

## Разработка современного отечественного процесса каталитического крекинга для вновь сооружаемых установок

Б. З. Соляр, Л. Ш. Глазов, Е. А. Климцева,  
И. М. Либерзон, Э. З. Аладышева, В. Н. Попов  
ОАО «ВНИИ НП»

Современная отечественная технология каталитического крекинга (КК), соответствующая по своим технико-экономическим показателям лучшим зарубежным аналогам, разработана на основе:

- многолетнего опыта по разработке промышленных установок КК;
- комплекса современных разработок по совершенствованию процесса КК, высокая эффективность и надежность которых подтверждена широким применением (более 80 внедрений за последние 10 лет) при реконструкции шести и модернизации двух действующих установок КК различных типов (Г-43-107, КТ-1, 1-А/1М, ГК-3 и др.);
- хорошо зарекомендовавшей себя при эксплуатации на многих НПЗ конфигурации реакторного блока установки КК в составе отечественных комплексов Г-43-107 и КТ-1 (всего построено 8 установок подобного типа);
- использования в основном отечественных материалов и оборудования.

Разработанный процесс КК включает следующие новые и усовершенствованные узлы технологического и конструктивного оформления, в том числе защищенные патентами РФ:

- прямоточный реактор с участками ускорения регенерированного катализатора, ввода и испарения сырья, контактирования сырья в восходящем потоке катализатора;
- усовершенствованные распылительные форсунки с камерой предварительного диспергирования сырья;
- сепарационное устройство для разделения паров и катализатора на конце прямоточного реактора;
- систему охлаждения продуктов крекинга в сепарационной зоне реактора;
- двухстадийную отпарку катализатора для обеспечения эффективной десорбции увлеченных углеводородов;
- одноступенчатые высокоэффективные циклоны реактора;
- воздухораспределительное устройство регенератора усовершенствованной конструкции

с футеровочным покрытием наружной поверхности;

- двухступенчатые высокоэффективные циклоны регенератора;
- циклоны третьей степени для тонкой очистки дымовых газов регенерации от катализаторной пыли.

На основе этой технологии разработан базовый проект реакторно-регенераторного блока процесса КК, предназначенный для вновь сооружаемых установок. Его принципиальное устройство показано на рисунке.

