

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ФАКТОРОВ, ВЛИЯЮЩИХ НА ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТЬ АВТОМОБИЛЬНОГО БЕНЗИНА, СООТВЕТСТВУЮЩЕГО СТАНДАРТУ ЕВРО-5

САҚТАПБЕРГЕНОВА А.А., САТАЕВА А.А., ТОЛСТОВА А.Р.

Казахстанско-Британский технический университет

Аннотация: Настоящая статья посвящена изучению факторов, влияющих на качество и выход товарного автомобильного бензина на Атырауском НПЗ, соответствующего требованиям стандарта Евро-5. На основании проведенных расчетных данных (материальный баланс) для установок Атырауского НПЗ, включающих четыре основных процесса, показано: увеличение производительности установки каталитического крекинга до 3 млн. т/год (при действующей производительности 2,4 млн. т/год) способствует увеличению выхода бензина на 25%; внедрение дополнительного реактора гидрирования бензола на установке изомеризации легкой нефти позволит снизить содержание бензола в высокооктановом компоненте автомобильного бензина- изомеризата до 1%; увеличение производительности установки каталитического риформинга до 1,3 млн. т/год (при действующей производительности 1 млн. т/год) позволит повысить выход риформата на 30% и предотвратить нежелательные процессы, как образование кокса и сухого газа.

Ключевые слова: бензин, стандарт Евро-5, риформат, изомеризат, каталитический крекинг, изомеризация, гидроочистка, нефтя, каталитический риформинг

ЕВРО-5 СТАНДАРТЫНА СӘЙКЕС АВТОМОБИЛЬ БЕНЗИНІНІҢ ӨНІМДІЛІГІНЕ ӘСЕР ЕТЕТІН ФАКТОРЛАРДЫ АНЫҚТАУ

Аңдатпа: Бұл мақала Атырау мұнай өңдеу зауытындағы Евро-5 стандартының талаптарына сай келетін тауарлық бензиннің сапасы мен өнімділігіне әсер ететін факторларды зерттеуге арналған. Төрт негізгі қондырғыны қамтитын Атырау мұнай өңдеу зауытының қондырғылары үшін есептік мәліметтер негізінде (материалдық баланс) көрсетілген: каталитикалық крекинг қондырғысының өнімділігінің жылына 3 миллион тоннаға дейін артуы (пайдалану қуаты 2,4 миллион тонна / жыл) бензин шығымының артуына 25%-ке ықпал етеді; жеңіл нефть изомерлеу қондырғысына бензолды гидрлеу үшін қосымша реакторды енгізу автомобиль бензинінің изомератының жоғары октанды құрамындағы бензолды 1% -ке дейін төмендетуге мүмкіндік береді; каталитикалық риформинг қондырғысының өнімділігінің жылына 1,3 миллион тоннаға дейін көбеюі (өндірістік қуаттылығы жылына 1 миллион тонна болған кезде) қайта өңделген өнімді 30% арттырады және кокс пен құрғақ газдың пайда болуы сияқты жағымсыз процестердің алдын алады.

Түйінді сөздер: бензин, Евро-5 стандарты, реформат, изомерат, каталитикалық крекинг, изомерлеу, гидротазалау, нефть, каталитикалық риформинг

STUDY OF FACTORS AFFECTING ON AUTOMOTIVE GASOLINE PRODUCTION ACCORDING TO THE EURO-5

Abstract: This article is devoted to the study of factors affecting the quality and yield of automotive motor gasoline at the Atyrau refinery that meets the requirements of the Euro-5 standard.

Based on the calculated data (material balance) for the units of the Atyrau refinery, which include four main processes, we obtained the following results: an increase in the productivity of the catalytic cracking unit up to 3 million tons / year (with an operating capacity of 2.4 million tons / year) contributes to an increase in the yield of gasoline by 25%; the introduction of an additional reactor for benzene hydrogenation at the light naphtha isomerization unit will reduce the benzene content in the high-octane component of motor gasoline isomerate to 1%; an increase in the productivity of the catalytic reforming unit up to 1.3 million tons / year (at an operating capacity of 1 million tons / year) will increase the reformate yield by 30% and prevent undesired processes such as the formation of coke and dry gas.

