МАШИНОСТРОЕНИЕ MECHANICAL ENGINEERING

Лисков П. А., Сарилов М. Ю.
P. A. Liskov, M. U. Sarilov

ИНТЕНСИФИКАЦИЯ РАБОТЫ РЕАКТОРНОГО БЛОКА РИФОРМИНГА ЗА СЧЕТ ИЗМЕНЕНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ СХЕМЫ И СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ КОНСТРУКЦИИ РЕАКТОРА

INTENSIFICATION OF THE REACTOR UNIT REFORMING OPERATION DUE TO THE CHANGE OF THE TECHNOLOGICAL SCHEME AND DESIGN IMPROVEMENT OF THE REACTOR

Лисков Павел Андреевич – магистрант кафедры «Машины и аппараты химических производств» Комсомольского-на-Амуре государственного университета (Россия, Комсомольск-на-Амуре). E-mail: pasha.liskov.95@mail.ru.

Mr. Pavel A. Liskov – Master's Degree Student, Chemical Industry Machinery and Equipment Department, Komsomolsk-on-Amur State University (Russia, Komsomolsk-on-Amur). E-mail: pasha.liskov.95@mail.ru.

Сарилов Михаил Юрьевич – доктор технических наук, профессор кафедры «Машины и аппараты химических производств» Комсомольского-на-Амуре государственного университета (Россия, Комсомольск-на-Амуре). E-mail: sarilov@knastu.ru.

Mr. Mikhail Yu. Sarilov – Dr. habil. in Engineering, Head of Chemical Industry Machinery and Equipment Department, Komsomolsk-on-Amur State University (Russia, Komsomolsk-on-Amur). E-mail: sarilov@knastu.ru.

Аннотация. В данной работе предлагаются способы усовершенствования работы реакторов на установке каталитического риформинга. Реакторы – основное оборудование на установке для получения целевой продукции. В рассматриваемой статье дано краткое описание принципа работы установки. Рассмотрены проблемы, из-за которых теряется эффективность работы реакторов. Предложены известные на сегодняшний день методы усовершенствования технологической схемы реакторного блока установки. Ими являются: использование более качественного, промотированного дорогими металлами катализатора; покрытие внутренней стенки реактора плакирующим слоем; снижение рабочего давления; уменьшение закоксовываемости катализатора за счет непрерывной его регенерации во время рабочего процесса установки. Как результат, установка тратит меньше времени на регенерацию катализатора и ремонт реакторов. Предлагаемые методы усовершенствования также позволяют получать продукт лучшего качества с высоким октановым числом.

Summary. This work proposes ways to improve the operation of the reactors at the catalytic reforming unit. Reactors are the basic equipment in the installation to obtain the target product. This paper briefly describes the principle of the unit operation. The problems, which defeats the efficiency of the reactors, are considered. The authors offered methods for improving the technological scheme of the reactor block installation. They are the following: the use of higher quality catalyst that is accelerated with precious metals; the reactor internal walls coating with the cladding layer; reducing working pressure; reducing of the catalyst due to continuous regeneration during the workflow installation. As a result, installation takes less time for catalyst regeneration and reactor repairing. The proposed enhancements also allow getting a better quality product with a high octane rating.

Ключевые слова: риформинг, реактор риформинга, катализатор, непрерывная регенерация, межремонтный, платформинг, дуалформинг.

Key words: reforming, reactor of the reforming, continuous regeneration, overhaul, plat forming, dualforming.

УДК 650.98

Введение

Каталитический риформинг – это процесс, который повышает содержание аренов, для их образования проходит каталитическая реакция в реакторах установки с образованием ароматических углеводородов, происходит переработка лигроиновых и бензиновых фракций нефти с целью

получения высокооктанового неэтилированного компонента автобензина, ароматических углеводородов и водородсодержащего газа (ВСТ) для процессов гидроочистки, гидрокрекинга, изомеризации. Реакция протекает на алюмоплатиновых катализаторах в смеси с дорогими металлами (Pt, Re, Ir и др.), температура процесса 480...520 °С, давление 15...35 кгс.

Риформинг – широко применяемый процесс в нефтепереработке для производства высокооктановых компонентов товарных автомобильных бензинов в России и во всем мире, т.к. для современных автомобильных двигателей требуется высокооктановое топливо. Совершенствование реакторов и технологической схемы блока реакторов установки позволит снизить время на регенерацию катализатора, продлить работу реакторов и даст высокооктановое топливо.

