УДК 66.011

ОПТИМИЗАЦИЯ ПРОЦЕССА РЕКТИФИКАЦИИ ГИДРОГЕНИЗАТА НА КОМПЛЕКСЕ ПРОИЗВОДСТВА АРОМАТИЧЕСКИХ УГЛЕВОДОРОДОВ

OPTIMIZATION OF HYDROGENIZATE RECTIFICATION PROCESS AT THE AROMATIC HYDROCARBON PRODUCTION COMPLEX

М. Р. Юсупов, А.В. Ганцев

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

Marsel R. Yusupov, Alexander V. Gantsev

Ufa State Petroleum Technological University, Ufa, Russian Federation

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

Аннотация. В статье рассмотрена возможность оптимизации процесса ректификации гидрогенизата на комплексе производства ароматических углеводородов для уменьшения общих энергозатрат.

На сегодняшний день важнейшей задачей энергетики и экономики страны в целом является сокращение энергоемкости производства и широкого внедрения энергосберегающих технологий. Российские НПЗ стараются увеличить собственную энергоэффективность путем применения современных технологий, улучшения рекуперации тепла, увеличения КПД печей, модернизацией оборудования, переобвязкой и перенаправлением потоков.

Некоторые НПЗ включают в себя комплексы по производству ароматических углеводородов, построенных по типовому проекту компании UOP. Основой комплекса по производству ароматических углеводородов является установка каталитического риформинга,



перерабатывающая в настоящее время гидроочищенную бензиновую фракцию (70-170° С). Для выделения сырья определенного фракционного состава гидрогенизат направляется на установку ректификации бензинов (секция 100 КПА). Для разделения гидроочищенного бензина на фракции затрачивается большое количество энергии, которое можно уменьшить при оптимальной конфигурации установки.

В статье представлены результаты моделирования секции 100 КПА и возможные пути оптимизации процесса ректификации, позволяющие увеличить энергоэффективность установки в целом не снижая качество продуктов.

Abstract. The article discusses the possibility of optimizing the process of rectification of hydrotreated fractions at the complex for the production of aromatic hydrocarbons in the direction of reducing the total energy consumption.

Today, the most important task of the energy sector and the country's economy as a whole is to reduce the energy intensity of production and the widespread introduction of energy-saving technologies. Russian refineries are trying to increase their own energy efficiency by using modern technologies, improving heat recovery, increasing the efficiency of furnaces, modernizing equipment, repiping and redirecting flows.

Some refineries include complexes for the production of aromatic hydrocarbons, built according to the standard design of the UOP company. The basis of such a complex for the production of aromatic hydrocarbons is a catalytic reforming unit that processes narrow hydrotreated gasoline fractions (70-170 ° C). To isolate raw materials of a certain fractional composition, the hydrogenated product is sent to the gasoline rectification unit (section 100 KPA). At the same time, a large amount of energy is spent to separate gasoline into fractions, which can be reduced with the optimal configuration of the unit.

The article presents the results of modeling the section 100 KPA and possible ways to optimize the rectification process, which make it possible to increase the



energy efficiency of the installation as a whole without reducing the quality of the products.

Ключевые слова: бензин; гидрогенизат; энергоэффективность; производство ароматических углеводородов; процесс ректификации; каталитический риформинг

Key words: petrol; hydrogenate; energy efficiency; production of aromatic hydrocarbons; rectification process; catalytic reforming

В современном мире наблюдается тенденция к сокращению парниковых газов путем уменьшения потребления топлива, использования «зелёной энергии» и водородной энергетики, модернизации производств и замены устаревшего оборудования для соответствия процессов экологическим нормам и стандартам. Стоит отметить, что одним из главных источников парниковых газов является нефтегазодобывающая промышленность, причем около половины потребления топливно-энергетических ресурсов приходится на нефтегазоперерабатывающую сферу. Таким образом, повышение энергоэффективности на НПЗ является экологически важной задачей, и для её достижения нефтеперерабатывающие компании идут путем применения современных технологий, улучшения рекуперации тепла, увеличения КПД печей, модернизацией оборудования, переобвязкой и перенаправлением потоков [1-4].

На некоторых НПЗ есть комплексы по производству ароматических углеводородов (КПА), предназначенные для переработки бензиновых фракций в бензол, орто- и параксилол. Перед тем как превратить ароматический бензиновые фракции концентрат В на установке каталитического риформинга, бензины гидроочищают путем ректификации добиваются необходимого фракционного состава сырья риформинга (70-170 °C). Установка ректификации бензинов (секция 100) представлена на рисунке 1. Из гидроочищенных бензинов выделяют



изопентановую фракцию нк-62 °C, 62-70 °C (сырьё изомеризации), фракции 70–130 °C и 130–170 °C (сырье риформинга) и тяжелую бензиновую фракцию 170-кк. В зависимости от потребностей продуктов, фракция 130-170 °C направляется на риформинг бензинового профиля или 70–130 °C совместно с фракцией ДЛЯ получения ароматических углеводородов. Таким образом, процесс ректификации гидрогенизата важен для оптимального выхода ароматических углеводородов и товарного изомеризата [5–9]. Процесс каталитического риформинга находится в прямой зависимости от технологических параметров данной установки, но при этом для более четкого разделения фракций расходуется иногда неоправданно большое количество энергоресурсов. Поэтому оптимизировать соотношение требуемых энергетических затрат для процесса и выход товарных продуктов [9, 10].

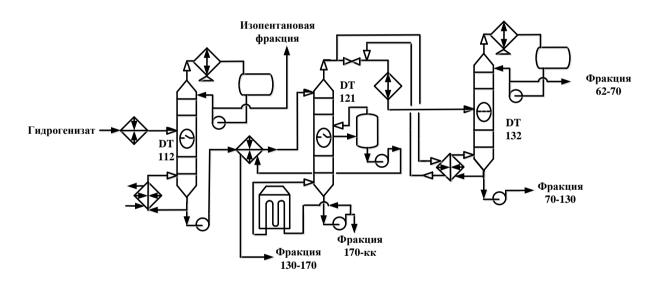


Рисунок 1. Технологическая схема секции 100 КПА

Оптимизацию процесса ректификации гидрогенизата путем создания математической модели в программном продукте Aspen Hysys.

Для создания более точной модели были проанализированы групповые углеводородные составы продуктов секции 100 на газовом хроматографе «Хроматэк-Кристалл 5000».



Результаты анализов представлены в таблице 1. Проанализированная фракция nk-62°C содержит 3,66 % масс. бутана, 0,25 % масс. изобутана, 93,45 % масс. изопентана, 2,64 % пентана.

Таблица 1. Углеводородный состав продуктов секции 100, % масс.

СВ ВОВ ВОВ ВОВ ВОВ ВОВ ВОВ ВОВ ВОВ ВОВ В													
C5 28,1502 2,6107 0.0102 2,6649 0.0000 0.0000 33,4360 C6 22,3371 34,2233 0.0043 7,9689 1,9540 0.0000 66,4876 C7 0.0000 0.0727 0.0037 0.0000 0.0000 0.0000 0.0000 0.0000 0.0000 0.0000 0.0000 100,000 C8 0.0006 0.0007 0.0000<	Количество углерода	Парафины	Изопарафины	Олефины	Нафтены	Ароматика	Неизвестные	Всего					
C5 28,1502 2,6107 0.0102 2,6649 0.0000 0.0000 33,4360 C6 22,3371 34,2233 0.0043 7,9689 1,9540 0.0000 66,4876 C7 0.0000 0.0727 0.0037 0.0000 <th< td=""><td></td><td colspan="12">Фракция 62-70</td></th<>		Фракция 62-70											
C6 22,3371 34,2233 0.0043 7,9689 1,9540 0.0000 66,4876 C7 0.0000 0.0727 0.0037 0.0000 0.0000 0.0000 0.0000 0.0000 0.0000 100,000 Фракция 70-130°C С5 0.0006 0.0007 0.0000 0.0000 0.0000 0.0000 0.0000 0.0013 C6 1,0019 0,0343 0,0005 5,4093 0,2765 0.0000 33,9779 C7 9,2119 11,2305 0,0008 11,1439 2,3908 0,0000 33,9779 C8 7,3626 9,7713 0,0000 11,4036 3,4861 0,0000 32,0236 C9 4,2300 6,9592 0,0232 6,2884 1,8997 0,0000 19,4005 C10 0,9175 2,8014 0,0000 1,5462 0,5787 0,0000 5,8438 C11 0,1258 0,4476 0,0034 0,2875 0,0782 0,0000 0,0434	C_5	28,1502	2,6107			0.0000	0.0000	33,4360					
C7 0.0000 0.0727 0.0037 0.0000 0.0000 0.0000 0.0000 0.0764 Beero 50,4873 36,9067 0.0181 10,6338 1,9540 0.0000 100,00 Фракция 70-130°C C5 0.0006 0.0007 0.0000 0.0000 0.0000 0.0000 0.0000 0.0000 C6 1,0019 0,0343 0,0005 5,4093 0,2765 0,0000 33,9779 C7 9,2119 11,2305 0,0008 11,1439 2,3908 0,0000 33,9779 C8 7,3626 9,7713 0,0000 11,4036 3,4861 0,0000 32,0236 C9 4,2300 6,9592 0,0232 6,2884 1,8997 0,0000 19,4005 C10 0,9175 2,8014 0,0000 1,5462 0,5787 0,0000 5,8438 C11 0,1258 0,4476 0,0034 0,2875 0,0782 0,0000 0,0425 C12 0,0134 <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td>													
Всего 50,4873 36,9067 0,0181 10,6338 1,9540 0,0000 100,00 Фракция 70-130°C C5 0.0006 0.0007 0.0000 0.0000 0.0000 0.0000 0.0000 0.0013 C6 1,0019 0,0343 0,0005 5,4093 0,2765 0,0000 33,9779 C8 7,3626 9,7713 0,0000 11,4036 3,4861 0,0000 32,0236 C9 4,2300 6,9592 0,0232 6,2884 1,8997 0,0000 19,4005 C10 0,9175 2,8014 0,0000 1,5462 0,5787 0,0000 5,8438 C11 0,1258 0,4476 0,0034 0,2875 0,0782 0,0000 0,9425 C12 0,0134 0,0108 0,0000 0,0000 0,0396 0,0000 0,0345 C14 0,0000 0,0000 0,0000 0,0194 0,0000 0,0345 C14 0,0000 0,0000 0,0000		0.0000	'	0.0037	0.0000	0.0000	0.0000	0,0764					
Фракция 70-130°C C5 0.0006 0.0007 0.0000 33,9779 C8 7,3626 9,7713 0,0000 11,4036 3,4861 0,0000 32,0236 C9 4,2300 6,9592 0,0232 6,2884 1,8997 0,0000 19,4005 C10 0,9175 2,8014 0,0000 1,5462 0,5787 0,0000 19,4005 C10 0,9175 2,8014 0,0004 1,5462 0,5787 0,0000 5,4438 C11 0,1258 0,4476 0,0034 0,2875 0,0782 0,0000 0,9425 C12 0,0134 0,0108 0,0000 0,0000 0,0396 0,0000 0,0345 C14 0,0000 0,0000 0,0000 <	—												
C5 0.0006 0.0007 0.0000 0.0000 0.0000 0.0000 0.0000 0.0013 C6 1,0019 0,0343 0,0005 5,4093 0,2765 0,0000 6,7225 C7 9,2119 11,2305 0,0008 11,1439 2,3908 0,0000 33,9779 C8 7,3626 9,7713 0,0000 11,4036 3,4861 0,0000 32,0236 C9 4,2300 6,9592 0,0232 6,2884 1,8997 0,0000 19,4005 C10 0,9175 2,8014 0,0000 1,5462 0,5787 0,0000 5,8438 C11 0,1258 0,4476 0,0034 0,2875 0,0782 0,0000 0,9425 C12 0,0134 0,0108 0,0000 0,0000 0,0396 0,0000 0,0345 C14 0,0000 0,0000 0,0000 0,0144 0,0000 0,0345 C14 0,0000 0,0000 0,0000 0,0164 0,0000 0,0016 </td <td></td> <td colspan="10"></td>													
C6 1,0019 0,0343 0,0005 5,4093 0,2765 0,0000 6,7225 C7 9,2119 11,2305 0,0008 11,1439 2,3908 0,0000 33,9779 C8 7,3626 9,7713 0,0000 11,4036 3,4861 0,0000 32,0236 C9 4,2300 6,9592 0,0232 6,2884 1,8997 0,0000 19,4005 C10 0,9175 2,8014 0,0000 1,5462 0,5787 0,0000 5,8438 C11 0,1258 0,4476 0,0034 0,2875 0,0782 0,0000 0,9425 C12 0,0134 0,0108 0,0000 0,0000 0,0194 0,0000 0,0396 0,0000 0,0345 C14 0,0000 0,0000 0,0000 0,0194 0,0000 0,0345 C14 0,0000 0,0000 0,0000 0,1864 0,0000 0,1864 Bcero 22,8771 31,2558 0,0296 36,0789 8,9555 0,	C ₅	0.0006	0.0007	-	1	0.0000	0.0000	0.0013					
C7 9,2119 11,2305 0,0008 11,1439 2,3908 0,0000 33,9779 C8 7,3626 9,7713 0,0000 11,4036 3,4861 0,0000 32,0236 C9 4,2300 6,9592 0,0232 6,2884 1,8997 0,0000 19,4005 C10 0,9175 2,8014 0,0000 1,5462 0,5787 0,0000 5,8438 C11 0,1258 0,4476 0,0034 0,2875 0,0782 0,0000 0,9425 C12 0,0134 0,0108 0,0000 0,0000 0,0396 0,0000 0,0638 C13 0,0134 0,0000 0,0017 0,0000 0,0194 0,0000 0,0345 C14 0,0000 0,0000 0,0000 0,1864 0,0000 0,1864 Bcero 22,8771 31,2558 0,0296 36,0789 8,9555 0,0000 9,1968 C5 0.0000 0,0017 0.0000 0.0000 0.0000 0.0000 0.													
C ₈ 7,3626 9,7713 0,0000 11,4036 3,4861 0,0000 32,0236 C ₉ 4,2300 6,9592 0,0232 6,2884 1,8997 0,0000 19,4005 C ₁₀ 0,9175 2,8014 0,0000 1,5462 0,5787 0,0000 5,8438 C ₁₁ 0,1258 0,4476 0,0034 0,2875 0,0782 0,0000 0,9425 C ₁₂ 0,0134 0,0108 0,0000 0,0000 0,0396 0,0000 0,0638 C ₁₃ 0,0134 0,0000 0,0017 0,0000 0,0194 0,0000 0,0345 C ₁₄ 0,0000 0,0000 0,0000 0,0000 0,1864 0,0000 0,1864 Bcero 22,8771 31,2558 0,0296 36,0789 8,9555 0,0000 99,1968 C ₅ 0.0000 0.0017 0.0000 0.0000 0.0000 0.0000 0.0000 0.0000 0.0001 C ₆ 0.0000 0.0001 0.0000 <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td>11.1439</td> <td>2,3908</td> <td>0.0000</td> <td>33.9779</td>					11.1439	2,3908	0.0000	33.9779					
С9 4,2300 6,9592 0,0232 6,2884 1,8997 0,0000 19,4005 С10 0,9175 2,8014 0,0000 1,5462 0,5787 0,0000 5,8438 С11 0,1258 0,4476 0,0034 0,2875 0,0782 0,0000 0,9425 С12 0,0134 0,0108 0,0000 0,0000 0,0396 0,0000 0,0638 С13 0,0134 0,0000 0,0017 0,0000 0,0194 0,0000 0,0345 С14 0,0000 0,0000 0,0000 0,0000 0,1864 0,0000 0,1864 Bcero 22,8771 31,2558 0,0296 36,0789 8,9555 0,0000 9,1968 Фракция 130-170°C С5 0.0000 0.0017 0.0000 0.0000 0.0000 0.0000 0.0001 0.0017 C6 0.0000 0.0000 0.0000 0.0000 0.0016 0.0000 0.0031 C7 0.0000 0.0000													
C10 0,9175 2,8014 0,0000 1,5462 0,5787 0,0000 5,8438 C11 0,1258 0,4476 0,0034 0,2875 0,0782 0,0000 0,9425 C12 0,0134 0,0108 0,0000 0,0000 0,0396 0,0000 0,0638 C13 0,0134 0,0000 0,0017 0,0000 0,0194 0,0000 0,0345 C14 0,0000 0,0000 0,0000 0,0000 0,0000 0,1864 0,0000 0,1864 Bcero 22,8771 31,2558 0,0296 36,0789 8,9555 0,0000 99,1968 Фракция 130-170°C C5 0.0000 0.0017 0.0000 0.0000 0.0000 0.0000 0.0000 0.0016 0.0000 0.0017 C6 0.0000 0.0000 0.0015 0.0016 0.0000 0.0031 C8 0,0971 0,0246 0,0000 0,5465 0,3692 0,0000 1,0375 C9			•										
$\begin{array}{c ccccccccccccccccccccccccccccccccccc$			· · · · · · · · · · · · · · · · · · ·				•						
$\begin{array}{c ccccccccccccccccccccccccccccccccccc$													
C13 0,0134 0,0000 0,0017 0,0000 0,0194 0,0000 0,0345 C14 0,0000 0,0000 0,0000 0,1864 0,0000 0,1864 Bcero 22,8771 31,2558 0,0296 36,0789 8,9555 0,0000 99,1968 Фракция 130-170°C C5 0.0000 0.0017 0.0000 0.0000 0.0000 0.0000 0.0001 C6 0.0000 0.0001 0.0000 0.0000 0.0000 0.0001 0.0001 C7 0.0000 0.0000 0.0015 0.0016 0.0000 0.0031 C8 0.0971 0,0246 0,0000 0,5465 0,3692 0,0000 1,0375 C9 4,3985 1,7376 0,0000 7,9853 11,3418 0,0000 25,4633 C10 16,5368 20,6204 0,0000 16,5396 7,8402 0,0000 61,5371 C11 0,9408 7,2275 0,0389 3,1239 0,3285 </td <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td>0,0000</td> <td></td>							0,0000						
C14 0,0000 0,0000 0,0000 0,1864 0,0000 0,1864 Bcero 22,8771 31,2558 0,0296 36,0789 8,9555 0,0000 99,1968 Фракция 130-170°C C5 0.0000 0.0017 0.0000 0.0000 0.0000 0.0000 0.0000 0.0001 C6 0.0000 0.0000 0.0000 0.0015 0.0016 0.0000 0.0031 C8 0,0971 0,0246 0,0000 0,5465 0,3692 0,0000 1,0375 C9 4,3985 1,7376 0,0000 7,9853 11,3418 0,0000 25,4633 C10 16,5368 20,6204 0,0000 16,5396 7,8402 0,0000 61,5371 C11 0,9408 7,2275 0,0389 3,1239 0,3285 0,0000 11,6596 C12 0,0839 0,0938 0,0021 0,0000 0,0338 0,0000 0,0338 0,0000 0,0339 0,0000 0,0139		0,0134	0,0000	0,0017	0,0000	0,0194	0,0000	0,0345					
