УДК 665.644.2

Б. З. Соляр, Л. Ш. Глазов, И. М. Либерзон, А. В. Иванов, Н. Н. Парсентьев, В. С. Никитченко, К. Б. Рудяк, Ф. В. Карпеко

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

Второй этап

Описана реконструкция реакторного блока каталитического крекинга комбинированной установки Г-43-107М/1 с внедрением комплекса новых элементов технологии и узлов оборудования, позволившая существенно повысить эффективность и надежность работы установки, создать условия для ее перевода на двухлетний межремонтный пробег.

Ключевые слова:

каталитический крекинг, оборудование реакторного блока, реактор, регенератор, циклоны, сепарационное устройство, отпарная секция реактора, устройство периодической выгрузки отработанного катализатора, эффективность пылеулавливания, бензиновая фракция, октановое число.

Реконструкция реакторного блока (РБ) каталитического крекинга (КК) комбинированной установки Г-43-107М/1 проведена в ООО «ЛИНОС» (г. Лисичанск, Украина) в два этапа, в периоды ее плановых капитальных ремонтов — соответственно в 2002 и 2003—2004 гг. Первый этап описан в [1].

Второй этап реконструкции включал: монтаж высокоэффективных циклонов в реакторе и регенераторе и сепарационного устройства на конце прямоточного реактора (ПР); модернизацию отпарной секции реактора с монтажом усовершенствованных каскадных тарелок и парораспределительных устройств; замену внутреннего участка ПР; монтаж устройства периодической выгрузки отработанного катализатора.

Еще при строительстве этой установки реактор КК был реконструирован по технологии Французского института нефти. В частности, были демонтированы циклоны II ступени с сохранением циклонов I ступени (т.е. реализована одноступенчатая циклонная система пылеулавливания) и на конце ПР установлен баллистический сепаратор.

Каждый циклон был приварен к газосборной камере выводным патрубком и дополнительно закреплен на крышке аппарата при помощи двух вертикальных тяг. Конструкция последних не обеспечивала их свободного вращения в направлении горизонтального перемещения узлов крепления тяг на крышке циклона при разогреве, вследствие чего возникали дополнительные тепловые нагрузки. Циклоны отличались низким отношением высоты к диаметру цилиндрической части корпуса (~3,7) и площади поперечного сечения корпуса к площади входного патрубка (~4,3), что ограничивало эффективность пылеулавливания.

Пылевозвратные стояки циклонов были оборудованы обратным клапаном, снабженным горизонтальной затворной плитой с противовесом. Конструкция клапана способствовала заклиниванию плиты при вращении вокруг оси шарнира и, как следствие, неплотному ее прилеганию к выводному патрубку. Это приводило к подсосу паров в пылевозвратный стояк и вторичному уносу катализатора.

Из-за низкой эффективности пылеулавливания содержание катализатора в шламе составляло 1—1,5% (масс.). По окончании годичного пробега установки на оборудовании и корпусе реактора в зоне, примыкающей к его крышке, были обнаружены значительные коксовые отложения.

Баллистический сепаратор на конце ПР, оборудованный четырьмя равномерно расположенными направляющими коробами для вывода парокатализаторного потока, располагался на 4 м ниже входного патрубка циклонов реактора. Из сепаратора парокатализаторный поток направлялся в отстойную зону реактора, где частицы катализатора, обладающие большей кинетической энергией, отделялись от парообразных продуктов крекинга и ссыпались в псевдоожиженный слой отпарной секции. Эффективность разделения продуктов крекинга и катализатора в этом сепараторе составляла 80—85%.

Низкая эффективность сепарации и продолжительное время пребывания продуктов крекинга в отстойной зоне реактора способствовали развитию в этой зоне неселективных вторичных реакций, снижающих выход бензиновой фракции при росте коксо- и газообразования.

Смонтированные в реакторе на втором этапе реконструкции новые высокоэффективные одноступенчатые циклоны характеризуются высоким отношением длины к диаметру цилиндрической части корпуса (~5,2) и оптимальным соотношением геометрических размеров корпуса, входного и выводного патрубков. Выбранные геометрические параметры циклонов обеспечивают высокую эффективность пылеулавливания.

