separation unit of the catalytic reforming unit. Oil refining and petrochemistry. 2021. no. 3. pp. 20-22. (in Russian).
- 13 Kalita R., Kanda A., Gentry J.C. Network of dividing wall columns in complex process units. Chemical engineering. 2018. vol. 69.


- 14 Chuzlov V.A., Ivanchina E.D., Dolganov I.M., Sejtenova G.Z. et al. The Branched C5-C6 Hydrocarbons Synthesis on Pt-Catalyst. *Current Organic Synthesis*. 2017. vol. 14. no. 3. pp. 332-341.
- 15 Long N.V.D., Lee M., Lee M., Long N.V.D. Promising Retrofit Technologies for Single Column. *Advances in Distillation Retrofit*. 2017. pp. 43-70.
- 16 Reddy C.C.S., Fang Y., Rangaiah G.P. Improving energy efficiency of distillation using heat pump assisted columns. *Asia-Pacific Journal of Chemical Engineering*. 2014. vol. 9. no. 6. pp. 905-928. doi: 10.1002/apj.1842
- 17 Capron B.D.O., Odloak D. A combined Lqr-MPC robust strategy with input saturation for the control of a deisobutanizer distillation column. *Proceedings*. 2013.
- 18 Long N.V.D., Lee M.Y. Design and optimization of heat integrated dividing wall columns for improved debutanizing and deisobutanizing fractionation of NGL. *Korean Journal of Chemical Engineering*. 2013. vol. 30. pp. 286-294. doi: 10.1007/s11814-012-0149-2
- 19 Azizah Z., Sutikno J.P., Handogo R., Hikmadiyah R.A. Inverted decoupling MIMO internal model control using Mp tuning. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. IOP Publishing, 2020. vol. 736. no. 2. pp. 022101. doi: 10.1088/1757-899X/736/2/022101
- 20 Zhou S., Shekhah O., Jia J., Czaban-Jóźwiak J. et al. Electrochemical synthesis of continuous metal-organic framework membranes for separation of hydrocarbons. *Nature Energy*. 2021. vol. 6. no. 9. pp. 882-891. doi: 10.1038/s41560-021-00881-y

Сведения об авторах


Евгения Е. Беденко магистрант, кафедра химии и химической технологии, Самарский государственный технический университет, филиал в г. Новокуйбышевске, ул. Миронова, 5, г. Новокуйбышевск, 446200, Россия, chemicaluniversity@mail.ru

Артемию А. Береговский аспирант, кафедра технологии нефти и газа, Уфимский государственный нефтяной технический университет, ул. Космонавтов, 1, г. Уфа, Респ. Башкортостан, 450062, Россия, chemicaluniversity@mail.ru

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>

Оксана В. Хабибрахманова к.х.н., доцент, кафедра химии и химической технологии, Самарский государственный технический университет, филиал в г. Новокуйбышевске, ул. Миронова, 5, г. Новокуйбышевск, 446200, Россия, chemicaluniversity@mail.ru

 <https://orcid.org/0000-0002-1523-9861>

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


Evgenia E. Bedenko master student, chemistry and chemical technology department, Samara State Technical University, branch in Novokuibyshevsk, st. Mironova, 5, Novokuibyshevsk, 446200, Russia, chemicaluniversity@mail.ru

Artemiy A. Beregovsky graduate student, technology of oil and gas department, Ufa State Oil Technical University, st. Kosmonavtov, 1, Ufa, Republic of Bashkortostan, 446200, Russia, chemicaluniversity@mail.ru

Sergey V. Popov Cand. Sci. (Engin.), associate professor, chemistry and chemical technology department, Samara State Technical University, branch in Novokuibyshevsk, st. Mironova, 5, Novokuibyshevsk, 446200, Russia, svpopov2018@ya.ru

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

Oksana V. Khabibrakhmanova Cand. Sci. (Chem.), associate professor, chemistry and chemical technology department, Samara State Technical University, branch in Novokuibyshevsk, st. Mironova, 5, Novokuibyshevsk, 446200, Russia, chemicaluniversity@mail.ru

 <https://orcid.org/0000-0002-1523-9861>

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 09/01/2023	После редакции 03/02/2023	Принята в печать 01/03/2023
Received 09/01/2023	Accepted in revised 03/02/2023	Accepted 01/03/2023