УДК 665.644.2

Б. З .Соляр, Л .Ш .Глазов, И. М. Либерзон, Е. А. Климцева, Э. З. Аладышева, В. Н. Попов

Модернизация узлов реакторного блока каталитического крекинга на установке Г-43-107М/1

Описаны меры для модернизации оборудования реакторного блока каталитического крекинга на комбинированной установке Г-43-107М/1, позволившие существенно повысить эффективность и надежность работы установки.

Ключевые слова:

каталитический крекинг, оборудование реакторного блока, реактор, регенератор, сырьевые форсунки, циклоны, отпарная секция реактора, эффективность пылеулавливания, каскадные тарелки, бензиновая фракция, октановое число.

Комбинированная установка Г-43-107М/1 эксплуатируется на Уфимском НПЗ с 1995 г. В период ее сооружения реактор каталитического крекинга (КК) был реконструирован по технологии Французского института нефти [1].

При эксплуатации установки были выявлены недостатки большей части узлов реакторного блока КК. Ряд этих узлов по нашим рекомендациям модернизирован в 1997—2000 гг. [2]. После 2000 г. производительность установки постепенно была увеличена до проектной, в основном в результате повышения температуры конца кипения сырья и вовлечения в сырье вторичных до 25% (масс.) газойлей. При этом показатели работы установки ухудшились: выход бензиновой фракции сократился с 52—53 до 48—49% (масс.), ее октановое число снизилось примерно на 0,5 пункта.

В 2001—2004 гг. работы по совершенствованию оборудования реакторного блока КК были продолжены. Они включали монтаж высокоэффективных сырьевых форсунок в прямоточном реакторе, модернизацию отпарной секции реактора с монтажом каскадных тарелок и усовершенствованных парораспределительных устройств, установку высокоэффективных циклонов в регенераторе (см. **рисунок**).

Первоначально на установке применяли сырьевые форсунки, разработанные Французским институтом нефти. Впоследствии по нашему проекту они были дооборудованы устройством для предварительного диспергирования сырья — диспергатором, что позволило повысить выход бензиновой фракции на 0,5% (масс.) [2].

Однако сохранившийся узел финального распыления сырья, включающий сопло Вентури и щелевой наконечник, ограничивал эффективность форсунок из-за неоптимального распределения скоростей паросырьевого потока по их конструктивным элементам. К тому же наконечник форсунки подвергался быстрому эрозионному изнашиванию вследствие неудачной конфигурации щелевого отверстия, способствующей подсосу катализатора в истекающую паросырьевую струю.

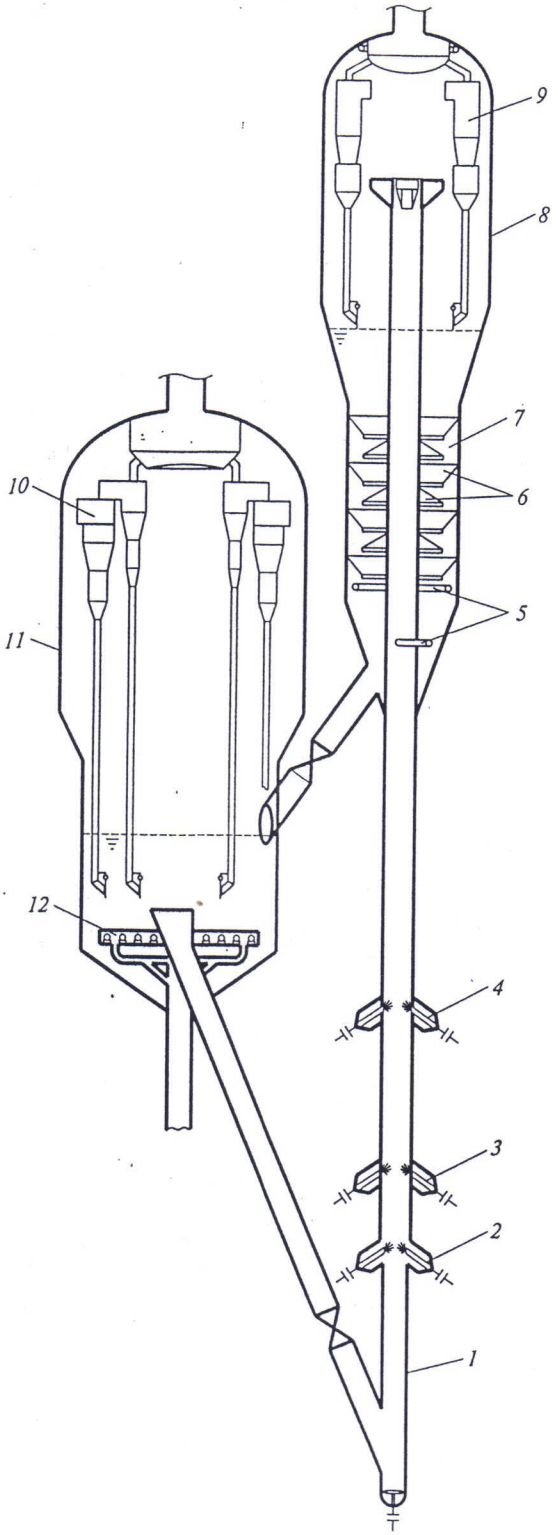
Новые высокоэффективные форсунки были установлены в существующие штуцера прямоточного реактора. При их разработке был учтен многолетний опыт применения сырьевых форсунок на пяти установках КК. Как и ранее применявшиеся форсунки, они включали три основных элемента: диспергатор, сопло Вентури и щелевой наконечник. Однако конструктивное оформление каждого из этих элементов было существенно трансформировано.

