

Б. З. Соляр, Л. Ш. Глазов, Е. А. Климцева,
Н. Г. Годжаев, А. А. Бабынин, А. К. Калимуллин

ООО «Автотехпроект»,
ОАО «ТАИФ-НК»

Разработка технических решений по повышению производительности и эффективности работы установки катализитического крекинга в ОАО «ТАИФ-НК»

Описаны результаты разработки и внедрения комплекса технических решений, направленных на совершенствование технологии процесса и модернизацию оборудования реакторного блока установки катализитического крекинга в ОАО «ТАИФ-НК», позволивших существенно повысить производительность, эффективность и стабильность работы установки.

Ключевые слова: катализитический крекинг, реакторный блок, реактор, регенератор, сырьевые форсунки, циклоны, торможение термических реакций, сепарационная зона, циркуляция катализатора, бензиновая фракция, октановое число.

Комплекс каталитического крекинга (КК) эксплуатируется в ОАО «ТАИФ-НК» с 2006 г. В его состав входят установки КК с псевдоожиженным слоем катализатора, гидроочистки тяжелой бензиновой фракции КК, производства метил-*трет*-бутилового и *трет*-амилметилового эфиров (последняя введена в эксплуатацию в 2008 г.). Установка КК была сооружена на базе выведенного из эксплуатации блока дегидрирования изопентана, по аппаратурному оформлению сходного с установкой КК. При реконструкции реакторного блока были смонтированы прямоточный реактор КК, новые внутренние устройства реактора и регенератора, транспортные линии катализатора, выносная система пылеочистки дымовых газов регенерации. Проектная мощность установки КК по сырью — 800 тыс. т/год.

Сырьем установки КК является смесь прямогонного вакуумного газойля и остатка газового конденсата (содержание последнего

составляет 8–12% мас.) со следующими характеристиками: плотность при 20°C — 910–912 кг/м³, пределы выкипания — 320–565°C, коксуюемость по Конрадсону — 0,17–0,2% мас., содержание серы и азота — соответственно 2 и 0,9% мас., содержание ванадия и никеля — 1–1,5 млн⁻¹.

После успешного освоения комплекса КК [1] была поставлена задача увеличения его производительности до 1 млн т/год с одновременным повышением выхода и качества целевых продуктов. Для разработки технических решений по увеличению производительности установки КК были выполнены комплексные технологические, теплокинетические и газодинамические расчеты реакторного блока с применением математической модели процесса КК, калибровку которой осуществляли по данным фиксированного пробега установки. При расчетах учитывали, что реакторный блок должен устойчиво функционировать при изменении производительности в пределах 60–110% от проектной.

По результатам расчета было рекомендовано повысить рабочее давление в реакторе и регенераторе соответственно на 20 и 27%, что позволило оставить без изменения большую часть оборудования реакторного блока и одновременно обеспечить оптимальный баланс давлений в циркуляционном контуре катализатора. Такое повышение рабочего давления в аппаратах допустимо, поскольку их расчетное давление существенно выше, а увеличенное давление воздуха на входе в транспортную линию регенератора ниже давления нагнетания воздушного компрессора.

В рамках выполненных расчетов были оптимизированы расходы технологических потоков в прямоточный реактор и отпарную секцию реактора. Рециркуляция потоков легкого и тяжелого газойлей была исключена по причине отсутствия ее положительного влияния на процесс. Были проведены поверочные расчеты всех узлов оборудования реакторного блока.

Расчет сырьевых форсунок прямоточного реактора показал,

Аппаратура

что при заданном газодинамическом режиме их эксплуатации сохраняется заметный потенциал для повышения эффективности распыления сырья. Однако интенсификация работы существующих форсунок путем увеличения расхода через них водяного пара не представлялась возможной из-за конструктивных особенностей их наконечника, который подвергался эрозионному износу даже при умеренной скорости истечения паросырьевой струи. В связи с этим было принято решение о замене этих форсунок на высокоэффективные форсунки оригинальной конструкции [2].

