

Модернизация установок каталитического крекинга на основе инновационных технологий

Б.З. Соляр, Л.Ш. Глазов, Е.А. Климцева, И.М. Либерзон,
А.Э. Аладышева, В.Н. Попов, Н.Г. Годжаев, М.В. Мнев (ООО «Автотехпроект»)

В последние годы с привлечением специалистов ООО «Автотехпроект» осуществляется комплексная модернизация реакторного блока (РБ) установок каталитического крекинга (КК) ГК-3 ОАО «Ангарская нефтехимическая компания», 1-А/1М ОАО «Башнефть-Уфанефтехим» и ОАО «Славнефть-Ярославнефтеоргсинтез», в составе комплексов Г-43-107М/1 и КТ-1 «Башнефть-Уфимский НПЗ», ЧАО «ЛИНИК» (г. Лисичанск) и Павлодарского НХЗ, установок КК ЗАО «Рязанская НПК» и ОАО «ТАИФ-НК».

Для решения задач по модернизации установок КК создан комплекс современных оригинальных разработок, к наиболее важным из которых относятся:

- распылительные сырьевые форсунки;
- сепарационное устройство прямооточного реактора (ПР);
- технология гашения термических реакций крекинга;
- двухстадийная отпарка отработанного катализатора;
- воздухо- и парораспределительные устройства;
- высокоэффективные циклоны для систем пылеулавливания реактора и регенератора.

Разработанная на основе многолетнего промышленного опыта последняя модификация сырьевой форсунки (патент РФ №2412231) включает в качестве основных элементов камеру предварительного диспергирования сырья и сопло Вентури с щелевым распределительным наконечником (рис. 1).

В камере осуществляется эффективное диспергирование сырья ударным дроблением жидкой струи с последующим измельчением образовавшихся крупных капель под воздействием высокоскоростных струй водяного пара. Одновременно достигается однородное перемешивание потоков сырья и водяного пара. Окончательное распыление сырья в поток катализатора производится через сопло Вентури и щелевой наконечник форсунки, обеспечивающий формирование плоских струй.

Такая форсунка позволяет достичь высокую эффективность распыла сырья при сравнительно низких перепадах давления и расходе водяного пара, при этом ее эффективность сохраняется в широком диапазоне изменения расхода сырья.

Наряду с устройством форсунки важное значение имеет конструктивное оформление узла ввода сырья в целом, которое должно способствовать равномерному распределению и минимальному обратному перемешиванию сырья и катализатора в зоне начального контакта.

Указанные требования обеспечиваются оптимальным сочетанием следующих параметров: угла раскрытия и скорости струи на выходе из форсунки, угла наклона форсунки к оси ПР, скорости водяного пара в зоне ускорения катализатора и высоты этой зоны.

Сырьевые форсунки последней модификации эксплуатируются на семи установках КК. Их применение позволило повысить выход бензина на 1,0–3,0 % мас.

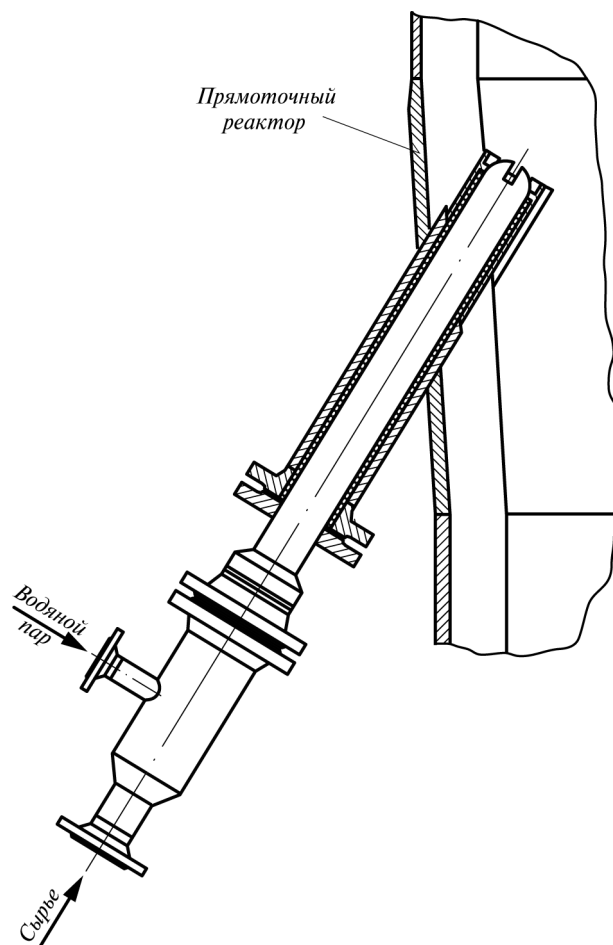


Рис. 1. Сырьевая форсунка с узлом предварительного диспергирования

Сепарационное устройство на конце ПР предназначено для быстрого и эффективного отделения основной части отработанного катализатора от паров нефтепродуктов с целью предупреждения их контактирования с катализатором в отстойной зоне реактора. В проектах модернизации установок КК применяются два типа сепарационных устройств: циклоны грубого разделения и центробежно-инерционный сепаратор оригинальной конструкции.