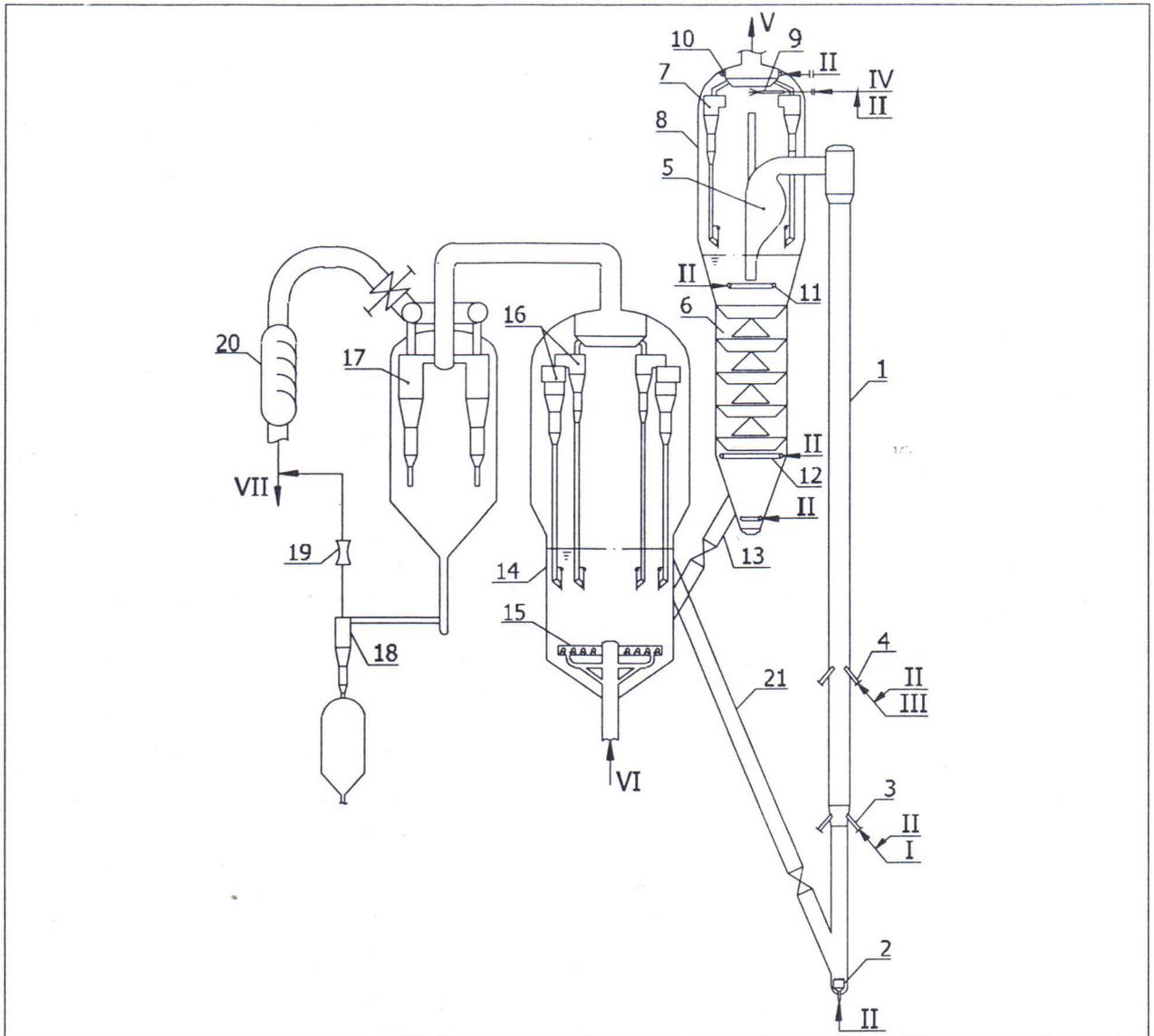
Каталитический крекинг углеводородного сырья осуществляется в прямоточном реакторе 1. В нижнюю часть прямоточного реактора поступает регенерированный катализатор, где он ускоряется водяным паром, подаваемым через паровую форсунку 2, и направляется в зону ввода сырья.

Сырье подается в прямоточный реактор через радиальные высокоэффективные форсунки 3, которые включают в качестве основных элементов камеру предварительного диспергирования сырья и модифицированное сопло Вентури с щелевым распылительным наконечником [1].

В камере осуществляется диспергирование сырья путем дробления жидкой струи под воздействием высокоскоростных струй водяного пара и однородное перемешивание жидкой и паровой фаз. Дополнительное диспергирование сырья производится в модифицированном сопле Вентури. Окончательное распыление сырья в поток катализатора осуществляется через щелевой наконечник, формирующий плоскую веерообразную струю.

Распределение скоростей потоков сырья и водяного пара по конструктивным элементам форсунок выбирается так, чтобы при умеренном перепаде давления на форсунках обеспечить максимальную скорость в тех их элементах, которые характеризуются наибольшей эффективностью расходования кинетической энергии паровой фазы при диспергировании сырья.

При применении этих форсунок обеспечивается образование очень мелких капель сырья размером менее 100 мкм и их равномерное



**Схема реакторно-регенераторного блока современного отечественного процесса КК:**  
 I — сырье; II — водяной пар; III — шлам; IV — рециркулят; V — продукты крекинга; VI — воздух;  
 VII — дымовые газы

распределение по поперечному сечению прямооточного реактора, что способствует практически мгновенному их испарению при контактировании с горячими частицами катализатора.

После испарения сырья линейная скорость паров в прямооточном реакторе резко увеличивается и контактирование фаз продолжается в восходящем разбавленном потоке катализатора при режиме, близком к идеальному вытеснению.

Ввод шлама в прямооточный реактор осуществляется через специальные эрозийно-стойкие форсунки 4, располагаемые на несколько метров выше сырьевых форсунок. Разделение точек ввода сырья и шлама позволяет снизить величину коксовых отложений

на катализаторе и повысить его активность в процессе крекинга.

На выходе из прямооточного реактора продукты крекинга отделяются от катализатора в сепараторе 5, предназначенном для быстрого гашения каталитических реакций.