В новых форсунках предусматривается трехстадийное диспергирование сырья последовательно в паровом дробителе, модифицированном сопле Вентури и щелевом наконечнике. В паровом дробителе осуществляется предварительное диспергирование сырья путем обработки его встречными высокоскоростными струями водяного пара. Поток сырья подается в камеру дробителя таким образом, чтобы обеспечить его отрыв от стенок камеры. Это позволяет существенно снизить диссиацию высокоскоростных струй водяного пара в пристенной области и способствует их формированию с аккумулированием максимальной кинетической энергии. В результате достигается эффективное дробление капель сырья во встречных радиально ориентированных струях водяного пара. Диспергирование сырья в модифицированном сопле Вентури позволяет измельчить образовавшиеся в паровом дробителе капли и предотвратить расслоение паросырьевого потока. Окончательное распыление сырья в восходящий поток регенерированного катализатора осуществляется через щелевой наконечник, который формирует плоскую веерообразную струю, способствующую более равнο-

мерному распределению сырья по поперечному сечению прямоугольного реактора. Распределение скоростей потоков сырья и водяного пара по конструктивным элементам форсунок рассчитывается так, чтобы создать максимальную скорость в тех элементах, в которых кинетическая энергия паровой фазы при диспергировании сырья расходуется наиболее эффективно.

Рассматриваемые форсунки обеспечивают тонкодисперсное и однородное распыление сырья с образованием капель размером менее 100 мкм. Эффективность форсунок сохраняется в широком диапазоне изменения производительности установки. В результате монтажа в период капитального ремонта установки в 2009 г. новых сырьевых форсунок выход сухого газа снизился на 0,5% мас., выход бензиновой фракции увеличился на 0,6% мас., ее октановое число возросло на 0,5 ед. по ММ (благодаря повышению конверсии сырья).

В соответствии с исходным проектом на выходе из прямоугольного реактора установлено сепарационное устройство – циклоны грубого разделения, предназначенные для эффективного отделения от продуктов крекинга отработанного катализатора. Из циклонов продукты крекинга выводились в сепарационную зону, откуда после довольно продолжительного (20–30 с) пребывания поступали на дополнительную очистку от катализаторной пыли в одноступенчатые циклоны реактора. Такую систему пылеулавливания реактора называют открытой системой циклонов. Ее недостатком является пониженная селективность по бензину и высокий выход сухого газа и диолефинов в процессе КК, что обусловлено протеканием в сепарационной зоне реактора нежелательных термических реакций вследствие продолжительного

пребывания в ней паров продуктов крекинга.

Как показали результаты газодинамических расчетов, «узким местом» при работе установки с увеличенной производительностью станет высокая линейная скорость паров в конструктивных элементах одноступенчатых циклонов реактора, заметно превышающая максимально допустимую даже при условии повышения давления в реакторе согласно вышеприведенным рекомендациям. Это будет способствовать ускоренному эрозионному изнашиванию циклонов. Другое следствие этого – увеличение перепада давления в циклонах реактора с повышением уровня слоя катализатора в пылевозвратном стояке до бункера циклонов, что приведет к увлечению уловленных частиц восходящим вихревым потоком и снижению эффективности пылеулавливания в циклонах.

На пылевозвратном стояке применявшимся циклонов реактора был смонтирован затворный клапан устаревшей конструкции, предусматривающей установку затворной плиты на подвесных кольцах, которые в процессе эксплуатации подвергались деформации. Это приводило к перекосу плиты и ее неплотному прилеганию к кромкам выводного отверстия клапана. Кроме того, конструкция крепления горизонтальных связей пылевозвратных стояков была недостаточно надежна.

Для устранения указанных недостатков был разработан комплекс технических решений по модернизации внутреннего оборудования реактора, предусматривающий монтаж устройства для торможения нежелательных термических реакций в сепарационной зоне [3], а также новых высокоэффективных циклонов большего размера с более надежной конструкцией крепления горизонтальных связей пыле-

Аппаратура

возвратных стояков и усовершенствованными затворными клапанами (см. рисунок).