Key words: gasoline, Euro-5 standard, reformate, isomerate, catalytic cracking, isomerization, hydrotreating, naphtha, catalytic reforming

Нефтеперерабатывающая промышленность в Казахстане стремится к мировой тенденции перехода на экологические виды топлива. В связи с этим соответствие получаемого бензина экологическому стандарту, регулирующего содержание вредных веществ в выхлопных газах – ЕВРО-5, является актуальным вопросом [1].

Международные показатели наглядно демонстрируют, что одним из более действенных методик понижения вредоносных выбросов транспорта считается поэтапный переход на использование автотранспортных средств и топлив, отвечающих больше строгим экологическим нормативам. Это сопровождается ужесточением требований к таким показателям, как антидетонационные свойства, степень испарения автомобильных бензинов, концентрация серы, зольных присадок, oleфиновых, некоторых ароматических углеводородов и так далее. Эти ограничения являются также последствиями требований по обеспечению эффективной и надежной работы нынешнего автомобильного транспорта, а также исходя из стандартов состава топлив, влияющих на выделение токсичных веществ, загрязняющих окружающую среду. Кроме этого, на данный момент выявляется необходимость повышения октановых характеристик топлив, так как использование бензинового топлива с высоким октановым числом снижает расход топлива, тем самым повышая эффективность машинных двигателей без увеличения их габаритов [1].

Как известно, согласно требованиям Евро-5, бензин должен иметь следующие па-

раметры: октановое число по моторному методу не менее 95, содержание серы – 10 ppm, объемная доля бензола не более 1%.

Целью данного исследования является анализ факторов, влияющих на качество и выход целевого продукта – товарного автомобильного бензина, соответствующего стандартам Евро-5. На Атырауском НПЗ были исследованы четыре основных процесса: каталитический крекинг тяжелых остатков, гидроочистка нефти, каталитический риформинг и изомеризация легкой нефти, оптимизация которых позволит увеличить выход товарного автомобильного бензина до 1 547 242 тонн в год с минимальным негативным влиянием на окружающую среду.

Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие задачи.

1. Расчет оптимального соотношения катализатора к сырью для повышения выхода светлых фракций на установке каталитического крекинга тяжелых остатков.
2. Получение высокооктанового компонента бензина - изомеризата, соответствующего стандарту Евро-5 путем уменьшения содержания бензола до 1%.
3. Определение диапазона оптимальных технологических параметров, способствующих высокому выходу риформата на установке каталитического риформинга.
4. Оптимизация режимов работы установок с использованием компьютерной моделирующей системы.

Установка каталитического крекинга способствует углублению переработки нефти и используется для получения высокоок-

тановых бензинов. По данным научных работ [3] одним из основных путей повышения рентабельности процесса является повышение конверсии сырья, которая может быть повышена при изменении рабочих условий на установке – повышение температуры в реакторе и соотношения катализатор:сырье. Исследования [2] показывают, что уменьшение времени реакции позволяет, повысив соотношение катализатор:сырье, для повышения выхода бензиновой фракции вплоть до 60-65%.

В силу того, что по нормам ЕВРО для автомобильных бензинов предусмотрено снижение содержания ароматических углеводородов и бензола процесс каталитической изомеризации получает широкое распространение в нефтеперерабатывающей промышленности. Согласно данным [5,6] каталитическая изомеризация н-парафинов в присутствии водорода с последующим образованием смеси разветвленных насыщенных углеводородов с повышенным октановым числом относится к одному из наиболее перспективных способов улучшения характеристик бензина. Это связано с введением ограничений на содержание бензола и ароматических углеводородов в товарных автомобильных бензинах. Таким образом, уменьшение содержания бензола в изомеризате является наиболее актуальной проблемой.

В настоящей работе проведены расчеты материальных балансов для установок Атырауского нефтеперерабатывающего за-

вода, включающих четыре основных процесса: каталитический крекинг тяжелых остатков, гидроочистка нефти, каталитический риформинг и изомеризация легкой нефти. Результаты расчетов представлены в таблицах 1-6. При выполнении поставленных задач установлено, что при увеличении производительности установки каталитического риформинга на 30%, необходимо поддерживать качество риформата на том же уровне. Авторы исследования [4] доказывают прямо пропорциональную зависимость октанового числа от роста температуры в реакторе. Однако, негативным сценарием при увеличении температуры является увеличение степени коксообразования и выхода сухого газа [7]. Поэтому была поставлена задача определить параметры, которые позволят предотвратить данные побочные реакции и получить высокий выход риформата для улучшения качества бензина до Евро-5.