Конструкция подвески циклонов исключает возникновение дополнительных нагрузок при тепловом расширении. Внутренние поверхности циклонов и верхней части пылевоз-

вратных стояков футерованы эрозионно-стойким бетоном (толщина облицовки — 25 мм), нанесенным на панцирную сетку. На конце пылевозвратного стояка установлен обратный клапан современной конструкции, оснащенный вертикальной затворной плитой.

Кроме четырех высокоэффективных циклонов в реакторе (**рис. 1**) установлена новая газосборная камера, вокруг которой смонтировано парораспределительное кольцо, предупреждающее отложение кокса на поверхности корпуса и оборудовании купола реактора.

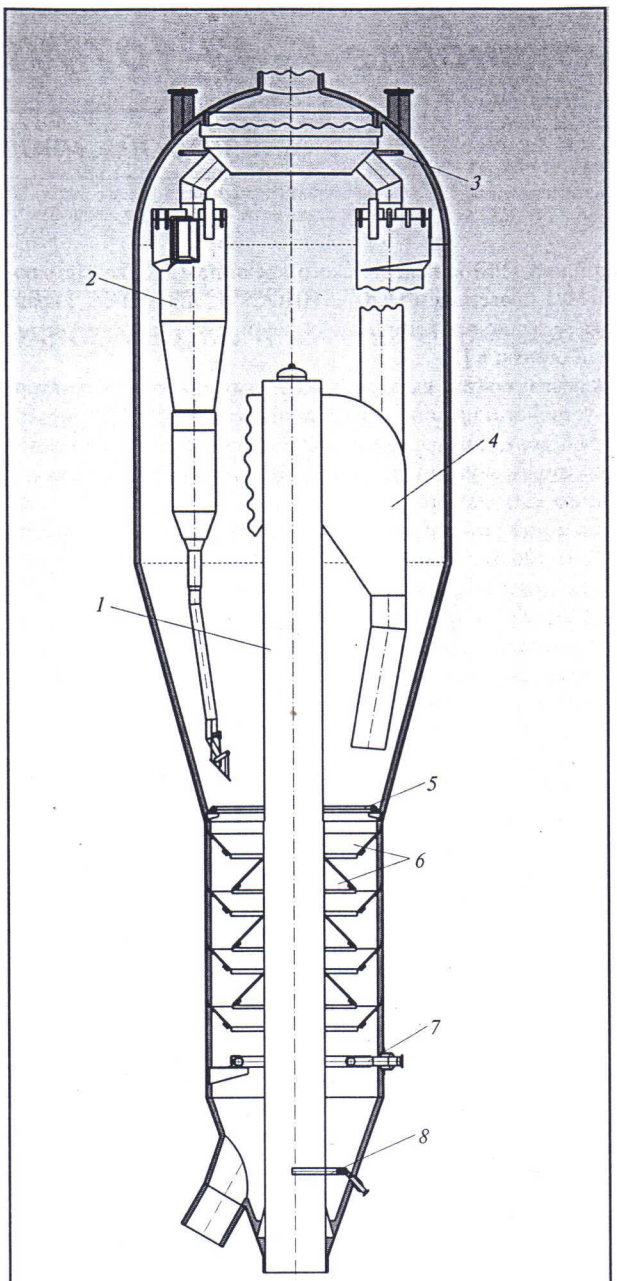

Рис. 1. Схема реактора каталитического крекинга установки Г-43-107М/1 после реконструкции:

1 — прямоточный реактор; *2* — одноступенчатый циклон; *3* — парораспределительное кольцо; *4* — двухступенчатый сепаратор; *5* — парораспределительное кольцо предварительной отпарки; *6* — отпарная секция; *7* — основное парораспределительное кольцо; *8* — вспомогательное парораспределительное полукольцо.

С внедрением новых циклонов содержание катализатора в шламе сократилось до 0,04—0,06% (масс.), т.е. примерно в 20 раз. Согласно расчетам, эффективность пылеулавливания циклонами превышает 99,995%. Ревизия оборудования после годичного пробега установки показала, что циклоны находятся в отличном состоянии, а коксовые отложения в куполе реактора отсутствуют.

Новый сепаратор (см. рис. 1) представляет собой компактное двухступенчатое устройство, предназначенное для быстрого гашения каталитических реакций на выходе газокатализаторного потока из ПР. Он разработан по результатам экспериментов на крупномасштабном газодинамическом стенде и защищен патентом РФ [2, 3].

Разделение в нем катализатора и паров происходит под совокупным действием инерционных и центробежных сил. Частицы катализатора, уловленные на обеих ступенях сепарации, поступают по пылевозвратному стояку в псевдоожиженный слой отпарной секции. Очищенные продукты крекинга направляются по газовыводной трубе на вход циклонов реактора.

Двухступенчатый сепаратор по эффективности сепарации (98—99%) близок к циклону грубой очистки на конце ПР, но отличается от него меньшим временем разделения: 0,2—0,3 с против 1—1,5 с.

Дегазация потока в пылевозвратном стояке сепаратора способствует сокращению количества углеводородных паров, увлекаемых в отпарную секцию с отработанным катализатором. Установленное непосредственно под выходным отверстием стояков парораспределительное кольцо для предварительной отпарки катализатора позволяет повысить эффективность работы отпарной секции в целом.

Высокоэффективный двухступенчатый сепаратор и узел предварительной отпарки катализатора способствуют сокращению числа нежелательных вторичных реакций в отстойной и отпарной зонах реактора со снижением селективности образования кокса и сухого газа и повышением селективности образования бензиновой фракции.

До второго этапа реконструкции на установке сохранялось устаревшее конструктивное оформление отпарной секции реактора, разработанное в рамках первоначального проекта этой установки в середине 1970-х годов. Отпарная секция была оборудована двумя периферийными каскадными тарелками конусного типа, прикрепленными к корпусу аппарата, и тремя центральными тарелками, прикрепленными к наружной поверхности ПР.

В нижней части отпарной секции были установлены два кольцевых парораспределителя, изготовленных из нефутерованной трубы диаметром $D_у$ = 150 мм и снабженных короткими ниппелями постоянного проходного сечения.

Из-за недостаточного числа каскадных устройств в отпарной секции эффективность отпарки катализатора была пониженной. Нефутерованные парораспределители подвергались эрозионному изнашиванию на участках вблизи ниппелей. Оборудование отпарной секции и внутренний участок ПР были изготовлены из стали 08Х13, которая, как показывает опыт эксплуатации установок Г-43-107М/1, в среде реактора КК быстро теряет свои прочностные свойства.

Проект модернизации отпарной секции реактора (см. рис. 1) для устранения указанных недостатков предусматривал

установку семи новых каскадных конусных тарелок, в том числе трех центральных и четырех периферийных, основного и вспомогательного парораспределителей, а также замену внутреннего участка ПР.

Согласно проекту, наружная поверхность каскадных тарелок покрыта эрозионно-стойкой футеровкой. Несколько рядов отверстий вблизи нижнего края каскадных тарелок обеспечивают ступенчато-противоточный режим контактирования катализатора и водяного пара.

Основное парораспределительное кольцо, изготовленное из трубы с D_y = 200 мм, установлено под нижней каскадной тарелкой, вспомогательное парораспределительное полукольцо, предназначенное для предупреждения образования застойных зон в нижней части отпарной секции, — напротив входа в напорный стояк. Парораспределители оснащены удлиненными ниппелями переменного сечения с эрозионно-стойкой футеровкой наружной поверхности. Ограничительная диафрагма на входе в ниппель создает повышенное газодинамическое сопротивление, а расширенный выводной канал обеспечивает пониженную скорость пара на выходе из ниппеля. Такая конструкция позволяет достичь более равномерного распределения водяного пара и свести к минимуму эрозионный износ ниппелей.

Новое оборудование отпарной секции реактора и внутренний участок ПР изготовлены из стали 08Х18Н10Т.

Согласно первоначальному проекту установки Г-43-107М/1, в регенераторе были размещены шесть групп двухступенчатых циклонов. Эти циклоны отличались низким отношением высоты к диаметру цилиндрической части корпуса (~3,7) и повышенной скоростью газа в выводных патрубках (при проектной производительности), что приводило к быстрому эрозионному изнашиванию конической части корпуса и бункера с образованием сквозных отверстий.

Конструктивные недостатки системы подвески циклонов ограничивали при разогреве свободное перемещение циклонов I ступени и их подвесных тяг как в горизонтальном, так и в вертикальном направлениях. В результате в узлах крепления циклонов возникали значительные тепловые нагрузки, а в корпусах, особенно в зоне сварных швов, появлялись микротрещины. (На других установках этого типа в ряде случаев происходил отрыв крышки от корпуса циклонов I ступени.)