Всего 22,8771 31,2558 0,0296 36,0789 8,9555 0,0000 99,1968 Фракция 130-170°C C5 0.0000 0.0017 0.0000 0.0000 0.0000 0.0000 0.0001 C6 0.0000 0,0001 0.0000 0.0026 0.0000 0.0041 C7 0.0000 0.0000 0.0015 0.0016 0.0000 0.0031 C8 0,0971 0,0246 0,0000 0,5465 0,3692 0,0000 1,0375 C9 4,3985 1,7376 0,0000 7,9853 11,3418 0,0000 25,4633 C10 16,5368 20,6204 0,0000 16,5396 7,8402 0,0000 61,5371 C11 0,9408 7,2275 0,0389 3,1239 0,3285 0,0000 11,6596 C12 0,0839 0,0938 0,0021 0,0000 0,0039 0,0000 0,2736 C13 0,0100 0,0000 0,0000 0,0009 0,0018<		0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,1864	0,0000	0,1864					
C5 0.0000 0.0017 0.0000 0.0000 0.0000 0.0000 0.0000 0.0000 0.0000 0.0000 0.0000 0.0000 0.0000 0.0000 0.0000 0.0000 0.0000 0.0016 0.0000 0.0031 C8 0,0971 0,0246 0,0000 0,5465 0,3692 0,0000 1,0375 C9 4,3985 1,7376 0,0000 7,9853 11,3418 0,0000 25,4633 C10 16,5368 20,6204 0,0000 16,5396 7,8402 0,0000 61,5371 C11 0,9408 7,2275 0,0389 3,1239 0,3285 0,0000 11,6596 C12 0,0839 0,0938 0,0021 0,0000 0,0938 0,0000 0,2736 C13 0,0100 0,0000 0,0000 0,0039 0,0000 0,0139 C14 0,0027 0,0000 0,0000 0,0018 0,0000 0,0044 Всего 22,0699 29,7072 0,0409			31,2558	0,0296	36,0789	8,9555	0,0000	99,1968					
C6 0.0000 0,0015 0.0000 0.0000 0.0026 0.0000 0.0041 C7 0.0000 0.0000 0.0015 0.0016 0.0000 0.0031 C8 0,0971 0,0246 0,0000 0,5465 0,3692 0,0000 1,0375 C9 4,3985 1,7376 0,0000 7,9853 11,3418 0,0000 25,4633 C10 16,5368 20,6204 0,0000 16,5396 7,8402 0,0000 61,5371 C11 0,9408 7,2275 0,0389 3,1239 0,3285 0,0000 11,6596 C12 0,0839 0,0938 0,0021 0,0000 0,0938 0,0000 0,038 0,0000 0,039 0,0000 0,0139 C13 0,0100 0,0000 0,0000 0,0000 0,0018 0,0000 0,0044 Bcero 22,0699 29,7072 0,0409 28,1969 19,9834 0,0000 9,0028 C2 0.0000 0.0000 0.0				Фракция	130-170°C	1	1	•					
C6 0.0000 0,0015 0.0000 0.0000 0.0026 0.0000 0.0041 C7 0.0000 0.0000 0.0015 0.0016 0.0000 0.0031 C8 0,0971 0,0246 0,0000 0,5465 0,3692 0,0000 1,0375 C9 4,3985 1,7376 0,0000 7,9853 11,3418 0,0000 25,4633 C10 16,5368 20,6204 0,0000 16,5396 7,8402 0,0000 61,5371 C11 0,9408 7,2275 0,0389 3,1239 0,3285 0,0000 11,6596 C12 0,0839 0,0938 0,0021 0,0000 0,0938 0,0000 0,0398 0,0000 0,2736 C13 0,0100 0,0000 0,0000 0,0009 0,0039 0,0000 0,0139 C14 0,0027 0,0000 0,0000 0,0000 0,0018 0,0000 0,0044 Bcero 22,0699 29,7072 0,0409 28,1969 1	C_5	0.0000	0.0017	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0017					
C7 0.0000 0.0000 0.0015 0.0016 0.0000 0.0031 C8 0,0971 0,0246 0,0000 0,5465 0,3692 0,0000 1,0375 C9 4,3985 1,7376 0,0000 7,9853 11,3418 0,0000 25,4633 C10 16,5368 20,6204 0,0000 16,5396 7,8402 0,0000 61,5371 C11 0,9408 7,2275 0,0389 3,1239 0,3285 0,0000 11,6596 C12 0,0839 0,0938 0,0021 0,0000 0,0938 0,0000 0,2736 C13 0,0100 0,0000 0,0000 0,0039 0,0000 0,0139 C14 0,0027 0,0000 0,0000 0,0018 0,0000 0,0044 Всего 22,0699 29,7072 0,0409 28,1969 19,9834 0,0000 99,9984 С7 0.0000 0.0000 0.0000 0.0000 0.0000 0.0000 0.0000 0.0000 <td< td=""><td></td><td>0.0000</td><td>0,0015</td><td>0.0000</td><td>0.0000</td><td>0.0026</td><td>0.0000</td><td>0.0041</td></td<>		0.0000	0,0015	0.0000	0.0000	0.0026	0.0000	0.0041					
C8 0,0971 0,0246 0,0000 0,5465 0,3692 0,0000 1,0375 C9 4,3985 1,7376 0,0000 7,9853 11,3418 0,0000 25,4633 C10 16,5368 20,6204 0,0000 16,5396 7,8402 0,0000 61,5371 C11 0,9408 7,2275 0,0389 3,1239 0,3285 0,0000 11,6596 C12 0,0839 0,0938 0,0021 0,0000 0,0938 0,0000 0,2736 C13 0,0100 0,0000 0,0000 0,0039 0,0000 0,0139 C14 0,0027 0,0000 0,0000 0,0018 0,0000 0,0044 Всего 22,0699 29,7072 0,0409 28,1969 19,9834 0,0000 99,9984 С7 0.0000 0.0000 0.0028 0.0000 0.0000 0.0000 0.0000 0.0028 C8 0.0032 0.0000 0.0000 0.0191 0.0730 0.0033 <td< td=""><td>C_7</td><td>0.0000</td><td>0.0000</td><td>0.0000</td><td>0.0015</td><td>0.0016</td><td>0.0000</td><td>0.0031</td></td<>	C_7	0.0000	0.0000	0.0000	0.0015	0.0016	0.0000	0.0031					
