УДК 665.644.2

Б. З. Соляр, Л. Ш. Глазов, И. М. Либерзон, Т. Х. Мелик-Ахназаров, А. И. Елшин

Высокоэффективное сепарационное устройство для прямоточного реактора каталитического крекинга

Повышение эффективности и снижение времени отделения парообразнах продуктов крекинга от отработанного микросферического катализатора на выходе из прямоточного реактора каталитического крекинга обеспечивают сокращение доли вторичных реакций в сепарационной камере реактора, способствуя снижению выхода кокса и сухого газа и увеличению выхода дистиллятов.

Существующие сепарационные устройства на выходе из прямоточного реактора можно разделить на два основных типа. К первому типу относятся инерционные сепараторы, в которых поток газовзвеси выводится в сепарационную зону реактора, где обладающие большей кинетической энергией твердые частицы катализатора отделяются от парообразных продуктов крекинга и ссыпаются в кипящий слой отпарной секции. Эффективность разделения в них составляет 80—96%. Недостатками сепараторов этого типа являются невысокая степень очистки газа и продолжительное время пребывания в сепарационной зоне реактора продуктов крекинга, что способствует увеличению доли нежелательных вторичных реакций.

Ко второму типу относятся сепараторы, в которых разделение осуществляется в компактной камере под воздействием центробежных или инерционных сил, а уловленный катализатор отводится по пылевозвратному стояку непосредственно в кипящий слой отпарной секции. Наиболее распространенным устройством этого типа является разгружающий циклон. Его основное преимущество — высокая эффективность сепарации (около 99%), практически исключающая каталитическое превращение углеводородов в сепарационной зоне реактора; существенный недостаток — снижение селективности процесса, обусловленное сравнительно продолжительным временем разделения парообразных продуктов и отработанного катализатора (1—1,5 с), сопоставимым со временем контактирования в прямоточном реакторе.

Современные тенденции развития технологии каталитического крекинга направлены на сокращение времени контактирования в прямоточном реакторе, что обусловливает необходимость разработки и применения сепарационных устройств, обеспечивающих не только высокую эффективность, но и минимальное время разделения твердой и газовой фаз (0,2—0,3 с). В связи с этим во ВНИИ НП выполнен комплекс экспериментальных исследований с целью разработки высокоэффективного сепаратора для быстрого разделения фаз на выходе из прямоточного реактора каталитического крекинга.

На холодном гидродинамическом стенде [1] исследовано влияние различных факторов на эффективность и гидродинамику разделения твердой и газовой фаз. В качестве твердой фазы использовали равновесный катализатор с промышленной установки каталитического крекинга. Частицы катализатора имели среднемедианный диаметр 67 мкм и кажущуюся плотность 1515 кг/м^3. В качестве газовой фазы использовали воздух.

Гидравлические характеристики определяли водяными дифманометрами. Эффективность улавливания оценивали по концентрации твердых частиц в потоках до и после сепарационного устройства. Для этого проводили изокинетический отбор проб методом внешней фильтрации [2]. Фракционный состав проб пыли определяли методом жидкостной седиментации на отечественном фотоседиментографе АФС-2М.

Исследования показали, что требуемые эффективность (на уровне 99%) и время (0,2—0,3 с) разделения твердой и газовой фаз могут быть достигнуты в двухступенчатом сепараторе (**рис. 1**), принцип действия которого основан на сочетании центробежных и инерционных сил.

На первой ступени поступающий из пневмоподъемника поток газовзвеси под действием центробежных и инерционных сил разделяется с эффективностью 95%. Поток газа, отделившийся от основной массы твердых частиц, резко изменяет направление движения и поступает на вторую ступень, где также под воздействием центробежных и инерционных сил происходит дополнительная очистка до глубины 98—99%, достигаемой только в разгружающем циклоне.

Уловленные на первой и второй ступенях частицы поступают из сепарато-

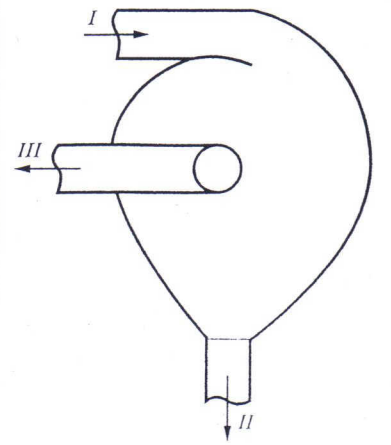

Рис. 1. Схема двухступенчатого сепаратора:

I — газовзвесь; *II* — катализатор; *III* — газ на доочистку.

