

РАЗВИТИЕ РОССИЙСКОЙ НЕФТЕПЕРЕРАБОТКИ И НЕФТЕХИМИИ

Нефтепереработка в России



* По данным ИнфоТЭК-КОНСАЛТ

ПУТИ РЕШЕНИЯ ОСНОВНЫХ ПРОБЛЕМ НЕФТЕПЕРЕРАБОТКИ

```
graph TD; A[ПУТИ РЕШЕНИЯ ОСНОВНЫХ ПРОБЛЕМ НЕФТЕПЕРЕРАБОТКИ] --> B[Строительство новых установок, повышающих качество нефтепродуктов:]; A --> C[Строительство новых установок, углубляющих переработку нефти:]; A --> D[Строительство новых НПЗ];
```

Строительство новых установок, повышающих качество нефтепродуктов:

- Гидроочистка нефтепродуктов
- Риформинг
- Изомеризация
- Алкилирование

Строительство новых установок, углубляющих переработку нефти:

- Гидрокрекинг
- Каталитический крекинг
- Коксование
- Висбрекинг

Строительство новых НПЗ

Основные характеристики катализаторов гидропереработки

Гидрогенизационные процессы (т.е. процессы, протекающие в среде **водорода**) используются при переработке разнообразного сырья (от углей и смол различного происхождения до бензиновых фракций) и позволяют получать широкую гамму продуктов с очень малым содержанием серы, азота и кислорода - от сжиженных газов и легких изо-парафиновых углеводородов до котельного топлива, высокоиндексных масел и ароматических углеводородов.

Разновидности гидрогенизационных процессов:

деструктивная гидрогенизация - каталитический процесс присоединения водорода к молекулам сырья под давлением до 32 МПа, сопровождающийся расщеплением высокомолекулярных компонентов сырья и образованием низкомолекулярных углеводородов;

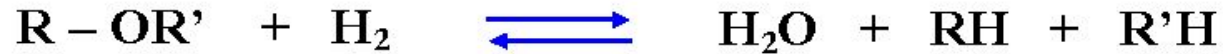
гидрокрекинг - каталитический процесс переработки различных нефтяных дистиллятов, позволяющий получать без образования кокса продукты, во многом сходные с продуктами каталитического крекинга, но значительно менее ароматизованные, очищенные от гетероатомов и не содержащие олефиновых и диеновых углеводородов;

недеструктивная гидрогенизация - дистиллятное сырье всех видов, не подвергаясь расщеплению, улучшает свои свойства - в основном освобождается от непредельных углеводородов;

гидроочистка - процесс удаления из нефтепродуктов гетероатомов в результате гидрирования сера-, азот- и кислородорганических соединений, гидрирования диеновых, олефиновых у/в и удаления металлов, содержащиеся в виде металлорганических соединений;

гидродеалкилирование - превращение алкилароматических соединений в соответствующие моноароматические.

Химизм реакций



Условия: $P > 4,0$ МПа, $T = 300-400$ °С, $ОСПС = 2-6$ час⁻¹

Реакции гидрирования



Кинетика

$$\ln (P/P^*) = k\tau$$

P – давление водорода на выходе из реактора

P^* - давление водорода на входе в реактор

K – Константа скорости реакции

τ – время контакта, час ($\tau = 1/V$)

- Катализаторы для гидрогенизационных процессов нефтепереработки
 - гидроочистка
 - гидроизомеризация
 - гидрооблагораживание
 - гидрокрекинг
 - гидроизомеризация гача

Модификации процессов гидроочистки

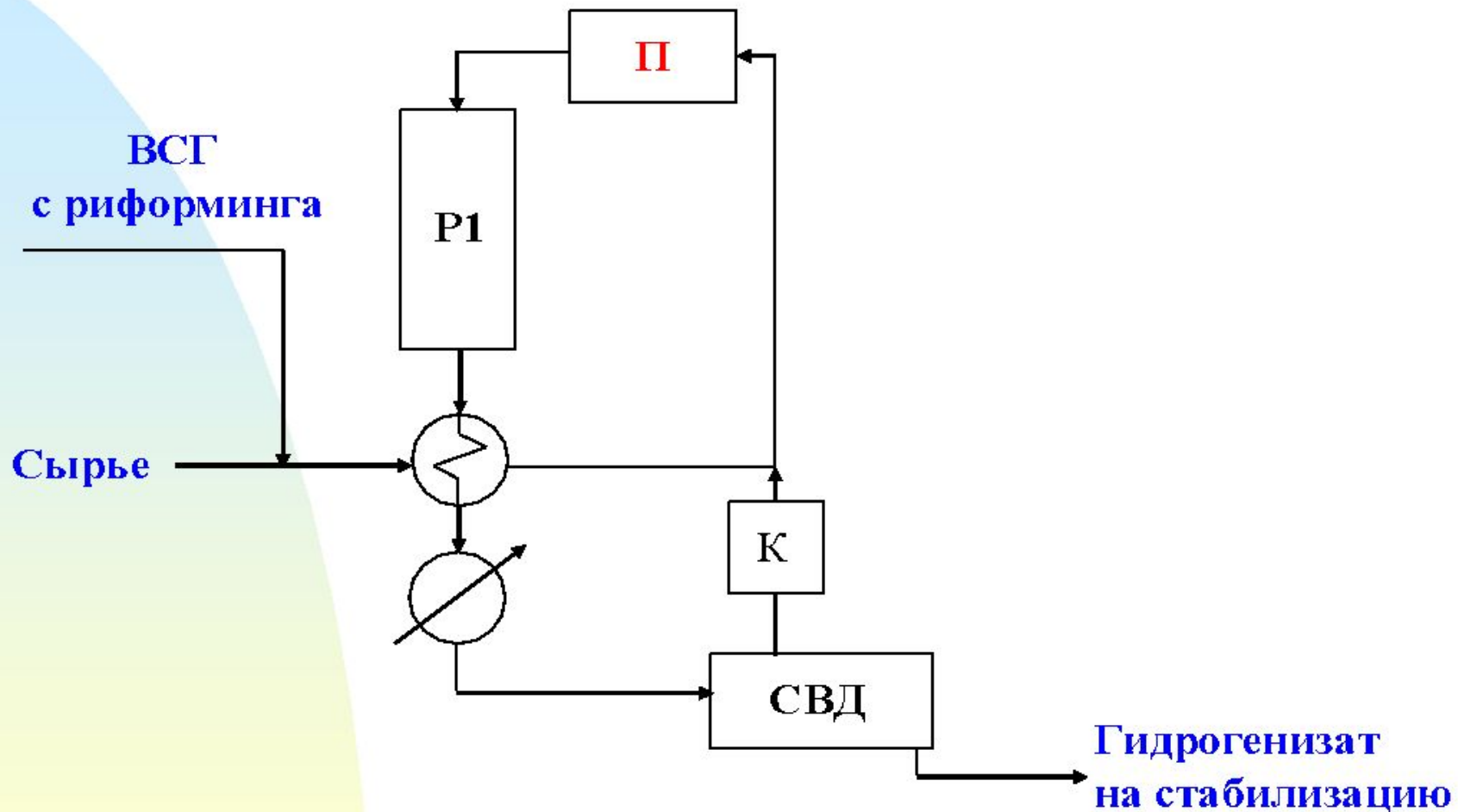


Доля мощностей гидроочистки в первичной переработке составляет почти 50%.

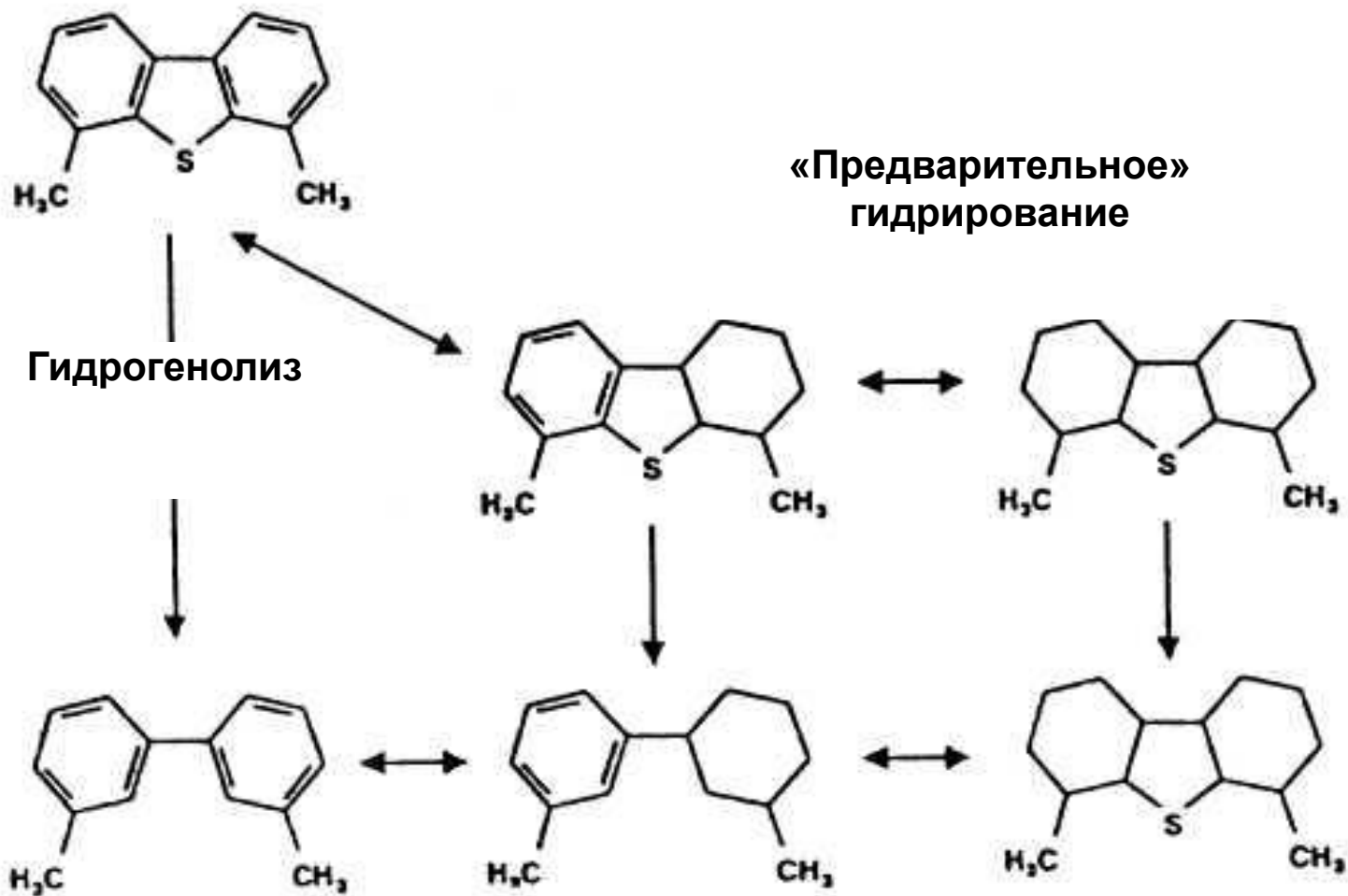
Показатели работы современных катализаторов гидрообессеривания различных видов сырья на промышленных установках

Показатель	БФ	ДТ	ВГ	НО
Температура, °С	300-340	340-400	380-410	380-410
Давление, МПа	1,5-2,0	2,5-4,0	4,0-5,0	7,0-15,0
ОСПС, ч ⁻¹	5,0-10,0	3,5-5,0	1,0-2,0	0,5-1,0
Кратность циркуляции ВСГ, нм ³ /м ³ *ч	150	200	500	До 1000
Остаточное содержание S, %	0,0001	0,1-0,2	0,1-0,5	0,3-0,5
Степень обессеривания, %	99	92-97	85-95	70-75
Ресурс службы катализатора, т сырья/кг	100	150-200	50-80	-
Срок службы, годы	5-8	4-6	2-4	1-2

Принципиальная технологическая схема гидроочистки



Реакции, проходящие для 4,6-диметилдибезотиофена.

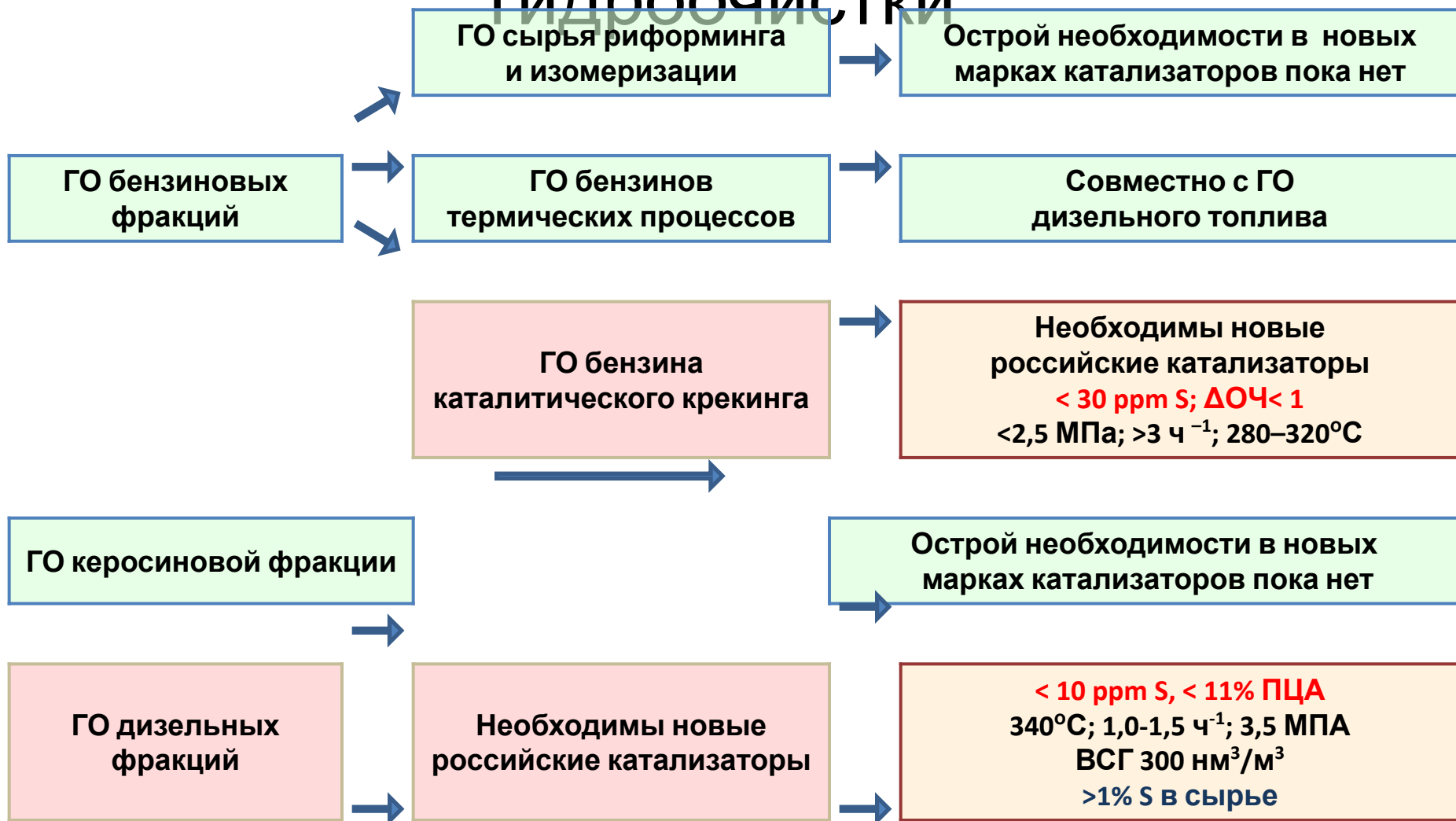


Гидроочистка средних ДИСТИЛЛЯТОВ

- Средняя мощность одной установки гидроочистки средних дистиллятов 1 459, 1 тыс. т/год.
- Средний возраст 35,4 лет.
- В 2015 г. коэффициент использования мощностей по гидроочистке средних дистиллятов составил 82,7%.
- В 2015 г. новая установка гидроочистки средних дистиллятов была введена на Антипинском НПЗ. В 2016 г. планируется ввод установки гидроочистки средних дистиллятов на Антипинском НПЗ и Пермнефтеоргсинтезе. Всего до 2035 г. ввод новых установок гидроочистки средних дистиллятов планируется на 22 НПЗ .

Современное состояние и направления развития катализаторов

ГИДРООЧИСТКИ



500-1000 ppm S



**Прямогонное
дизельное топливо**
1,0 % (10000ppm) серы,
до 30 % ароматики,
в т.ч. до 20% -
конденсированной,
до 1000 ppm азота

Уровень, достигнутый
российскими НПЗ

500-2000 ppm

Требуемый уровень

350	---	50	---	10 ppm
Евро-3		Евро-4		Евро-5

О.В. Климов, Г.А. Бухтиярова, А.В. Пашигрева, С.В. Будуква, Е.Н. Кириченко, А.С. Носков.

Оптимизация метода приготовления и регенерация катализатора глубокой гидроочистки ИК-ГО-1.

• Описан метод приготовления отечественного катализатора глубокой гидроочистки ИК-ГО-1, основанный на использовании биметаллических комплексных соединений. Нанесение этих соединений на Al_2O_3 , приготовленный различными способами, позволило получить катализаторы, пригодные для производства дизельных топлив, содержащих менее 50 ppm остаточной серы. Варианты ИК-ГО-1 можно использовать для гидроочистки вторичных дизельных дистиллятов и более тяжелого сырья - вакуумного газойля. Гидроочистка вакуумного газойля с использованием ИК-ГО-1 позволяет получать продукт с остаточным содержанием серы не более 500 ppm и степенью деазотирования, превышающей 80%. Изучена регенерация дезактивированного катализатора ИК-ГО-1. В результате окислительной регенерации не удается полностью восстановить каталитическую активность. Обработка регенерированного катализатора хелатными агентами позволяет восстановить первоначальную активность катализатора более чем на 99%.

**Современные
нанесенные катализаторы
гидроочистки**

АКТИВНЫЙ КОМПОНЕНТ

Co(Ni)/Mo(W)

2-5/8-14 %

Атомное отношение

1:2

Носитель – Al_2O_3

$\varnothing_{\text{гранул}} = 1,3-1,6 \text{ мм}$

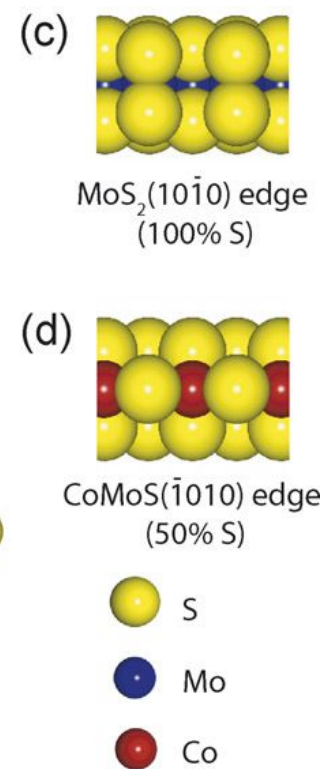
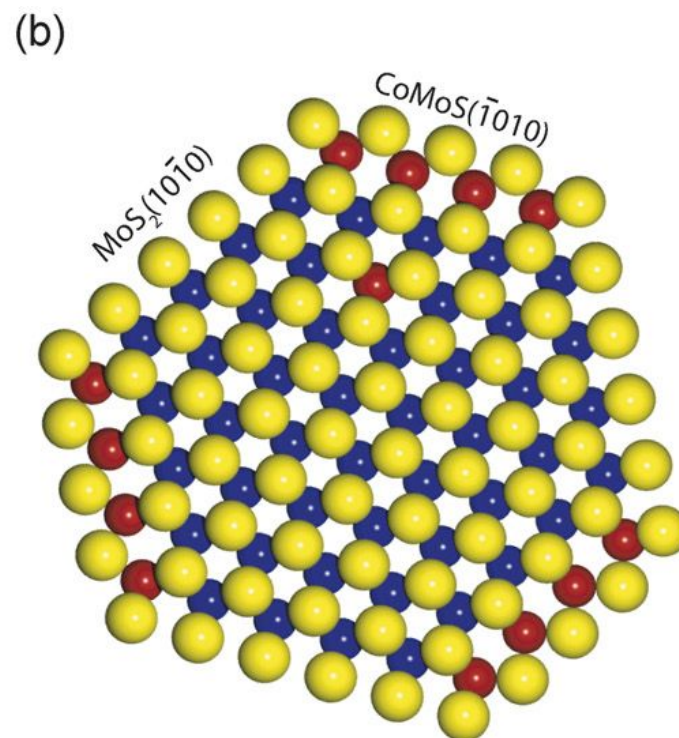
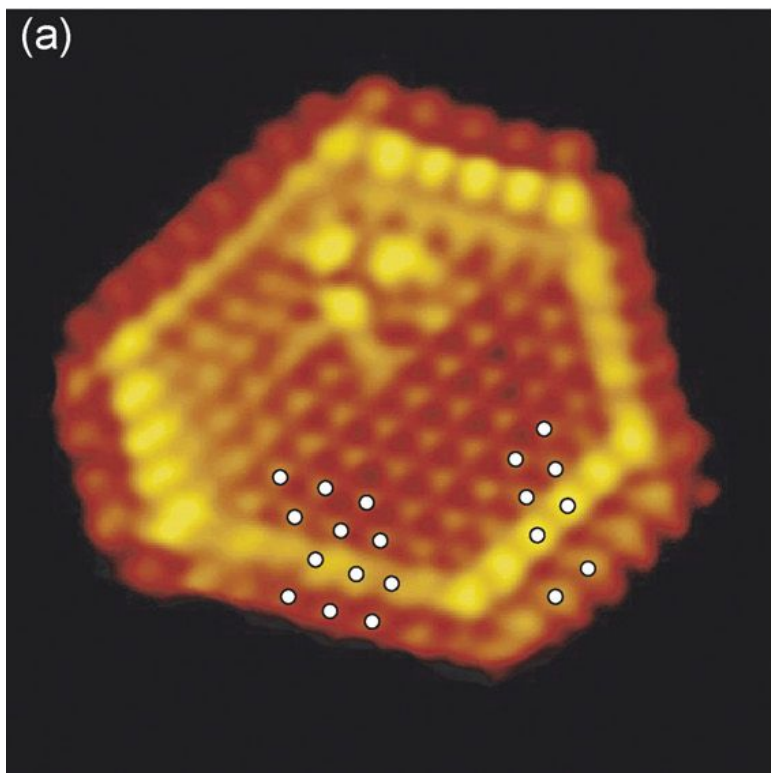
$S_{\text{уд}} = 180-250 \text{ м}^2/\text{г}$

$V_{\text{пор}} = 0,40-0,55 \text{ см}^3/\text{г}$

$\varnothing_{\text{пор}} = 80-120 \text{ \AA}$



Строение Со-Мо активных центров

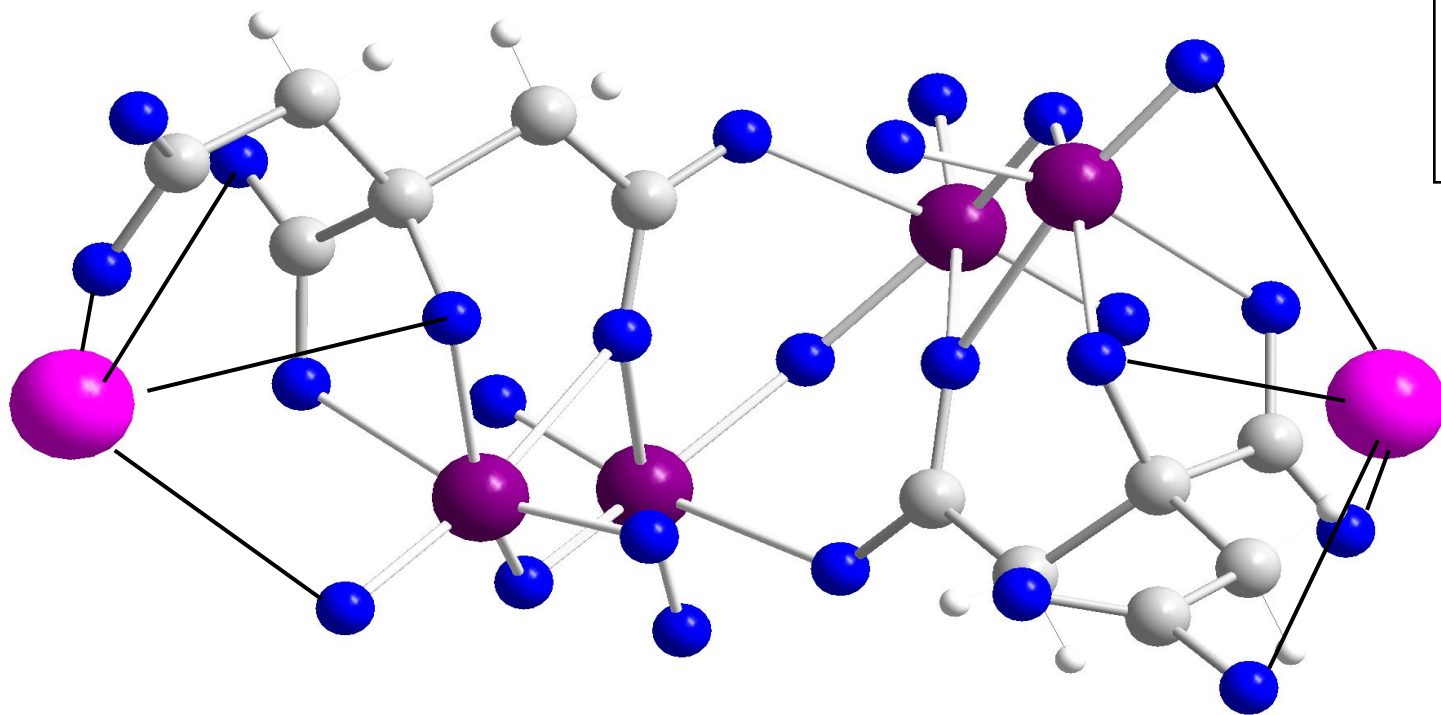
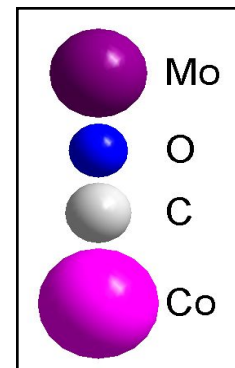


Принципы приготовления нанесенных катализаторов гидроочистки последнего поколения

- 1. Целенаправленный синтез в растворе биметаллических предшественников активных центров, состав и строение которых обуславливает дальнейшее селективное образование Co-Mo-S-фазы второго типа.**
- 2. Использование носителя, имеющего оптимальные, как для стадии приготовления, так и стадии эксплуатации катализатора, текстурные характеристики и состав.**
- 3. Условия нанесения, обеспечивающие сохранение структуры биметаллического соединения при его взаимодействии с поверхностью носителя.**
- 4. Оптимальные условия сушки и активации катализатора.**

Носков А.С., Бухтиярова Г.А., Иванова А.С. и др.// Сборник трудов 7 Международного форума «Топливо-энергетический комплекс России: региональные аспекты». С.-Петербург. 10-12.04.2007. С.Петербург 2007 с. 245-248.

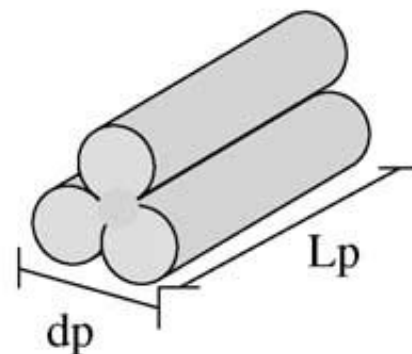
Структура $\text{Co}_2[\text{Mo}_4\text{O}_{11}(\text{C}_6\text{H}_5\text{O}_7)_2]$



Катализатор для глубокой гидроочистки вакуумного газойля ИК-ГО-1

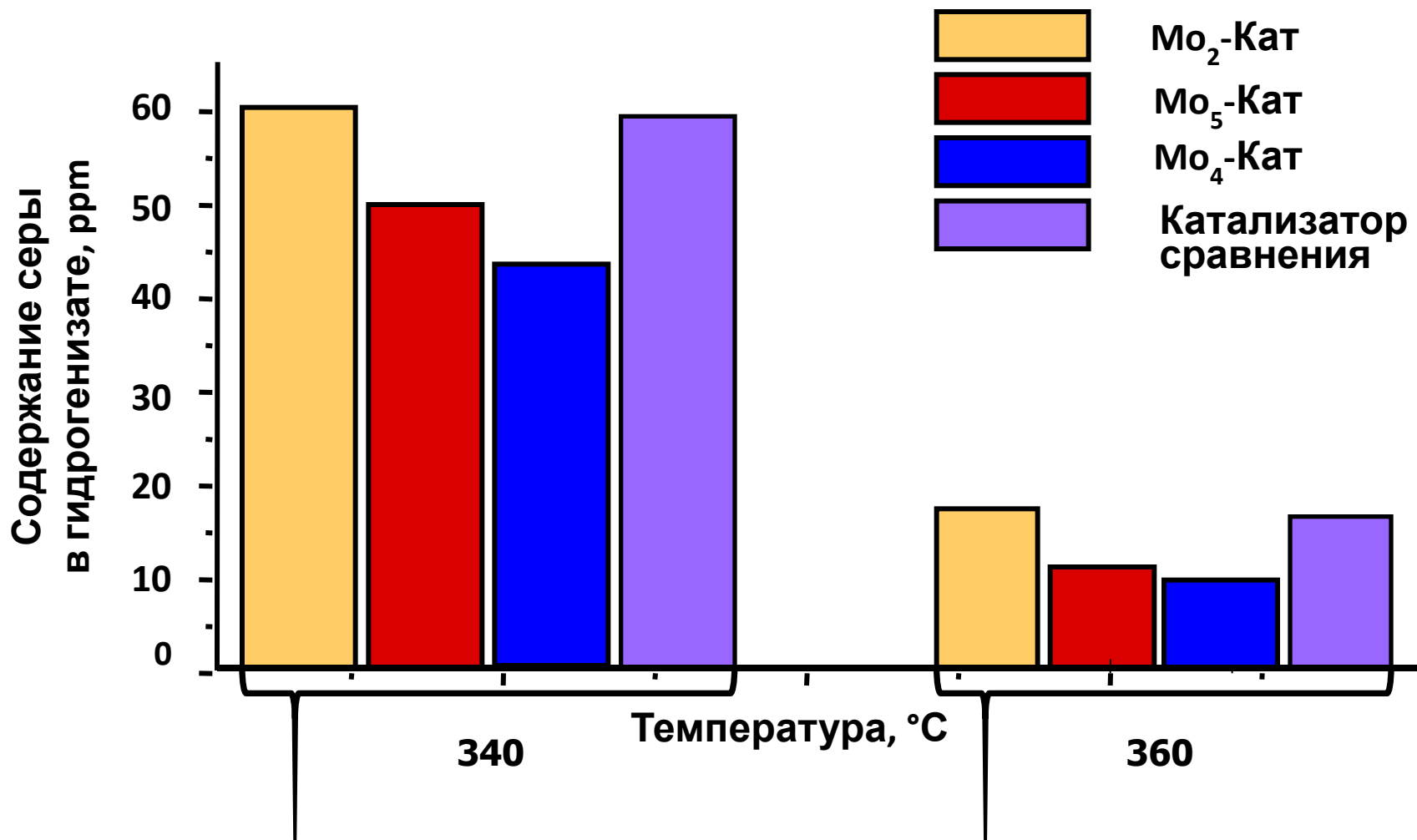
Физико-химические характеристики катализатора

Форма		Гранулы в виде цилиндров или трилистников	
Диаметр гранул (для трилистника – высота от вершины до середины основания)	мм	1,2–1,6	
Насыпная масса	г/см ₃	0,60–0,80*	
Коэффициент прочности	кг/м	не менее 1,5	
Массовая доля компонентов	%	MoO ₃	CoO
		15,0–18,0*	4,0–4,5*



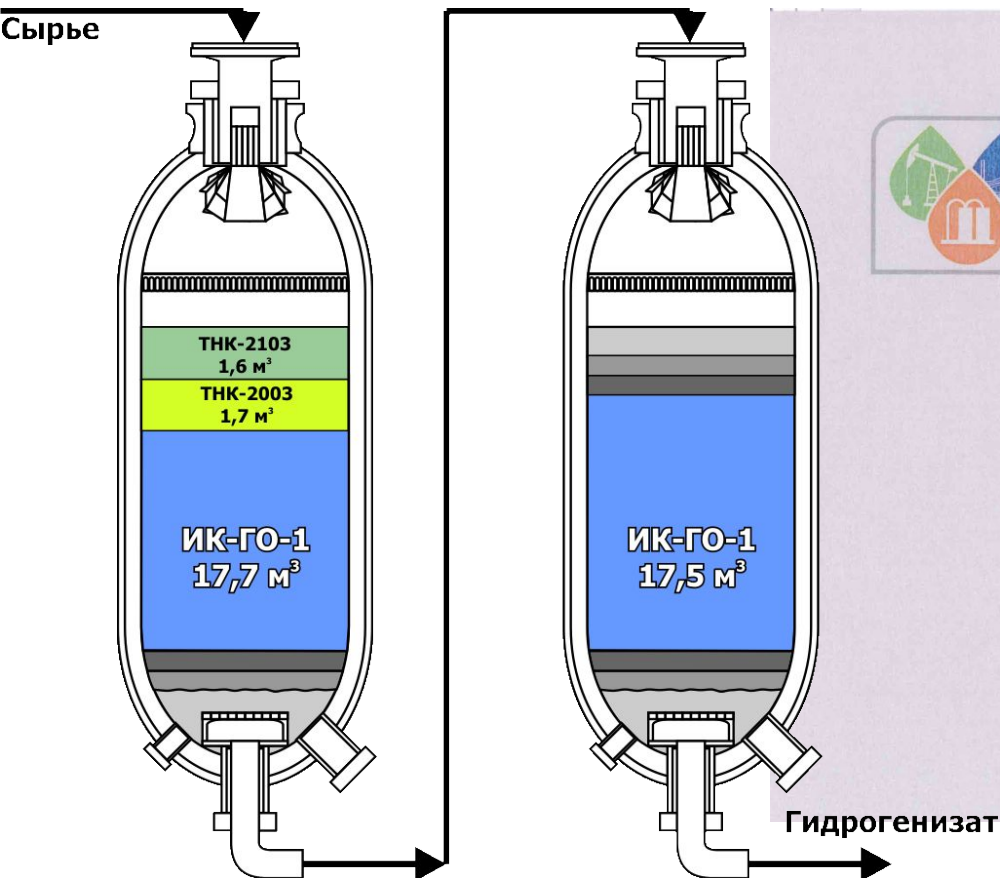
Сопоставление активности в гидроочистке

Прямогонное дизельное топливо
Начальное содержание S – 10600 ppm
Условия процесса: LHSV = 2 ч⁻¹; P = 3.5 МПа;
H₂/сырье = 300 Нм³/м³ сырья



Первый российский катализатор нового поколения для глубокой гидроочистки дизельного топлива - ИК-ГО-1

2007 год установка Л-24-6
ОАО «Саратовский НПЗ»



Получение дизельных
Топлив по стандартам
Евро-3 (350 ppm S)
Евро-4 (50 ppm S)
Евро-5 (10 ppm S)



2007

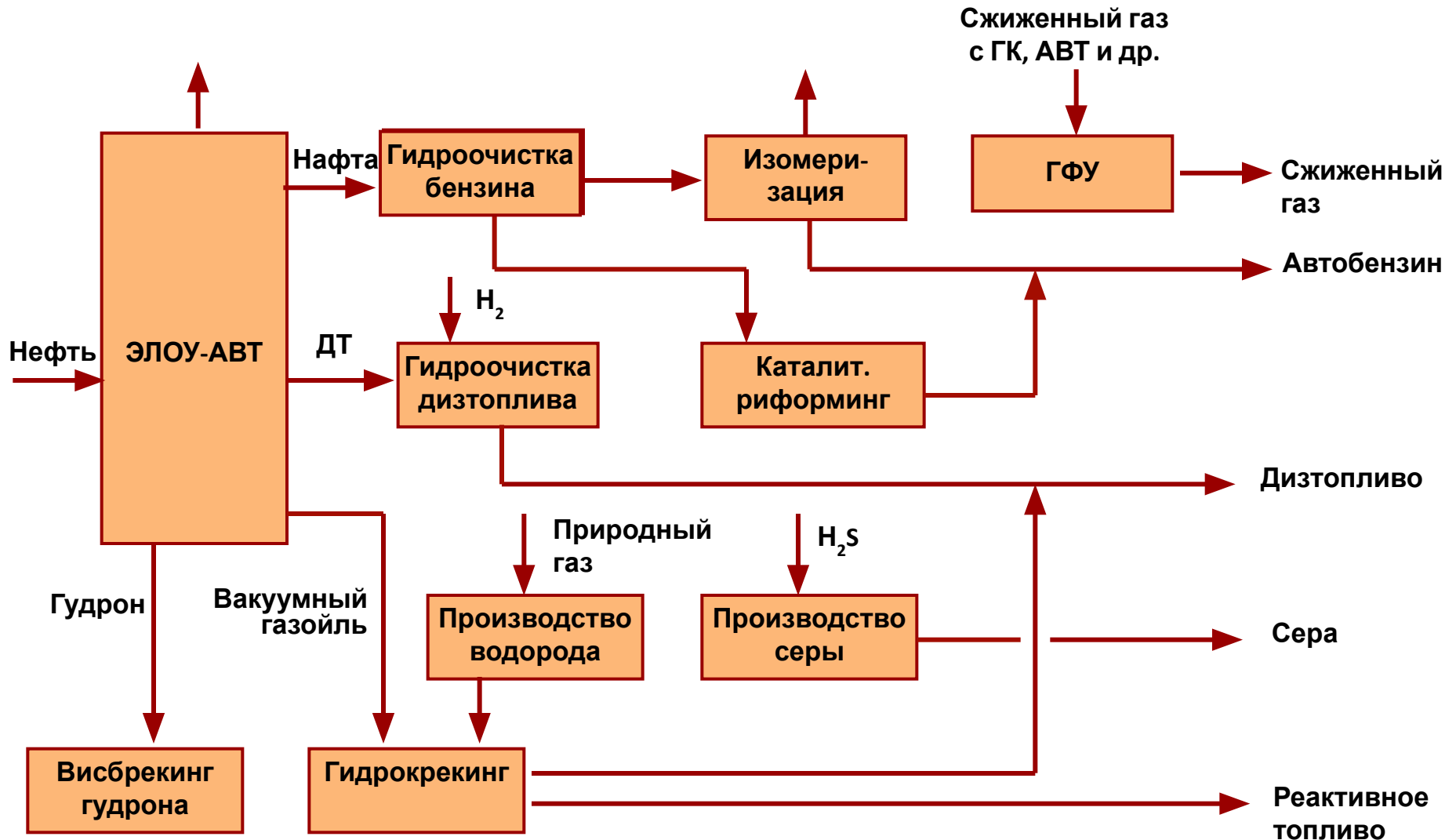
Премия ТНК-ВР в области технологий
TNK-BP Award for Technology

Лауреат
Laureate

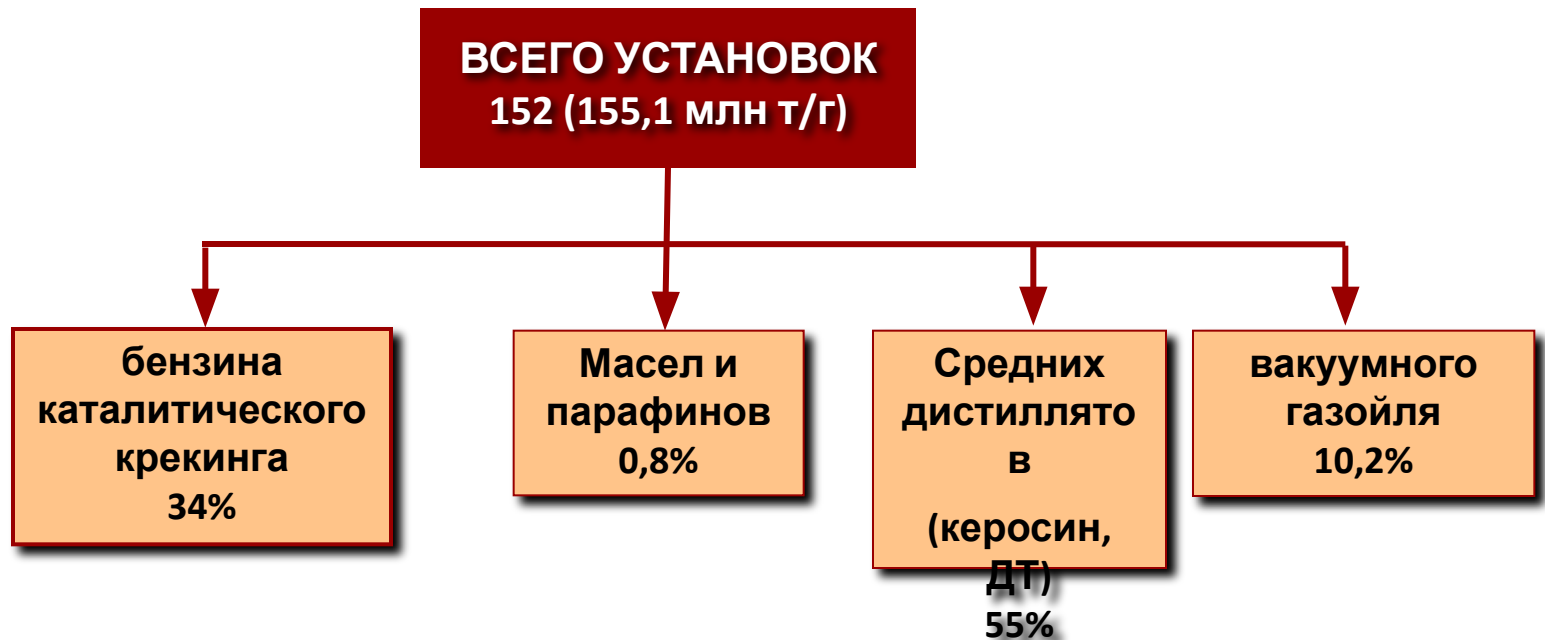
Катализатор глубокой гидроочистки дизельных фракций ИК-ГО-1
ЗАО «Промышленные катализаторы»

IK GO-1 catalyst for deep hydrotreatment of diesel fractions
CJSC Industrial Catalysts

КРОПОТКИНСКИЙ НПЗ



УСТАНОВКИ ГИДРООЧИСТКИ ТОПЛИВ



- В 2015 г. новая установка гидроочистки средних дистиллятов была введена на Антипинском НПЗ (Тюмень).
- В 2016 г. планируется ввод установки гидроочистки средних дистиллятов на Антипинском НПЗ и Пермнефтеоргсинтезе.
- Всего до 2035 г. ввод новых установок гидроочистки средних дистиллятов планируется на 22 НПЗ.

Рост мощностей гидроочистки нефтяных дистилятов в России



Прогнозируемая
годовая потребность
России в катализаторах ГО

>12000 т



>300 млн.\$

ОАО «ВНИПНефть»

Современные промышленные катализаторы гидроочистки



Нанесённые зарубежные катализаторы

Haldor Topsoe, Axens, Criterion, Albemarle, UOP, Zud-Chemie, Cosmo Oil, Nippon Ketjen, Grace и др.



Нанесённые российские катализаторы

ООО «Новокуйбышевский завод катализаторов»;
ЗАО «Промышленные катализаторы»;
ЗАО «Нижегородские сорбенты»; ОАО «АЗКиОС»;
КНТ Групп; НПК «Синтез»

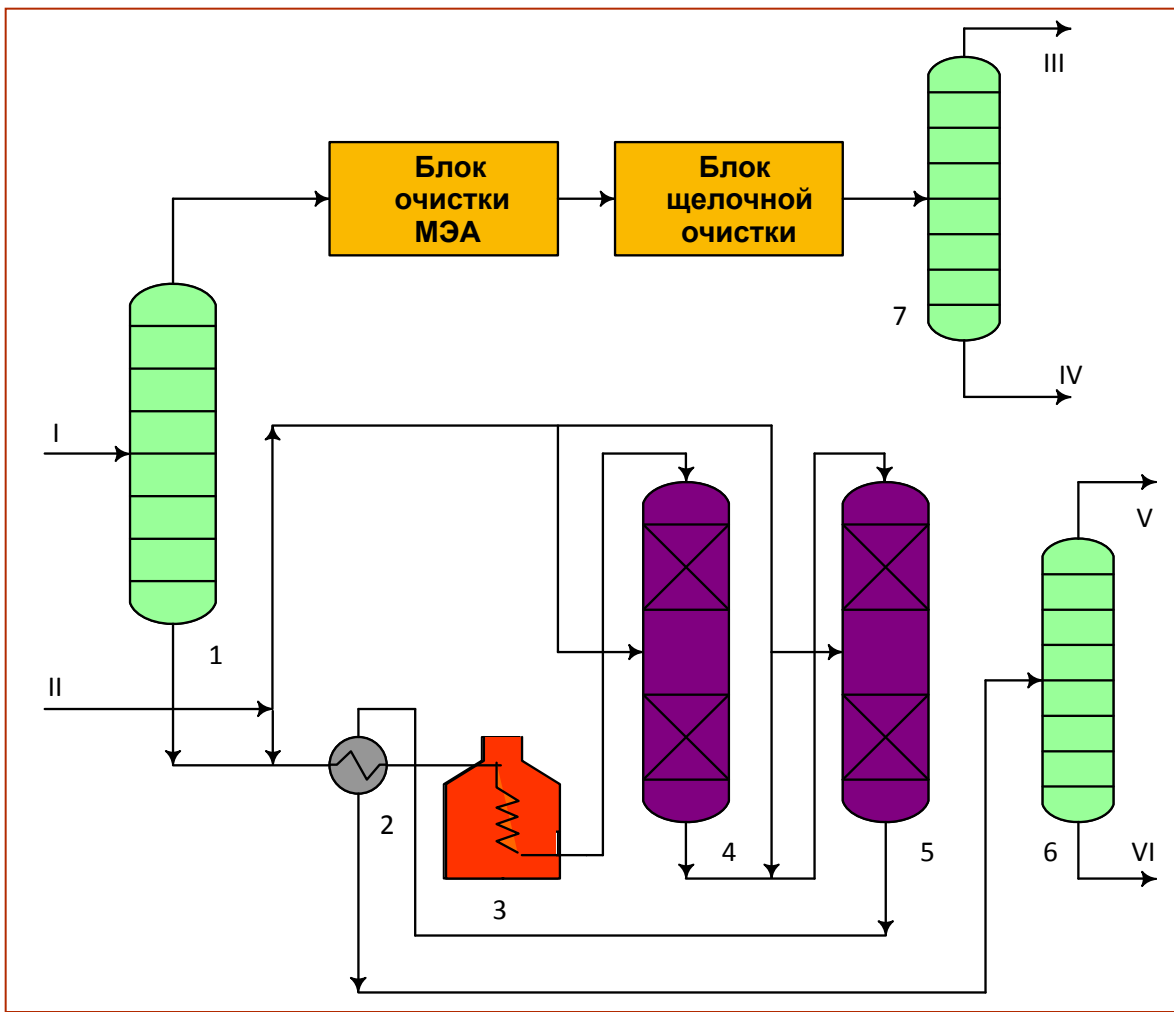


Массивные Ni-Mo-W катализаторы NEBULA Akzo Nobel – Albemarle

F.L. Plantenga, R. Cerfontain, S. Eijsbouts et al.
Stud.Surf.Sci.Catal., 145 (2002) 407.

СХЕМА ГИДРООЧИСТКИ БЕНЗИНА КАТАЛИТИЧЕСКОГО КРЕКИНГА ОАО «ТАИФ-НК»

- ◆ Базовый проект и разработка рабочей документации – ОАО «ВНИПинефть», совместно с ОАО «ВНИИ НП» и ИНХС РАН
- ◆ Мощность: 360 тыс.т/год



- 1 – стабилизатор;
- 2 – теплообменник;
- 3 – печь;
- 4, 5 – реакторы;
- 6 – стабилизационная колонна;
- 7 – колонна выделения фракции C_3-C_4 .

- I – сырье (нестабильный бензин каталитического крекинга);
- II – водород;
- III – сероочищенная фракция C_3-C_4 ;
- IV – легкий сероочищенный бензин;
- V – газ;
- VI – тяжелый гидроочищенный бензин

Варианты технологий переработки мазута

- вакуумная дистилляция с получением газойля и гудрона.
- прямая гидрогенизационная переработка мазута.

ТЕХНОЛОГИЯ ВАКУУМНОЙ ПЕРЕГОНКИ МАЗУТА ОАО «ВНИПИНЕФТЬ»

Основные преимущества технологии:

- ❖ **Получение вакуумных газойлей с высокими концами кипения**
 - ✓ до 580°C – тяжёлые фракции
 - ✓ до 600°C – лёгкие фракции
- ❖ **Низкое содержание металлов**
- ❖ **Глубокая выпариваемость дизельного топлива (до 99% от потенциала сырья)**

**Базовая технология и проектирование:
ОАО «ВНИПИНЕФТЬ»**

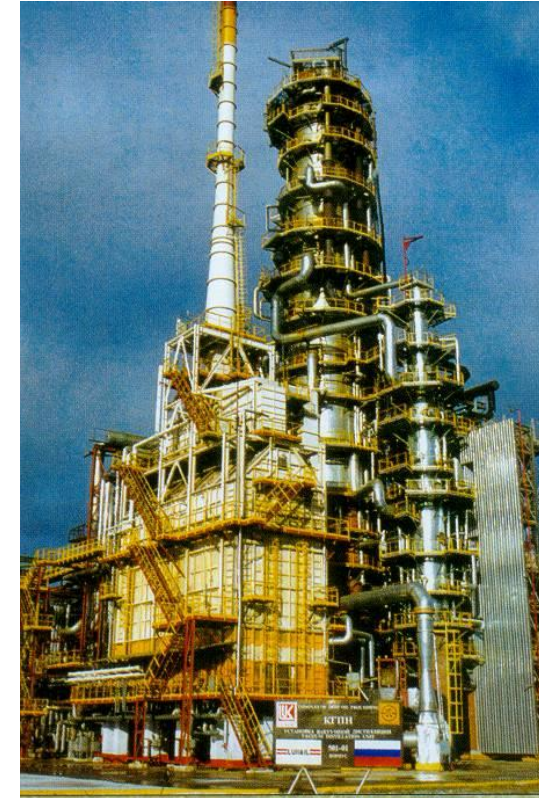
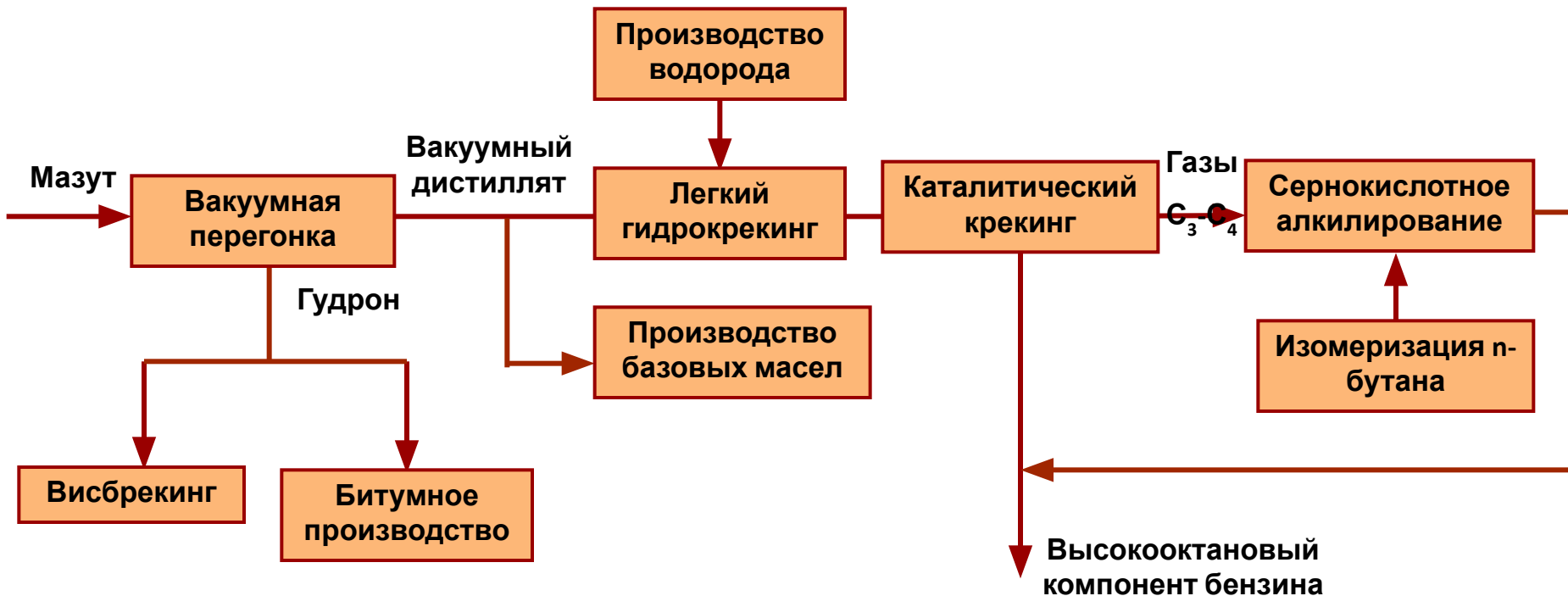


СХЕМА КОМПЛЕКСА ГЛУБОКОЙ ПЕРЕРАБОТКИ НЕФТИ НА РЯЗАНСКОМ НПЗ



Глубина переработки - 70%

Перспективы до 2012 г. - гидрокрекинг

КАТАЛИТИЧЕСКИЙ КРЕКИНГ ВАКУУМНОГО ГАЗОЙЛЯ И ГИДРООЧИСТКА БЕНЗИНА КАТАЛИТИЧЕСКОГО КРЕКИНГА ОАО «ТАИФ-НК»

Основные преимущества технологии:

- ◆ Выход бензина с концом кипения 205°C – 56% масс.
- ◆ Суммарный выход газов C₃-C₄ - 87,5% масс.
- ◆ Октановое число по исследовательскому методу – 94,2
- ◆ Содержание серы в бензине каталитического крекинга <50 ppm



● Базовая технология:

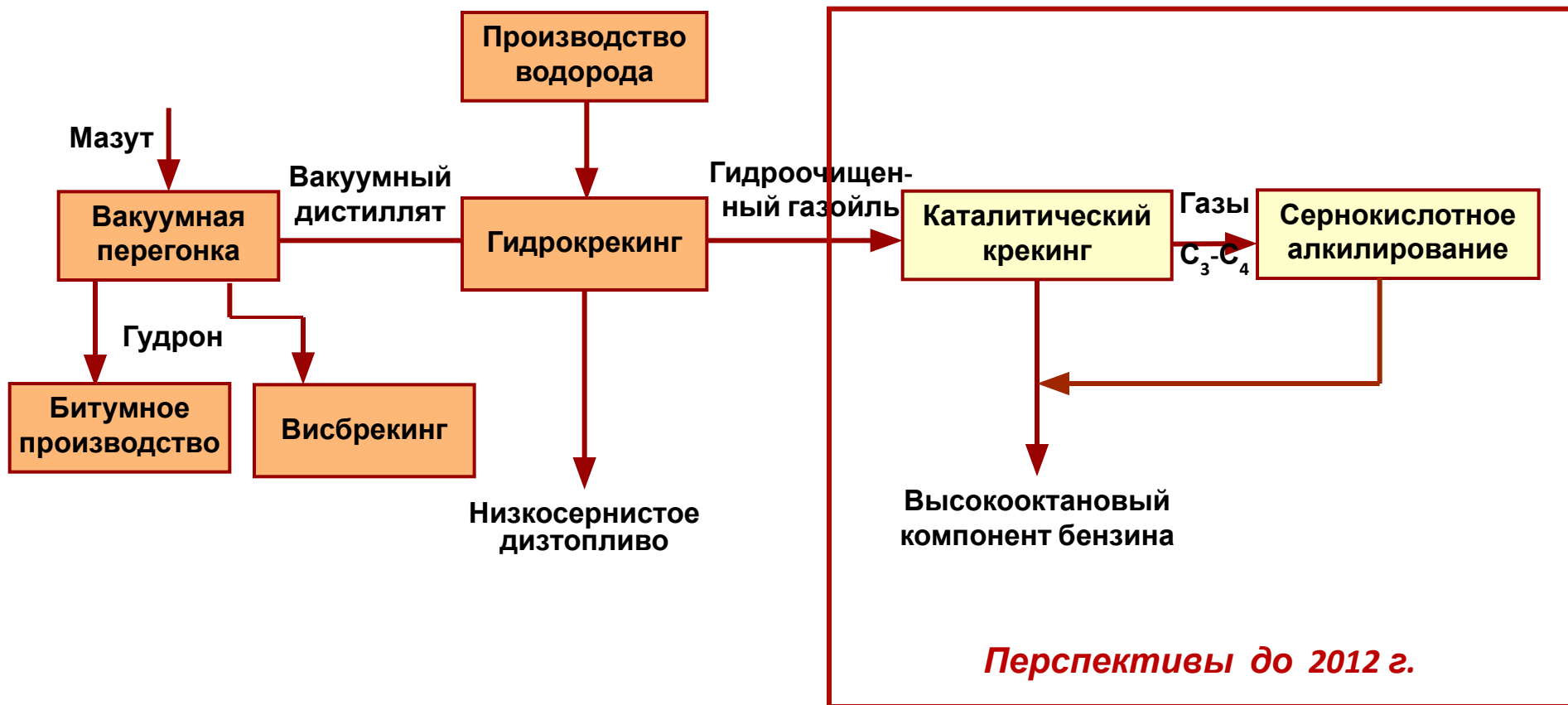
ОАО «ВНИИНП»

ОАО «ВНИПИнефть»

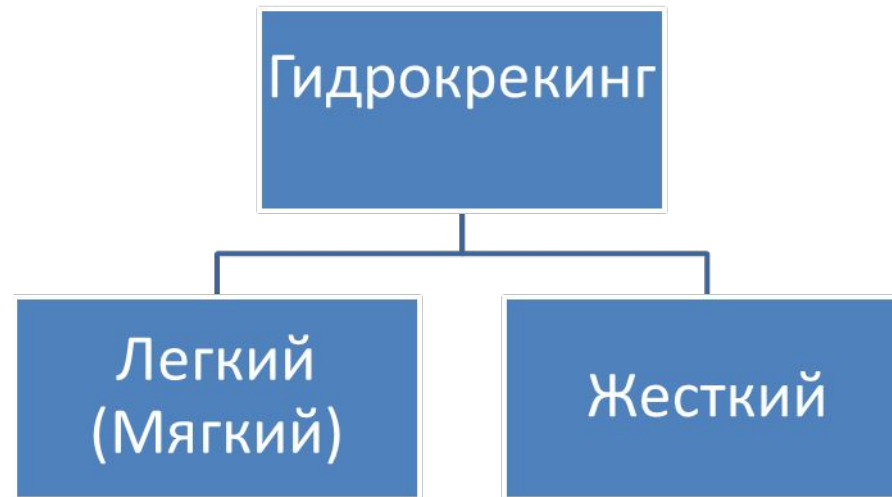
ИНХС РАН

- Оборудование - Российские поставщики оборудования
- Строительные работы – Камаглавстрой
- Премия Правительства России по науке и технике за 2008 г.

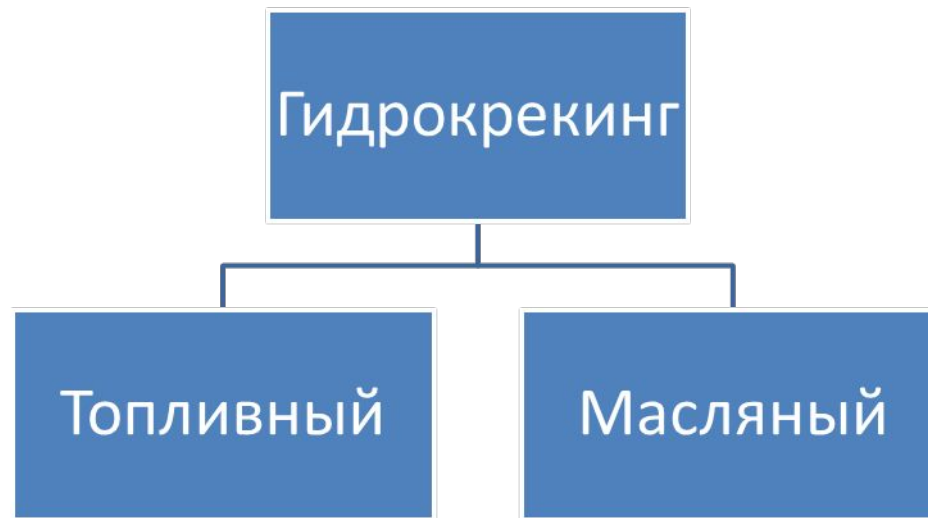
СХЕМА БУДУЩЕГО КОМПЛЕКСА ГЛУБОКОЙ ПЕРЕРАБОТКИ НЕФТИ НА КИРИШСКОМ НПЗ



Модификации процессов гидрокрекинга



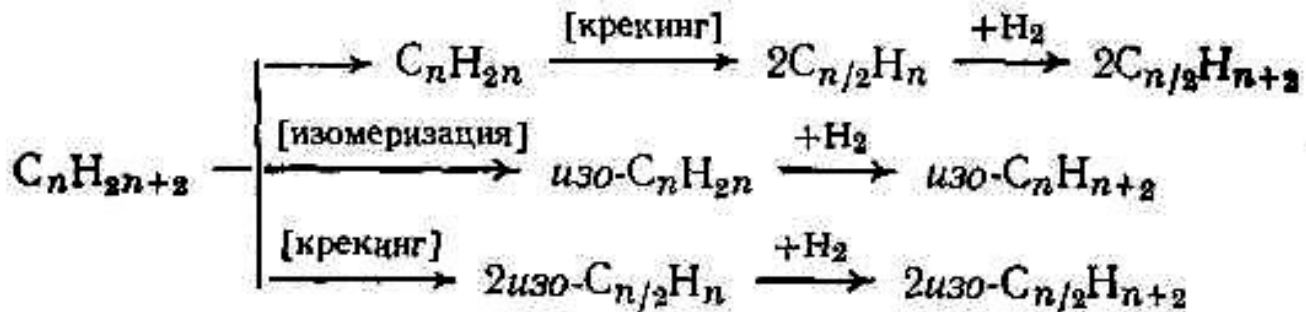
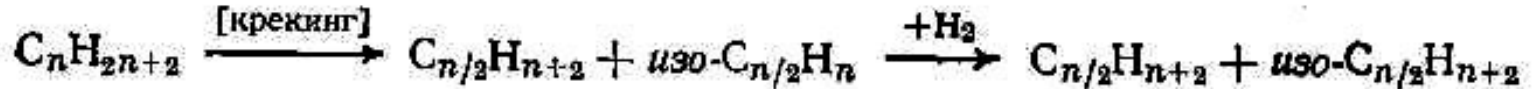
В зависимости от степени конверсии сырья различают легкий (мягкий) и жесткий гидрокрекинг. Целевыми продуктами жесткого гидрокрекинга являются бензиновая и дизельные фракции. При проведении легкого гидрокрекинга выход бензиновой и дизельной фракции ниже и как целевой продукт вырабатывается также гидроочищенная фракция 350-500°С - сырье каталитического крекинга.



В зависимости от целевого назначения различают топливный и масляный гидрокрекинг. Установки топливного гидрокрекинга НПЗ Европы и АТР настроены на производство дизельного и реактивного топлива, НПЗ США - на максимальный выход бензина.

Разновидности процесса Гидрокрекинга

- 1 Гидрокрекинг бензиновых фракций (фр.8 -180, чаще 110-180 °С)
5
- 2 Гидрокрекинг средних дистиллятов (фр.15 -380 °С)
0
- 3 Гидрокрекинг газойлевых фракций (фр.35 -500 °С)
0





Гидрокрекингу подвергают тяжелые бензиновые фракции, средние дистилляты (прямогонные и вторичного происхождения), вакуумные газойли, газойли коксования и каталитического крекинга, масляные фракции с целью облагораживания, тяжелые нефтяные остатки.

- РФ на основных НПЗ эксплуатируются 9 установок гидрокрекинга мощностью от 93,0 до 3 518,0 тыс. т/год.
- Средняя мощность одной установки 1 643,5 тыс. т/год.
- Средний возраст 17,7 года.
- В 2015 г. коэффициент использования мощностей гидрокрекинга составил 85,9%.
- Новые установки гидрокрекинга в 2015 г. не вводились. В 2016 г. планируется ввод установок гидрокрекинга на Волгограднефтепереработке и ТАИФ-НК. Всего до 2035 г. ввод новых установок гидрокрекинга планируется на 21 НПЗ.
- На Российскую Федерацию приходится 4,4% мировых мощностей гидрокрекинга (5-е место в мире).

Показатели работы современных катализаторов гидрокрекинга различных видов сырья

Показатель	БФ	СД	ВГ	МФ
Температура, °С	340-390	340-350	300-400	340-430
Давление, МПа	2,0-8,0	2,0-8,0	10-20	2,0-10
ОСПС, час ¹	1,0-2,0	1,0-3,0	0,5-1,5	0,5-2,0
Кратность циркуляции ВСГ, м ³ /м ³ *час	1000-1500	400-2000	1000-2000	1000-2000

- Применение водорода обеспечивает эффективное гидрирование на катализаторе высокомолекулярных и сернистых соединений с их последующим распадом на крекирующем компоненте. Благодаря этому выход светлых продуктов повышается до 70% (в пересчёте на нефть) и в продуктах значительно снижается содержание серы и непредельных углеводородов. Получаемые моторные топлива (бензин, реактивное и дизельное топливо) отличаются высоким качеством, в частности, дизельное топливо получается с крайне низким содержанием серы (до 50 ppm).

**Баланс двухстадийного гидрокрекинга вакуумного дистиллята
западно-сибирских нефтей, содержащего 1,5 % серы и 0,11 % азота**

Поступило, %	Реактив- ный вариант	Дизельный вариант	Получено, %	Реактив- ный вариант	Дизельный вариант
Сырье	100,0	100,0	Сероводород + + аммиак	1,8	1,8
Водород	3,1	3,0	Углеводородный газ	7,1	6,2
Рециркулят	100,0	70,0	Бензин	25,2	22,0
Итого:	203,1	173,0	Целевое топливо	68,0	72,0
			Остаток	100,0	70,0
			Потери	1,0	1,0
			Итого:	203,1	173,0

Режим и материальный баланс двухступенчатого процесса гидрокрекинга (в%)

Условия процесса: I ступень — $t=425\text{ }^{\circ}\text{C}$, $v_c=1,0\text{ ч}^{-1}$;

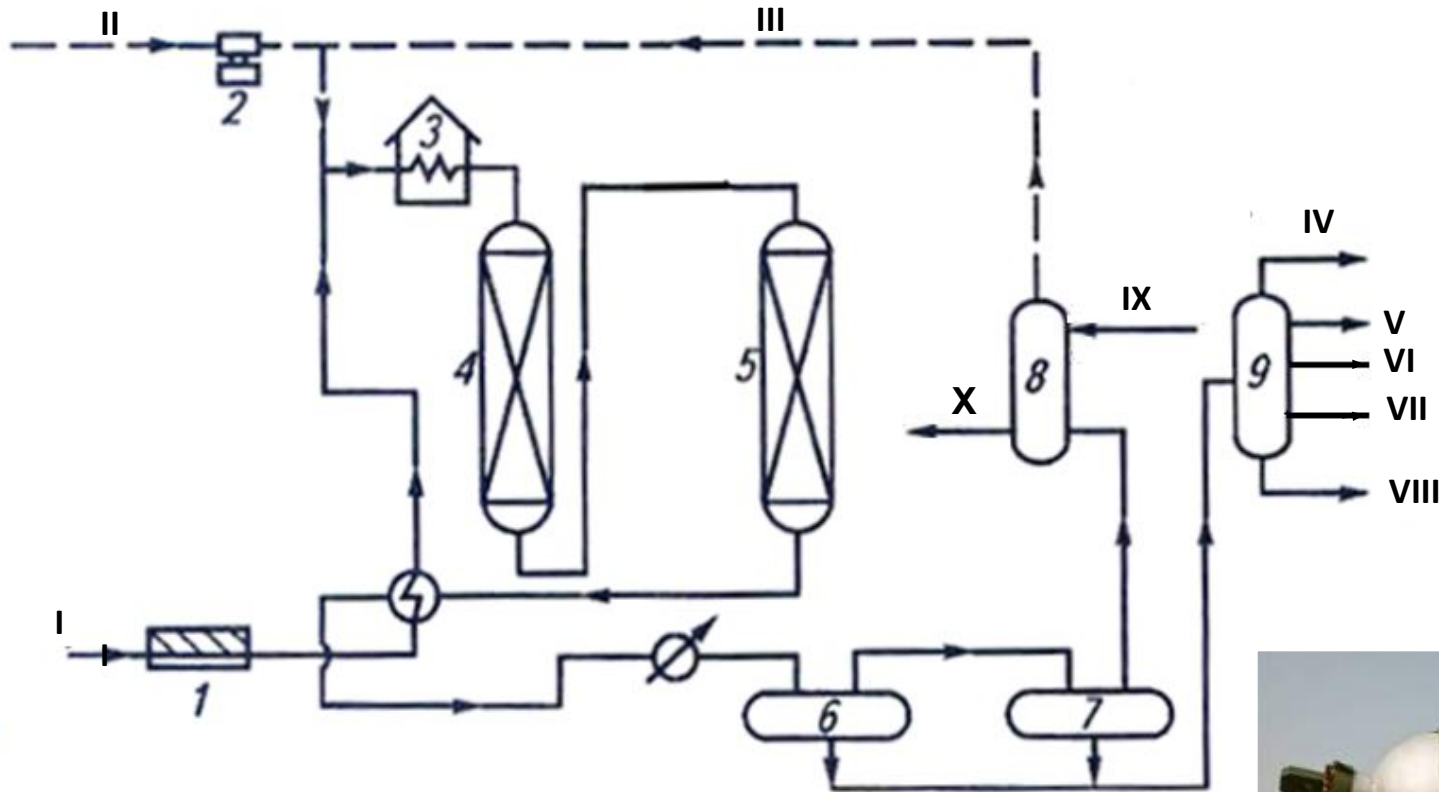
II ступень бензиновый вариант — $t=425\text{ }^{\circ}\text{C}$, $v_c=0,5\text{ ч}^{-1}$;

II ступень дизельный вариант — $t=400\text{ }^{\circ}\text{C}$, $v_c=1,0\text{ ч}^{-1}$

Показатель	I ступень	II ступень	
		бензиновый вариант	дизельный вариант
Поступило:			
сырье	100,0	100,0	100,0
водород	1,4	2,5	2,0
Итого:	101,4	102,5	102,0
Получено:			
гидрогенизат	92,3	91,4	93,2
в том числе фракции:			
н. к. — $85\text{ }^{\circ}\text{C}$	—	19,0	10,0
$85\text{—}195\text{ }^{\circ}\text{C}$	—	36,0	22,0
$195\text{—}345\text{ }^{\circ}\text{C}$	—	27,0	51,0
$345\text{—к. к. }^{\circ}\text{C}$	—	9,0	10,2
углеводородный газ	6,0	10,0	7,7
сероводород	2,5	0,1	0,1
аммиак	0,1	—	—
Потери	0,5	1,0	1,0
Итого:	101,4	102,5	102,0

УСТАНОВКА ГИДРОКРЕКИНГА ОАО «ТАНЕКО» С НЕПОДВИЖНЫМ СЛОЕМ КАТАЛИЗАТОРА

Генпроектировщик – ОАО «ВНИПИнефть»



I – сырье;
II – свежий водород;
III- циркулирующий водород;
IV – газ;
V – бензин;
VI – керосин;
VII – дизельное топливо;
VIII – остаточная фракция;
IX – свежий амин;
X – амин с сероводородом

1 – фильтр; 2 – компрессор; 3- печь; 4 – реактор деме­тал­ли­за­ции;
5-реактор обес­се­ри­ва­ния; 6 – се­па­ра­тор вы­со­ко­го дав­ле­ния; 7 - се­па­ра­тор низ­ко­го дав­ле­ния; 8 - аб­сор­бер; 9 - фрак­ци­о­ни­ру­ю­щая ко­лон­на



МАТЕРИАЛЬНЫЙ БАЛАНС УСТАНОВКИ ГИДРОКРЕКИНГА ОАО «ТАНЕКО»

ПРИХОД	Тыс.т/год	%
Сырье:		
Сырьевая смесь	2812	96,7
Подпиточный ВСГ	96	3,3
ИТОГО ПРИХОД	2908	100,0
РАСХОД		
Продукция:		
Углеводородный газ	109	3,7
ВСГ	25	0,8
Бензин	609	20,9
Керосин	371	12,8
Дизельное топливо	1119	38,6
Остаточная фракция (гидроочищенный газойль)	561	19,3
Отходы и потери	114	3,9
ИТОГО РАСХОД	2908	100,0

КАТАЛИЗАТОРЫ ГИДРОКРЕКИНГА



- **Ультрастабильный цеолит
на основе фожазита (10-50% мас.)**

- **Цеолит Y в P3Э - форме с Co или Ni**

В современных процессах гидрокрекинга наибольшее распространение получили бифункциональные катализаторы, содержащие в виде окислов или сульфидов молибден, никель, кобальт, ванадий и другие металлы. Основой катализаторов являются оксид алюминия и алюмосиликаты как аморфные, так и цеолитсодержащие с добавками Pt, Pd, Ni, Co и других металлов; WS_2/Al_2O_3 ; (Co-Mo)/ Al_2O_3 и др.

Носители катализаторов гидропереработки

Носитель	Основное применение	Кислотность
γ -Оксид алюминия	Катализаторы гидроочистки	Низкая
Аморфные алюмосиликаты	Катализаторы гидрокрекинга, избирательные к дистиллятам	Высокая
Цеолиты (X, Y или морденит)	Высокостабильные катализаторы гидрокрекинга	Очень высокая

Активные металлы катализаторов гидропереработки

Металлы	Основное применение	Метод активирования	Активность гидрирования
Co-Mo	ГДС	Сульфидирование	Средняя
Ni-Mo	ГДА, гидрокрекинг	То же	Высокая
NiW	То же	То же	Очень высокая
Pd, Pt	Гидрокрекинг	Восстановление H_2	Наивысшая

Палладий и платина отравляются серой и могут применяться лишь в среде с низким содержанием H_2S .

Катализаторы гидрокрекинга

- Могут иметь сферическую или цилиндрическую форму, размеры как и катализаторы гидроочистки
- 1 слой – высокоактивный катализатор гидроденитрования, обладающий также активностью ГДС, насыщения олефинов и насыщения ароматических углеводородов. В других реакторах все слои содержат бифункциональный катализатор, который несет функции как гидроочистки, так и гидрокрекинга.

ОСНОВНЫЕ ТЕНДЕНЦИИ В РАЗВИТИИ ПРОЦЕССА ГИДРОКРЕКИНГА

Утяжеление сырья

Увеличение выхода дизельного топлива

Совмещение «дизельного» и «масляного» гидрокрекинга



ОСНОВНЫЕ ТРЕБОВАНИЯ К КАТАЛИЗАТОРУ ПРОЦЕССА ГИДРОКОНВЕРСИИ ТЯЖЕЛЫХ НЕФТЯНЫХ ОСТАТКОВ

- Высокая активность в разрыве С-С связи;
- Приемлемая активность в обессеривании и деазотировании, конверсии кислородсодержащих и металлоорганических соединений;
- Приемлемая активность в гидрировании диеновых углеводородов в продуктах реакции;
- Легкость циркуляции катализатора;
- Простота регенерации катализатора;
- Отсутствие дезактивации катализатора металлами и асфальто-смолистыми соединениями, содержащимися в сырье, что возможно, если размеры частиц катализатора соизмеримы с размерами молекул сырья.

ГИДРОКОНВЕРСИЯ ТЯЖЕЛОГО НЕФТЯНОГО СЫРЬЯ

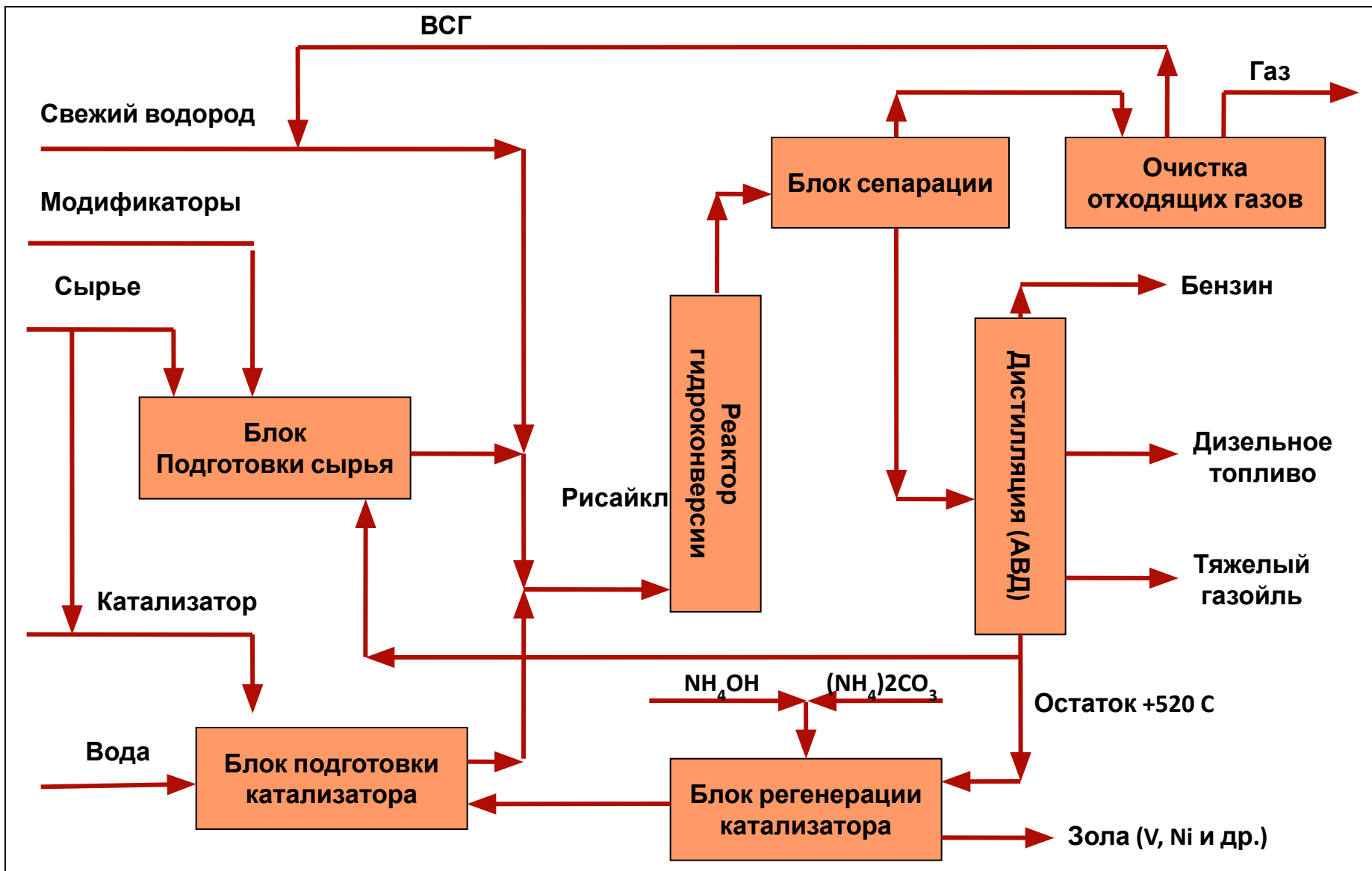
- ❖ Применение в реакционной среде наноразмерных частиц катализаторов гидроконверсии углеводородного сырья позволяет существенно снизить давление в процессах гидропереработки тяжелых остатков и нефти (до 6–7 МПа против 15–30 МПа в существующих процессах)
- ❖ Снижение скорости реакции поликонденсации и полимеризации в зоне реакции
- ❖ Разработчик технологии – ИНХС РАН