С9 4,3985 1,7376 0,0000 7,9853 11,3418 0,0000 25,4633 С10 16,5368 20,6204 0,0000 16,5396 7,8402 0,0000 61,5371 С11 0,9408 7,2275 0,0389 3,1239 0,3285 0,0000 11,6596 С12 0,0839 0,0938 0,0021 0,0000 0,0938 0,0000 0,2736 С13 0,0100 0,0000 0,0000 0,0000 0,0039 0,0000 0,0139 С14 0,0027 0,0000 0,0000 0,0018 0,0000 0,0044 Всего 22,0699 29,7072 0,0409 28,1969 19,9834 0,0000 99,9984 С7 0.0000 0.0000 0.0028 0.0000 0.0000 0.0000 0.0000 0.0028 С8 0.0032 0.0000 0.0000 0.0191 0.0730 0.0000 0.0953 С9 1.8772 0,3785 0,2273 4,1332 14,1197 <t< td=""><td></td><td>0,0971</td><td>0,0246</td><td>0,0000</td><td>0,5465</td><td>0,3692</td><td>0,0000</td><td>1,0375</td></t<>		0,0971	0,0246	0,0000	0,5465	0,3692	0,0000	1,0375					
C10 16,5368 20,6204 0,0000 16,5396 7,8402 0,0000 61,5371 C11 0,9408 7,2275 0,0389 3,1239 0,3285 0,0000 11,6596 C12 0,0839 0,0938 0,0021 0,0000 0,0938 0,0000 0,2736 C13 0,0100 0,0000 0,0000 0,0000 0,0039 0,0000 0,0139 C14 0,0027 0,0000 0,0000 0,0018 0,0000 0,0044 Всего 22,0699 29,7072 0,0409 28,1969 19,9834 0,0000 99,9984 С7 0.0000 0.0000 0.0028 0.0000 0.0000 0.0000 0.0000 0.0028 C8 0.0032 0.0000 0.0000 0.0191 0.0730 0.0000 0.0953 C9 1.8772 0,3785 0,2273 4,1332 14,1197 0,0033 20,7392		4,3985	1,7376	0,0000	7,9853	11,3418	0,0000	25,4633					
C12 0,0839 0,0938 0,0021 0,0000 0,0938 0,0000 0,2736 C13 0,0100 0,0000 0,0000 0,0000 0,0039 0,0000 0,0139 C14 0,0027 0,0000 0,0000 0,0000 0,0018 0,0000 0,0044 Bcero 22,0699 29,7072 0,0409 28,1969 19,9834 0,0000 99,9984 С7 0.0000 0.0000 0.0028 0.0000 0.0000 0.0000 0.0028 C8 0.0032 0.0000 0.0000 0.0191 0.0730 0.0000 0.0953 C9 1.8772 0,3785 0,2273 4,1332 14,1197 0,0033 20,7392		16,5368	20,6204	0,0000	16,5396	7,8402	0,0000	61,5371					
C12 0,0839 0,0938 0,0021 0,0000 0,0938 0,0000 0,2736 C13 0,0100 0,0000 0,0000 0,0000 0,0039 0,0000 0,0139 C14 0,0027 0,0000 0,0000 0,0000 0,0018 0,0000 0,0044 Bcero 22,0699 29,7072 0,0409 28,1969 19,9834 0,0000 99,9984 С7 0.0000 0.0000 0.0028 0.0000 0.0000 0.0000 0.0028 C8 0.0032 0.0000 0.0000 0.0191 0.0730 0.0000 0.0953 C9 1.8772 0,3785 0,2273 4,1332 14,1197 0,0033 20,7392	C ₁₁	0,9408	7,2275	0,0389	3,1239	0,3285	0,0000	11,6596					
C14 0,0027 0,0000 0,0000 0,0000 0,0018 0,0000 0,0044 Всего 22,0699 29,7072 0,0409 28,1969 19,9834 0,0000 99,9984 Фракция 170-кк C7 0.0000 0.0000 0.0028 0.0000 0.0000 0.0000 0.0028 C8 0.0032 0.0000 0.0000 0.0191 0.0730 0.0000 0.0953 C9 1.8772 0,3785 0,2273 4,1332 14,1197 0,0033 20,7392		0,0839	0,0938	0,0021	0,0000	0,0938	0,0000	0,2736					
C14 0,0027 0,0000 0,0000 0,0000 0,0018 0,0000 0,0044 Всего 22,0699 29,7072 0,0409 28,1969 19,9834 0,0000 99,9984 Фракция 170-кк C7 0.0000 0.0000 0.0028 0.0000 0.0000 0.0028 C8 0.0032 0.0000 0.0000 0.0191 0.0730 0.0000 0.0953 C9 1.8772 0,3785 0,2273 4,1332 14,1197 0,0033 20,7392	—	0,0100	0,0000	0,0000	0,0000	0,0039	0,0000	0,0139					
Фракция 170-кк C7 0.0000 0.0000 0.0028 0.0000 0.0000 0.0000 0.0028 C8 0.0032 0.0000 0.0000 0.0191 0.0730 0.0000 0.0953 C9 1.8772 0,3785 0,2273 4,1332 14,1197 0,0033 20,7392	C ₁₄	0,0027	0,0000	0,0000	0,0000	0,0018	0,0000	0,0044					
C7 0.0000 0.0000 0.0028 0.0000 0.0000 0.0000 0.0000 C8 0.0032 0.0000 0.0000 0.0191 0.0730 0.0000 0.0953 C9 1.8772 0,3785 0,2273 4,1332 14,1197 0,0033 20,7392	Всего	22,0699	29,7072	0,0409	28,1969	19,9834	0,0000	99,9984					
C ₈ 0.0032 0.0000 0.0000 0.0191 0.0730 0.0000 0.0953 C ₉ 1.8772 0,3785 0,2273 4,1332 14,1197 0,0033 20,7392	Фракция 170-кк												
C9 1.8772 0,3785 0,2273 4,1332 14,1197 0,0033 20,7392	C ₇	0.0000	0.0000	0.0028	0.0000	0.0000	0.0000	0.0028					
	C_8	0.0032	0.0000	0.0000	0.0191	0.0730	0.0000	0.0953					
C10 14,5147 22,5839 0,5639 9,8364 8,6688 4,3127 60,4802	C ₉	1.8772	0,3785	0,2273	4,1332	14,1197	0,0033	20,7392					
	C_{10}	14,5147	22,5839	0,5639	9,8364	8,6688	4,3127	60,4802					



Количество углерода	Парафины	Изопарафины	Олефины	Нафтены	Ароматика	Неизвестные	Всего
C_{11}	2,3588	10,4988	0,0000	2,5949	2,0460	0,0000	17,4985
C_{12}	0,2853	0,1326	0,0000	0,0000	0,4894	0,0000	0,9072
C_{13}	0,0027	0,0167	0,0006	0,0000	0,2142	0,0000	0,2342
C_{14}	0,0097	0,0000	0,0000	0,0000	0,0250	0,0000	0,0347
Всего	19,0515	33,6104	0,7946	16,5836	25,6360	4,3160	95,6761

Полученные значения по результатам анализов группового углеводородного состава вводили в состав моделируемых продуктовых потоков, которые затем смешали для получения сырьевого потока гидрогенизата.

Установка ректификации была смоделирована и откалибрована по режимным параметрам и качеству полученных продуктов. Мнемосхема полученной модели секции 100 представлена на рисунке 2.

В технологической схеме секции 100 пары колонны DT-121 используются как греющий агент ребойлера колонны DT-132, поэтому в колонне DT-121 поддерживается высокое давление для обеспечения движения паров как теплоносителя в системе.

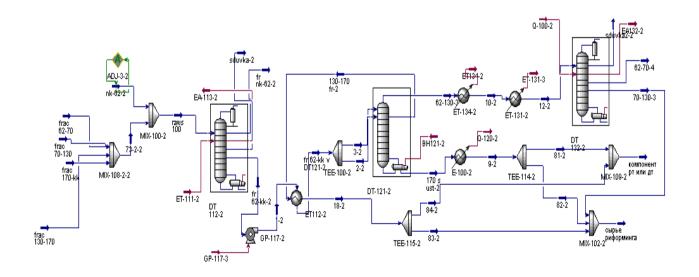


Рисунок 2. Модель секции 100 КПА, выполненная в Aspen Hysys



При текущей схеме затрачивается большое количество энергии на подогрев куба колонн DT-112, DT-121, DT-132, и соответственно на охлаждение верха данных колонн.

Предлагается модернизировать данную схему, изменив последовательность движения потоков между колоннами.

В таблице 2 представлены режимные параметры колонн при обычной технологической схеме.

В суммарных энергозатратах подвод тепла в куб DT-132 не учитывался, поскольку там используется тепло потока верха DT121.

Из таблицы 2 видно, что большая часть энергетических затрат приходится на первую колонну DT-112 из-за высокого давления и большой подачи орошения. Такой технологический режим обусловлен требованием к высокому содержанию изопентана в дистилляте (фракция нк-62°С), что приводит к большим затратам энергии на четкое разделение фракций. В колонне DT-121 большой теплоподвод обусловлен высоким давлением (0,44 МПа), которое поддерживают для исключения возможности попадания тяжелых углеводородов в сырьё риформинга и движения паров верха как греющего агента.

Таблица 2. Режимные параметры модели секции 100 КПА

Режимный параг	Единица измерения	DT112	DT121	DT132				
Расход	Сырьё	1	117,4	111,4	97,9			
	Орошение		166	-	81,3			
	Дистиллят		6	97,9	15			
	Боковой	т/ч		10	-			
	погон		-	10				
	Кубовый		111,4	3,5	82,9			
	продукт		111,4	5,5	02,9			
Давление	Верх	МПа	0,23	0,44	0,05			
Температура	Сырьё		116	134	112			
	Верх	°C	53	176	40			
	Орошение	C	50	-	40			
	Низ		127	244	100			
Затраты энергии								
Теплоподвод в куб колон		16,3	10,82	-				
Охлаждение верха колони	МВт	15,9	-	7,8				
Итого		32,2	10,82	7,8				
Общие энергозатраты		50,8						



Исходя из этих условий, предложены несколько вариантов изменения последовательности ректификации гидрогенизата для уменьшения затрачиваемого количества энергии при сохранении выхода и качества продуктов. Технологические схемы предлагаемой модернизации представлены на рисунке 3.