Сепаратор представляет собой компактное двухступенчатое устройство, в котором разделение катализатора и паров происходит за счет совокупного действия инерционных и центробежных сил. Частицы катализатора, уловленные на обеих ступенях сепарации, поступают по пылевозвратному стояку в псевдооживленный слой отпарной секции реактора 6. В результате дегазации потока в стояке снижается количество углеводородных

паров, увлекаемых в отпарную секцию с отработанным катализатором. Очищенные в сепараторе продукты крекинга направляются по газовыводной трубе на вход циклонов реактора 7.

Сепаратор характеризуется сравнительно высокой эффективностью сепарации (96–98%), приближающейся к эффективности циклона грубого разделения, но отличается от последнего временем разделения (~ 0,2–0,3 с по сравнению с 1,0–1,5 для циклона).

Для предупреждения термического крекинга углеводородов в сепарационной секции реактора 8 на выходе паров из сепаратора осуществляется их охлаждение на 20–30°C путем ввода рециркулирующего легкого газойля через распылительные форсунки 9.

Применение высокоэффективного сепаратора совместно с системой охлаждения продуктов крекинга на выходе из прямоточного реактора позволяет сократить вклад нежелательных вторичных реакций в сепарационной зоне реактора, что способствует снижению селективности образования кокса и сухого газа.

Очистка продуктов крекинга от катализаторной пыли осуществляется в высокоэффективных одноступенчатых циклонах 7. Эффективность пылеулавливания этих циклонов достигает 99,995%, что обеспечивает содержание катализатора в шламе, отбираемом с низа ректификационной колонны, менее 0,10% мас.

Новые циклоны реактора характеризуются высоким отношением длины к диаметру цилиндрической части корпуса и оптимальным отношением площади поперечного сечения корпуса к площади входного патрубка. Внутренняя поверхность циклонов и верхней части пылевозвратных стояков футерованы эрозионностойким бетоном, нанесенным на панцирную сетку.

Пылевозвратные стояки циклонов оборудованы затворными клапанами усовершенствованной конструкции. Подвеска затворной плиты обеспечивает ее плотное прилегание к кромкам выводного патрубка. Более прочная конструкция ограничительной рамы способна выдержать значительные циклические нагрузки при повышенной температуре.

Для предупреждения отложения кокса на внутренней поверхности верхнего днища реактора и наружной поверхности газосборной камеры циклонов в куполе реактора предусматривается кольцевой парораспределитель 10, снабженный ниппелями с проходным каналом переменного сечения.

Отпарка отработанного катализатора проводится с применением двухстадийной технологии,

обеспечивающей как эффективную десорбцию увлеченных углеводородов, так и предупреждение их дальнейшего разложения с образованием сухого газа и кокса.

На первой стадии отпарки осуществляется быстрое удаление увлеченных углеводородов, находящихся в пространстве между частицами катализатора, путем локальной подачи водяного пара через кольцевой парораспределитель предварительной отпарки 11 непосредственно под выводным отверстием пылевозвратного стояка сепаратора прямоточного реактора.

На второй стадии отпарки осуществляется глубокое удаление адсорбированных углеводородов в нижней части отпарной секции, оборудованной конусными каскадными элементами, конструкция которых обеспечивает эффективное перекрестное контактирование водяного пара и катализатора. Водяной пар в эту зону подается через основной кольцевой парораспределитель 12.

Технология двухстадийной отпарки обеспечивает низкое содержание водорода в коксе — не более 6–7% мас.

После отпарки отработанный катализатор поступает по наклонному катализаторопроводу 13 в псевдоожиженный слой регенератора 14, где осуществляется выжиг кокса с его поверхности путем обработки воздухом при высокой температуре (650–730°C).

Воздух на регенерацию подается через трубчатый воздухораспределитель 15, состоящий из центральной вертикальной коллекторной трубы, четырех горизонтальных раздаточных труб, на которых крепятся распределительные трубы. Распределительные трубы оснащаются ориентированными вниз под углом 45° ниппелями с каналом переменного сечения. Короткий входной участок канала (диафрагма) обеспечивает требуемое для равномерного распределения воздуха газодинамическое сопротивление воздухораспределителя. Удлиненный выводной участок канала большего диаметра обеспечивает полное расширение струи воздуха и, как следствие, исключение эрозионного износа ниппеля.