В конструкцию диспергатора внесены изменения, которые позволили максимально использовать энергию водяного пара и повысить эффективность ударного дробления потока сырья в высокоскоростных струях водяного пара. Конструкция сопла Вентури модифицирована с целью предотвращения коалесценции капель сырья, образующихся в диспергаторе, и обеспечения их дальнейшего измельчения при подводе паросырьевого потока к щелевому наконечнику. Конфигурация щелевого отверстия в наконечнике приведена в соответствие с параметрами формирования истекающей паросырьевой струи.

Распределение скоростей потоков сырья и водяного пара по конструктивным элементам форсунок оптимизировано, что позволило при сохранении перепада давления на форсунках повысить скорость в тех их элементах, которые характеризуются наибольшей эффективностью расходования кинетической энергии паровой фазы при диспергировании сырьевого потока.

Для предохранения от эрозионного изнашивания восходящим потоком катализатора форсунки помещены в защитный кожух. На выступающую внутрь прямоточного реактора часть кожуха нанесена эрозионно-стойкая футеровка.

Применявшаяся на установке технология отпарки отработавшего катализатора, разработанная Французским институтом нефти, не предусматривала использования каскадных устройств [1]. Их отсутствие приводило к существенному снижению эффективности отпар-



Конструктивная схема реакторного блока каталитического крекинга на установке Г-43-107М/1 после реконструкции:

1 — прямоточный реактор; *2, 3, 4* — соответственно паровые, сырьевые и шламовые форсунки; *5* — парораспределительное устройство; *6* — каскадные тарелки; *7* — отпарная секция; *8* — сепарационная камера; *9, 10* — соответственно одноступенчатые и двухступенчатые циклоны; *11* — регенератор; *12* — трубчатый воздухораспределитель.

ки, что подтверждалось повышенным удельным расходом водяного пара: 4,2—4,4 кг на 1 т циркулирующего катализатора. Для сравнения: на однотипной установке Лисичанского НПЗ, реактор которой оборудован каскадными устройствами в отпарной секции, удельный расход водяного пара не превышает 2,8—3 кг на 1 т циркулирующего катализатора.

Другим признаком низкой эффективности отпарки было повышение температуры регенерации при снижении температуры нагрева сырья, что указывало на значительное увеличение количества неотпаренных углеводородов при повышении скорости циркуляции катализатора. Вследствие этого температура нагрева сырья, поступающего в прямоточный реактор, поддерживалась выше 340°С, что ограничивало кратность циркуляции катализатора.

Нефутерованные парораспределители отпарной секции реактора, обеспечивая равномерное распределение водяного пара, при длительной эксплуатации подвергались эрозионному изнашиванию на участках коллекторной трубы вблизи ниппелей.

При модернизации в отпарной секции установлены три центральные и четыре периферийные каскадные конусные тарелки. На наружную поверхность тарелок нанесена эрозионностойкая футеровка толщиной 25 мм. Вблизи нижнего края каскадных тарелок выполнено несколько рядов отверстий для обеспечения перекрестного режима контактирования потоков катализатора и водяного пара.

В прямоточном реакторе одновременно с монтажом каскадных тарелок проведена замена нижнего участка, изготовленного из стали 08Х13. Новый участок выполнен из стали 08Х18Н10Т, обладающей лучшими механическими свойствами, и снабжен с наружной и внутренней сторон эрозионно-стойкой футеровкой.

В нижней части отпарной секции установлены основной и вспомогательный парораспределители. Последний расположен напротив входа катализатора в напорный стояк и предназначен для предупреждения образования застойных зон. Парораспределители оснащены удлиненными ниппелями с входной диафрагмой и эрозионно-стойкой футеровкой наружной поверхности.

Монтаж новых сырьевых форсунок и модернизация отпарной секции реактора выполнены в период капитального ремонта установки в 2004 г.