Для оптимизации процесса каталитического крекинга, которая основывается на изменении технологических параметров: температурный режим, давление, увеличение загрузки сырья и нахождение соотношения компонентов сырья необходимо исследование оптимального соотношения сырья к катализатору. Результаты материального баланса, представленного в таблице 1, показали, что увеличение производительности установки каталитического крекинга на новую мощность (до 3 млн. т/г) способствует повышению выхода бензина на 25%, что сос-

Таблица 1 – Материальный баланс установки каталитического крекинга

№ п/п	Наименование продуктов	Коэффициент выхода	
		% мас	т/год
I	Сырье		
1	Атмосферный остаток	44.9%	1358562,12
2	Вакуумный газойль	24.47%	740403,96
3	Тяжелый газойль коксования	7.82%	236616,36
4	Тяжелый газойль	16.28%	492592,32
5	Тяжелый рафинат	2.57%	77762,52
6	Тяжелые ароматические углеводороды	1.73%	52349,76
7	Отходящий газ из установок замедленного коксования	2.23%	67478,28
	Итого	100%	3025747,8

П	Продукты		
	Топливный газ	3.58%	108326,16
	СУГ	17.71%	535857,96
	Бензин	51.60%	1561286,04
	ЛГКК	12.15%	367630,92
	ТГКК	2.80%	84717,96
	Отфильтрованный остаток	4.71%	142516,44
	Кокс	7.12%	215434,68
	Потери	0.33%	9986,4
	Итого	100%	3025747,8

Таблица 2 – Характеристика получаемого бензина каталитического крекинга

№	Техническая характеристика и единица измерения	Величина показателя	Метод анализа
1	2.1 Состав, % мас:		ASTM D 1160
	- изо-бутан	0.02	
	- бутан	0.07	
	- изо-бутен	0.02	
	- 1-бутен	0.03	
	- цис-2-бутен	0.19	
	- транс-2-бутен	0.17	
	- 1-3-бутадиен	0.01	
2	Удельный вес, кг/м ³	733	ASTM D 1298
3	Сера общая, ppm мас.	548	ASTM D 2622
5	Расчетное значение ИОЧ	<u>91.8</u>	ASTM D 2699
6	Расчетное значение МОЧ	79.6	ASTM D 2700

тавит 1561286,04 т/год по теоретическим показателям.

Результаты экспериментальных исследований, проведенных согласно ГОСТ: ASTM D 1160, ASTM D 1298, ASTM D 2622 в Центрально-заводской лаборатории на АНПЗ, необходимые для подтверждения качества и его фракционного состава для того, чтобы регулировать технологические параметры процесса, представлены в таблице 2.

Важно, что октановое число выходящего бензина составляет 91.8. Наша работа нацелена на получение бензина ЕВРО-5, где ОЧ равно значению 95. Именно это доказывает необходимость доочистки продукта на установке гидроочистки. На установку гидроочистки поступает 39.7% продуктового бензина с установки каталитического крекинга.

Секция гидроочистки нефти «NaphthaHT» предназначена для очистки смеси прямогонной нефти, легкого рафината, среднего бен-

зина каталитического крекинга, нефти коксования с УЗК, бензин-отгона с КУГБД-1 и бензин-отгона с секции PRIME-D от серо-, азот- и кислородосодержащих углеводородов в присутствии водорода.

Согласно данным таблицы 1 увеличение производительности установки гидроочистки нефти до 2 млн. т/г возможно за счет увеличения бензина каталитического крекинга на 10%, также прямогонного бензина с парка на 19% (таблица 3,4).

Гидроочищенная тяжелая нефть, являющаяся сырьем для процесса каталитического риформинга будет достигать 1117100 тонн в год.

