

играют филиалы нефтяных компаний Royal Dutch/Shell и British Petroleum, во Франции — филиал нефтяной компании Elf Aquitaine.

По такому же пути пошло и правительство республики Татарстан. Начавшееся в республике строительство комплекса нефтеперерабатывающих и нефтехимических заводов служит примером координации стратегий развития отрасли в рамках единой промышленной политики России. Создаваемый комплекс является первым опытом строительства подобных объектов в отечественной нефтепереработке и нефтехимии и представляет собой важный элемент реализации не только энергетической стратегии, но и стратегии развития нефтехимической и химической промышленности России.

Анализ прогнозируемых показателей внутреннего и внешнего рынков показал возрастание спроса на нефтехимическую продукцию в 1,5-2 раза.

Качественное изменение требований рынка к структуре производства, ассортименту продукции и направлению увеличения доли более наукоемкой продукции, отвечающей требованиям научно-технического прогресса в сфере ее использования, является приоритетным направлением. С учетом требований внутреннего рынка, а также мировых тенденций, показывающих, что химические и нефтехимические производства развиваются темпами, которые в полтора раза превышают общий рост промышленности, перед российской промышленностью на ближайшие годы стоят следующие задачи:

- обеспечение роста объемов производства нефтехимической и химической продукции за счет увели-

чения глубины переработки первичного сырья (нефти и газа);

- повышение конкурентоспособности на основе инновационного развития;
- изменение структуры производства в направлении увеличения доли выпуска продукции с высокой добавленной стоимостью;
- изменение товарной структуры экспорта с целью увеличения доли наукоемкой нефтехимической продукции и осуществление комплекса мер по импортозамещению.

Переход к высоким технологиям в этих отраслях позволит России уйти от сырьевой ориентации экономики, развивать высокие технологии в самых емких и перспективных направлениях нефтегазового комплекса, значительно снизить экспорт сырой нефти и газа и получить максимальную отдачу с каждой тонны нефти и каждой тысячи кубометров газа.

ИСПОЛЬЗОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

Васильев М.Г. Химический комплекс России (этапы развития, состояние, направления структурной перестройки). — М., 2002.

Васильев М.Г. Четыре задачи развития нефтехимии // Российская газета www.rg.ru 22.02.2007 г.

Химия и бизнес // Международный химический журнал. — 2001. — № 46.

The Chemical Journal. — 04.2005.

Таймл Р. Россия как потенциальный центр мировой нефтехимии // Нефтегазовая вертикаль. — 2002. — № 1.

Экономика // Химия и нефтехимия. — 02.2007. — № 38 (4301).

Переработка нефти

МОДЕРНИЗАЦИЯ УСТАНОВКИ ГИДРООЧИСТКИ ДИЗЕЛЬНОГО ТОПЛИВА Л-24/6 В ОАО «СЛАВНЕФТЬ-ЯРОСЛАВНЕФТЕОРГСИНТЕЗ»

А.А. НИКИТИН, Д.В. НИКИФОРОВ, А.С. ПИНАЕВ, В.В. ЛЕНЧЕВСКИЙ,
Г.В. ШЕВЧЕНКО, BRUNO TOMBOLESI

ОАО «Славнефть-Ярославнефтеоргсинтез»,
ООО «Научно-производственная фирма «Рифинг»,
Advanced Refining Technologies GmbH (ART GmbH)

Созданная в 1994 г. группой сотрудников Государственного ракетного центра «Научно-производственная фирма «Рифинг» является разработчиком и производителем реакторного оборудования химических и нефтехимических производств. Одно из ведущих направлений деятельности фирмы — проектирование, изготовление внутрен-

них устройств (ВУ) реакторов гидроочистки продуктов нефтепереработки и авторский надзор.

Имея сотрудников с большим опытом по проектированию и конструкторской работе, фирма «Рифинг» провела собственные экспериментальные и аналитические исследования по оптимизации конструкции распределительной тарелки. Подробно ход

работ и ее результаты изложены в [1-3]. По результатам проведенных работ сформирован облик распределительной тарелки с форсунками, обеспечивающими оптимальные параметры потока на входе в слой катализатора.

Под оптимальными параметрами понимаются следующие гидродинамические характеристики:

- выравнивание поля скоростей газо-сырьевой среды (ГСС) в поперечном сечении реактора на входе в слой катализатора;
- формирование мелкодисперсного потока ГСС на входе в слой катализатора;
- отсутствие высокоинтенсивных вихревых

структур ГСС, присущих ряду форсунок, приводящих к повышенному пылеобразованию в силу вовлечения в эти потоки частиц катализатора;

- отсутствие высоконапорного прямого воздействия струй ГСС на слой катализатора (при отсутствии раскателей в конструкции форсунок).

Итогом проведенных работ явились:

- реализация схемно-конструктивных решений для ВУ на 18-ти НПЗ (60 реакторов);
- патент [4] на разработанную конструкцию распределителя.

Типовая конструкция распределительной тарелки и форсунки-распределителя приведены на рис. 1 и 2.

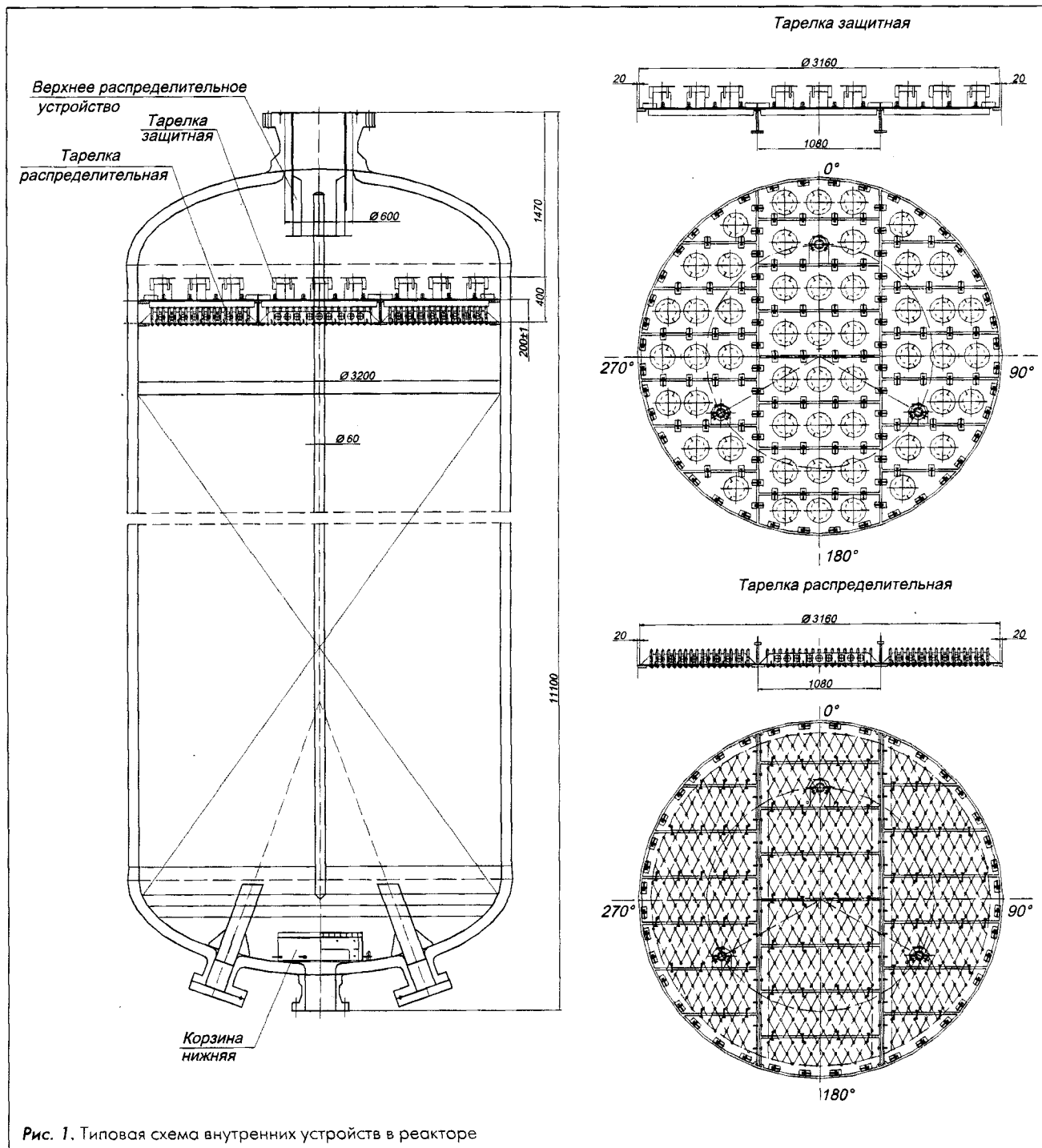


Рис. 1. Типовая схема внутренних устройств в реакторе

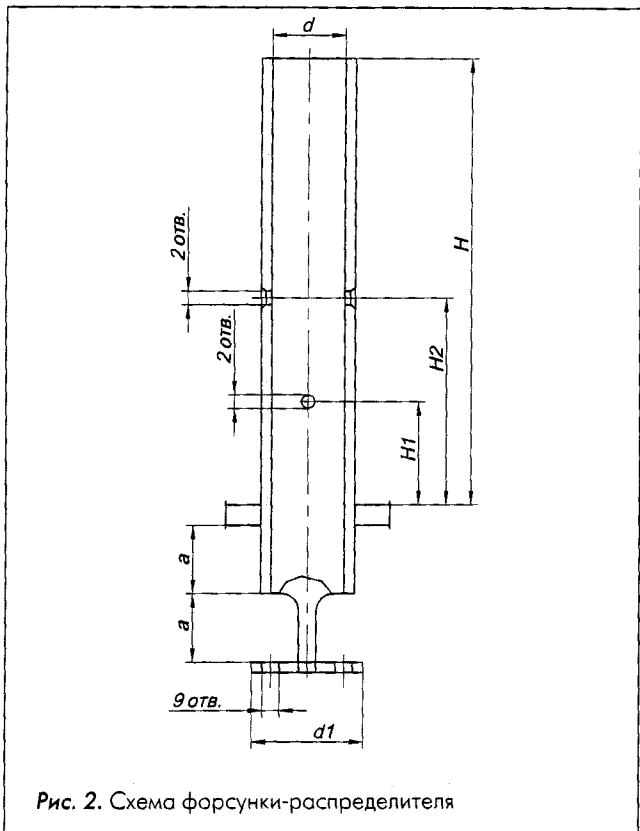


Рис. 2. Схема форсунки-распределителя

Распределительная тарелка может применяться как отдельно в реакторе, так и в паре с защитной тарелкой, также показанной на рис. 1.

Назначение защитной тарелки — улавливание механических примесей и предварительное распределение ГСС перед распределительной тарелкой.

Отличительная особенность форсунки-распределителя (см. рис. 2) — установка на выходе из цилиндрического корпуса форсунки-распределителя надкалиберного перфорированного расщекателя, оптимальные параметры которого защищены патентом [4].

Данная конструкция форсунки-расщекателя получила широкое внедрение в конструкциях внутренних устройств реакторов гидроочистки продуктов нефтехимии. В настоящий момент ею оснащены более 50-ти реакторов гидроочистки целого ряда НПЗ.

Ярким примером сотрудничества трех фирм (ООО «НПФ «Рифинг», ОАО «Славнефть-Ярославнефтеоргсинтез» и ART GmbH) и иллюстрацией эффективности применения такого типа распределительных тарелок является их использование в конструкциях реакторов установки гидроочистки дизельного топлива Л-24/6. В ходе поэтапной реконструкции в конце 2006 г. достигнуты устойчивые показатели по содержанию серы в продукции производства — дизельном топливе: не более 10 ppm, что соответствует требованиям стандарта Евро 5.

Отметим, что установка гидроочистки дизельного топлива ОАО «Славнефть-Ярославнефтеоргсинтез» длительное время работает на сырье с содержанием серы 0,75-0,85% мас. (рис. 3).

Установка введена в эксплуатацию в 1966 г. На всем этапе эксплуатации, предшествующем началу периода реконструкции, содержание серы в продукции производства составляло 0,05-0,17% мас. (рис. 4).

Было ясно, что обеспечить требования мировых стандартов по содержанию серы в продукции нефтепереработки на существующей установке невозможно, необходимо было кардинально менять как сами реакторы, так и катализатор.

Отправной вехой поэтапной реконструкции следует считать реконструкцию 2002 г., когда в установке гидроочистки дизельного топлива были сформированы два параллельных блока реакторов:

- блок 1 — реакторы Р-1, Р-2Н;
- блок 2 — реакторы Р-3, Р-5.

Конструктивные особенности реакторов:

- Р-1, Р-3 — старые реакторы с плакирующим

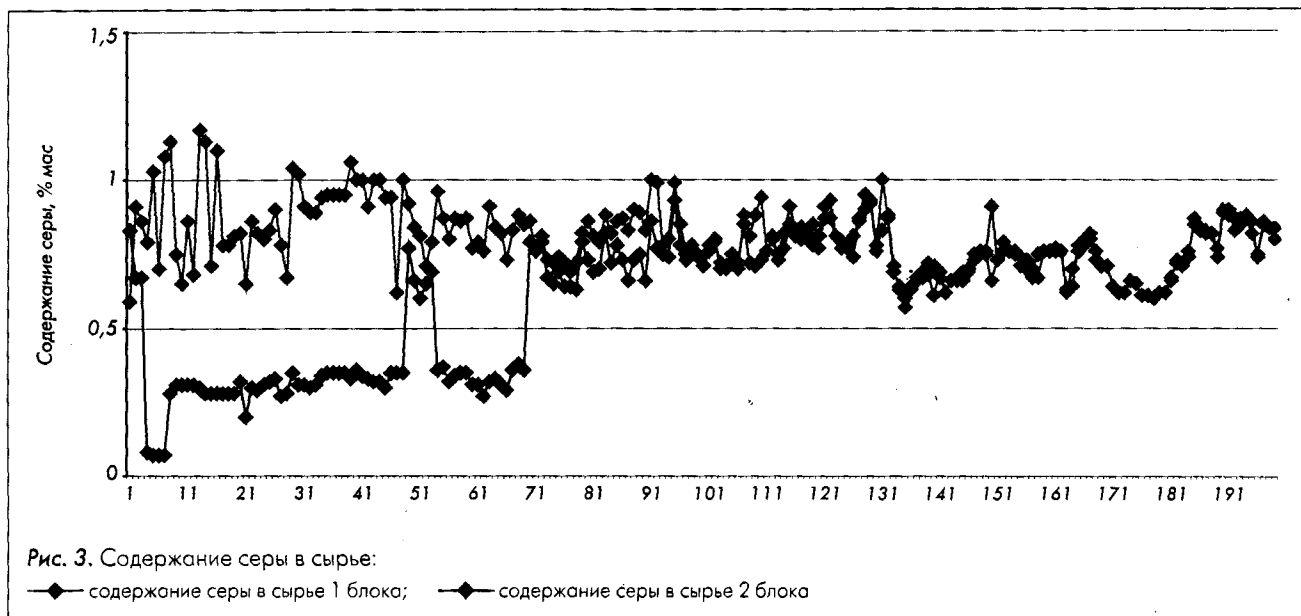
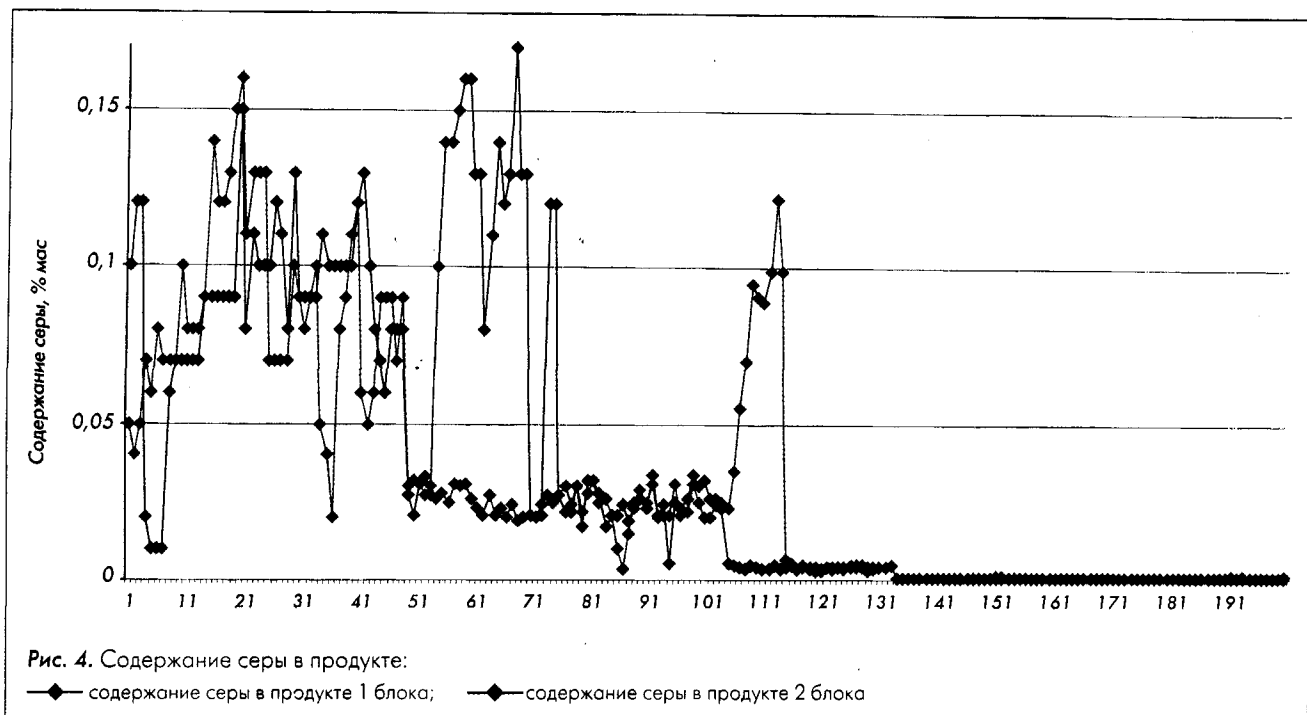


Рис. 3. Содержание серы в сырье:

◆ содержание серы в сырье 1 блока; ■ содержание серы в сырье 2 блока



слоем; диаметр 2400 мм, тип внутренних распределительных устройств: верхнее распределительное устройство, система перфорированных цилиндрических стаканов, утопленных в слое катализатора, корзина нижняя;

- Р-2N, Р-5 — новые реакторы с плакирующим слоем; диаметр 3200 мм, тип новых внутренних устройств: верхнее распределительное устройство, тарелка защитная (предварительного распределения), распределительная тарелка, корзина нижняя, изготовленные ООО «Научно-производственная фирма «Рифинг» по базовому проекту фирмы Shell.

Катализаторная система обоих реакторов была поставлена фирмой GRACE, ее параметры приведены в табл. 1.

Таблица 1

Загрузка катализатора в реакторы

Реактор	Высота слоя, мм	Объем, м ³	Марка катализатора	Эквивалентный диаметр, мм	Загрузка
Р-1, Р-3	400	1,52	ART GSK-19	19	Обычная
	400	1,52	ART GSR-6A	6	То же
	3860	14,67	ART AT-510	2,1	«-»
	250	0,95	ART-420X	6	«-»
Р-2N, Р-5	400	4,07	ART СК-500	2,5	«-»
	2395	24,37	ART СК-500	1,2	«-»
	2395	24,37	ART СК-400	1,2	«-»
	250	2,54	ART-420	6	«-»

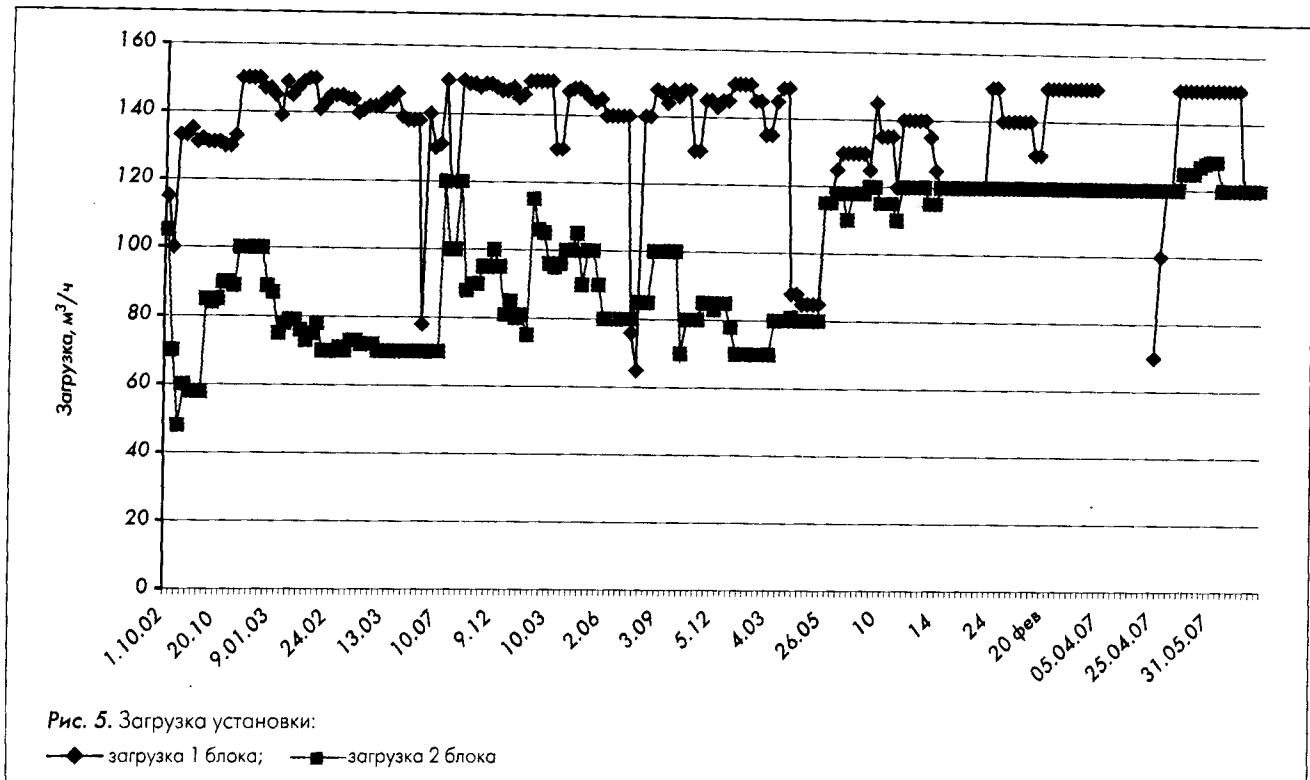
В описанном оснащении установка Л-24/6 была введена в эксплуатацию в сентябре 2002 г. Загрузка блоков составляла 100-150 м³/ч сырья (рис. 5). Уровень содержания серы в продукции на выходе из установки равнялся, как и указывалось в проработ-

ках фирмы GRACE, не более 300 мг/кг. Фактическое содержание серы в выпускаемой продукции составило 250-300 мг/кг (250-300 ppm) (см. рис. 4).

К одному из параметров, обеспечивающих успешность работы как блоков в отдельности, так и всей установки в целом, наряду с технологическими параметрами, такими как давление и температура, относится сетевое гидравлическое сопротивление реактора, точнее, его изменение по времени в годовом цикле работы установки или блока. Как было отмечено выше, реакторы по блокам расположены по паре последовательно.

Эксплуатация установки в период 2002-2005 гг. показала, что по этому параметру реакторы Р-1 и Р-3 проявили себя не с лучшей стороны: оба обладали повышенным гидравлическим сопротивлением. В них (особенно в Р-3) наблюдался рост сопротивления, что неоднократно являлось причиной остановки блоков для проведения регенерации. Графики на рис. 6, 7 иллюстрируют, что в Р-1 рост сопротивления составил до 2,4 кгс/см², а в Р-3 пиковое значение на момент остановки — 7 кгс/см². Такая нестабильная работа реакторов являлась, вероятно, несовершенством их гидродинамической компоновки, а также внутренних устройств реакторов, что требовало незамедлительной доработки. Кроме того, необходимо было предпринимать дальнейшие шаги в обеспечении повышения качества продукции, приводя ее в соответствие с международным стандартом Евро 4, предписывающим иметь содержание серы в дизельном топливе не более 50 ppm.

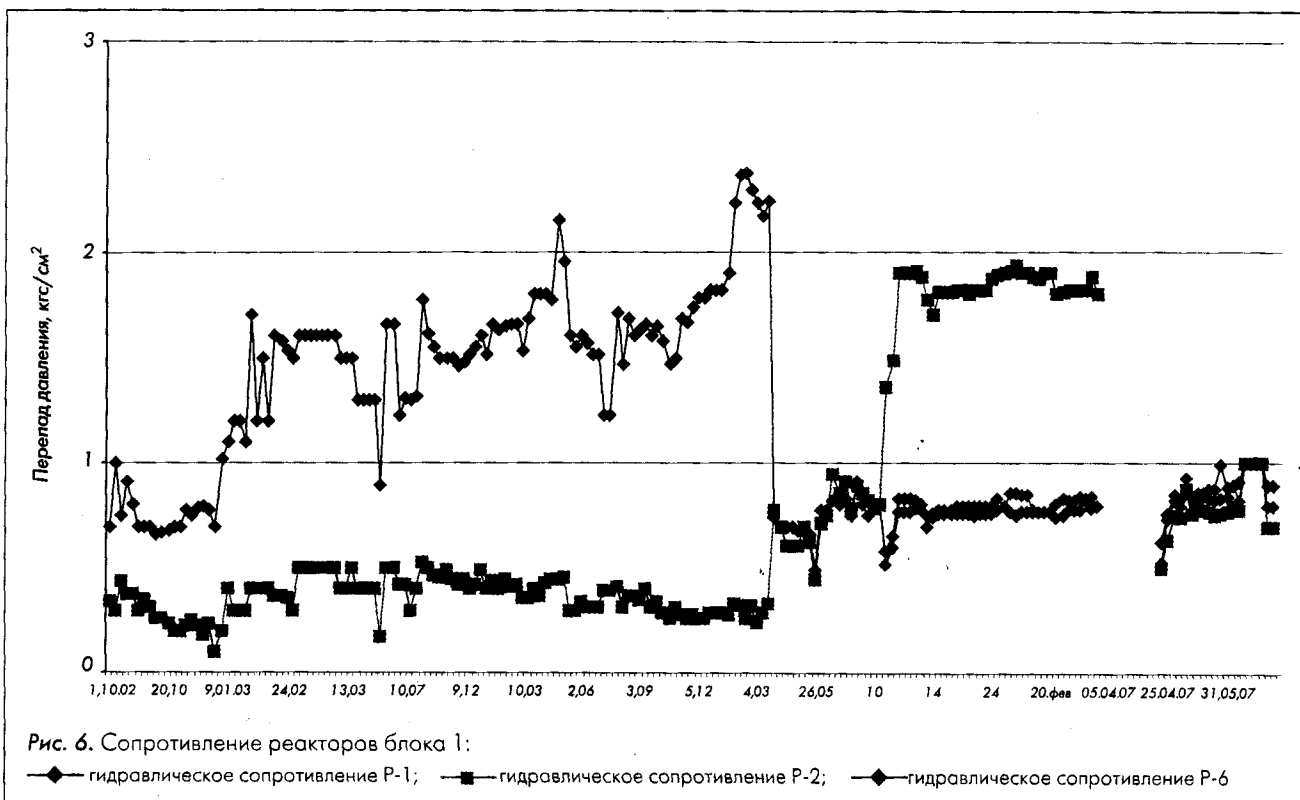
Основной задачей второго этапа реконструкции установки было устранение недостатков в гидродинамической схеме реакторов Р-1 и Р-3 и вывод установки на производство продукции с содержанием серы не более 50 ppm.



В период 2004-2005 гг. была проведена большая подготовительная работа как в проектно-конструкторском плане, так и при изготовлении соответствующего оборудования.

Во-первых, внесено изменение в конструкцию внутренних устройств реакторов Р-1 и Р-3. Вместо распределительных стаканов была спроектирова-

на, изготовлена и установлена новая система защитной и распределительной тарелок разработки фирмы «Рифинг», которая к этому времени провела экспериментальные и аналитические работы с распределительной тарелкой и сформировала оптимальные параметры форсунок распределительной тарелки, которые в дальнейшем были запатен-



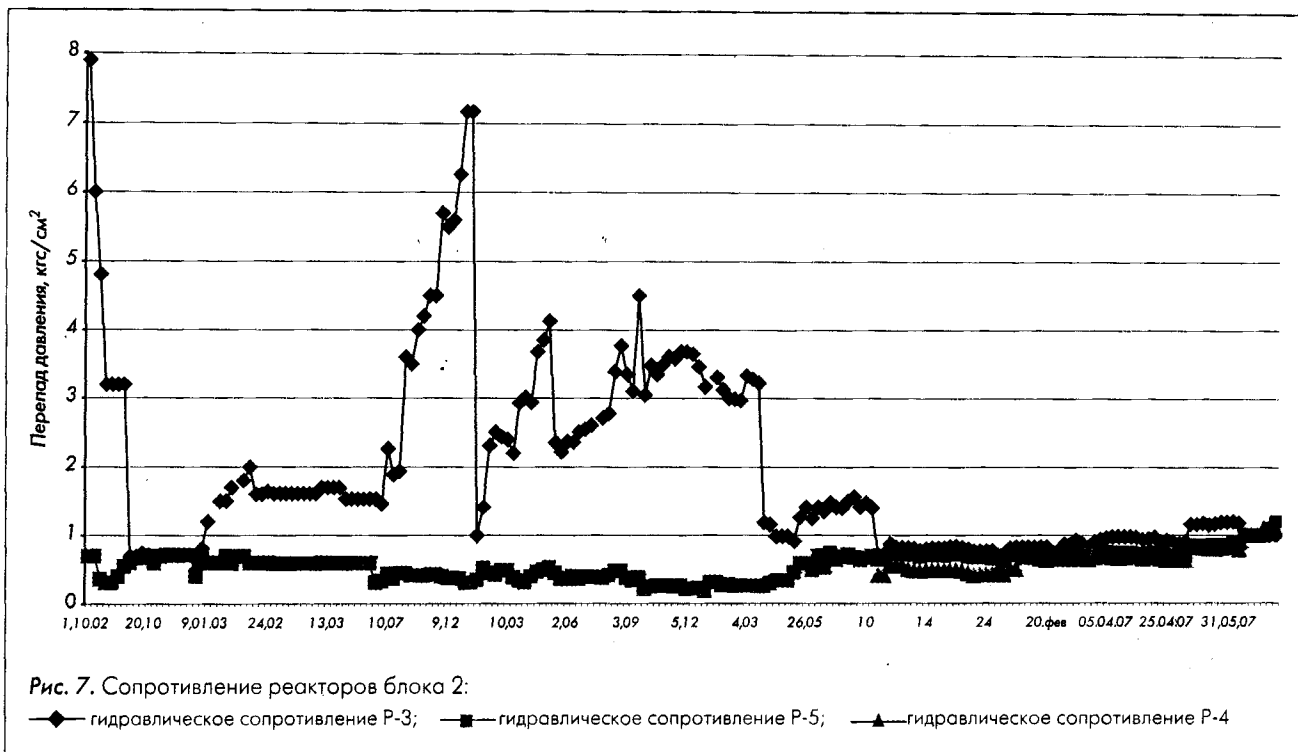


Рис. 7. Сопротивление реакторов блока 2:
 ◆ гидравлическое сопротивление P-3; ■ гидравлическое сопротивление P-5; ▲ гидравлическое сопротивление P-4

тованы [4], а основные результаты работы опубликованы в [1-3].

Во-вторых, конструкцию внутренних устройств реакторов P-2N и P-5 решено было не менять.

В-третьих, решено было сохранить сетевую схему расположения реакторов в блоках.

И, в-четвертых, во всех реакторах решено было заменить катализатор.

В обеспечение требуемого уровня содержания серы в продуктах гидроочистки фирмой GRACE была предложена каталитическая система, основанная на новой запатентованной системе SmART Catalyst System (SmART), специально созданной для производства дизельного топлива с ультранизким содержанием серы — ниже 50 ppm. В ее состав входят недавно введенные в промышленную эксплуатацию новые катализаторы CDXi (CoMo) и CDY (NiMo) в объемном соотношении 70/30 для достижения требуемых показателей.

Фирмой GRACE была предложена, а в дальнейшем и реализована следующая схема загрузки реакторов (табл. 2).

Таким образом, в начале 2005 г. все подготовительные работы по 2-му этапу реконструкции были завершены: спроектированы, изготовлены и поставлены новые внутренние устройства реакторов P-1 и P-3, получены новые катализаторные системы в необходимых объемах.

18 марта 2005 г. установка была остановлена на реконструкцию. По завершению цикла работ 22 апреля 2005 г. был запущен 2-й блок, 27 апреля 2005 г. — 1-й блок установки.

Основные режимные характеристики, иллюстрирующие работу блоков 1 и 2, включая температуру

на входе в блоки (в реакторы P-1 и P-3), приведены на рис. 3-8.

Последующая работа установки в течение 2005-2006 гг. показала, что поставленная цель реконструкции достигнута: в течение всего периода эксплуатации с момента запуска, исключая некоторые сбои, не связанные с работой реакторов, получено устойчивое содержание серы в продукте переработки по 1-му блоку — не более 45 ppm, по 2-му блоку — не более 48 ppm.

При этом получено значительное снижение гидравлического сопротивления по реакторам по сравнению с данными до реконструкции.

Так, по реактору P-1 гидравлическое сопротивление составило 0,5-0,8 кгс/см², а по реактору P-3 — 0,6-1,5 кгс/см², что в 1,6-2,7 раза меньше,

Таблица 2
 Загрузка нового катализатора в реакторы

Реактор	Высота слоя, мм	Объем слоя, м ³	Марка катализатора	Эквивалентный диаметр, мм	Тип устройства
P-1, P-3	150	0,68	GSK-19	16	С внутренними устройствами разработки фирмы «Рифинг»
	400	1,81	GSK-9	9,5	
	1000	4,52	AT 724G	2,5	
	3163	14,31	CDXi	1,2	
P-2N, P-5	150	0,68	720x	6,4	С существующими внутренними устройствами
	150	1,23	720x	6,4	
	4431	35,99	CDXi	1,2	
	2729	21,59	CDY	1,2	
	150	1,21	720x	6,4	

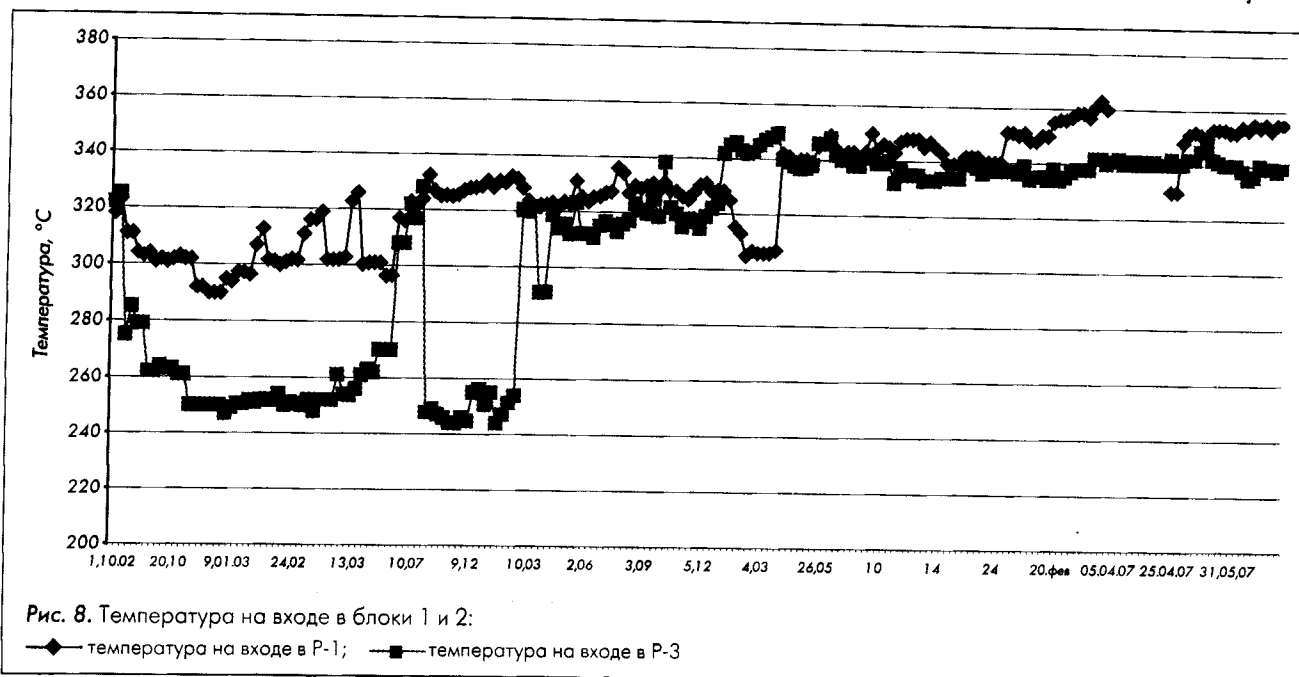


Рис. 8. Температура на входе в блоки 1 и 2:
 ◆ температура на входе в P-1; ■ температура на входе в P-3

чем до реконструкции реакторов со старой «стаканной» распределительной системой.

По реактору P-2N сопротивление составило 0,45-0,95 кгс/см², а по P-5 — 0,3-0,77 кгс/см², т.е. практически сохранилось на прежнем уровне.

Таким образом, кроме достижения запланированных показателей качества продукции по содержанию серы в результате применения распределительных устройств фирмы «Рифинг» получено существенное снижение гидравлического сопротивления реакторов P-1 и P-3, что является дополнительным положительным моментом, позволяющим экономить энергетические ресурсы установки.

Учитывая успешность достигнутых результатов и стабильность работы обоих блоков установки, было принято решение приступить к выработке решений по дальнейшей модернизации для выполнения требований стандарта Евро 5, регламентирующего содержание серы в продуктах гидроочистки не более 10 ppm, обеспечивая тем самым мировой уровень качества продукции.

Поскольку технологические резервы реакторов и катализатора при существующей схеме оказались исчерпаны, то в обеспечение поставленной задачи было принято решение оснастить блоки 1 и 2 дополнительно по одному новому реактору, включив их в сеть последовательно за реакторами P-2N и P-5.

Учитывая, что проектные материалы компании GRACE (или ART — Advanced Refining Technologies) по выбору катализаторных систем полностью подтвердились на всех этапах эксплуатации установки, было принято решение использовать в новых реакторах катализаторы той же фирмы. Соответствующие предложения компанией были разработаны и необходимые объемы катализатора поставлены.

Основные характеристики новых реакторов P-4N и P-6N:

- диаметры — 3200 мм;
- высота катализаторной зоны — 7840 мм для P-4N, 7870 мм — для P-6N, кроме того, создан запас по высоте ~250-300 мм для варьирования при необходимости высотами слоев катализатора.

В реакторы P-4N и P-6N были загружены одинаковые системы слоев, отличающиеся только высотами (табл. 3).

Таблица 3

Загрузка катализатора в новые реакторы P-4N и P-6N

Высота слоя, мм		Объем слоя, м ³	Марка катализатора	Эквивалентный диаметр, мм
P-4N	P-6N			
160	160	1,29	720x	6,0
7520	7560	60,8	AT-505	1,2
160	150	1,29	720x	6,0

Для новых реакторов были спроектированы и изготовлены распределительные устройства разработки фирмы «Рифинг», хорошо зарекомендовавшие себя в эксплуатации в реакторах P-1 и P-3.

К сентябрю 2006 г. все подготовительные работы по созданию новых реакторов были завершены. В сентябре 2006 г. в период остановки 2-го блока и в октябре 2006 г. в период остановки 1-го блока был осуществлен монтаж новых реакторов P-4N и P-6N с новыми внутренними устройствами с последующим запуском всей установки в работу.

30 ноября 2006 г. были получены на 1-м блоке первые 2880 т, а на 2-м блоке — 2080 т продукции с содержанием серы 5 ppm и 7 ppm соответственно. Начиная с этого момента, за исключением сбоев в работе в РНК в декабре 2006 г., не связанных с работой реакторов, установка Л-24/6 стабильно функционирует и обеспечивает качество продукции по блоку 1 — 3-8 ppm, по блоку 2 — 4-10 ppm.

Учитывая, что по другим предприятиям нефтеперерабатывающих производств СНГ подобного рода информация не публиковалась, можно предположить, что ОАО «Славнефть-Ярославнефтеоргсинтез» одним из первых предприятий приступило к выпуску продукции мирового уровня по качеству — с содержанием серы не более 10 ppm.

Следует отметить, что после пуска и введения в строй новых реакторов Р-4N и Р-6N уровень гидравлического сопротивления реакторов Р-1, Р-2N, Р-3 и Р-5 не изменился и составил по реакторам, кгс/см²: $\Delta p_1=0,6-0,8$, $\Delta p_3=0,6-0,83$, $\Delta p_{2N}=1,0-1,9$, $\Delta p_5=0,63-0,76$, а величины сопротивления новых реакторов реализовались довольно низкими, кгс/см²: $\Delta p_{6N}=0,52-0,8$, $\Delta p_{4N}=0,41-0,6$.

Напомним, что после реконструкции 2002 г. только на реакторах Р-1 и Р-3 старой конструкции рабочее сопротивление достигало соответственно 2,4 и 4,0 кгс/см².

Нетрудно видеть, что кроме выполнения требований по качеству продукта гидроочистки, получен несомненный выигрыш и в суммарном гидравлическом сопротивлении системы в целом.

Таким образом, творческое и плодотворное сотрудничество предприятий ОАО «Славнефть-Ярославнефтеоргсинтез», ООО «Научно-производственная фирма «Рифинг» и ART GmbH по модернизации и реконструкции установки гидроочистки дизельного топлива в период с 2001 по 2006 гг. позволило:

- выйти на мировой уровень по качеству продукции (менее 10 ppm, стандарт Евро 5);
- существенно снизить гидравлические потери в системе в целом, что привело к экономии энергетических ресурсов предприятия.

ЛИТЕРАТУРА

1. Ленчевский В.В., Сулейманов Г.З., Пинаев А.С., Шевченко Г.В. // Нефтепереработка и нефтехимия. — 2005. — № 6. — С. 43-47.
2. Ленчевский В.В., Пинаев А.С., Шевченко Г.В., Галиев Р.Ф. // Нефтепереработка и нефтехимия. — 2006. — № 5. — С. 35-40.
3. Ленчевский В.В., Пинаев А.С., Шевченко Г.В., Галиев Р.Ф. // Химическая техника. — 2006. — № 4. — С. 16-19.
4. Пат. RU 2281 804 С1 Россия, 2005.

ГИДРООБЛАГОРАЖИВАНИЕ ДИЗЕЛЬНЫХ ФРАКЦИЙ НА УСТАНОВКЕ Л-16-1 ОАО «САЛАВТНЕФТЕОРГСИНТЕЗ»

**В.К. СМЕРНОВ, К.Н. ИРИСОВА, Е.Л. ТАЛИСМАН, А.В. ЕФРЕМОВ,
М.И. БАСЫРОВ, О.В. ТРОФИМОВ**

ООО «Компания КАТАХИМ», ОАО «Салаватнефтеоргсинтез»

В связи с подготовкой России к вступлению во Всемирную торговую организацию и интеграцией ее в мировую экономику вопрос соответствия выпускаемых на отечественных производствах моторных топлив требованиям мировых стандартов становится особенно важным.

Качество дизельных топлив, удовлетворяющих требованиям современных стандартов, оговорено нормативами европейского стандарта EN 590 и национального стандарта Российской Федерации на топливо дизельное Евро (ГОСТ Р 52368-2005).

Основное отличие указанных стандартов от ранее действующего в РФ ГОСТ 305-82 заключается в ужесточении требований к показателям по содержанию серы, полициклических ароматических углеводородов и цетановому числу (табл. 1).

Промышленное производство компонентов таких топлив основано на использовании технологий, позволяющих осуществлять реакции:

- максимального превращения практически всех содержащихся в перерабатываемом сырье серо- и азоторганических соединений [1,2];

- гидрирования би- и полициклических ароматических углеводородов.

Каждая из этих реакций имеет свой оптимальный диапазон технологических параметров. Сложность решения задачи заключается в подборе катализаторов и условий их эксплуатации, позволяющих осуществлять перечисленные выше реакции с минимальной конкуренцией в условиях действующих отечественных установок гидроочистки дизельных фракций.

Практика показала, что использование катализаторов гидрооблагораживания нефтяных фракций серии «РК» (разработка ООО «Компания КАТАХИМ») позволяет стабильно получать дизельные топлива с содержанием серы на уровне 250-350 ppmw и содержанием полиароматической ароматики на уровне 11% мас. при переработке как прямогонных, так и смесевых дизельных фракций [1,2].

В настоящей статье проведен анализ результатов промышленной эксплуатации каталитической системы, разработанной для получения продукта с содержанием серы 350 ppmw в условиях первого пото-