Разработанный на основе экспериментов на крупномасштабном газодинамическом стенде центробежно-инерционный сепаратор (патент РФ №2115460) представляет собой компактное двухступенчатое устройство, в котором разделение катализатора и паров происходит за счет совокупного действия инерционных и центробежных сил (рис. 2).

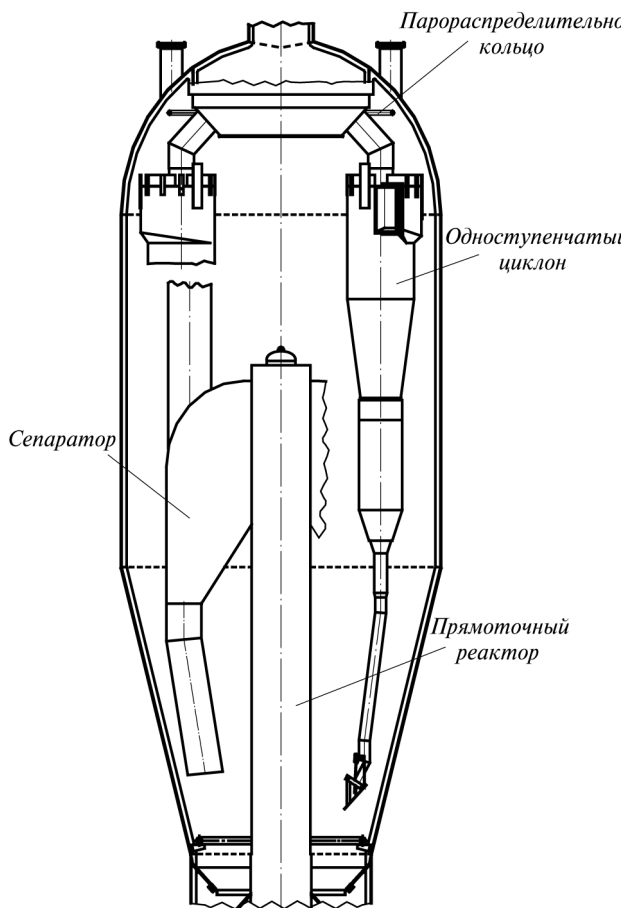


Рис. 2. Сепаратор прямоточного реактора

Частицы катализатора, уловленные на обеих ступенях сепарации, поступают по пылевозвратным стоякам сепаратора в псевдооживленный слой отпарной секции. Очищенный парогазовый поток направляется по газовыводным патрубкам сепаратора на вход циклонов реактора.

Сепаратор характеризуется высокой эффективностью сепарации (98–99%), приближающейся к эффективности циклона грубой очистки, но отличается от последнего более коротким временем разделения (~ 0,2...0,3 с по сравнению с 1,0...1,5 с для циклона). Его применение позволяет свести к минимуму время контактирования парообразных продуктов крекинга с катализатором в отстойной зоне и повысить благодаря этому селективность образования бензина. В результате дегазации потока в пылевозвратных стояках сепаратора снижается количество углеводородных паров, увлекаемых в отпарную секцию с отработанным катализатором.

Сепарационные устройства ПР внедрены на четырех установках КК. Применение этих устройств взамен устаревших инерционных (баллистических) сепараторов позволило увеличить выход бензина на 1,0–2,0% мас.

Технология гашения термических реакций в сепарационной зоне реактора применяется при повышенной температуре крекинга и реализуется двумя способами.

Первый способ заключается в создании так называемой

замкнутой системы циклонов, в которой выход из сепараторов ПР непосредственно соединен с входом в циклоны реактора. Это позволяет резко сократить время пребывания паров в сепарационной зоне и благодаря этому снизить вклад термических реакций. Способ запатентован (патент РФ №2410412) и внедрен на двух установках КК.

Второй способ заключается в охлаждении паров, выходящих из сепаратора ПР, путем смешения их с рециркулирующим продуктом крекинга. Этот способ внедрен на пяти установках КК.

Первый способ отличается большей эффективностью, второй – более прост и надежен при эксплуатации.

Применение этой технологии обеспечило повышение выхода бензина на 1% мас., сокращение выхода сухого газа на 30% и содержания бутадиена в бутан-бутиленовой фракции на 40%.

Технология двухстадийной отпарки катализатора обеспечивает как эффективную десорбцию увлеченных углеводородов, так и предупреждение их дальнейшего разложения с образованием сухого газа и кокса (рис. 3).

На первой стадии отпарки осуществляется быстрое удаление увлеченных углеводородов, находящихся в пространстве между частицами катализатора. Это достигается либо путем локальной подачи водяного

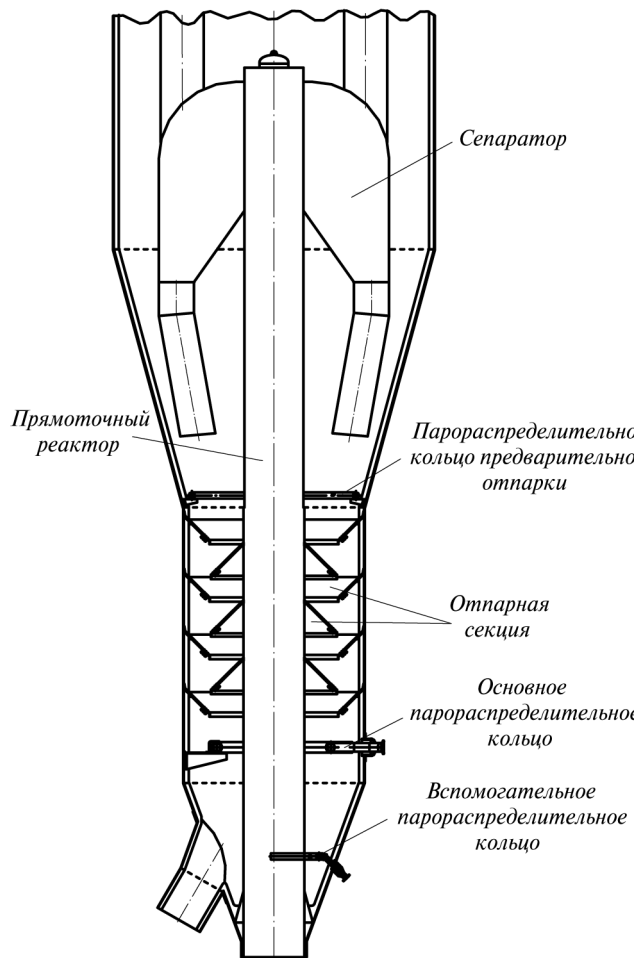


Рис. 3. Двухстадийная отпарка катализатора

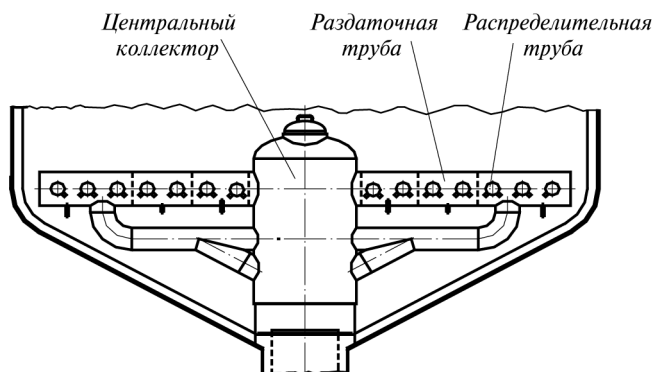


Рис. 4. Воздуховозвратное устройство

пара непосредственно под выходным отверстием пылевозвратных стоячков сепараторов ПР.

На второй стадии отпарки осуществляется глубокое удаление адсорбированных углеводородов в нижней части отпарной секции, оборудованной конусными или желобчатыми каскадными элементами, конструкция которых обеспечивает эффективное перекрестное контактирование водяного пара и катализатора.

Технология двухстадийной отпарки внедрена на шести установках КК, что позволило снизить содержание водорода в коксе до 6% мас. и сократить расход водяного пара в среднем на 25%.

Устройства для распределения воздуха и водяного пара (соответственно в регенераторе и отпарной секции реактора) отличаются усовершенствованной конструкцией ниппелей, имеющих входную ограничительную диафрагму и удлиненный выводной канал. Ограничительная диафрагма обеспечивает оптимальное сопротивление устройства и, как следствие, равномерное распределение газовой фазы, удлиненный выводной канал – полное расширение струи и, как следствие, исключение эрозионного износа поверхности.

В отпарной секции применяются, как правило, кольцевые распределители, в регенераторе – трубчатые.

Повышение механической прочности трубчатого воздуховозвратного устройства в регенераторе достигается применением более устойчивой опорной конструкции воздуховозвратного устройства и более надежной конструкции соединения раздаточных и распределительных труб, увеличением диаметра распределительных труб, а также нанесением эрозионно-стойкого футеровочного покрытия на внешнюю поверхность воздуховозвратного устройства (рис. 4).

Восемнадцать кольцевых и пять трубчатых распределителей эксплуатируются на шести установках КК.

Важным направлением проводимых работ в области КК является совершенствование циклонов, применяемых в системах пылеулавливания реактора и регенератора. Разработанные высокоэффективные циклоны отличаются более высоким отношением длины к диаметру цилиндрической части корпуса ($L/D = 4,5...5,5$ против 3,7 для типовых отечественных циклонов) и площади поперечного сечения корпуса к площади входного патрубка ($\pi D_2/ab$) при более низком отношении диаметров выводного патрубка и циклона d/D (рис. 5). На внутреннюю поверхность циклона наносится эрозионно-стойкая футеровка. На кон-

це пылевозвратных стоячков устанавливаются затворные клапаны двух типов: с вертикальной затворной плитой и горизонтальной затворной плитой с противовесом.

На ряде отечественных установок КК для очистки продуктов крекинга от катализатора применяются двухступенчатые циклоны устаревшей конструкции. Их отличает пониженная эффективность и механическая надежность, что обусловлено подсосом газа в пылевозвратный стояк циклонов второй ступени через затворный клапан, низкий удельный расход катализатора в котором не обеспечивает создание газодинамического затвора. В результате имеет место вторичный унос уловленного катализатора и эрозионный износ затворной плиты и корпуса циклонов.