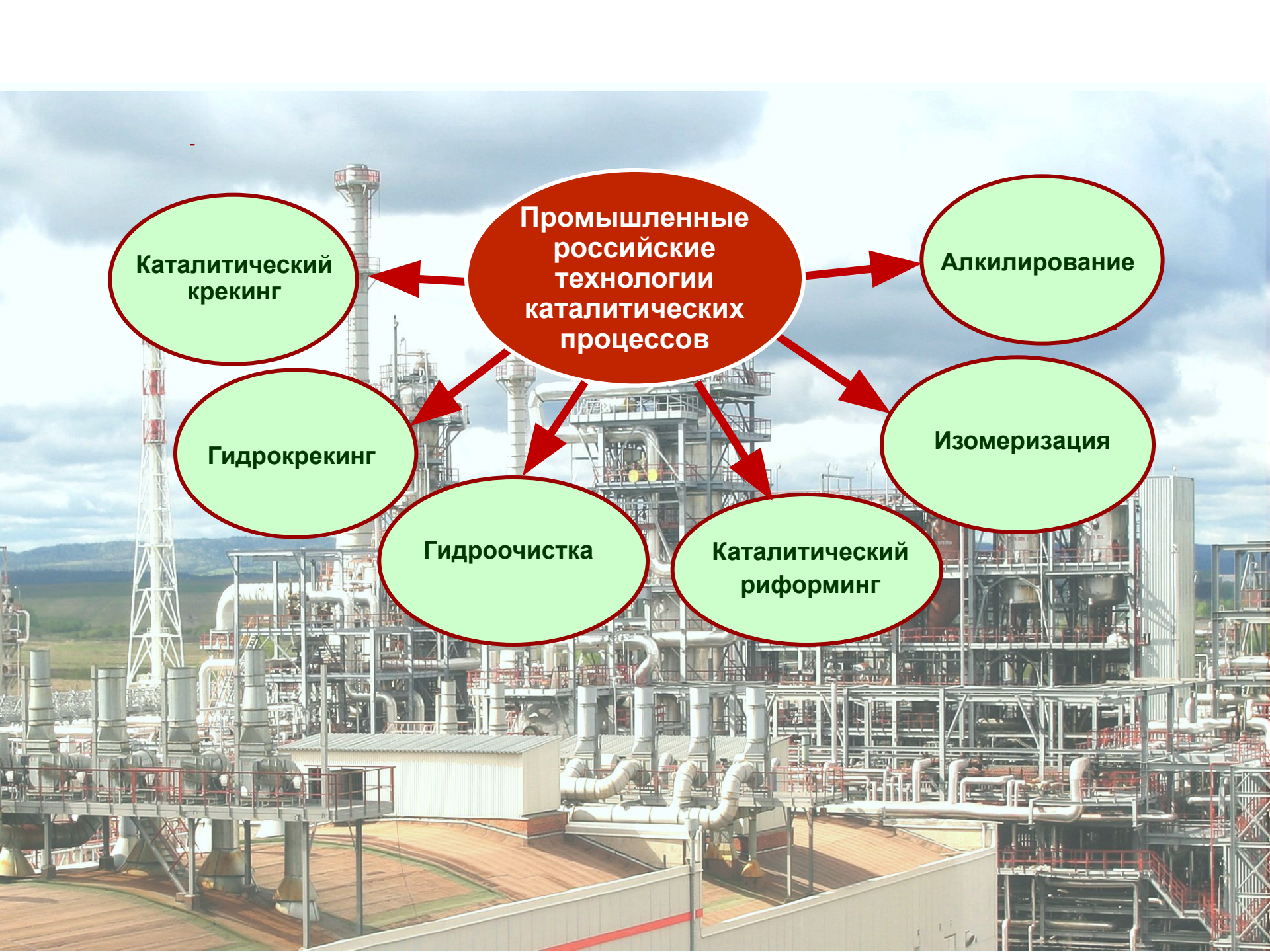
С. Хаджиев, Х. Кадиев. Будущее глубокой нефтепереработки нефти: сделано в России. Нефтепереработка, 2009. – С. 34-37.

СОВРЕМЕННЫЕ ПРОЦЕССЫ ГИДРОКРЕКИНГА С ДВИЖУЩИМСЯ СЛОЕМ КАТАЛИЗАТОРА

Показатели	Eni slurry technology Snamprogetti	Uniflex– UOP	Гидро- конверсия ИНХС
Условия процесса:			
- давление, МПа	12-14	10–15	7,0-8,0
- температура, °С	420-445	440–460	440-450
Плотность сырья, кг/м ³	1312	1030	900-1200
Содержание серы, % масс.	5.28	5.3	5,0
Выход фракций, % масс.			
- газ	10,9	10	7,4
- бензиновая	4,9	14	11,6
- дизельная	30,6	44	49,2
- вакуумный газойль	29,2	20	26,8
- вакуумный остаток	24,5	14	5,0

БЛОК-СХЕМА УСТАНОВКИ ГИДРОКОНВЕРСИИ





**Промышленные
российские
технологии
каталитических
процессов**

**Каталитический
крекинг**

Алкилирование

Гидрокрекинг

Изомеризация

Гидроочистка

**Каталитический
риформинг**

Выход продуктов при комбинировании процессов каталитического крекинга (FCC), гидроочистки (Юнионфайнинг) , гидрокрекинга (Юникрекинг) по данным фирмы ЮОП (переработка мазута).

Показатели	Выход, % мас.				
	FCC (база)	FCC+HDS ^{*)}	FCC+HC ^{**)}		
			15 %	40 %	60 %
Давление, МПа	-	4	7	7	14
Сжиженный газ	8,2	11,4	9,2	7,9	7,8
Бензин	38,8	43,0	38,2	35,3	33,7
Реактивное топливо	6,1	6,3	6,6	6,5	6,5
Дизельное топливо	22,4	34,2	40,8	49,7	51,7
Котельное топливо	24,5	5,1	5,2	0,6	0,3

*) с конверсией при гидроочистке 15 %

**) с конверсией при гидрокрекинге 40 %, 60 %, 80

%



**Федеральное государственное бюджетное учреждение науки
Институт проблем переработки углеводородов СО РАН**

Белый А.С.

**Современное состояние технологий
производства моторных топлив. Проблемы,
исследования, пути решения**

Всероссийская научная молодежная школа-конференция Химия под знаком Сигма
14-22 мая 2012 г.



Нефтепереработка в России. Структура бензинового фонда

В России в 2015 г. переработано 278 млн. т. нефти.

Произведено 39,0 млн. т. бензина (14 % на нефть)

Структура бензинового фонда, %:

Риформат	50
Бензин кат. крекинга	23
Изомеризат	9
Алкилат	2
Бензин гидрокрекинга	2
Бензин коксования	2
МТБЭ	3
Бутаны	5
Другие	4

Среднее октановое число – 92 ИМ

КАТАЛИТИЧЕСКИЙ РИФОРМИНГ БЕНЗИНОВЫХ ФРАКЦИЙ:

- основной «облагораживающий»
процесс современной
нефтеперерабатывающей и
нефтехимической промышленности.

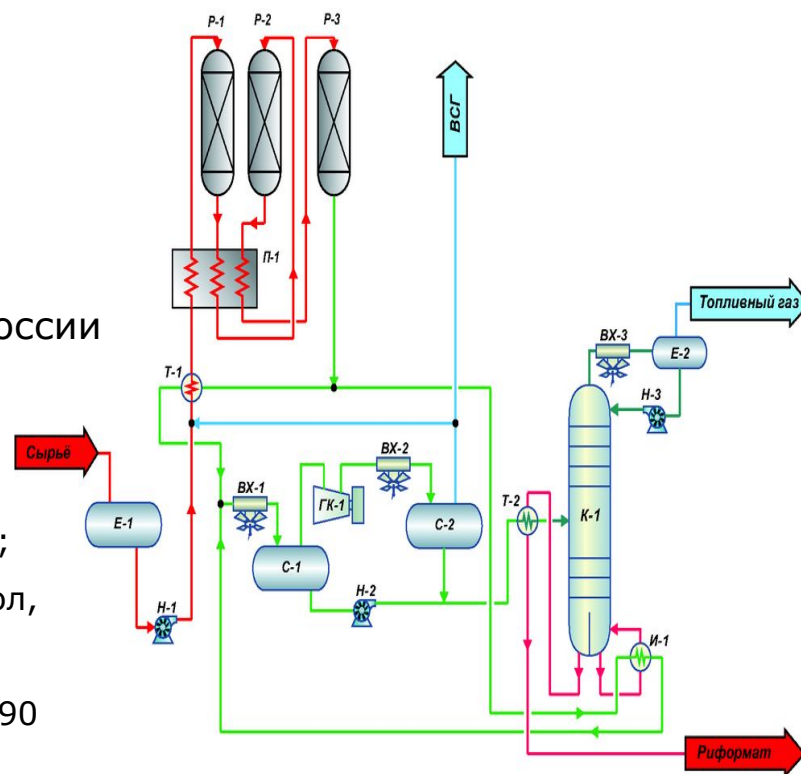
- базовый процесс для производства товарных
автобензинов

(доля **риформата** в среднем по НПЗ России
составляет 50%).

Продукты каталитического **риформинга**:

- Высокооктановые компоненты автомобильных бензинов;
- Индивидуальные ароматические углеводороды (бензол, толуол и ксилолы);
- Водородсодержащий газ (концентрация водорода – 80-90 % об.):

- для гидроочистки широкого ассортимента
нефтяных фракций.



ОСНОВНЫЕ ПОКАЗАТЕЛИ ПРОЦЕССА РИФОРМИНГА

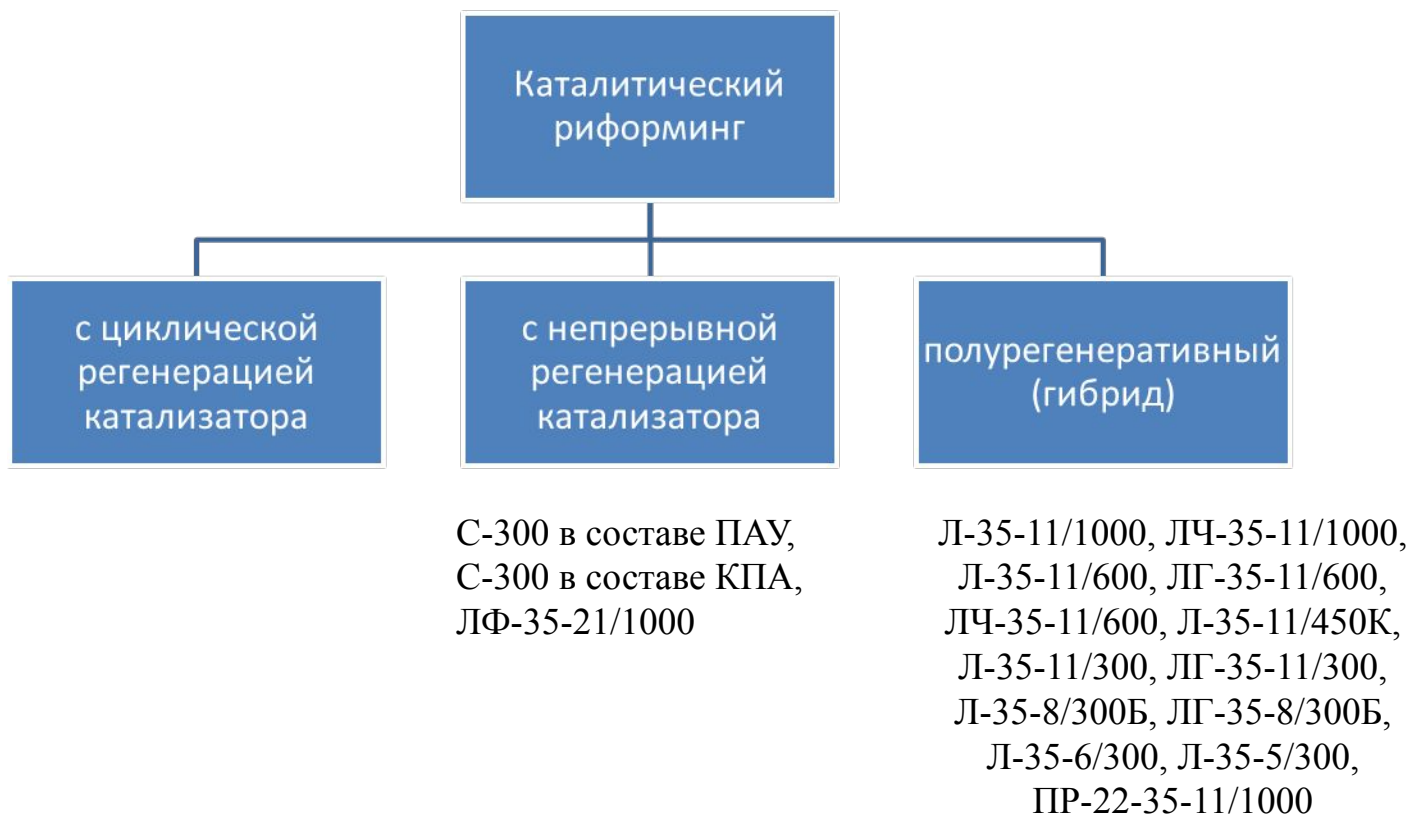
Состав сырья: П/Н/А = 60/30/10 % масс.; н.к./50%/к.к. = 85/120/180 °С
Условия: давление 1,5-2,0 МПа, ОСПС 1,5 ч⁻¹, Н₂/сырье 5-7 моль/моль, октановое число 95-96 ИМ

Показатель	Высокий	Средний	Низкий
<i>Выход риформата в % масс. на сырье</i>	86-88	83-85	<83
<i>Активность – ср. температура достижения октанового числа = 93-97 п (ИМ)</i>	460	470 (95-96 п ИМ)	480
<i>Длительность межрегенерационного цикла, мес.</i>	24	12-24	<12
<i>Скорость подъема температуры для компенсации потери активности, °С/т.сырья*кг катализатора</i>	0,5	1,0	<1,5
<i>Выход водорода в % масс. на сырье</i>	2,5-2,8	2,1-2,4	<2,1

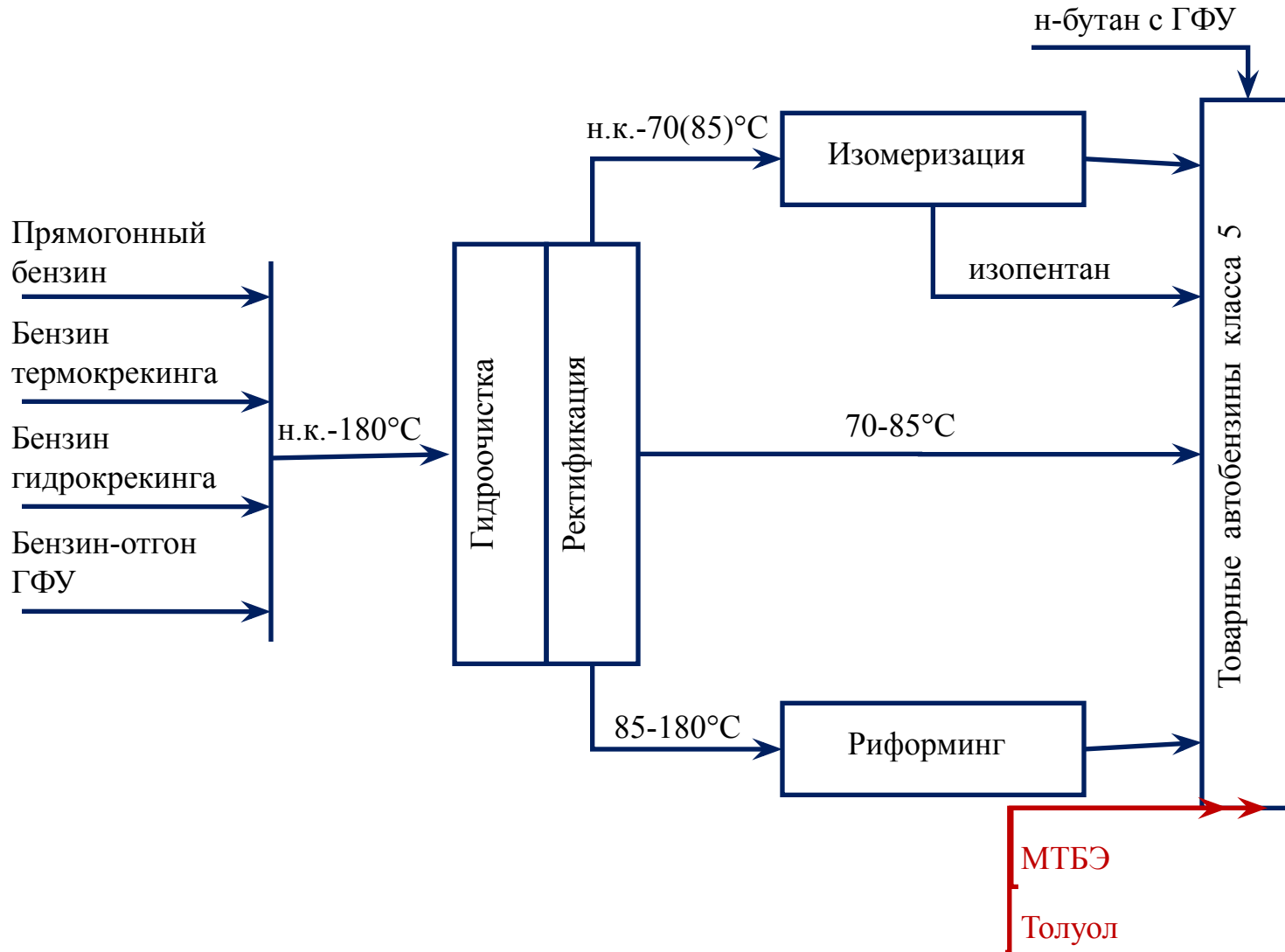


КАТАЛИТИЧЕСКИЙ РИФОРМИНГ

Модификации процессов каталитического риформинга



Блок-схема производства товарных автобензинов класса 5



ТРЕБОВАНИЯ К СОВРЕМЕННЫМ АВТОБЕНЗИНАМ



Постановление Правительства РФ № 1076 «О внесении изменений в Постановление Правительства Российской Федерации от 27 февраля 2008 г. № 118», которое определяет требования к автобензинам, аналогичные Евро-3, 4, 5 со сроками введения в 2011-2015 годах от 30 декабря 2008 г.

Показатели	Класс 2	Класс 3 с 2011 г	Класс 4 с 2012 г	Класс 5 с 2015 г
Октановое число				
ИОЧ, не менее	92	95	95	95
МОЧ, не менее	83	85	85	85
Максимальное содержание:				
серы, ppm	500	150	50	10
ароматических углеводородов, % об	-	42	35	35
бензола, % об	5,0	1,0	1,0	1,0
олефиновых углеводородов, % об	-	18	18	18
кислорода, % об	-	2,7	2,7	2,7

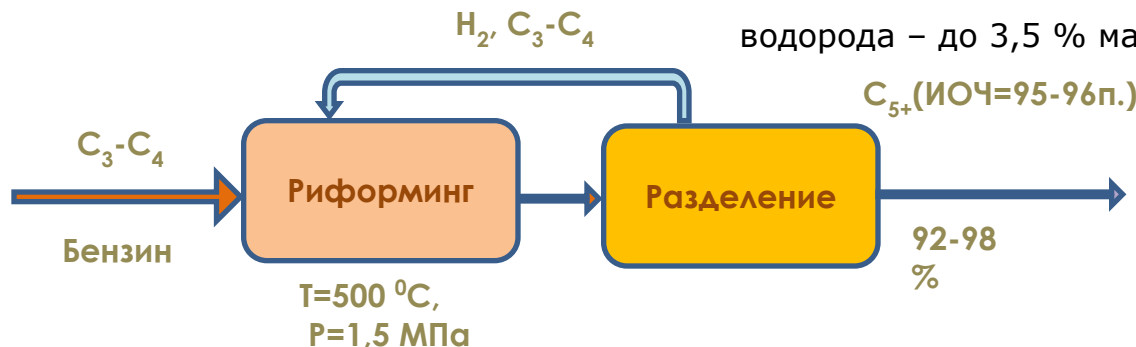
ИОНОФОРМИНГ

Увеличение выхода риформата

«Ионоформинг» - совместная переработка бензиновой фракции и углеводородных газов C_3-C_4 (образующихся в процессе риформинга и дополнительно подаваемых из других источников)

Данный способ защищен патентом РФ № 2 388 794.

Высокоэффективные катализаторы риформинга, содержащие ионную платину.



Устойчивая возможность производства высокооктановых бензинов (ИОЧ 96-99 п.) с выходом **бензина до 96 % масс.** (в расчете на жидкое сырье).

Прирост выхода бензина - до 10 % за счет превращения C_3-C_4 углеводородов в C_{7+} изо-парафиновые и ароматические углеводороды.

Длительность межрегенерационного цикла не менее **15 месяцев**, выход водорода – до 3,5 % мас.

ИОНОФОРМИНГ – ПРОМЫШЛЕННЫЙ ОПЫТ

Пилотные испытания

Увеличение выхода риформата до 7 – 8% масс. при вовлечении бутановой фракции до 15% масс. (на бензиновое сырье).

Промышленные испытания

В 2004 году процесс апробирован в на установке Л-35-11/300 Рязанского НПЗ ОАО «ТНК-ВР», (рецикл пропан-бутановой фракции с блока стабилизации этой установки в тройник смешения бензиновой фракции с циркулирующим водородсодержащим газом).

Результат

Увеличение выработки высокооктанового бензина на 3,0% при включении в переработку 4,3% масс. углеводородов (температура процесса 470-480 °С).

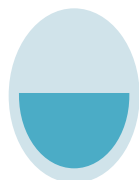


ЭКОФОРМИНГ

Увеличение выхода риформата при снижении содержания ароматических углеводородов

Технология «**Экоформинг**™» - усовершенствованная версия процесса «**Ионоформинг**» дополненная стадией селективного гидрокрекинга *n*-парафинов C_6-C_8 .

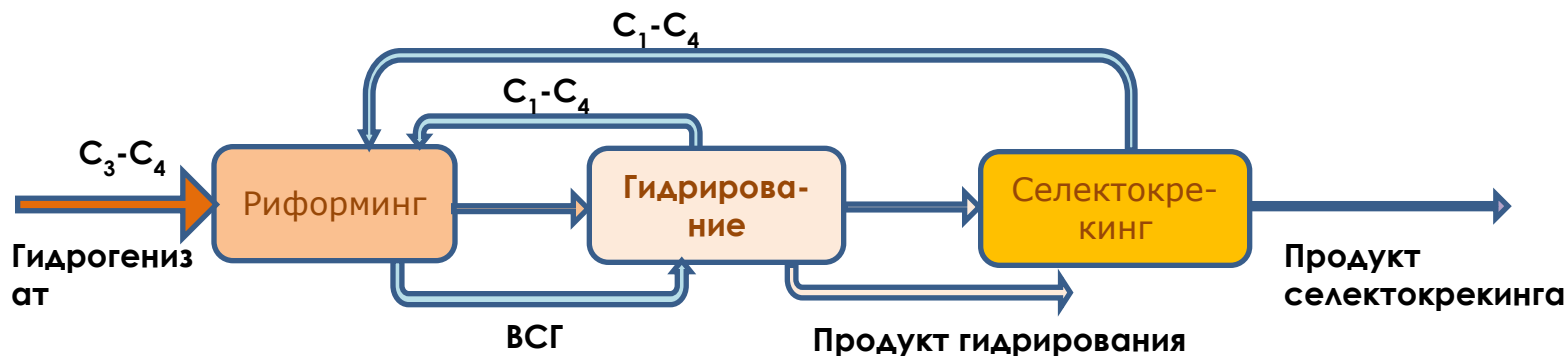
Данный способ получения компонентов моторных топлив защищен патентом РФ № 2 417 251.



Снижение содержания ароматических углеводородов до **64-65%** масс.



Сохранение высокого выхода риформата **87-92%** масс. с октановым числом **100** (ИМ).



ПОКАЗАТЕЛИ ПРОЦЕССОВ ИОНОФОРМИНГ И ЭКОФОРМИНГ

Показатели	Риформинг с неподвижным слоем катализатора, P=1,5 МПа		Риформинг ССР* P=0,7-1,0 МПа	Ионоформинг P=1,5 МПа	Экоформинг TM P=1,5 МПа
ИОЧ	95	100	100	100	100
Выход C ₅₊ , %масс.	88 ÷ 89	84 ÷ 85	87 ÷ 89	87 ÷ 92	87 ÷ 92
Содержание Ароматических у/в, % масс	64 ÷ 65	71 ÷ 72	72 ÷ 74	71 ÷ 72	64 ÷ 65
Длительность цикла, лет	1,5-2	6-8 мес	не менее 2	6-8 мес	не менее 2

Увеличение жесткости процесса:

* Лицензия UOP – 6 заводов в России

- снижение выхода целевого продукта – риформата C₅₊ (на 4% масс.) и длительности межрегенерационного цикла (в 3 раза);
- увеличение содержания ароматических углеводородов (на 7% масс.).

- В РФ на основных НПЗ эксплуатируется 51 установка каталитического риформинга мощностью от 100,0 до 1245,0 тыс. т/год.
- Средняя мощность одной установки 623,5 тыс. т/год.
- Средний возраст 38,5 лет.
- В 2105 г. коэффициент использования мощностей каталитического риформинга составил 76,9%.
- На Российскую Федерацию приходится 5,7% мировых мощностей каталитического риформинга (2-е место в мире).
- Новые установки риформинга в 2015 г. не вводились.

В 2016 г. планировалось ввести установки на Антипинском НПЗ и ТАНЕКО.

До 2035 г. построить новые установки каталитического риформинга планируют 14 НПЗ.

Загрузка катализаторов на действующих установках риформинга со стационарным слоем НПЗ России (бензиновый вариант)

Катализатор	Разработчик	Количество установок	Масса, тонн	Доля, %
Российские				
ПР-71, ПР-81, ШПР-81	ИППУ СО РАН	10	470	26
РБ-33, РБ-44У(Ш), ГПС	ОЛКАТ	3	180	10
Итого		13	650	36 (75*)
Зарубежные				
R-56, R-86, R-98	UOP	18	660	37
RG-582, RG-682, PR-15	Axens	9	490	27
Итого		27	1150	64
ВСЕГО		40	1800	100

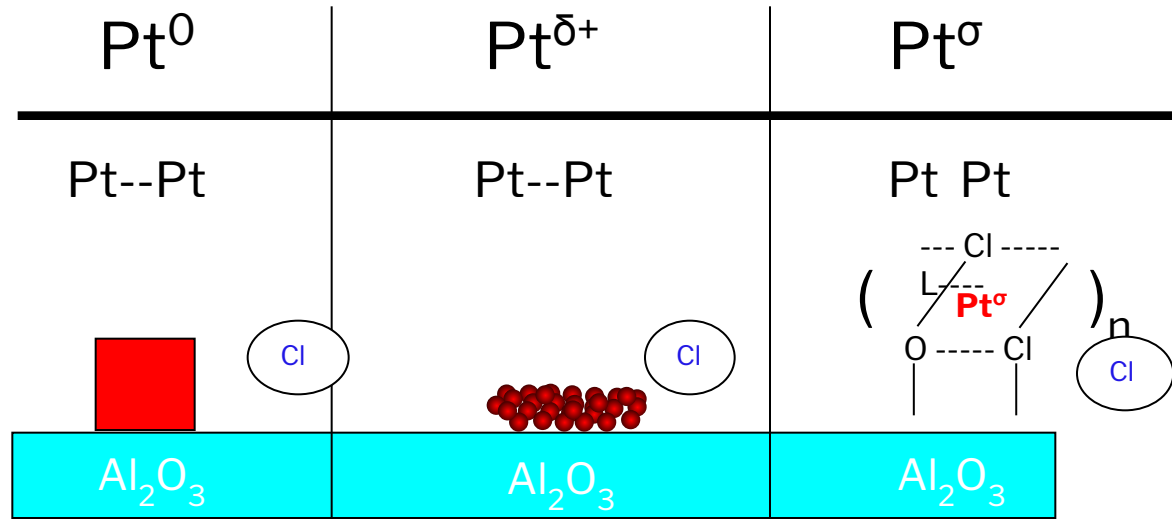
* Согласно плану Минэнерго по импортозамещению на 2020 г.

ВНЕДРЕНИЕ ИННОВАЦИОННЫХ РАЗРАБОТОК

	Мощность, млн.т./г.	Количество, тонн
Катализаторы ПР-50, ПР-51		
1992 г. – установка Л-35-11/300 Рязанский НПЗ	0,3	25
1994 г. – установка ЛЧ-35-11/600 Рязанский НПЗ	0,6	45
1998 г. – установка Л-35-11/300 Рязанский НПЗ	0,3	25
1999 г. – установка Л-35-11/300Б Киришский НПЗ	0,3	25
2001 г. – установка ЛГ-35-11/300 НПК Галичина	0,3	25
Катализатор ПР-71		
2004-05 гг. – установка ЛЧ-35-11/1000 Лисичанский НПЗ	1,0	85
2005 г. – установка Л-35-11/300 Саратовский НПЗ	0,3	25
2005 г. – установка ЛЧ-35-11/600 Рязанский НПЗ	0,6	48
2005 г. – установка ЛГ-35-11/300 НПК Галичина	0,3	10
2011 г. – установка ЛЧ-35-11/600 Киришский НПЗ	0,6	60
Катализатор ПР-81 (Марки А, D, F)		
2010 г. – установка ЛП-35-11/40 ООО «Пурнефтепереработка»	0,04	2
2011 г. – установка Л-35-6 Салаватский НПЗ	0,3	30
2012 г. – установка Л-35-11/600 Омский НПЗ	0,6	22
2014 г. – установка Л-35/6 Сызранский НПЗ	0,3	31
2014 г. – установка ЛГ-35-8/300Б Рязанская НПК	0,3	32
2015 г. – установка Л-35-11/450К Комсомольский НПЗ	0,45	41
2015 г. – установка Л-35-11/300 Рязанская НПК	0,3	28
2015 г. – установка ЛЧ-35-11/600 Сызранский НПЗ	0,6	63
2015 г. – установка ЛГ-35-11/300 Сызранский НПЗ	0,3	26
Катализатор ШПР-81		
2012 г. – установка Л-35-11/600 Омский НПЗ	0,6	25
	Более 6 млн. т./г	~ 700 т.



Модели состояния платины в катализаторах риформинга



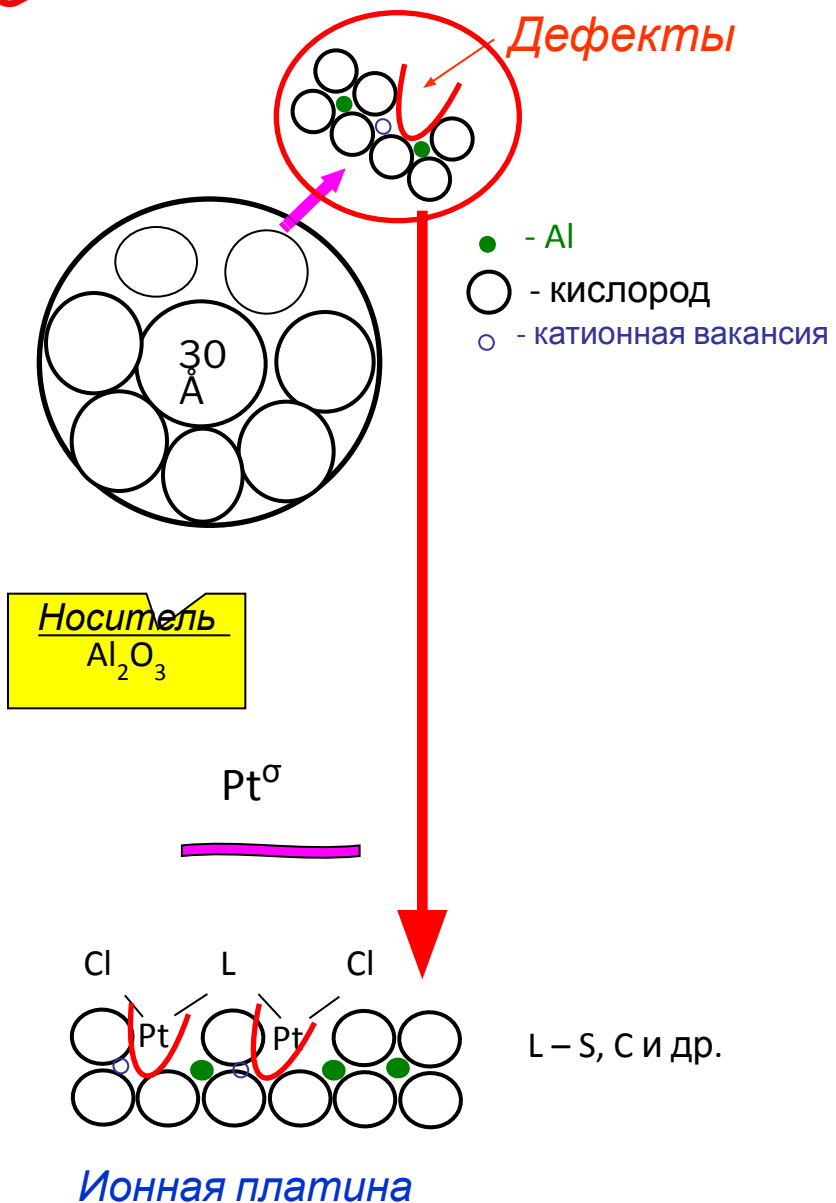
Дисперсная платина с широким распределением размера частиц
Дисперсность 30-70 %

Кластеры Pt, взаимодействующие с носителем (уплощенные структуры)
Дисперсность 80-90 %

Поверхностные комплексы $\text{Pt}^\sigma \text{Cl}_x \text{O}_y \text{L}_z$, в которых $\sigma \approx 2; n \geq 1$
 $X+Y+Z \leq 4$
В качестве L возможны: ионы S, углеводородные радикалы (влияние реакционной среды)
Дисперсность 100 %

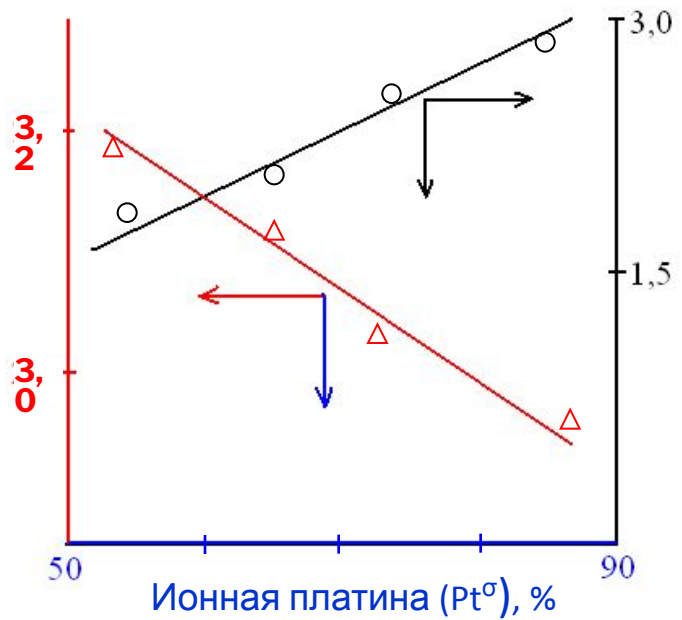


Развитие дефектности оксида алюминия как подход к совершенствованию катализаторов риформинга



Истинная плотность, $г/см^3$

Активность (селективность), $г\ толуола/(г\ кат. * час)$



Формирование дефектов на поверхности кристаллов Al_2O_3 обуславливает увеличение доли Pt^0 , а также активности и селективности реакций дегидроциклизации алканов.



Отличительные признаки работы катализаторов

Риформинг фр. 85-180⁰С, П : Н : Ар = 60 : 30 : 10
с получением бензина с ИОЧ 95

Средний европейский уровень	ПР-51, 71	ПР-81
Выход риформата, % масс.		
82-85	86-88	90
Выход водорода, % масс.		
1,6-2,0	2,4-2,6	2,8
Концентрация водорода в ВСТ, % об.		
73-80	83-86	86
Среднеинтегральная температура, ⁰ С		
480	470	465
Октановое число, RON		
95-98	95-98	98-100



Основные показатели установки риформинга ЛП-35-11/40 ООО «Пурнефтепереработка» НК «Роснефть» на катализаторе ПР-81

Условия: сырье – г/г фр.100-180°C, П/Н/А = 46/40/14 % масс.,
P = 1,5 МПа, ОСПС = 1,3-1,4 час⁻¹, H₂/сырье = 7-8 моль

Параметр	Начало цикла	Конец цикла
Температура входа в реакторы, °C	458	458
Перепад температур P-201/202/203, °C	60 / 32 / 8	50 / 31 / 10
Средняя температура слоя катализатора, °C	442	443
Октановое число риформата (ИМ)	95,3	95,0
Содержание ароматических углеводородов, % мас	55-56	55-56
– в том числе бензол	1,2	1,2
Выход риформата (расчет), % масс.	91	91
– в том числе бутаны	6-7	6-7
– в том числе пентаны	5-6	5-6

Место разработки относительно проводимых в мире исследований и разработок

Ведущие лицензиары процесса РДС:

UOP (процесс «Платформинг-НРК»TM) –

в настоящее время эксплуатируется более 200 установок суммарной мощностью более 200 млн. тонн в год и загрузкой катализаторов более 12 тыс. тонн.

Axens (процессы «Дуалформинг»TM и «Октанайзинг»TM) – более 60 установок.

Сравнение предлагаемой разработки с существующими аналогами

Технические параметры		Катализатор РДС	Существующие аналоги РДС					
			UOP, «CCR», Импорт			Axens, «Octanizing», Импорт		
			R-272	R-274	R-264	CR-405	CR-401	CR-702
Содержание Pt	мас. %	0,25-0,30	0,375	0,29	0,25	0,35	0,3	0,29
Диаметр сферы	мм	1,6-1,8	1,6	1,6	1,6	1,8	1,8	1,8
Насыпной вес	кг/м ³	550-700	561	561	670	670	670	560
Уд. поверхность	м ² /г	200-250	-	-	-	200	200	210
Объем пор	см ³ /г	0,5-0,8	-	-	-	0,6	0,6	0,8

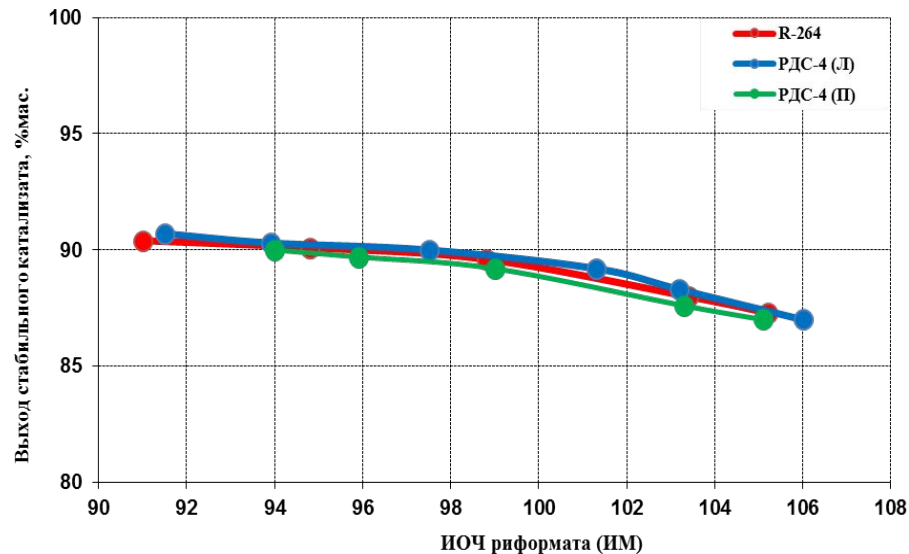
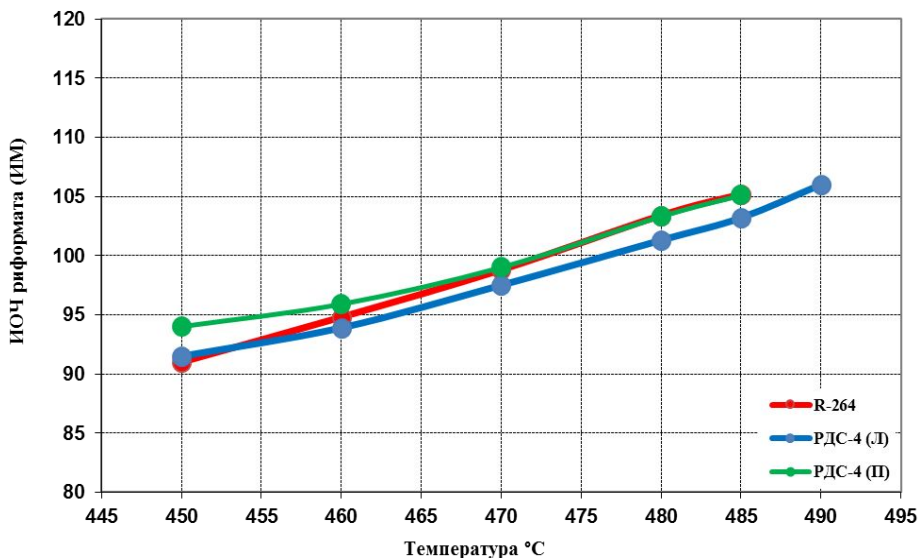
Результаты испытаний катализатора РДС на реальном сырье (испытания в стационарном слое)

Требования ТЗ: ИОЧ = 100-102, выход C_{5+} = 86-92 мас.%,
выход H_2 = 3-4 мас.%

Условия: $P = 1,5$ МПа, $T = 460-520$ °С, ОСПС = $1,5$ ч⁻¹,
кратность циркуляции ВСГ – 2000 нл/л
сырья

Активность

Селективность



РДС-4 обеспечивает ИОЧ = 100-105, выход C_{5+} = 87,5-89,5 мас.%; H_2 = 3,6-3,8 мас.%
(соответствует требованиям ТЗ) и не уступает промышленному аналогу - R-264

«Полиметаллические катализаторы риформинга бензиновых фракций»

Разработчик: Институт проблем переработки углеводородов СО РАН

Производитель: ОАО «Ангарский завод катализаторов и органического синтеза»



Катализатор марки А предназначен для установок риформинга с неподвижным слоем и периодической регенерацией катализатора

Катализатор марки Б предназначен для установок риформинга с движущимся слоем и непрерывной регенерацией катализатора

Катализаторы предназначены для превращения бензиновых фракций:

- в высокооктановые компоненты бензинов с ИОЧ = 96÷98 (марка А) и с ИОЧ=100÷102 (марка Б);
- в ароматические углеводороды (бензол, толуол, ксилолы).

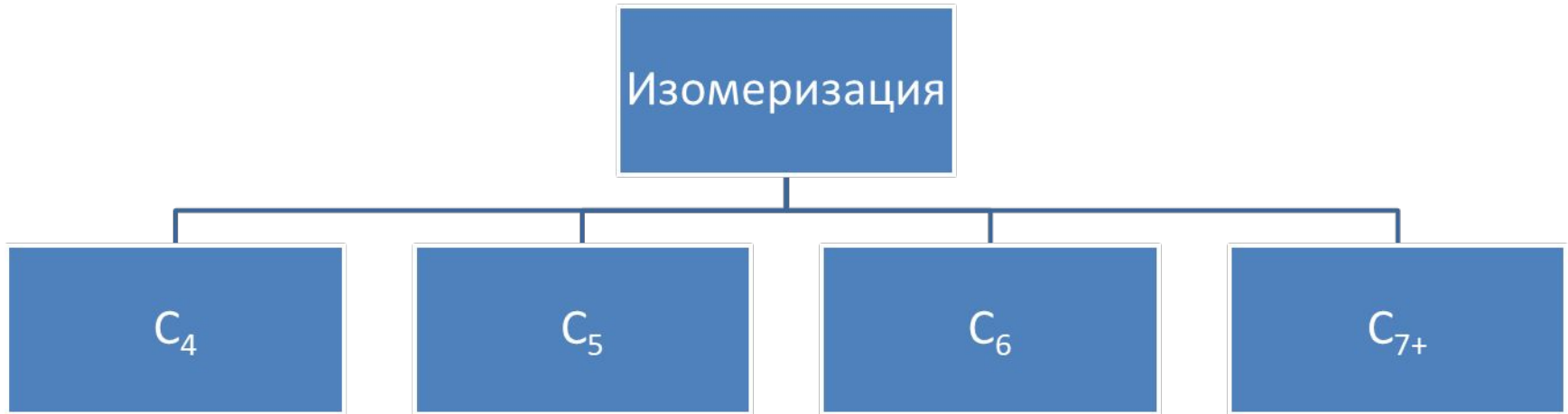


Преимущества

Условия приготовления катализаторов обеспечивают:

- высокую активность и селективность процесса. Выход риформинг – бензина составляет $87 \div 89$ % для марки А и $84 \div 86$ % для марки Б
- высокую механическую прочность, что исключает пылеобразование и потери катализаторов при эксплуатации
- возможность проведения плотной загрузки реакторов для катализатора марки А, что уменьшает байпасирование для сырья и увеличивает степень использования катализаторного слоя
- сохранение каталитической активности в течение реакционного цикла длительностью до 3-х лет для катализатора марки А
- сохранение каталитической активности для катализатора марки Б в течение не менее 200 циклов регенерации.

Изомеризация



Вторичный процесс переработки нефтяных фракций. Изомеризации могут подвергаться парафиновые углеводороды C_4 - C_{20} .

Продукты изомеризации:	
изобутан	используется в процессе алкилирования, для получения изобутилена в синтезе метил трет-бутилового эфира (МТБЭ) и в производстве изопрена
изопентан	компонент автомобильного бензина, источник увеличения ресурсов сырья в производстве изопрена
изогексаны	компоненты автомобильного бензина
изопарафиновые углеводороды C7-C9	не находят самостоятельного применения (входят в состав сырья процесса каталитического риформинга и рафинатов), изооктаны - основной компонент продукта алкилирования н-бутиленов изобутаном - также используются как эталон для определения октановых чисел автомобильных бензинов
изопарафиновые углеводороды C10-C18, выкипающие в пределах 200-320°C	компоненты низкозастывающих дизельных топлив
изопарафиновые углеводороды C18-C20	компоненты масел

Трудности перехода России на выпуск всей товарной продукции по стандартам ЕВРО-4 и ЕВРО-5 сводятся к следующему:

- Высокое содержание бензола и ароматических углеводородов в риформате – базовом компоненте высокооктановых автобензинов;
- Неразвитость процессов получения высокооктановых неароматических автокомпонентов;
- Высокое содержание серы и олефиновых углеводородов в бензинах каталитического крекинга;
- Недостаточное октановое число общего бензинового пула на НПЗ.

Для решения вышеизложенных проблем требуются эффективные катализаторы и соответствующие технологии.

В настоящее время разработано три типа промышленных процессов изомеризации:

- **высокотемпературная изомеризация (360-440 °С)** на алюмоплатиновых фторированных катализаторах,
- **среднетемпературная изомеризация (250-300 °С)** на цеолитных катализаторах,
- **низкотемпературная изомеризация** на оксиде алюминия, промотированном хлором (120-180 °С) и на сульфатированных оксидах металлов (180-210 °С).

Изомеризация C_5-C_6 - вторичный процесс переработки бензиновых фракций. Процесс происходит в среде водорода в присутствии катализатора при давлении 1,5-3,5 МПа и температуре 380-450 °С. Наиболее активны и обеспечивают самый высокий выход и октановое число изомеризата катализаторы на основе хлорированной окиси алюминия.

При изомеризации гексан-пентановых фракций получают изомеризат, выход которого составляет 93-98%. Октановое число по моторному методу 89-93 п.

- ❖ В РФ на основных НПЗ эксплуатируются 23 установки изомеризации мощностью от 100,0 до 880,0 тыс. т/год.
- ