УДК 665.644.2

Б. З. Соляр, Л. Ш. Глазов,
И. М. Либерзон, Е. А. Климцева

Реконструкция установки каталитического крекинга 1А/1М

Увеличение производительности на 40%

Описана реконструкция установки каталитического крекинга 1А/1М с внедрением комплекса новых элементов технологии и узлов оборудования: сырьевой и шламовой форсунок, одноступенчатых циклонов реактора, двухступенчатой отпарки катализатора, воздухо- и паро-распределительных устройств, двухступенчатых циклонов регенератора.

В результате увеличилась производительность установки на 40%, повысились выход и октановые характеристики бензиновой фракции, созданы предпосылки для перевода установки на двухлетний межремонтный цикл эксплуатации.

Ключевые слова

Каталитический крекинг, оборудование реакторного блока, реактор, регенератор, циклоны, катализатор, бензиновая фракция, октановое число

В ОАО «Уфанефтехим» установка каталитического крекинга 1А/1М с псевдоожиженным слоем катализатора эксплуатируется с 1963 г. В исходной схеме ее реакторного блока (РБ) было принято несоосное расположение регенератора над реактором.

Циркуляционный контур РБ включает: транспортную линию реактора, наружный участок которой расположен под углом 45° к оси реактора; транспортную линию регенератора, состоящую из горизонтального и вертикального участков, соединенных плавным поворотом; короткий (высотой около 3 м) напорный стояк реактора; удлиненный (высотой около 40 м) напорный стояк регенератора. Напорные стояки оснащены регулирующими клапанами шиберного типа.

РБ работает при сравнительно низком избыточном давлении: в реакторе — не выше 0,07 МПа, в регенераторе — не выше 0,02 МПа. В 1970-х и 1980-х годах на установке был выполнен ряд технических мероприятий, направленных на повышение эффективности процесса.

В 1995 г. отечественный катализатор КМЦР-НД был заменен на катализатор фирмы «Grace Davison», отличающийся более высокими селективностью, стабильностью и износостойкостью. Однако устаревшие к тому времени технология и оборудование процесса не позволили реализовать потенциал нового катализатора. В связи с этим в 1997—1999 гг. по проекту ВНИИ НП были выполнены частичная модернизация и замена оборудования РБ.

Смонтирован прямоточный реактор, состоящий из наружного наклонного и внутреннего вертикального участков; в его основании установлена многосопловая форсунка с узлом предварительного диспергирования сырья [1], а на его конце — инерционный сепаратор, обеспечивающий разворот газокатализаторного потока на 180° с последующим отделением 80—85% отработанного катализатора от продуктов крекинга [2, 3].

Кроме того, были смонтированы новый напорный стояк регенератора, оснащенный современной однослойной футеровкой, и двухступенчатые циклоны реактора (взамен трехступенчатых). Новое оборудование было рассчитано на номинальную производительность по свежему сырью 0,8 млн. т/год.

С 1999 г. направляемый на установку в качестве сырья прямогонный вакуумный газойль подвергается гидроочистке. Этот процесс проводится в сравнительно мягких условиях на переоборудованной установке Л-25/4, изначально предназначенной для гидроочистки дизельного топлива. Степень обессеривания вакуумного газойля не превышает 50—60%.

После частичной модернизации установки 1А/1М в перерабатываемый гидроочищенный вакуумный газойль стали добавлять примерно 10% прямогонного. В результате модернизации РБ и вовлечения в переработку гидроочищенного сырья выход бензина увеличился с 40 до 48% (масс.), октановое число бензина — с 78,5 до 81,5 по моторному методу (ММ) и с 90,0 до 92,5 по исследовательскому методу (ИМ).

В дальнейшем в связи с увеличением поставок нефти в ОАО «Уфанефтехим» возникла необходимость в повышении производительности установки 1А/1М примерно на 40%. Одновременно были поставлены задачи улучшения технико-экономических показателей работы установки до мирового уровня и увеличения продолжительности ее межремонтного пробега до двух лет и более.