Для исключения указанных недостатков в системах пылеулавливания реактора целесообразно применять высокоэффективные одноступенчатые циклоны. Их эффективность достигает 99,995%, что обеспечивает содержание катализатора в шламе, отбираемом с низа ректификационной колонны, менее 0,1% мас. При этом отпадает необходимость в использовании шламотстойника.

Система высокоэффективных одноступенчатых циклонов реактора внедрена на пяти установках КК.

Для внутренней системы пылеулавливания регенератора разработаны высокоэффективные двухступенча-

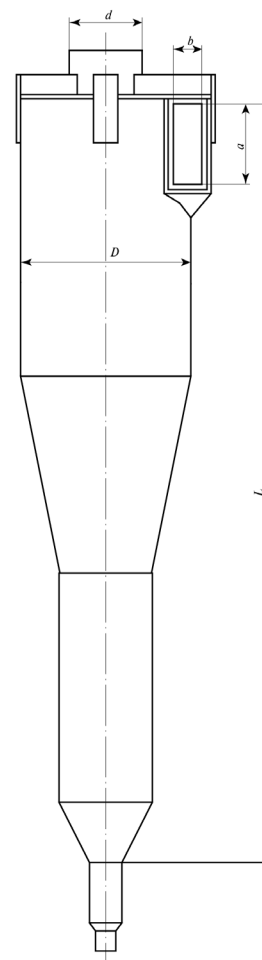


Рис. 5. Высокоэффективный циклон

тые циклоны и усовершенствованная конструкция их подвески на подвижных тягах. Устройство подвески обеспечивает компенсацию температурного расширения узлов конструкции как в вертикальном, так и в горизонтальном направлениях.

Эффективность пылеулавливания двухступенчатых циклонов превышает 99,997%. Система высокоэффективных двухступенчатых циклонов регенератора внедрена на четырех установках КК.

Высокоэффективные циклоны этого же типа целесообразно использовать в качестве третьей (выносной) ступени тонкой (санитарной) очистки дымовых газов регенерации от катализаторной пыли.

Преимуществом этих циклонов перед эксплуатируемыми на установках КК Г-43-107 (КТ-1) и ГК-3 в качестве третьей ступени либо крупногабаритными циклонами конического типа (диаметром 2,8 м), либо мультициклонами (153 диаметром 0,5 м) является их существенно более низкая металлоемкость при примерно равной эффективности пылеулавливания.

Выносная система пылеочистки на основе высокоэффективных циклонов внедрена на установках 1-А/1М ОАО «Славнефть-Ярославнефтеоргсинтез» (рис. 6) и «Башнефть-Уфанефтехим» взамен электрофильтров. Эта система включает в качестве основных элементов одноступенчатые циклоны нормального размера, размещенные снаружи или внутри бункера уловленного катализатора, и эжектор, предназначенный для непрерывной выгрузки уловленного катализатора либо обратно в регенератор, либо в бункер-накопитель.

Применение этой системы пылеочистки обеспечивает соблюдение санитарной нормы выброса катализаторной пыли в атмосферу при ее концентрации менее 100 мг/м³.

Установки ГК-3 и 1-А/1М введены в эксплуатацию

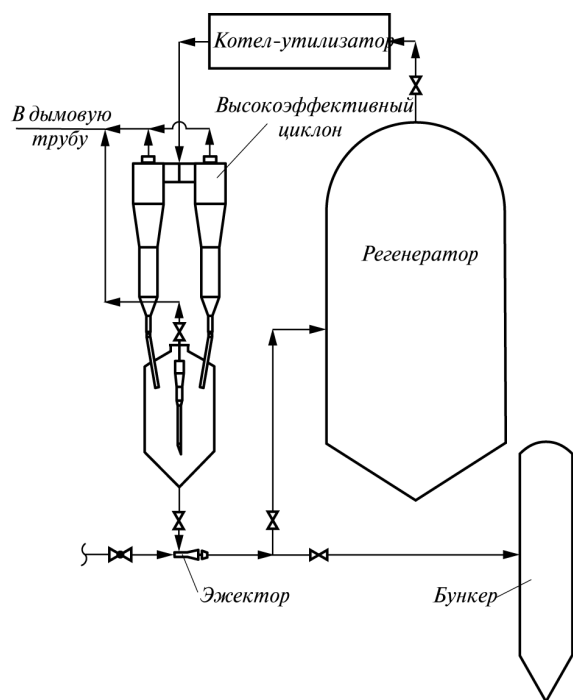


Рис. 6. Выносная система тонкой пылеочистки газов регенерации (третья ступень)

в конце 1960-х годов и относятся к первому поколению отечественных систем КК. Основной целью их реконструкции является замена устаревших реакционных устройств (секционированного горизонтальными решетками псевдоожиженного слоя – на установке ГК-3, наклонного комбинированного реактора, заканчивающегося псевдоожиженным слоем, – на установке 1-А/1М) современной технологией крекинга в прямоточном реакторе.

На установке ГК-3 ОАО «Ангарская нефтехимическая компания» перерабатывается прямогонный вакуумный газойль низкосернистой западно-сибирской нефти (содержание серы в сырье крекинга 0,8–1,0 % мас.), на установке 1-А/1М «Башнефть-Уфанефтехим» – гидроочищенная при сравнительно мягких условиях смесь вакуумного газойля, деасфальтизата сернистой западно-сибирской нефти и тяжелого газойля коксования (содержание серы в сырье крекинга 0,3–0,5% мас., коксуемость по Конрадсону – 0,2–0,4% мас.).