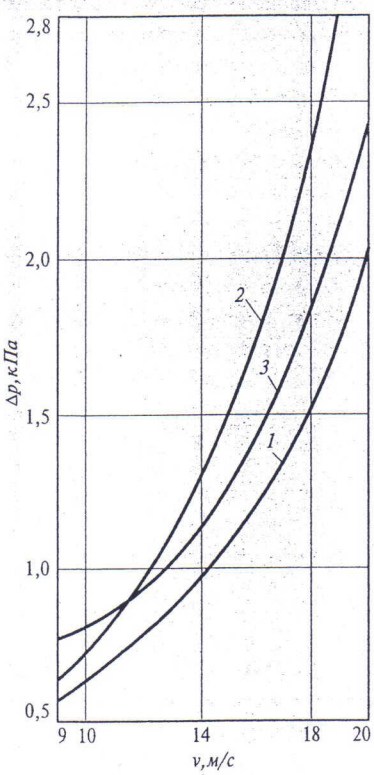

Рис. 2. Зависимость гидравлического сопротивления Δ*p* от скорости *v* газа на входе в сепарационное устройство (при концентрации катализатора 20 кг/м³):

1 — баллистический сепаратор; *2* — циклон; *3* — двухступенчатый сепаратор.

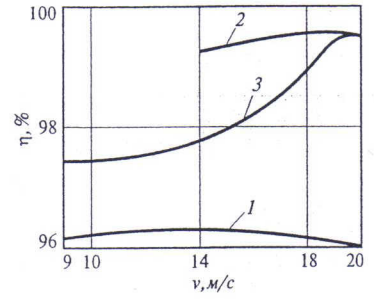

Рис. 3. Зависимость эффективности η улавливания от скорости *v* газа на входе в сепарационное устройство. Обозначения см. к рис. 2.

ра по пылевозвратному стояку в кипящий слой. В двухступенчатом сепараторе протяженность траектории движения потоков значительно меньше, чем в разгружающем циклоне. Благодаря этому время пребывания газа в нем не превышает 0,2—0,3 с.

На **рис. 2** и **3** представлены зависимости соответственно гидравлического сопротивления и эффективности улавливания от скорости газа на входе в разгружающий циклон, баллистический сепаратор [3] и описанный двухступенчатый сепаратор. Зависимости получены при концентрации твердых частиц в пневмоподъемнике 15—20 кг/м³, характерной для прямоточных реакторов промышленных установок.

Как видно из рис. 2, гидравлическое сопротивление в двухступенчатом сепараторе несколько ниже, чем в разгружающем циклоне, причем эта разница возрастает с увеличением скорости газа, и примерно на 20% выше, чем в баллистическом сепараторе. Последний среди известных сепарационных устройств обладает одним из наиболее низких гидравлических сопротивлений. Более низкое сопротивление в двухступенчатом сепараторе, чем в разгружающем циклоне, косвенно свидетельствует о меньшей степени истирания катализатора в нем.

Эффективность улавливания частиц в двухступенчатом сепараторе при скорости газа 18 м/с и выше, соответствующей скоростному режиму на конце прямоточного реактора, приближается к эффективности разгружающего циклона, составляющей около 99,5% (см. рис. 3).

Дополнительным преимуществом разработанного сепаратора является сохранение довольно высокой эффективности улавливания при снижении скорости газа, что важно при работе с пониженной производительностью по свежему сырью и при пуске установки. Эксперименты показали, что при снижении скорости газа от 15 до 9 м/с эффективность улавливания снижается до 97,5%, оставаясь на приемлемом уровне.

Эффективность улавливания на первой ступени разработанного устройства составляет 90—95%, что соответствует эффективности работы баллистического сепаратора. Снижение эффективности улавливания на второй ступени до 80—90% обусловлено сокращением размера частиц, уносимых газом с первой ступени очистки. В целом эффективность двухступенчатого сепаратора составляет 97,5—99,5% при скорости газа 9—20 м/с. Таким образом, требуемая эффективность улавливания достигается двухступенчатой очисткой.

На **рис. 4** представлены данные о фракционном составе частиц на выходе из сепарационного устройства при разной эффективности улавливания. С ростом последней среднемедианный размер частиц в газе, выходящем из сепаратора, уменьшается до 20 мкм. Дальнейшая доочистка газа до требуемой кондиции может быть осуществлена при помощи высокоэффективных циклонов.

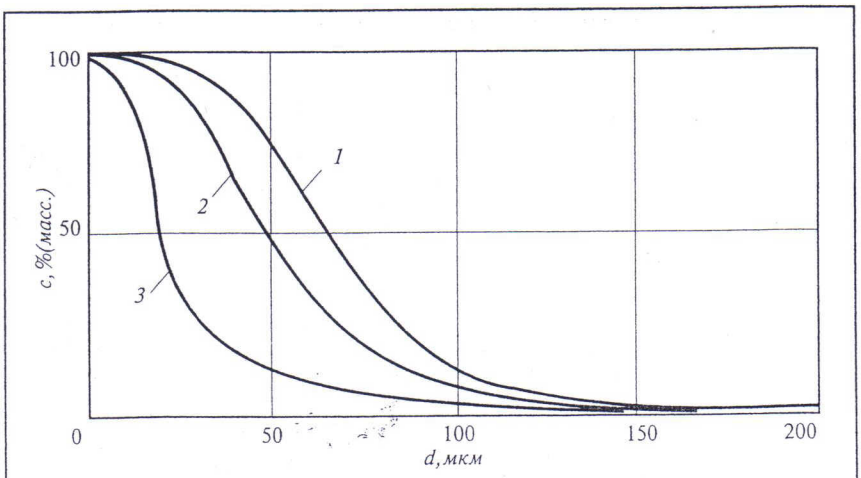

Рис. 4. Фракционный состав катализатора (*d* — размер частиц; *c* — содержание частиц крупнее заданного размера):