Образование сквозных эрозионных отверстий и микротрещин приводило к заметному снижению эффективности пылеулавливания циклонами и уносу крупных частиц катализатора. Содержание фракции >40 мкм в катализаторе, уловленном выносной системой пылеочистки, превышало 55%.

Для повышения эффективности и надежности системы пылеулавливания регенератора (**рис. 2**) были разработаны новые двухступенчатые циклоны и усовершенствована конструкция их подвески.

Высокоэффективные циклоны характеризуются повышенным отношением длины к диаметру цилиндрической части корпуса (~5). Геометрические размеры их входного и выводного патрубков выбраны исходя из условия создания в них оптимального скоростного режима, обеспечивающего длительный срок службы циклонов и высокую эффективность пылеулавливания. Пылевозвратные стояки циклонов I и II ступеней оснащены затворными (обратными) клапанами усовершенствованной конструкции.

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

Циклоны I ступени подвешены на вертикальных тягах (по две на каждый циклон) усовершенствованной конструкции, 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. Конструкция подвески циклонов обеспечивает компенсацию теплового расширения ее элементов как в вертикальном, так и в горизонтальном направлениях.

В результате применения в реакторе и регенераторе установки Г-43-107М/1 высокоэффективных циклонов потери катализатора снизились до 1,2—1,5 т/сут. Однако для поддержания активности равновесного катализатора на оптимальном уровне в систему РБ необходимо догружать 2,5—3 т/сут. свежего катализатора.

Для предупреждения накопления катализатора в системе разработано устройство его периодической выгрузки. Основными узлами этого устройства являются дозатор расхода катализатора и линия пневмотранспорта катализатора из регенератора в бункер Б-201.

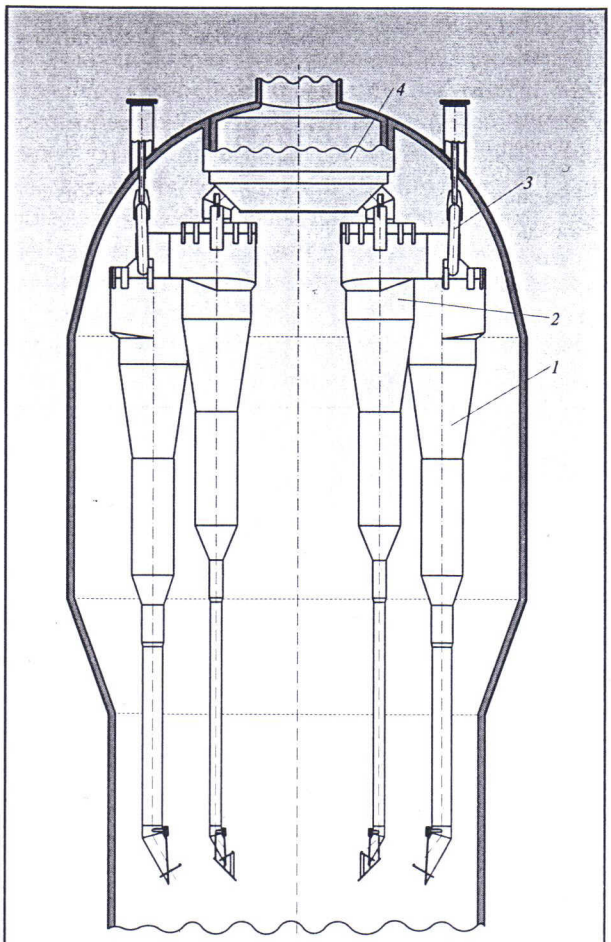

Рис. 2. Схема регенератора с двухступенчатыми циклонами:
1, 2 — циклоны соответственно I и II ступеней;
3 — подвесная тяга; *4* — газосборная камера.

Таблица 1

Показатели	До второго этапа реконструкции	После второго этапа реконструкции
Реактор		
Температура, °С		
крекинга	523	523
нагрева сырья	281	286
Давление, МПа	0,126	0,128
Регенератор		
Расход воздуха (в нормальных условиях), тыс. м³/ч	134	132
Температура в псевдоожиженном слое, °С	684	675
Давление, МПа	0,146	0,141

Таблица 2

Продукт крекинга	Выход, % (масс.)	
	до второго этапа реконструкции	после второго этапа реконструкции
Сухой газ	3,73	3,19
Фракция		
пропан-пропиленовая	7,29	7,31
бутан-бутиленовая	9,65	9,50
бензиновая	54,02	55,05
Газойль		
легкий	15,68	15,36
тяжелый	4,76	4,74
Кокс	4,87	4,85
Конверсия, % (масс.)	79,56	79,90

Таблица 3

Показатели	До второго этапа реконструкции	После второго этапа реконструкции
Стабильная бензиновая фракция		
Плотность при 20°С, кг/м³	735	733
Температура, °С		
н.к.	32	34
к.к.	209	207
Содержание серы, % (масс.)	0,046	0,045
Октановое число		
по ММ	82,2	83,2
по ИМ	94	94,2
Легкий газойль		
Плотность при 20°С, кг/м³	967	966
Температура, °С		
н.к.	222	222
к.к.	359	362
Содержание серы, % (масс.)	0,65	0,64

Основная проблема эксплуатации подобных устройств состоит в высокой (~650°С) температуре выводимого катализатора. Из-за этого возможны сильный нагрев трубопровода и арматуры линии пневмотранспорта, а также повышение температуры в бункере Б-201, изготовленном из углеродистой стали.

В разработанном устройстве периодической выгрузки для исключения перегрева аппаратуры предусмотрено применение дозатора, ограничивающего вывод из регенератора горячего катализатора. Это способствует существенному снижению температуры катализатора при транспортировке в бункер Б-201.

Проведенные в рамках второго этапа реконструкции РБ технические мероприятия позволили существенно повысить эффективность и надежность работы установки Г-43-107М/1. Основные режимные параметры, выход и характеристики продуктов крекинга до и после второго этапа реконструкции приведены в **табл. 1—3**.

Они соответствуют периодам работы установки при производительности, близкой к проектной. Другие условия эксплуатации в эти периоды (характеристики сырья и равновесного катализатора, температура окружающей среды, состояние оборудования блока фракционирования продуктов крекинга) различались незначительно.

Сырье установки — гидроочищенный вакуумный дистиллят 320—560°С западносибирской нефти. Его плотность при 20°С — 894 кг/м³, коксуемость (по Конрадсону) — 0,15—0,20% (масс.), содержание в нем серы — 0,30—0,35% (масс.). Процесс проводили с применением мелкодисперсного катализатора NEXUS компании «Grace Davison». Активность равновесного катализатора — 68% (масс.) по методу MAT Davison. Температуру крекинга в сравниваемые периоды работы установки поддерживали равной 523°С.

Как видно из приведенных данных, после второго этапа реконструкции температура регенерации снизилась на 9°, выход сухого газа сократился на 0,54% (масс.). Это свидетельствует о коррекции селективности процесса в благоприятном направлении вследствие снижения вклада нежелательных вторичных реакций, протекающих в отстойной зоне и отпарной секции реактора.

В результате выход бензиновой фракции увеличился на 1,03% (масс.), т.е. до 55,05% (масс.), ее октановое число повысилось на 1 пункт по ММ (до 83,2) и 0,2 пункта по ИМ (до 94,2). Благодаря применению новых высокоэффективных циклонов в регенераторе содержание фракций >40 мкм в катализаторе, уловленном выносной системой пылеочистки, снизилось до 4% (масс.).

После первого и второго этапов реконструкции РБ выход бензиновой фракции увеличился на 2,63% (масс.), ее октановое число повысилось на 1,2 пункта по ММ и на 0,9 пункта по ИМ, расход катализатора сократился на 30%. Обеспечены условия для перевода установки на двухлетний межремонтный пробег.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Соляр Б. З., Глазов Л. Ш., Климцева Е. А. и др. — ХТТМ, 2002, № 6, с. 8—13.*
2. *Соляр Б. З., Глазов Л. Ш., Либерзон И. М. и др. — Там же, 1998, № 6, с. 28—30.*
3. *Пат. 2115460 (Россия).*

ООО «ЛИНОС», ТНК—ВР, ООО «ОРГАВТОТЕХ», ВНИИ НП