Схема реконструкции РБ установки ГК-3 включает следующие новые элементы технологии и конструктивного оформления (рис. 7):

- выносной вертикальный ПР с участками восходящего и нисходящего потока;
- сырьевые форсунки с камерой предварительного диспергирования;
- эрозионно-стойкие шламовые форсунки;
- циклон грубого разделения на конце ПР;
- систему охлаждения продуктов крекинга на выходе из циклона грубого разделения;
- двухстадийную отпарку катализатора;
- высокоэффективные одноступенчатые циклоны реактора и двухступенчатые циклоны регенератора;
- воздухо- и парораспределители усовершенствованной конструкции;
- узел распределения отработанного катализатора.

Предлагаемая конструкция ПР, обусловленная низким высотным расположением существующего реактора, позволяет разместить циклон грубого разделения внутри реактора, обеспечивая при этом оптимальное время контакта катализатора с сырьем.

Реконструкция установки КК ГК-3 осуществлялась поэтапно в период с 1997 по 2003 гг.

В результате реконструкции выход бензина увеличился на 12,0% мас. (до 51,6% мас.), октановое число бензина повысилось на 1,7 пункта по ММ (до 82,0) и на 2,9 пункта по ИМ (до 93,6), расход водяного пара в РБ сократился на 30%, расход катализатора – в 2,2 раза, производительность установки повышена на 20%. Межремонтный цикл эксплуатации составляет два года.

Для установки КК 1-А/1М «Башнефть-Уфанефтехим» с учетом требований заказчика разработан низкочастотный вариант реконструкции РБ с увеличением производительности с 0,9 до 1,8 млн. т/год. Этот вариант предусматривает сохранение наружного наклонного участка ПР, что исключает потребность в сооружении дополнительной этажерки и нового напорного стояка регенератора.

В схеме реконструкции РБ установки 1-А/1М предусматриваются следующие новые элементы технологии и конструктивного оформления (рис. 8):

- комбинированный ПР с наружным наклонным и внутренним вертикальным участками;
- сырьевые форсунки с камерой предварительного дис-

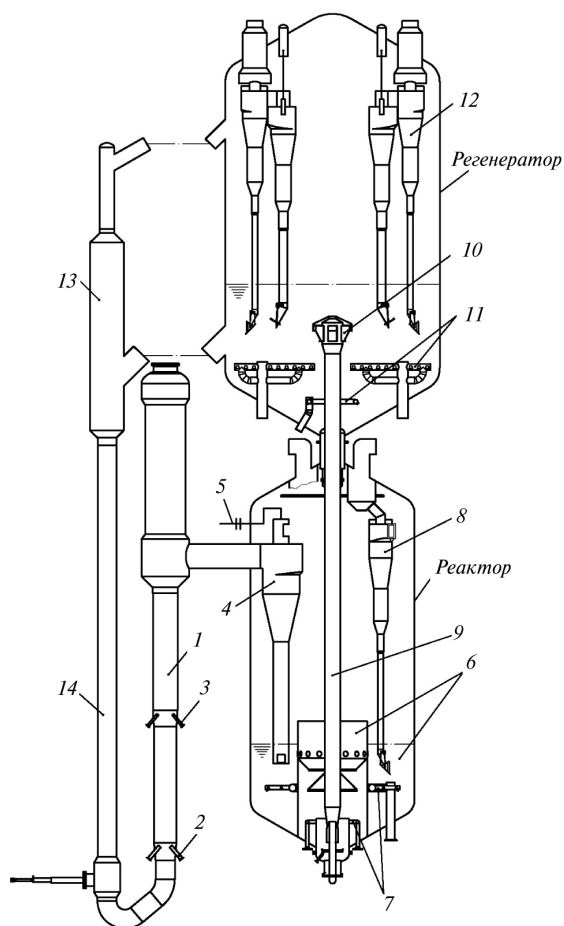


Рис. 7. Модернизация РБ установки КК ГК-3. Новые элементы технологии и аппаратного оформления: 1 – прямоточный реактор; 2 – сырьевые форсунки; 3 – шламовые форсунки; 4 – циклон грубого разделения; 5 – система охлаждения продуктов крекинга; 6 – двухстадийная отпарная секция; 7 – парораспределительное устройство; 8 – одноступенчатые циклоны; 9 – транспортная линия; 10 – узел распределения отработанного катализатора; 11 – воздухо-распределительное устройство; 12 – двухступенчатые циклоны; 13 – напорная камера; 14 – напорный стояк

пергирования;

- эрозионно-стойкая шламовая форсунка;
- циклоны грубого разделения на конце ПР;
- двухстадийная отпарка катализатора;
- высокоэффективные одноступенчатые циклоны реактора и двухступенчатые циклоны регенератора
- воздухо- и парораспределители усовершенствованной конструкции;
- узел распределения отработанного катализатора.

Основные этапы реконструкции установки 1-А/1М проведены в течение пяти плановых капитальных ремонтов в период с 2001 по 2011 г. Одновременно с реконструкцией РБ были выполнены работы по модернизации и увеличению пропускной способности блоков НФЧ и ГФЧ.

В результате реконструкции выход бензина увеличился на 13,6% мас. (до 52,6% мас.), октановое число бензина повысилось на 3,7 пункта по ММ (до 82,5) и на 4,0 пункта по ИМ (до 94,0), расход водяного пара в РБ

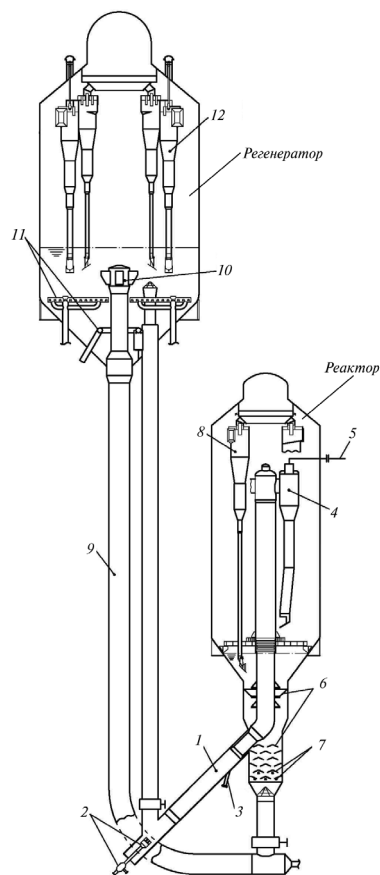


Рис. 8. Модернизация РБ установки КК 1-А/1М: Новые элементы технологии и аппаратного оформления: 1 – прямоточный реактор; 2 – сырьевая форсунка; 3 – шламовая форсунка; 4 – циклон грубого разделения; 5 – система охлаждения продуктов крекинга; 6 – двухстадийная отпарная секция; 7 – парораспределительное устройство; 8 – одноступенчатые циклоны; 9 – транспортная линия регенератора; 10 – узел распределения отработанного катализатора; 11 – воздухо-распределительное устройство; 12 – двухступенчатые циклоны

сократился на 35%, расход катализатора – на 25%. Производительность установки повышена в 2 раза. С 2006 г. установка переведена на четырехлетний межремонтный цикл эксплуатации.

Установка КК 1-А/1М ОАО «Славнефть-Ярославнефтеоргсинтез» была реконструирована в конце 1990-х годов с внедрением современной технологии КК с прямоточным реактором по проекту зарубежного лицензиара. В последние годы на установке перерабатывается смесь прямогонного вакуумного газойля и остатка гидрокрекинга с содержанием последнего 60–70% мас. Такой состав сырья крекинга характеризуется низким содержанием ароматических углеводородов (плотность сырья в среднем 865 кг/м³) и создает определенные сложности при его переработке в части замыкания теплового баланса.

После реконструкции установки проводилась поэтапная модернизация оборудования реакторного блока с привлечением специалистов ООО «Автотехпроект»

с целью повышения стабильности циркуляции катализатора и снижения его потерь, повышения надежности и износоустойчивости оборудования реакторного блока.

В ходе модернизации оборудования были выполнены следующие работы:

- переоборудован узел ввода регенерированного катализатора в напорный стояк;
- установлен усовершенствованный узел захвата отработанного катализатора;
- установлены высокоэффективные циклоны третьей ступени взамен электрофильтров и затворные клапаны циклонов реактора и регенератора повышенной надежности;
- установлены новые каскадные устройства и основной парораспределитель отпарной секции реактора;
- смонтирована эрозионно-стойкая шламовая форсунка ПР.

В связи с планируемым увеличением производительности установки до 1,5 млн. т в год по свежему сырью ООО «Автотехпроект» разработан проект реконструкции реакторного блока, предусматривающий замену системы транспорта катализатора и прямоточного реактора.

Установки КК в составе комплексов Г-43-107 и КТ-1 относятся к более современному поколению отечественных систем КК. Эти установки снабжены вертикальным ПР и отличаются рациональной схемой РБ, способствующей повышению их эксплуатационной и механической надежности. В то же время технологическое и конструктивное оформление основных узлов РБ, предусмотренное проектными решениями, в значительной мере устарело.

В связи с этим разработана схема реконструкции РБ установок КК Г-43-107 и КТ-1 с применением следующих новых элементов технологии и конструктивного оформления (рис. 9):

- сырьевых форсунок с камерой предварительного диспергирования;
- эрозионно-стойких шламовых форсунок;
- центробежно-инерционного сепаратора или циклонов грубого разделения;
- системы охлаждения продуктов крекинга на выходе из сепаратора ПР;
- двухстадийной отпарки катализатора;
- высокоэффективных одноступенчатых циклонов реактора и двухступенчатых циклонов регенератора;
- воздухо- и парораспределителей усовершенствованной конструкции.

На установке КК Г-43-107М/1 «Башнефть-Уфимский НПЗ» перерабатывается гидроочищенный вакуумный газойль с вовлечением газойлей вторичного происхождения до 30%. Ее реконструкция, проведенная в 1997–2008 гг., позволила увеличить выход бензина на 2,5% мас. (до 53,2% мас.), повысить октановое число бензина на 0,7 пункта по ММ (до 82,4) и на 1,3 пункта по ИМ (до 94,0), сократить расход водяного пара в РБ на 20%. Установка переведена на четырехлетний межремонтный цикл эксплуатации.