Однако сохранившееся технологическое и аппаратурное оформление РБ из-за ряда недостатков не позволяло увеличить выход и октановое число бензина, продолжительность межремонтного пробега, а также повысить надежность работы установки и снизить вредные выбросы в атмосферу. К наиболее существенным из них относились:

- длительное время пребывания паров в отстойной зоне реактора, способствующее сниже-

нию селективности процесса по образованию бензина;

- пониженная эффективность отпарки катализатора, способствующая его необратимой дезактивации и приводящая к ухудшению селективности процесса по образованию кокса;
- нерациональная технология двухступенчатой регенерации катализатора с применением горизонтальной секционирующей решетки провального типа и вводом отработанного катализатора в отстойную зону регенератора, приводящая к повышенным выбросам оксида углерода в атмосферу и более высокой температуре регенерированного катализатора (благодаря выводу из регенератора более холодных дымовых газов); повышенная температура регенерированного катализатора приводила, в свою очередь, к снижению кратности циркуляции катализатора и конверсии сырья;
- пониженная эффективность циклонов реактора и регенератора, отсутствие в них эрозионно-стойкой футеровки и вследствие этого повышенный унос катализатора с продуктами крекинга и дымовыми газами, изнашивание корпуса и бункера циклонов с образованием сквозных отверстий;
- устаревшая конструкция трубчатого воздухораспределителя регенератора: отсутствие эрозионно-стойкой футеровки; применение коротких ниппелей с каналом постоянного проходного сечения, направленных вертикально вверх и размещенных в периферийной зоне на разных высотных отметках, что приводило к его эрозионному изнашиванию, неравномерному распределению воздуха по сечению регенератора и, как следствие, неоднородному псевдоожижению — одной из причин периодически возникающей нестабильности течения катализатора по напорному стояку регенератора;
- недостаточно надежная конструкция подвески циклонов регенератора;
- неоптимальные конфигурация сливной воронки и схема аэрации напорного стояка регенератора, способствующие нарушениям стабильности циркуляции катализатора;
- устаревшая конструкция топливных форсунок регенератора, вызывающая перегрев катализатора в зоне ввода топлива и его термическую дезактивацию при длительной эксплуатации топливных форсунок.

Для устранения отмеченных недостатков и достижения поставленных целей ВНИИ НП и Башгипронефтехим разработали проект реконструкции установки 1А/1М, предусматривающий увеличение ее номинальной производительности по свежему сырью до 1,2 млн. т/год. Заказчиком был выбран низкозатратный вариант реконструкции РБ — с сохранением конфигурации начального участка прямоточного реактора, поскольку в этом случае исключалась необходимость сооружения дополнительной опорной металлоконструкции и нового напорного стояка регенератора.

В схему РБ (см. **рисунок**) согласно проекту реконструкции был включен следующий комплекс новых элементов технологии и узлов оборудования:

- прямоточный реактор с увеличенной на 40% площадью поперечного сечения;
- сырьевая форсунка с камерой предварительного диспергирования, рассчитанная на более высокую производительность;
- эрозионно-стойкая шламовая форсунка;
- четыре футерованных одноступенчатых циклона и газосборная камера реактора;
- парораспределительное кольцо в куполе реактора для предупреждения отложения кокса в этой зоне;
- три каскадные тарелки в верхней части отпарной секции реактора;
- десять парораспределительных труб в отпарной секции реактора, оснащенных наружной футеровкой и усовершенствованными ниппелями с входной диафрагмой;
- внутренний участок транспортной линии регенератора с распределительным устройством отработанного катализатора на ее конце;
- футерованное воздухораспределительное устройство регенератора, состоящее из трубчатого восьмисекционного воздухораспределителя, расположенного на стыке цилиндрической и конической частей корпуса регенератора, и кольцевого воздухораспределителя, расположенного в нижней конической зоне регенератора;
- восемь групп двухступенчатых футерованных циклонов и газосборная камера регенератора;
- внутренний участок напорного стояка регенератора со сливной воронкой, оборудованной предохранительной решеткой;
- две высокоэффективные топливные форсунки регенератора;
- автоматизированные шиберные задвижки К-5 и К-20 фирмы «ТАРСО» (США) на напорных стояках соответственно реактора и регенератора.

После реконструкции процесс каталитического крекинга проводится в прямоточном реакторе общей длиной 31,5 м, состоящем из наружного наклонного участка, участка плавного поворота, расположенного внутри отпарной секции реактора, и внутреннего вертикального участка. Прямоточный реактор разбит на четыре участка с различным поперечным сечением, возрастающим по мере увеличения глубины превращения сырья.

Регенерированный катализатор поступает в нижнюю часть прямоточного реактора непосредственно в зону диспергирования и испарения сырья. Сырье вводится в прямоточный реактор через соосно расположенную форсунку, оснащенную многосопловым наконечником и камерой предварительного диспергирования сырья.

В камере осуществляется эффективное диспергирование сырья ударным дроблением жидкой струи с последующим измельчением образующихся капель под воздействием высокоскоростных струй водяного пара. Одновременно достигается однородное перемешивание потоков сырья и водяного пара.

В среднюю часть наружного участка прямоточного реактора подается шлам через радиальную эрозионностойкую форсунку. На выходе из прямоточного реактора парокатализаторный поток поступает в инерционный сепаратор, состоящий из четырех плавно изогнутых отводов.

В сепараторе в результате совокупного действия инерционных и центробежных сил продукты каталитического крекинга отделяются от отработанного катализатора с эффективностью 85—90% и выводятся из сепаратора на небольшом расстоянии от вхо-

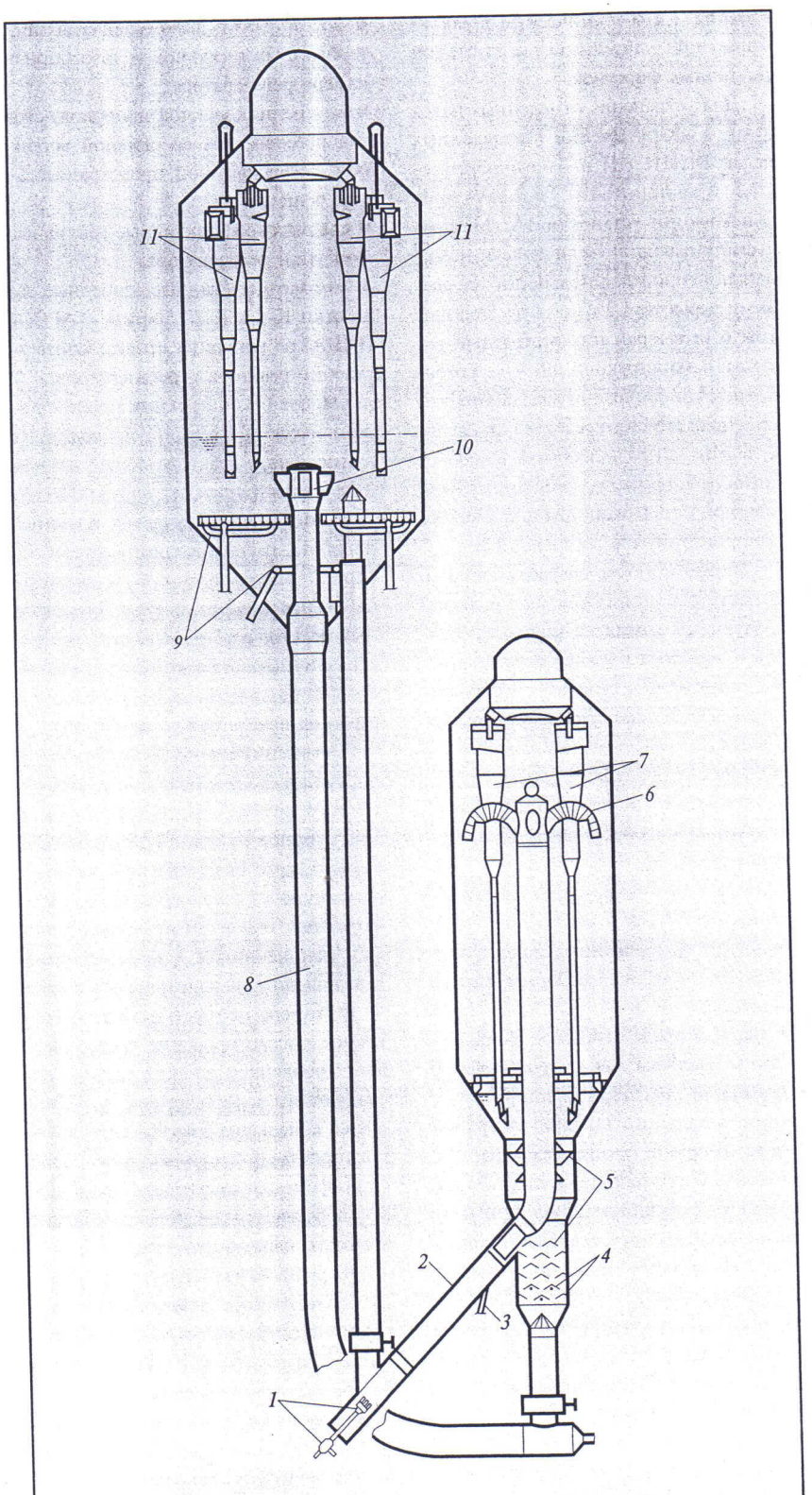

Схема реакторного блока установки 1А/1М после реконструкции:

1 — сырьевая форсунка; *2* — прямоточный реактор; *3* — шламовая форсунка; *4* — парораспределительное устройство; *5* — двухступенчатая отпарная секция; *6* — инерционный сепаратор; *7* — одноступенчатые циклоны; *8* — транспортная линия регенератора; *9* — воздухораспределительное устройство; *10* — узел распределения отработанного катализатора; *11* — двухступенчатые циклоны.

да в циклоны реактора. Их глубокая очистка осуществляется в четырех одноступенчатых высокоэффективных циклонах, внутренние поверхности которых покрыты эрозионно-стойкой футеровкой. Циклоны с высоким отношением длины к диаметру цилиндрической части корпуса обеспечивают 99,995%-ную эффективность пылеулавливания. Затворный клапан пылевозвратного стояка циклонов погружается в псевдоожиженный слой отпарной секции для предупреждения подсоса паров в циклоны через стояк.

Отработанный катализатор после отделения от продуктов каталитического крекинга поступает в отпарную секцию реактора, где подвергается двухступенчатой отпарке в противоточном режиме с водяным паром. На первой ступени отпарка осуществляется в верхней зоне секции с применением вновь установленных трех конических каскадных тарелок. На второй ступени она завершается с использованием существующих каскадных элементов желобчатого типа.

Водяной пар на отпарку вводится через два яруса футерованных парораспределителей усовершенствованной конструкции. В верхнем ярусе предусмотрены четыре парораспределительные трубы, в нижнем ярусе — шесть парораспределительных труб, причем водяной пар подается в верхний и нижний ярусы двумя отдельными потоками с независимым регулированием расхода.

Уровень псевдоожиженного слоя в отпарной секции регулируется автоматизированной шиберной задвижкой К-5 на напорном стояке реактора. Положение шибера задвижки изменяется в автоматическом режиме по сигналу датчика контрольно-измерительного прибора, измеряющего уровень слоя.

На входе в напорный стояк установлена предохранительная решетка, исключающая попадание в него крупных кусков кокса или футеровки. После отпарки отработанный катализатор поступает по напорному стояку в транспортную линию регенератора, по которой воздушным потоком перемещается в регенератор в разреженной фазе.

Отработанный катализатор вводится в регенератор в среднюю часть псев-

доожиженного слоя при помощи установленного на конце транспортной линии устройства, равномерно распределяющего катализатор по горизонтальному сечению слоя. Основной поток воздуха на регенерацию подается через футерованный восьмисекционный трубчатый воздухораспределитель с раздельным подводом воздуха в каждую секцию. Дополнительный поток воздуха поступает в нижнюю конусную часть регенератора через футерованный кольцевой воздухораспределитель.

Топливо в регенератор при разогреве системы или в аварийных ситуациях подается через две новые высокоэффективные форсунки.

Дымовые газы регенерации подвергаются очистке от увлеченного катализатора в восьми группах высокоэффективных двухступенчатых циклонов с нанесенной на внутренние поверхности эрозионно-стойкой футеровкой. Первая ступень крепится к куполу регенератора при помощи вращающихся на шарнирах подвесных тяг, вторая — непосредственно к сборной камере циклонов. Конструкция подвески циклонов обеспечивает компенсацию температурного удлинения всех узлов системы как в вертикальном, так и в горизонтальном направлениях.

После внутренних циклонов дымовые газы направляются на глубокую очистку в электрофильтры, которые в перспективе планируется заменить выносной циклонной системой пылеулавливания.

Регенерированный катализатор поступает в напорный стояк через сливную воронку, оснащенную предохранительной решеткой. Стояк оборудован усовершенствованной системой аэрации, включающей девять ярусов. Скорость циркуляции катализатора регулируется автоматизированной шиберной задвижкой К-20 в нижней части напорного стояка. Положение шибера задвижки изменяется в автоматическом режиме по сигналу термопары, расположенной на выходе из инерционного сепаратора.

В зависимости от потребности в том или ином нефтепродукте процесс каталитического крекинга может осуществляться при различной жесткости технологического режима с максимальной выработкой либо бензина, либо легкого газойля, либо непредельных газов C_3—C_4. Жесткость режима варьируется путем изменения температуры крекинга, температуры нагрева сырья и расхода свежего катализатора.

Реконструкция РБ и блока фракционирования продуктов крекинга (за исключением модернизации внутренних устройств колонного оборудования) выполнена в период плановых капитальных ремонтов установки 1А/1М в 2001 и

Таблица 1

Продукты крекинга	Выход (% масс.) при производительности по свежему сырью			
	номинальной		110% от номинальной	
	фактический	скорректированный	фактический	скорректированный
Сухой газ, включая сероводород	7	3,1	7,9	3,3
Рефлюкс	10,4	14,1	10,3	14
Бензин	50,8	51,9	49,7	51,4
Легкий газойль	23,5	22,6	24,5	23,5
Тяжелый газойль	3,8	3,8	3,3	3,3
Кокс	4,5	4,5	4,5	4,5
Конверсия сырья, % (масс.)	—	**73,6**	—	**73,2**

Таблица 2

Показатели	При производительности по свежему сырью	
	номинальной	110% от номинальной
Бензиновая фракция		
Плотность при 20°С, кг/м³	736	736
Содержание серы, % (масс.)	0,1	0,1
Октановое число		
по ММ	82,2	82
по ИМ	93,5	93,5
Фракционный состав, °С		
н.к.	39	38
50%	98	102
к.к.	202	203
Легкий газойль		
Плотность при 20°С, кг/м³	954	950
Содержание серы, % (масс.)	1,3	1,3
Фракционный состав, °С		
н.к.	186	182
10%	210	214
50%	265	273
к. к. (выход, % масс.)	360(96)	360(94)
Тяжелый газойль		
Плотность при 20°С, кг/м³	1062	1060
Содержание, % (масс.)		
серы	1,7	1,8
механических примесей	0,0092	0,0096

Выставки

Действительный член Международного союза выставок и ярмарок

Ижевский экспоцентр приглашает

II Всероссийская специализированная выставка «Нефть. Газ. Химия»

Ижевск, Удмуртия, Россия

4–6 ноября 2003 года

В ЭКСПОЗИЦИИ

- Продукция нефтегазодобывающей, машиностроительной и других отраслей промышленности
- Новейшие технологии, оборудование, инструменты
- Новое в строительной, транспортной и сельскохозяйственной отраслях

Обращаться по адресу: 426063, Удмуртская Республика, г. Ижевск, ул. Гольянский поселок, 54а.