Пути совершенствования реакторов риформинга

1. Эффективным способом увеличения времени работы реакторного блока является непрерывная регенерация катализатора, это лучший способ на сегодняшний день продлить межремонтный пробег установки, в результате которого увеличиваются качество и объем выпускаемой продукции на установке [4]. К сожалению, в нашей стране большинство установок риформинга имеет стационарный (неподвижный) слой катализатора, который при закоксовывании необходимо восстанавливать с остановкой установки на 20...40 суток в год [5]. Повысить межремонтный пробег реактора можно и простым способом, увеличив объем катализатора или использовав дорогие катализаторы, но проблему коксуемости катализатора это не решит, а ужесточение режима (увеличение температуры) приведет в повышенному отложению кокса на катализаторе [4].

Рациональное решение – непрерывная регенерация катализатора во время рабочего процесса установки. Для этого рядом с 4-м реактором устанавливают регенерационный аппарат (см. рис. 1). Целесообразно регенерировать именно последний реактор, т.к. в нем содержится половина катализатора от всего реакторного блока в целом и происходит наибольшая дезактивация катализатора из-за высокого содержания аренов в среде реакций и жесткого установленного режима для реактора. Процесс регенерации разработан Французским институтом нефти и носит название «Дуалформинг» (см. рис. 2).

1, 8 – бункер восстановленного катализатора; 2 – реактор Р-5; 3, 5 – сборочное устройство закоксованного катализатора; 4 – регенератор; 6 – бункер закоксованного катализатора; 7 – сборочное устройство восстановленного катализатора

Рис. 1. Технологическая схема непрерывной регенерации катализатора последнего реактора

линии: I – сырье; II – ВСГ; III – нестабильный риформинг-бензин;

1 – реакторы риформинга; 2 – печи, 3 – непрерывно регенерируемый реактор; 4 – регенератор;
5 – насос для перекачки сырья; 6 – установленная новая печь; 7 – теплообменник сырье/продукт;
8 – компрессор рециркуляционный; 9 – ВХ; 10 – сепаратор

Рис. 2. Принципиальная технологическая схема процесса «Дуалформинг»

Регенератор 4 – это аппарат, где потоки газов для осуществления реакции вводятся в реактор радиально. Регенератор имеет 3 технологических уровня по всей высоте аппарата. В верхней части (содержание кислорода менее 1 % моль) происходит выжиг кокса с катализатора, в средней (содержание кислорода составляет 10...20 %) производят подачу хлорорганических соединений, в результате происходит окислительное хлорирование катализатора, а в нижней части катализатор прокалывают сухим воздухом [5].

При снижении октанового числа (ОЧ) и закоксовывании катализатора с нижних штуцеров реактора 4 ссыпается отработанный катализатор, проходит сборочное устройство 5 для равномерной подачи катализатора в бункер 6 и транспортировки его в регенератор 4. Поступив в бункер, катализатор транспортируется азотом в бункер 3, откуда поступает в регенератор, где происходит выжиг кокса и восстановление катализатора. Далее свежий катализатор через сборочное устройство 7 поступает в бункер 8, транспортируется с помощью азота в бункер 1. Оттуда по мере удаления закоксованного катализатора из реактора сразу засыпается свежий, тем самым образовав замкнутый цикл: реактор – регенератор – и снова реактор. По мере удаления закоксованного катализатора с реактора сразу же засыпается восстановленный [1].

С непрерывной регенерацией появляется возможность:

- регулировать скорость движения катализатора по рабочей зоне реактора;
- достичь катализат с октановым числом более 100 пунктов;
- снизить рабочее давление в реакторе и увеличить температуру реакции без повышенного коксообразования;
- увеличить селективность ароматизации;
- использовать в качестве сырья более широкую бензиновую фракцию;
- увеличить выход ВСГ с одновременным повышением его качества.

Существует еще более совершенная установка с непрерывной регенерацией под названием «Платформинг», которая разработана фирмой «UOP» (США). Процесс «Платформинг» дает стабильный выход бензина высокого качества с минимальным содержанием бензола и высоким ОЧ (103...105), к тому же качество бензина не снижается со временем работы. Реакторы в такой схеме располагаются на одной оси друг над другом. Переход на процесс «Платформинг» требует полной реконструкции всего реакторного блока, что невыгодно экономически и окупается только на крупных НПЗ (в нашей стране такую технологию имеет ОАО «ЛУКОЙЛ Нижегороднефтеоргсин-

тез»). Для небольших заводов, например для Комсомольского НПЗ, подойдет процесс «Дуалформинг» с установкой регенератора рядом с последним реактором без реконструкции и дополнительного оборудования [5].

2. Вторым способом служит усовершенствование конструкции самого реактора. Старые реакторы на большинстве отечественных НПЗ изготовлены в период 1960 – 1980-х гг., такие реакторы не имеют эффективной защиты внутренних стенок от водородной коррозии. Использование для защиты таркетбета неэффективно, т.к. он трескается и разрушается при температурных воздействиях и не дает эффективной защиты аппарата. Решением служит покрытие внутренних стенок реактора легированной сталью марок 12X18H10T, 08X18H10T [2].

Современные реакторы имеют радиальный (от периферии к центру) ввод газосырьевой смеси (см. рис. 3), такое техническое решение позволило увеличить объем загружаемого катализатора и рациональнее использовать его работу без применения дополнительных элементов (крышек верхних, гибких мембран) (см. рис. 4).

Рис. 3. Распределение газосырьевой смеси по реактору

Рис. 4. Вид внутри реактора

3. Катализатор риформинга – основной компонент для протекания реакций в реакторе. Дальнейшее совершенствование риформинга достигается использованием полиметаллических катализаторов, которые представляют собой соединение $Pt + Re$, и промоторов, которые равномерно распределены по всей поверхности носителя – активного Al_2O_3 [3].

По сравнению с моно- и биметаллическими катализаторами, доля которых на отечественных НПЗ составляет около 40 %, полиметаллический имеет повышенную активность, селективность, прочность и позволяет снизить давление в реакторе, уменьшив тем самым закоксовывание катализатора [3]. Как результат – увеличенный межремонтный пробег установки и выход продукта с высоким октановым числом. Недостаток полиметаллического катализатора в его высокой стоимости, но срок службы составляет 5...6 лет [1]. Наиболее значимыми производителями являются компания «ЮОП» и «ФИН». Приведем в табл. 1 для сравнения основные характеристики катализаторов, используемых на НПЗ России.

Из данных табл. 1 следует, что современные отечественные катализаторы отличаются высокой поверхностью, объемом пор и хорошей прочностью. Импортные катализаторы характеризуются меньшими объемом пор, но большим насыпным весом и повышенной прочностью.

Таблица 1

Применяемые катализаторы на НПЗ России

Марка катализатора	Содержание, % (по массе)		$S_{уд}$, м ² /г	Объем пор, см ³ /г	D , мм	Насыпной вес, кг/м ³	Коэффициент прочности, Н/мм
	Pt	Re					
КР-108У (РБ-22У)	0,36 0,26	0,25 0,45	250	0,5	2,8 1,3	700 750	120...150
ПР-51	0,25	0,30	250	0,65	2,8	660	130...150
REF-23	0,25	0,40	250	0,8	1,8	700	120...140
R-56	0,25	0,40	180	0,38	1,6	838	-
RG-482	0,30	0,30	210	0,61	1,6	720	-
PR-9	0,25	0,25	200	0,55	2,1	720	200...220

Анализ существующих тенденций в разработке новых катализаторов риформинга показывает, что прогресс в повышении технической эффективности катализаторов состоит в переходе от биметаллических к триметаллическим системам с химической модификацией и оптимизацией текстурных параметров носителя, оптимизацией стадий прокаливания, восстановления и сульфидирования катализаторов. Разработка новых перспективных версий катализаторов риформинга осуществляется в Омском филиале ИК СО РАН.

Вывод

За последние 77 лет с момента первого запуска установки риформинга произошел существенный скачок в способах усовершенствования работы реакторов. Из всех имеющихся вариантов наиболее эффективным является процесс с непрерывной регенерацией катализатора.

ЛИТЕРАТУРА

1. Ахметов, С. А. Технология глубокой переработки нефти и газа: учеб. пособие для вузов / С. А. Ахметов. – Уфа: Гилем, 2002. – 672 с.
2. Гуреев, А. А. Производство высокооктановых бензинов / А. А. Гуреев, Ю. М. Жоров, Е. В. Смидович. – М.: Химия, 1981. – 224 с.
3. Ермакова, Ю. И. Нанесенные металлические катализаторы превращения углеводородов / Ю. И. Ермакова. – М.: Новосибирск, 1978. – 78 с.
4. Разработка процесса каталитического риформинга с непрерывной регенерацией катализатора / Б. Б. Жарков, Р. Н. Шапиро, Ю. М. Краев, А. П. Федоров // Нефтепереработка и нефтехимия. – 1999. – № 8. – С. 4-8.
5. Белый, С. А. Основные положения эксплуатации установки каталитического риформинга / С. А. Белый. – М.: Омск, 2006. – 184 с.