На установке Г-43-107М/1 ЧАО «ЛИНИК» перерабатывается гидроочищенный вакуумный газойль с концом кипения 560°C. Ее реконструкция, проведенная в 2000–2006 гг., позволила увеличить выход бензина на 3,9% мас. (до 56,1 % мас.), повысить октановое число бензина на 0,6 пункта по ММ (до 82,6) и на 1,0 пункта по ИМ (до 94,2), сократить расход катализатора на 30 %.

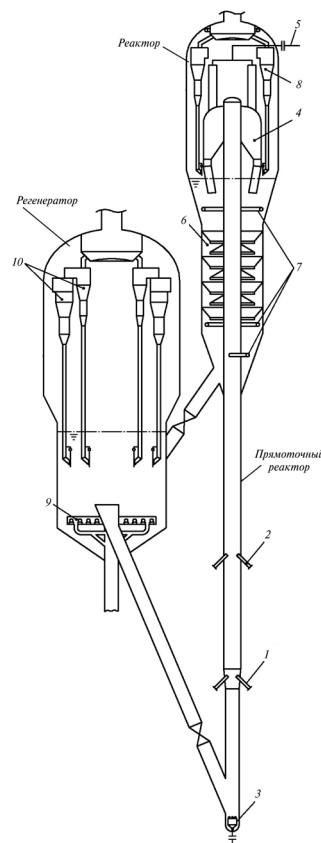


Рис. 9. Модернизация РБ установки КК Г-43-107 (КТ-1).

Новые элементы технологии и аппаратурного оформления:

- 1 – сырьевые форсунки; 2 – шламовые форсунки;
- 3 – паровая форсунка; 4 – сепаратор; 5 – система охлаждения продуктов крекинга;
- 6 – двухстадийная отпарная секция; 7 – парораспределительное устройство; 8 – одноступенчатые циклоны;
- 9 – трубчатый воздухораспределитель;
- 10 – двухступенчатые циклоны

На установке КК КТ-1 Павлодарского НХЗ перерабатывается гидроочищенный вакуумный газойль с температурой конца кипения 520°C. Во время капремонта 2006 г. на установке внедрены узел ввода сырья и одноступенчатые циклоны реактора. В результате выход бензина повысился на 2,9% мас., содержание мехпримесей в шламе сократилось с 0,15 до 0,06% мас.

Реакторный блок установки КК ЗАО «Рязанская НПК» был сооружен в 2002 г. по лицензии одной из зарубежных компаний при реконструкции действующей установки 1-А/1М. В настоящее время на установке перерабатывается гидроочищенный вакуумный газойль с содержанием серы 0,06–0,10% мас.

При эксплуатации установки и ревизии оборудования реакторного блока во время капитального ремонта были выявлены следующие недостатки:

- низкий и нестабильный перепад давления на шибберной задвижке отработанного катализатора, что ограничивало скорость циркуляции катализатора и дестабилизировало технологический режим установки;
- неоднократное «зависание» катализатора в пылевозвратном стояке циклонов грубого разделения на стадии наладки циркуляции катализатора при пуске уста-

новки с последующим его уносом в основную ректификационную колонну;

- неоднородная регенерация катализатора;
- эрозионный износ наконечника сырьевых и шламовых форсунок;
- эрозионный износ нефутерованной коллекторной трубы и ниппелей основного кольцевого парораспределителя отпарной секции реактора;
- эрозионный износ тройника в месте сочленения напорного стояка и транспортной линии отработанного катализатора с образованием обширных отверстий в его корпусе;
- эрозионный износ ниппелей трубчатого воздухораспределителя;
- забивка циклонов третьей ступени неорганическими отложениями.

Для устранения отмеченных недостатков был разработан проект модернизации оборудования реакторного блока, предусматривающий выполнение следующих технических мероприятий (рис. 10):

- установку новых высокоэффективных сырьевых форсунок и эрозионно-стойких наконечников шламовых форсунок;