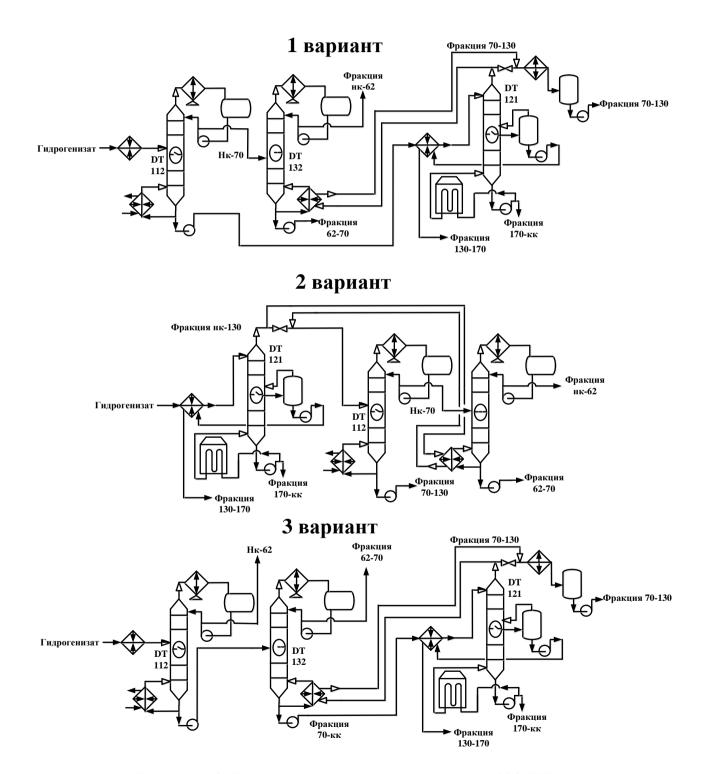


Рисунок 3. Варианты модернизации секции 100 КПА



В первом предлагаемом варианте гидрогенизат сначала поступает в колонну DT-112, где выделяется фракция нк-70°С при давлении 0,15 МПа. Далее фракция нк-70°С разделяется в колонне DT-132 при давлении 0,12 МПа на фракции нк-62°С и 62-70°С.

Фракция 70-кк разделяется в колонне DT-121 при давлении 0,35 МПа на фракции 70-130°C, 130-170°C и 170-кк. Такая последовательность ректификации за счет снижения давления в колоннах DT-112 и DT-121 позволяет снизить общие энергозатраты на 20,8 МВт.

0.35 МΠа Bo втором варианте гидрогенизат при давлении в DT-121 разделяется на фракции 170-кк, 130-170°С и нк-130°С. Фракция нк-130 °C сначала отдаёт необходимое количество тепла в ребойлере DT-132, после чего поступает в колонну DT-112, где при давлении 0,12МПа разделяется на фракции 70-130°C и нк-70°C. Фракция нк-70°C делится в колонне DT-132 при давлении 0,12 МПа на фракции нк-62°С и 62-70°С. При такой схеме общие энергозатраты снижаются до 29,1 МВт. Увеличение нагрузки колонны DT-121 по сырью приводит к увеличению энергозатрат, компенсируется вводом сырья В DT-112 однако ЭТО температурой, что приводит к снижению расхода теплоносителя в ребойлер.

При третьем варианте после колонны DT-112 фракция 62-кк направляется в колонну DT-132, где выделяется фракция 62-70°С, таким образом, уменьшается нагрузка по сырью на DT-121, но растет нагрузка на DT-132. Полученная фракция 70-кк направляется в колонну DT-121, где выделяют остальные фракции 70-130°С, 130-170°С, 170-кк. Такая схема требует на 0,4 МВт меньше энергозатрат, чем при обычном варианте работы секции 100, поэтому такой вариант в перспективе рассматриваться не может.

Результаты расчета энергозатрат представлены в таблице 3. Модернизация модели текущей технологической схемы выполнялась с сохранением материального баланса и качества потоков.



Исходя из таблицы 3, можно сделать вывод, что при предлагаемой модернизации (варианты 1, 2), основные энергозатраты уменьшаются в колонне DT-112 за счет снятия ограничения по качеству изопентановой фракции, и следовательно снижения давления и расхода орошения из-за увеличения конца кипения дистиллята.

Таблица 3. Режимные параметры секции 100 при различных вариантах модернизации технологической схемы

Режимный параметр		Единица измерения	1 вариант		2 вариант			3 вариант			
			DT112	DT121	DT132	DT112	DT121	DT132	DT112	DT121	DT132
	Сырьё		117,4	111,4	21	103,9	117,4	21	117,4	96,4	111,4
	Орошение		60	-	40	80	-	40	166	-	60
Расход	Дистиллят	т/ч	21	97,9	6	21	103,9	6	6	82,9	15
	Боковой погон	_	-	10	-	-	10	-	-	10	-
	Кубовый продукт		96,4	3,5	15	82,9	3,5	15	111,4	3,5	96,4
Давление	Верх	МПа	0,15	0,44	0,05	0,12	0,35	0,12	0,23	0,35	0,07
	Сырьё	°C	116	135	51	146	120	45	116	115	127
Температура	Bepx		63	174	32	57	162	32	53	174	48
Температура	Орошение		50	-	25	45	-	25	50	1	40
	Низ		129	232	59	116	233	59	127	233	102
Затраты энергии											
Теплоподвод в куб колонны		МВт	8	9,3	-	2,4	12	-	16,3	10,6	-
Охлаждение верха колонны			8,1	-	4,6	10,2	-	4,5	15,9	-	7,6
Итого			16,1	9,3	4,6	12,6	12	4,5	32,2	10,6	7,6
Общие энергозатраты			30		29,1			50,4			

За счет меньшей загрузки колонны DT-132 по сырью происходит более четкое разделения фракций при меньших энергетических нагрузках. Меньшая потребность в нагреве куба колонны DT-132 косвенно снижает необходимую степень нагрева куба колонны DT-121 для обеспечения работоспособности системы передачи тепла парами верха DT-121.



Выводы

Предложены два варианта модернизации технологической схемы секции 100 комплекса по производству ароматических углеводородов. Предложенные схемы позволяют разгрузить колонну DT-112 за счет снижения требований к отбираемому дистилляту, а также улучшить качество разделения в колонне DT-132 за счет меньшей загрузке по сырью. Изменение схемы позволяет снизить основные энергетические затраты на обеспечение процесса ректификации с 50,8 до 29-30МВТ при сохранении количества и качества потоков.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта №20-38-90189.