Тел./факс: (3412) 51-10-73, 75-03-08, 76-14-17, 75-34-17, 75-17-98, 75-13-19.

Тел.: (3412) 51-13-15.

E-mail: postmaster@izhexpocentr.udm.ru izhexp@udmnet.ru

Таблица 3

Показатели	После предварительных этапов реконструкции		После завершения реконструкции	
	факт	изменение	факт	общее изменение
Выход бензиновой фракции C_5 — 205°С, % (масс.)	48,5	+8,0	50,8	+10,8
Октановое число				
по ММ	81,5	+3,0	82,2	+3,7
по ИМ	92,5	+2,5	93,5	+3,5
Производительность по свежему сырью	—	0	—	+40% (отн.)
Расход				
водяного пара	—	–25% (отн.)	—	–35% (отн.)
катализатора, кг/т	0,5	–15% (отн.)	0,45	–25% (отн.)

2002 гг. После реконструкции установка эксплуатируется при стабильном технологическом режиме, близком к проектному. Нарушения циркуляции катализатора, наблюдавшиеся в предшествующий период, исключены.

На установке перерабатывается гидроочищенный в мягких условиях вакуумный газойль в смеси с прямогонным — до 20% (масс.). Характеристика этого сырья: плотность — 890—895 кг/м^3 при 20°С; температура конца кипения — 500—520°С; содержание фракций до 350°С — 10—12% (об.); содержание серы — 0,9—1,0% (масс.); коксуемость (по Конрадсону) — 0,12—0,16% (масс.); содержание ванадия и никеля — 1 мг/кг.

Каталитический крекинг осуществляется при температуре на конце прямоточного реактора 520—525°С, температуре нагрева сырья 260—280°С, кратности циркуляции катализатора — 6,8—7. Расход свежего катализатора — 0,45 кг/т сырья. Содержание остаточного кокса на катализаторе — 0,1% (масс.).

Выход и качество продуктов установки 1А/1М приведены соответственно в **табл. 1** и **2**. В **табл. 3** показано изменение показателей работы установки в результате реконструкции.

При эксплуатации установки после реконструкции производительность по свежему сырью составила 110—115% от номинальной (3880—4050 т/сут); октановое число бензина — 82,2 (по ММ) и 93,5 (по ИМ); выход бензина с температурой конца кипения 205°С — 50,8% при номинальной производительности; содержание пропилена и бутиленов во фракции C_3—C_4 — 64,5% (масс.).

Реконструкция позволила увеличить производительность установки по свежему сырью на 40%, повысить выход бензина на 2,8% (масс.) и его октановое число на 0,7—1 пункт, создать предпосылки для перевода установки на двухлетний межремонтный срок эксплуатации.

Из-за незавершенности реконструкции блока фракционирования при эксплуатации установки выявлены недостатки: нечеткое разделение продуктов крекинга в ректификационной колонне, что приводит к повышенному содержанию бензиновых фракций в легком газойле; значительное увлечение фракций C_3—C_5 с сухим газом (их содержание в сухом газе составляет 50—60% масс.).

Модернизацию основной ректификационной колонны и блока абсорбции жирного газа намечено провести в период следующего капитального ремонта установки, что позволит, реализовав в полной мере потенциал новой технологии, дополнительно повысить выход и октановое число бензина.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Соляр Б. З., Глазов Л. Ш., Бабиков А. Ф. и др.* — ХТТМ, 1997, № 1, с. 24—25.
2. *Бабиков А. Ф., Соляр Б. З., Глазов Л. Ш. и др.* — Там же, 1993, № 1, с. 9—13.
3. *Соляр Б. З., Глазов Л. Ш., Берман Л. А. и др.* — Там же, 1999, № 4, с. 19—22.

ОАО «ВНИИ НП»