1 — на входе в сепарационное устройство; *2, 3* — на выходе из сепарационного устройства при эффективности улавливания соответственно 95—96 и ≥99%.

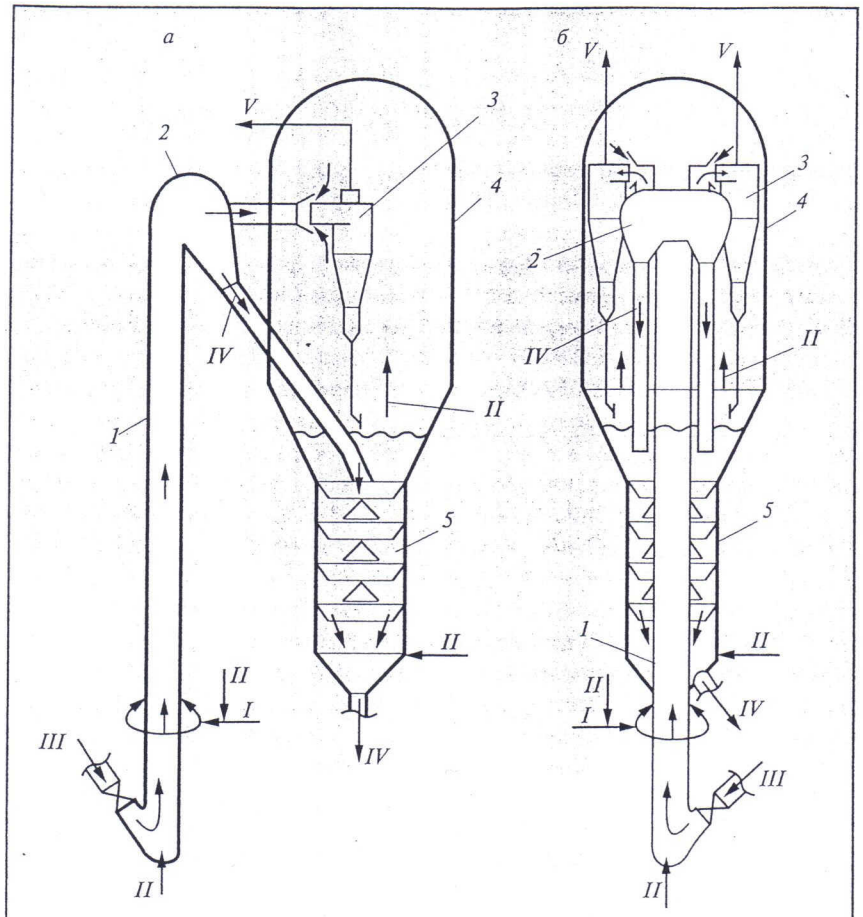

Рис. 5. Схемы выносного (*а*) и внутреннего (*б*) прямоточных реакторов каталитического крекинга с двухступенчатым инерционным сепаратором:

1 — реактор; *2* — двухступенчатый сепаратор; *3* — доулавливающий циклон; *4* — сепарационная камера; *5* — десорбер; *I* — сырье; *II* — водяной пар; *III* — регенерированный катализатор; *IV* — закоксованный катализатор; *V* — парообразные продукты.

Благодаря высокой эффективности разработанного двухступенчатого сепаратора можно ограничиться одной ступенью доочистки парообразных продуктов в высокоэффективных циклонах, минуя сепарационную зону реактора. Резкое сокращение времени пребывания паров в зоне высоких температур способствует предотвращению нежелательных реакций термического крекинга.

На **рис. 5** приведены схемы узлов с внутренним и выносным прямоточными реакторами, оборудованными двухступенчатым сепаратором. Предлагаемые технические решения могут быть использованы как при создании новых, так и для реконструкции действующих установок каталитического крекинга. При равных условиях эксплуатации двухступенчатый сепаратор характеризуется более коротким временем разделения и более высокой надежностью, чем широко применяемый в настоящее время разгружающий циклон.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Глазов Л. Ш., Соляр Б. З., Басов Р. В. и др. — ХТТМ, 1993, № 8, с. 8—10.*
2. *Гордон Г. М., Пейсахов И. Л. Контроль пылеулавливающих установок. М., Металлургия, 1973. — 384 с.*
3. *Пат. 4390503 (США).*

ВНИИ НП,
АО «Ангарская нефтехимическая компания»