Гидроочищенная легкая нефть за счет увеличения потока прямогонного бензина на 19% и бензина каталитического крекинга на 10% будет составлять 457 800 тонн в год.

За счет увеличения потока легкой нефти количество высокооктанового компонен-

Таблица 3 – Материальный баланс установки гидроочистки нефти

Наименование	% мас	т/год
Сырье		
Бензин с УЗК	8,3	166000
Прямогонный бензин	40,1	802000
Легкий рафинат с КПА	4,4	88000
Бензин с КУГБД	2,9	58000
Бензин от PRIME D	3,4	68000
Средний бензин кат.крекинга	39,7	794000
Водородсодержащий газ	1,2	24000
ВСЕГО	100	2000000

Таблица 4 – Материальный баланс установки гидроочистки нефти (продолжение)

Наименование	% мас	т/год
Продукты		
Легкая нефть:		
На изомеризацию	18,21	364200
КУГБД	4,98	99600
Тяжелая нефть		
На КПА	55,9	1118000
в ЛГ	17,92	358400
УВ газ на ГФУ	2,49	49800
Потери	0,5	10000
ИТОГО	100	2000000

та товарного бензина установки изомеризации лёгкой нефти – изомеризата составит 422748,8 тонн в год. Это на 44% больше текущей производительности на Атырауском НПЗ (таблица 5).

Согласно данным аналитического контроля действующей установки изомеризации на Атырауском НПЗ содержание бензола в изомеризате превышает нормы, которые будут соответствовать стандарту Евро-5 (таблица 6).

Таблица 5 – Материальный баланс установки изомеризации легкой нефти

Наименование	% масс.от сырья	т/год
Сырье		
Легкая нефть	100	457800
ВСГ	0,85	3891,2
Всего:	100,85	461691,2
Продукты		
Изомеризат	92,34	422732,52
СУГ в парк хранения	3,28	15015,84
Отходящий газ в топливную сеть	4,38	20051,64
Потери	0,85	3891,2
Всего:	100,85	461691,2

Таблица 6 – Данные аналитического контроля изомеризата на АНПЗ

Наименование	ОЧИ	ОЧМ	Парафиновые у/в % масс.	Изопарафиновые у/в % масс.	Олефиновые у/в % масс.	Нафтеновые у/в % масс.	Бензол % масс.	Проверка на 100% % масс.
Изомеризат на выходе с установки	86,9	85,1	13,1	57,3	24,5	5	4,6	100

Основываясь на данных аналитического контроля изомеризата выявлено высокое содержание бензола – 4,6%. Для достижения соответствия требованиям характеристик Евро-5 необходимо добавление дополнительного реактора гидрирования бензола. Данная оптимизация позволит снизить содержание бензола до минимума – 1%. Данный проект планируется смоделировать на программе Unisim.

Сырьем установки каталитического риформинга на АНПЗ является смесь гидроочищенных бензинов блока гидроочистки существующих установок КУ ГБД и "Naphtha HT". В связи с увеличением выхода бензина ката-

литического крекинга на 10% и получением увеличенного количества тяжелой нефти с установки «Naphtha HT» в качестве сырья на 100 секцию установки каталитического риформинга, выход высокооктанового риформата повысился на 30%. В таблице 7 представлены результаты материального баланса установки каталитического риформинга, которые отражают числовые сведения потоков сырья и продуктов реакторного блока с учетом поступления увеличенной загрузки гидроочищенной нефти до 1117100 тонн в год.

Однако, согласно мировой практике известно, что увеличение количества продукта приводит к ухудшению его качества. Данная

Таблица 7 – Материальный баланс установки каталитического риформинга

№ п/п	Наименование продуктов	Коэффициент выхода	
		%	т/год
I	Сырье		
1	Тяжелая нефть с "Naphtha HT"	81,7%	1117100
2	Тяжелая нефть с КУГБД	18%	180000
3	ВСГ с УПОВ	0,29%	2900
4	Итого	100%	1300000
II	Продукты		
1	Тяжелый риформат	48%	622700
2	Легкий риформат	40,4%	525200
3	ВСГ	7,9%	102700
4	СНГ	3,4%	44200
5	Топливный газ		42063
6	Отходящий газ	0,22%	2860
7	Потери		2173
8	Итого	100%	345405