Высокая механическая прочность и надежность трубчатого воздухораспределителя достигается благодаря устойчивой и гибкой конструкции крепления раздаточных труб, надежной конструкции соединения раздаточных и распределительных труб, выбором оптимального соотношения L/D распределительных труб, а также нанесением эрозионностойкого футеровочного покрытия на наружную поверхность воздухораспределителя.

Выход продуктов крекинга, % мас.

Продукты крекинга	Прямогонное сырье	Гидроочищенное сырье
Сероводород	1,0	0,1
Сухой газ	2,7	2,4
Пропан-пропиленовая фракция (ППФ)	5,6	6,2
Бутан-бутиленовая фракция (ББФ)	9,7	10,9
Бензин	50,5	56,2
Легкий газойль	19,4	15,6
Тяжелый газойль	6,5	4,2
Кокс	4,6	4,4
ППФ + ББФ + бензин + легкий газойль	85,2	88,9
Конверсия	74,1	80,2

Дымовые газы регенерации подвергаются очистке от увлеченного катализатора во внутренней системе высокоэффективных двухступенчатых циклонов 16. Циклоны характеризуются оптимальным соотношением геометрических размеров. Их внутренняя поверхность покрыта эрозионностойким бетоном, нанесенным на панцирную сетку.

Усовершенствованная конструкция подвески циклонов на вращающихся тягах обеспечивает компенсацию температурного расширения узлов циклонной системы как в вертикальном, так и в горизонтальном направлениях.

Эффективность пылеулавливания двухступенчатых циклонов превышает 99,997%.

После регенератора дымовые газы проходят дополнительную тонкую очистку от катализаторной пыли в высокоэффективных циклонах третьей ступени 17, установленных в отдельно стоящей компактной камере. Для повышения эффективности работы этих циклонов снизу камеры отводится небольшая часть газа через циклон четвертой ступени 18 и сопло критической скорости 19.

Комплексная пылеочистка дымовых газов регенерации позволяет сократить концентрацию катализаторной пыли до менее 100 мг/м<sup>3</sup>.

После пылеочистки дымовые газы направляются в котел-утилизатор на рекуперацию тепла, предварительно минуя двухшиберную задвижку и аппарат снижения давления 20, где давление газов снижается от рабочего до близкого к атмосферному.

Регенерированный катализатор по наклонному катализаторопроводу 21 поступает в низ прямооточного реактора.

Для футеровки внутренней поверхности реактора, регенератора, наружных участков прямооточного реактора и катализаторопроводов предусматривается применение современной технологии однослойного покрытия эрозионностойким бетоном толщиной 100–150 мм. Эта технология обеспечивает высокую надежность футеровочного покрытия при сравнительно низких капитальных затратах.

Применение разработанной технологии КК обеспечивает эффективную и гибкую переработку утяжеленного вакуумного газойля с концом кипения 550°C и выше (как прямогонного, так и гидроочищенного) с возможностью варьирования режима эксплуатации установки (по бензиновому, дизельному или нефтехимическому варианту) в зависимости от конъюнктуры рынка.

В таблице приведена структура выхода продуктов крекинга, получаемых при переработке прямогонного и гидроочищенного вакуумного газойля западно-сибирской нефти с концом кипения 550°C на современных катализаторах.

При переработке прямогонного вакуумного газойля по бензиновому варианту достигаются следующие показатели:

- выход бензина — 50,5% мас.;
- суммарный выход пропан-пропиленовой фракции, бутан-бутиленовой фракции, бензина и легкого газойля (компонента дизельного топлива) — 85,2% мас.;
- октановое число бензина по ИМ — 94,0 пункта, по ММ — 82,4 пункта.

При переработке гидроочищенного вакуумного газойля по бензиновому варианту достигаются следующие показатели:

- выход бензина — 56,2% мас.;
- суммарный выход пропан-пропиленовой фракции, бутан-бутиленовой фракции, бензина и легкого газойля (компонента дизельного топлива) — 88,9% мас.;
- октановое число бензина по ИМ — 93,8 пункта, по ММ — 82,2 пункта.

По сравнению с типовой системой КК в составе действующих комплексов Г-43-107 и КТ-1 новый процесс КК позволяет увеличить выход бензина на 3% мас. при повышении его октанового числа на 1,0 пункт по моторному методу и на 1,5 пункта по исследовательскому методу.

#### Литература

1. Патент № 2078115 (Россия).
2. Патент № 2115460 (Россия).