Список используемых источников

- 1. Пистер Ф.Ф. Программа энергосбережения предприятия // Нефтепереработка и нефтехимия. Научно-технические достижения и передовой опыт. 2015. № 8. С. 23.
- 2. Миролимов А.И., Ахадов Ж.З., Мухторов Н.Ш. Опыт энергоэффективности и энергосбережения в промышленности по стандарту ISO 50001 // Агротехника и энергообеспечение. 2018. № 2 (19). С. 67-73.
- 3. Милюков И.В., Меньшова И.И., Челноков А.В., Юлдашев Х.М. Обеспечения безопасности и конкурентоспособности нефтегазоперерабатывающего комплекса на основе использования энергетического бенч-маркинга // Инновации и инвестиции. 2019. № 3. С. 274-279.
- 4. Хусаинова Е.К. Совершенствование некоторых составляющих энергоменеджмента для нефтеперерабатывающих предприятий // Казанская наука. 2015. № 6. С. 79-86.
- 5. Мейерс Р.А. Основные процессы нефтепереработки: справочник / Под ред. О.Ф. Глаголевой, О.П. Лыкова. СПб.: Профессия, 2011. 944 с.



- 6. Назарюк В.В., Дюсембаева А.А. Повышение производительности комплекса получения ароматических углеводородов по толуолу // Вестник Омского университета. 2016. № 4 (82). С. 67-69.
- 7. Гаранин Д.И. Каталитический риформинг бензиновых фракций. Основы теории, эксплуатация и интенсификация процесса. Краснодар: НАФТ, 1996. 90 с.
- 8. Маслянский Г.Н., Шапиро Р.Н. Каталитический риформинг бензинов: Химия и технология. Л.: Химия, 1985. 221 с.
- 9. Зайнуллин Р.З., Коледина К.Ф., Губайдуллин И.М., Ахметов А.Ф., Коледин С.Н. Кинетическая модель каталитического риформинга бензина с учетом изменения реакционного объема и термодинамических параметров // Кинетика и катализ. 2020. Т. 61. № 4. С. 550-559. DOI: 10.31857/S0453881120040176.
- 10. Иванчина Э.Д., Чеканцев Н.В., Чузлов В.А., Смольянова Ю.А. Оптимизация состава углеводородного сырья в процессе изомеризации пентан-гексановой фракции с использованием комплексной математической модели HYSYS − IZOMER // Известия Томского политехнического университета. 2012. Т. 321. № 3. С. 130-132.

References

- 1. Pister F.F. Programma energosberezheniya predpriyatiya [Enterprise Energy Saving Program]. *Neftepererabotka i neftekhimiya. Nauchnotekhnicheskie dostizheniya i peredovoi opyt Oil Processing and Petrochemistry*, 2015, No. 8, pp. 23. [in Russian].
- 2. Mirolimov A.I., Akhadov Zh.Z., Mukhtorov N.Sh. Opyt energoeffektivnosti i energosberezheniya v promyshlennosti po standartu ISO 50001 [Experience of Energy Efficiency and Energy Saving in the Industry Under the Standard ISO 50001]. *Agrotekhnika i energoobespechenie Agrotechnics and Energy Supply*, 2018, No. 2 (19), pp. 67-73. [in Russian].



- 3. Milyukov I.V., Menshova I.I., Chelnokov A.V., Yuldashev Kh.M. Obespecheniya bezopasnosti i konkurentosposobnosti neftegazopererabatyvayushchego kompleksa na osnove ispol'zovaniya energeticheskogo bench-markinga [Ensuring the Safety and Competitiveness of the Oil and Gas Processing Complex Through the Use of Energy Bench Markin]. *Innovatsii i investitsii Innovation and Investment*, 2019, No. 3, pp. 274-279. [in Russian].
- 4. Khusainova E.K. Sovershenstvovanie nekotorykh sostavlyayushchikh energomenedzhmenta dlya neftepererabatyvayushchikh predpriyatii [Improvement of Some Elements of Energy Management for Petroleum Refineries]. *Kazanskaya nauka Kazan Science*, 2015, No. 6, pp. 79-86. [in Russian].
- 5. Meiers R.A. *Osnovnye protsessy neftepererabotki: spravochnik* [Handbook of Petroleum Refining Processes]. Ed. by O.F. Glagolevoi, O.P. Lykova. St. Petersburg, Professiya Publ., 2011. 944 p. [in Russian].
- 6. Nazaryuk V.V., Dyusembaeva A.A. Povyshenie proizvoditel'nosti kompleksa polucheniya aromaticheskikh uglevodorodov po toluolu [Increased Productivity Toluene on Complex of Aromatic Hydrocarbons]. *Vestnik Omskogo universiteta Herald of Omsk University*, 2016, No. 4 (82), pp. 67-69. [in Russian].
- 7. Garanin D.I. *Kataliticheskii riforming benzinovykh fraktsii. Osnovy teorii, ekspluatatsiya i intensifikatsiya protsessa* [Catalytic Reforming of Gasoline Fractions. Fundamentals of Theory, Operation and Process Intensification]. Krasnodar, NAFT Publ., 1996. 90 p. [in Russian].
- 8. Maslyanskii G.N., Shapiro R.N. *Kataliticheskii riforming benzinov: Khimiya i tekhnologiya* [Catalytic Gasoline Reforming: Chemistry and Technology]. Leningrad, Khimiya Publ., 1985. 221 p. [in Russian].
- 9. Zainullin R.Z., Koledina K.F., Gubaidullin I.M., Akhmetov A.F., Koledin S.N. Kineticheskaya model' kataliticheskogo riforminga benzina s uchetom izmeneniya reaktsionnogo ob"ema i termodinamicheskikh parametrov [Kinetic Model of Catalytic Gasoline Reforming with Consideration for Changes in the Reaction Volume and Thermodynamic Parameters]. *Kinetika i kataliz Kinetika i Kataliz*, 2020, Vol. 61, No. 4, pp. 550-559. DOI: 10.31857/S0453881120040176. [in Russian].



10. Ivanchina E.D., Chekantsev N.V., Chuzlov V.A., Smolyanova Yu.A. Optimizatsiya sostava uglevodorodnogo syr'ya v protsesse izomerizatsii pentangeksanovoi fraktsii s ispol'zovaniem kompleksnoi matematicheskoi modeli HYSYS – IZOMER [Optimization of the Composition of Hydrocarbons in the Process of Isomerization of Pentane-Hexane Fraction Using a Complex Mathematical Model HYSYS – IZOMER]. *Izvestiya Tomskogo politekhnicheskogo universiteta – Bulletin of the Tomsk Polytechnic University*, 2012, Vol. 321, No. 3, pp. 130-132. [in Russian].

Сведения об авторах

About the authors

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

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

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

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

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

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