До и после ремонта на комбинированную установку поступала смесь прямогонного вакуумного газойля и вторичных газойлей западносибирской нефти со следующими физико-химическими характеристиками: плотность — 917—922 кг/м³ при 20°С, пределы выкипания — 350—540°С, коксуемость по Конрадсону — 0,27—0,3% (масс.), содержание серы — 1,8—2% (масс.). До ремонта плотность гидроочищенного сырья, направляемого в секцию КК, составляла 908—910 кг/м³ при 20°С, содержание серы в нем — 0,9—1% (масс.), после ремонта — соответственно 905—907 кг/м³ и 0,5—0,6% (масс.). Процесс КК проводили с применением мелкодисперсного катализатора SPECTRA компании «Grace Davison». Активность равновесного катализатора составляла 67% (масс.) по методу MAT Davison.

После внедрения описанных усовершенствований температура регенерации снизилась на 20—25°, что свидетельствует о значительном улучшении селективности процесса по образованию кокса. Благодаря повышению эффективности отпарки отработавшего катализатора появилась возможность увеличения скорости его циркуляции. В результате температура нагрева сырья снизилась на 25—30° и значительно (примерно на 25%) повысилась кратность циркуляции катализатора при постоянной (525°С) температуре крекинга. Производительность секции КК увеличилась на 10% по сравнению с предыдущим периодом. Расход водяного пара в отпарную секцию реактора сократился на 25%.

Изменилась структура выхода продуктов крекинга (см. таблицу): выход бензиновой фракции увеличился на 4,2% (масс.), выход легкого газойля — на 0,9% (масс.). Степень конверсии сырья повысилась на 4% (масс.), октановое число бензиновой фракции — на 0,4 пункта по моторному методу (до 82,4) и на 0,3 пункта по исследовательскому методу (до 94).

Установленные при сооружении установки в соответствии с первоначальным проектом двухступенчатые циклоны регенератора имели устаревшую конфигурацию с неоптимальным соотношением основных геометрических размеров. Конструкция циклонов отличалась низкой прочностью, а их футеровочное покрытие — низкой износоустойчивостью. Конструктивные недостатки системы подвески, ограничивающие свободное перемещение циклонов при разогреве, способствовали возникновению значительных тепловых нагрузок в узлах их крепления.

Указанные недостатки приводили к быстрому ухудшению физического состояния циклонов: изнашиванию футеровки, появлению микротрещин в корпусе, особенно в зоне сварных швов (в одном случае произошел даже отрыв крышки от корпуса циклона). В результате наблюдалось заметное снижение эффективности пылеулавливания.

Замена циклонов регенератора осуществлена в 2002 г. Новые циклоны характеризуются более высоким (~5) отношением длины к диаметру цилиндрической части корпуса. Отношения площадей входного и выводного патрубков к площади поперечного сечения цилиндрической части корпуса, определяющие эффективность работы циклона, оптимизированы исходя из условия достижения длительного (более 10 лет) срока службы циклонов при обеспечении высокой эффективности пылеулавливания. Внутренняя поверхность циклонов покрыта эрозионно-стойкой футеровкой на панцирной сетке.

Пылевозвратные стояки циклонов I и II ступеней оборудованы усовершенствованными затворными клапанами. Их устройство отличается более надежной конструкцией подвески затворной плиты, обеспечивающей ее плотное прилегание к кромкам выводного патрубка, и более прочной конструкцией ограничительной рамы, способной выдержать значительные циклические нагрузки (особенно на циклонах I ступени) при высокой температуре.

Продукты крекинга	Выход, % (масс.)	
	до модернизации	после модернизации
Сухой газ	4,2	3,8
Фракция		
пропан-пропиленовая	6,5	6,4
бутан-бутиленовая	7,6	7,7
бензиновая C_5—210°С	49	53,2
Газойль		
легкий (200—360°С)	16,9	17,8
тяжелый	11,8	6,9
Кокс	4	4,2
Степень конверсии, % (масс.)	71,3	75,3

В регенераторе сохранены число (шесть) групп двухступенчатых циклонов и расположение на верхнем днище штуцеров подвески циклонов I ступени. При замене циклонов установлена новая, более компактная газосборная камера.

В конструкцию подвески внесены существенные изменения, направленные на повышение ее прочности и обеспечение компенсации теплового расширения ее элементов. Циклоны I ступени подвешены на вертикальных тягах, состоящих из неподвижного и вращающегося узлов. Циклоны II ступени приварены выводным патрубком к газосборной камере и дополнительно прикреплены к ней при помощи двух вертикальных тяг. Для придания устойчивости циклонной системе предусмотрены три яруса горизонтальных связей между циклонами и пылевозвратными стояками.

В результате внедрения новых циклонов регенератора потери катализатора из системы сократились на 20%. Ревизия после непрерывного пробега установки продолжительностью 28,5 мес. показала, что циклоны находятся в хорошем состоянии и не имеют следов эрозионного изнашивания.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Егоров И. В., Ганцев В. А., Соляр Б. З. и др. — ХТТМ, 1996, № 6, с. 20—22.*
2. *Соляр Б. З., Глазов Л. Ш., Либерзон И. М. и др.— Там же, 2001, № 2, с. 21—23.*

ОАО «ВНИИ НП»