Устройство для торможения термических реакций включает цилиндрические камеры, соединяющие газовыводные патрубки циклонов грубого разделения и входные патрубки одноступенчатых циклонов. В этом устройстве предусматриваются каналы для ввода паров из отпарной секции реактора. Их расположение выбирается так, чтобы создать в циклонах грубого разделения более высокое давление, чем в сепарационной зоне. Это способствует устойчивому течению уловленного в циклонах катализатора по пылевозвратным стоякам, в том числе при пуске установки, когда риск потери газодинамического напора слоя катализатора в стояках весьма высок. Пылевыпускное отверстие пылевозвратных стояков циклонов грубого разделения погружается в псевдоожженный слой катализатора отпарной секции для обеспечения газодинамического затвора и предупреждения интенсивного поступления продуктов крекинга по пылевозвратным стоякам в нижнюю часть сепарационной зоны.

Парообразные продукты крекинга поступают из циклонов грубого разделения в цилиндрические камеры устройства для торможения термических реакций в состоянии вихревого потока, обладающего повышенной кинетической энергией. Для предупреждения рециркуляции части этого потока через каналы, соединяющие устройство для торможения термических реакций с сепарационной зоной реактора, предусматриваются конструктивные решения, направленные на быстрое разрушение вихревого потока с преобразованием его в поступательный турбулентный.

Новые одноступенчатые циклоны реактора характеризуют-

ся сравнительно высокими отношением длины к диаметру цилиндрической части корпуса и отношением поперечного сечения корпуса к площади сечения входного патрубка. Выбранные геометрические параметры циклонов обусловливают как их высокую эффективность пылеулавливания, так и высокую стойкость к эрозионному изнашиванию. Размеры циклонов и газодинамический режим их работы оптимизированы с учетом запланированного повышения производительности установки и увеличения продолжительности межремонтных пробегов.

На конце пылевозвратного стояка циклонов устанавливается усовершенствованный клапан с вертикальной затворной плитой. Устройство подвески затворной плиты обеспечивает ее плотное прилегание к кромкам выводного патрубка. Более прочная конструкция ограничительной рамы способна выдержать значительные циклические нагрузки при повышенной температуре. Для придания устойчивости системе циклонов предусматривается новая, более надежная конструкция горизонтальных связей, включающая один пояс горизонтальных связей между циклонами и два пояса горизонтальных связей между пылевозвратными стояками. Внутренняя поверхность циклонов реактора и устройства для торможения термических реакций футеруется эрозионностойким бетоном, наносимым на панцирную сетку. Циклоны соединяются с устройством для торможения термических реакций при помощи горизонтальных патрубков прямоугольного сечения.

В результате установки нового оборудования система пылеулавливания реактора была преобразована в так называемую замкнутую систему циклонов, в которой продукты крекинга из циклонов грубого разделения поступают

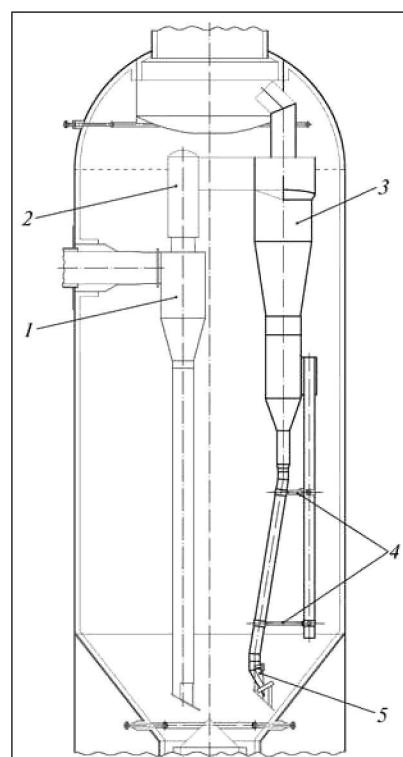


Схема реактора установки катализитического крекинга в ОАО «ТАИФ-НК» после модернизации:

1 – циклон грубого разделения;
2 – устройство для торможения термических реакций; 3 – одноступенчатый циклон;
4 – горизонтальные связи пылевозвратных стояков одноступенчатых циклонов;
5 – затворный клапан одноступенчатого циклона

через устройство для торможения термических реакций непосредственно во входные патрубки одноступенчатых циклонов, минуя сепарационную зону. Благодаря этому продолжительность пребывания паров в сепарационной зоне уменьшается до менее 2 с, что способствует снижению доли нежелательных реакций термического крекинга.

Описанные технические решения по модернизации внутреннего устройства реактора были реализованы в период капитального ремонта установки в 2010 г. В результате заметно снизились выход сухого газа и дельта кокса при тех же температурах крекинга и нагрева сырья, что и до модер-

Аппаратура

низации. Это позволило повысить температуру крекинга на 6–7° увеличением кратности циркуляции катализатора. В результате выход бензиновой фракции повысился на 1% мас., а выход тяжелого газойля (крекинг-остатка) снизился на 1,3% мас. Несмотря на повышение температуры крекинга, выход сухого газа снизился на 0,7% мас., содержание бутадиена в бутан-бутиленовой фракции уменьшилось на 20% отн. Содержание механических примесей в остатке, выводимом снизу ректификационной колонны, снизилось с 0,06 до 0,04% мас. Все эти изменения происходили в условиях повышения производительности установки на 7% отн. по сравнению с базовой.

При эксплуатации установки КК периодически наблюдались колебания перепада давления на шиберной задвижке регенерированного катализатора, что приводило к дестабилизации технологического режима. Эти колебания были обусловлены следующими причинами: низким содержанием мелких (с размером менее 40 мкм) фракций в равновесном катализаторе (2–3% мас. при норме 5–8% мас.), недостаточным количеством ярусов аэрации в напорном стояке регенерированного катализатора и в ряде случаев попаданием в напорный стояк крупных фрагментов панцирной сетки и

бетона из футеровочного покрытия корпуса, а также оторванных горизонтальных связей циклонов регенератора. Последнему способствовало расположение входного отверстия, предназначенного для ссыпания катализатора из регенератора в напорный стояк, непосредственно в нижнем днище регенератора, где обычно скапливаются фрагменты поврежденных участков футеровки или внутреннего оборудования.

Для повышения содержания мелких фракций в равновесном катализаторе, кроме замены одноступенчатых циклонов реактора, были реализованы следующие технические мероприятия: укорочены пылевозвратные стояки циклонов первой ступени регенератора и установлены на их концах затворные клапаны, которые не были предусмотрены в исходном проекте, понижен уровень псевдоожженного слоя в регенераторе, смонтирован узел регулирования фракционного состава катализатора (дробитель), который периодически включается в работу. После реализации этих мероприятий содержание мелких фракций в равновесном катализаторе повысилось до 5–7% мас.

Для более равномерного распределения аэрационного воздуха по высоте напорного стояка были установлены три дополнительных

яруса аэрации, на всех линиях подвода воздуха к аэрационным штуцерам были установлены подпорные диафрагмы (шайбы). Для предупреждения попадания фрагментов футеровки или оборудования в напорный стояк на его входе была смонтирована предохранительная решетка, изготовленная из круглых прутков. Специальная конструкция крепления решетки обеспечивает компенсацию температурного расширения стали при нагревании. Также была изменена конструкция крепления горизонтальных связей циклонов регенератора для исключения их обрыва. Вышеперечисленные меры позволили стабилизировать перепад давления на шиберной задвижке регенерированного катализатора и повысить его примерно на 0,01 МПа.

В результате внедрения комплекса технических решений, направленных на совершенствование технологии процесса КК, модернизацию оборудования реакторного блока, оптимизацию параметров технологического режима установки, ее производительность по сырью была повышена на 35% (с 800 до 1080 тыс. т/год), выход бензина (легкого) увеличился с 47,6 до 50,2% мас., октановое число (по ММ) тяжелой фракции бензина после гидроочистки увеличилось с 80,0 до 80,8 ед.

The results of development and introduction of a set of designs aimed at improving process technology and modernization of equipment of the reactor assembly of the JSC «TAIF-NK» catalytic cracking plant, which help markedly raise the output, efficiency, and stability of operation of the plant, are reported.

Key words: catalytic cracking, reactor assembly, reactor, regenerator, feedstock injectors, cyclones, inhibition of thermal reactions, separation zone, catalyst recycling, gasoline fraction, octane number.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Капустин В. М., Забелинская Е. Н., Соляр Б. З. и др. – Мир нефтепродуктов. – 2008. – № 4. – С. 12–14.
2. Патент № 2412231 (РФ).
3. Патент № 2410412 (РФ).