закономерность требует внедрения технологической модели с измененными технологическими параметрами. Наиболее эффективным сценарием работы было найдено повышение температуры реактора для обеспечения более жесткой работы для получения высокооктанового продукта риформинга. Повышение температуры реактора [5] обычно увеличивает показатели октанового числа. Однако, данное решение для улучшения качества риформата путем повышения температуры реактора увеличивает выход сухого газа и скорость образования кокса. Увеличение выхода сухого газа может быть проблематичным. Сухой газ обычно имеет небольшую экономическую ценность и создает помехи в рециркуляционных компрессорах в секции разделения продукта. Увеличение отношения водород:сырье обычно не способствует снижению выхода сухого газа, поскольку высокое парциальное давление водорода в реакторе способствует гидрокрекингу и, следовательно, увеличивает выход сухого газа. Кроме того, скорость отложения кокса экспоненциально увеличивается с повышением температуры и может оказывать значительное давление на секцию регенератора.

Следовательно, во избежание процесса коксообразования и увеличения выхода сухого газа необходимо соблюдение интервала между соотношением водород:сырье и температурой. Работа при высоких температу-

рах может потребовать значительного добавления свежего катализатора для поддержания того же уровня активности катализатора.

Таким образом в настоящей работе на основании расчетов материальных балансов для установок каталитического крекинга тяжелых остатков, гидроочистки нефти, каталитического риформинга и изомеризации легкой нефти выполнены следующие задачи.

1. Определенное расчетным путем оптимальное соотношение сырья к катализатору позволит увеличить производительность установки каталитического крекинга до 3 млн.т/г и повысить выход бензина на 25%.

2. Внедрение дополнительного реактора гидрирования бензола будет способствовать снижению содержания бензола в высокооктановом компоненте бензина – изомеризате с 4,6% до 1%, а также увеличит выход изомеризата, соответствующего качеству продуктов согласно требованиям Евро-5.

3. Использование программы Unisim для расчета оптимального соотношения водород:сырье позволит избежать побочных реакций коксонакопления и образования сухого газа при увеличении температуры.

Таким образом определены основные факторы, влияющие на производство автомобильного бензина, соответствующего стандарту Евро-5. Расчетным путем показано, что количество автомобильного бензина может быть увеличено до 1 547 242 тонн в год.

ЛИТЕРАТУРА

1. Емельянов В.Е. Все о топливе. Автомобильный бензин. Свойства, ассортимент, применение. Учебное пособие. – РФ: АСТ, 2003. – С. 80.
2. Ершов Д.С., Хафизов А.Р., Мустафин И.А., Станкевич К.Е., Ганцев А.В., Сидоров Г.М. Современное состояние и тенденции развития процесса каталитического крекинга. // Фундаментальные исследования. – № 12. – Уфа: ФГБОУ ВО «Уфимский государственный нефтяной технический университет». – 2017. – С. 282-286.
3. Задегбейджи Р. Каталитический крекинг в псевдожизненном слое катализатора. Справочник по конструкциям, процессами оптимизации установок ККФ. – Санкт-Петербург: ЦОП "Профессия", 2020. Издание 2. – С. 55-62.
4. Кондрашева Н.К., Кондрашев Д.О., Абдульминев К.Д. Технологические расчеты и теория каталитического риформинга бензина. Учебное пособие – Уфа: ООО "Монография", 2008. – С.160.

5. Литвак Е.И. Математическая модель процесса изомеризации пентан-гексановой фракции с предварительной деизопентанизацией сырья и рециркуляцией нормальных парафинов. Проблемы геологии и освоения недр. – Томск: Томский политехнический университет, 2011. – С.181-183.
6. Покровский С.С. Новые зарубежные технологии нефтепереработки. Нефтегазовая вертикаль. Учебное пособие. – Уфа: УГНТУ, 2002. – С. 68-71.
7. Усакова Н.А., Мельников В.Б., Демина Л.В., Демин В.М., Карпенко Р.В. Технология получения высокооктанового компонента автомобильных бензинов на установках каталитического риформинга. Нефтепереработка и нефтехимия. Химический журнал // – № 5. – РФ, 1999. – С.17.