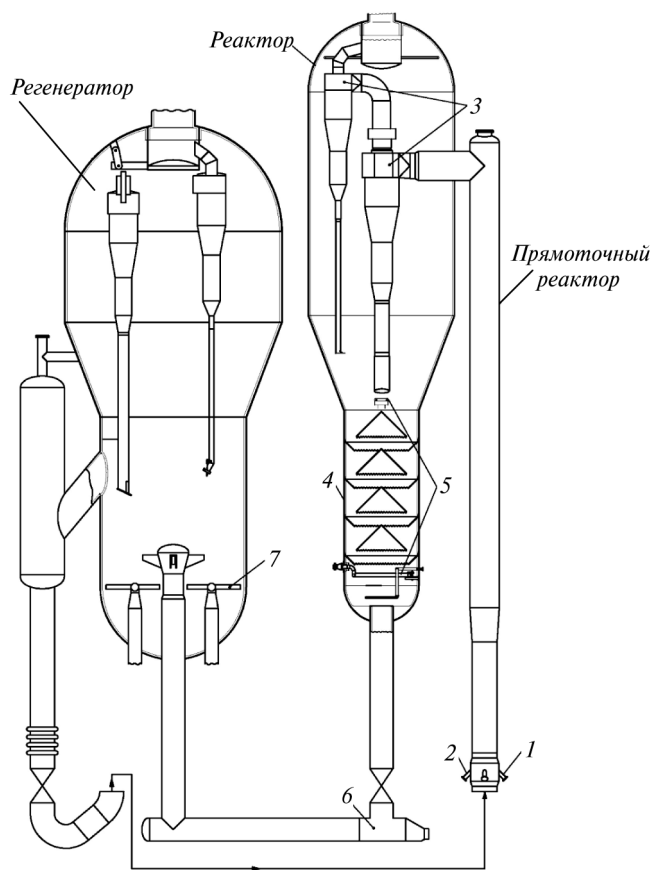


Рис. 10. Модернизация РБ установки КК ЗАО «Рязанская НПК». Новые элементы технологии и аппаратного оформления:

- 1 – сырьевые форсунок; 2 – шламовые форсунок;
- 3 – устройство гашения термических реакций;
- 4 – двухстадийная отпарная секция;
- 5 – парораспределительное устройство;
- 6 – тройник транспортной линии;
- 7 – трубчатый воздухораспределитель

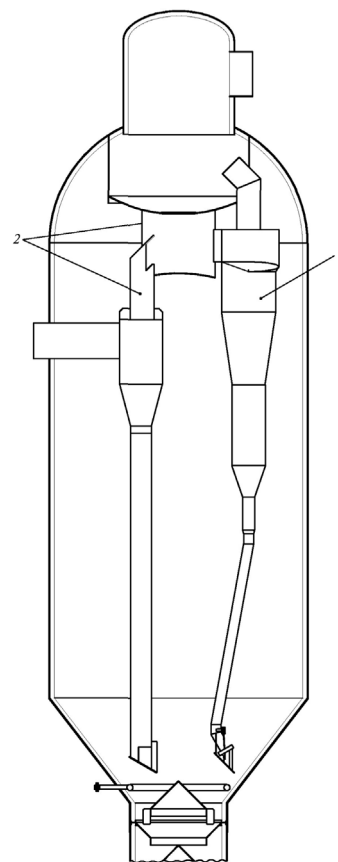


Рис. 11. Модернизация реактора установки КК ОАО «ТАИФ-НК». Новые элементы технологии и аппаратного оформления: 1 – одноступенчатые циклоны; 2 – устройство гашения термических реакций

- переоборудование циклонов грубого разделения;
- установку кольцевых парораспределителей отпарной секции реактора и трубчатого воздухораспределителя регенератора усовершенствованной конструкции;
- замену тройника транспортной линии отработанного катализатора;
- модернизацию циклонов третьей ступени.

Геречисленный комплекс работ был реализован во время капитальных ремонтов установки в 2007–2009 гг.

В результате внедрения комплекса технических мероприятий исключено «зависание» катализатора в пылевозвратном стояке циклонов грубого разделения при пуске установки, обеспечен перепад давления на шиберной задвижке отработанного катализатора с повышением от 0,20...0,25 до 0,40...0,45 кг/см², получена более однородная регенерация катализатора. Кратность циркуляции катализатора увеличена на 15% отн., что позволило повысить конверсию сырья на 1,7% мас., выход бензина на 1,0% мас., октановое число бензина по моторному и исследовательскому методам соответственно на 1,0 и 1,2 пункта. Установка переведена на трехлетний межремонтный цикл эксплуатации.

Установка КК в ОАО «ТАИФ-НК» была сооружена на базе выведенного из эксплуатации блока дегидрирования изопентана, сходного по своему аппаратному оформлению с процессом КК. При реконструкции реакторного блока были установлены прямоточный реактор КК, новые

внутренние устройства реактора и регенератора, транспортные линии катализатора, выносная система пылеочистки дымовых газов регенерации. Проектная мощность установки КК – 800 тыс. т/год нефтяного сырья.

После успешного освоения комплекса КК была поставлена задача увеличения его производительности до 1,0 млн. т/год с одновременным повышением выхода и качества целевых продуктов. Сырьем установки КК служит 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, коксуемость по Конрадсону – 0,17–0,20% мас., содержание серы и азота – 2,0 и 0,9% мас. соответственно, содержание ванадия и никеля – 1,0–1,5 ppmw.

Для разработки технических решений по увеличению производительности установки КК были выполнены комплексные технологические, теплокинетические и га-

зодинамические расчеты реакторного блока с применением математической модели процесса КК.

В рамках проекта повышения производительности установки была выполнена модернизация реактора, включающая установку усовершенствованных сырьевых форсунок и высокоэффективных циклонов, внедрение технологии гашения термических реакций в сепарационной зоне (рис. 11).

В результате внедрения комплекса технических решений по совершенствованию технологии процесса и модернизации оборудования реакторного блока, оптимизации параметров технологического режима установки КК ее производительность по свежему сырью повышена на 35% (от 800 до 1080 тыс. т/год), выход бензина (летнего) увеличился на 2,6% мас. (от 47,6 до 50,2% мас.), октановое число по моторному методу бензина после гидроочистки его тяжелой фракции выросло на 0,8 пункта (от 80,0 до 80,8).
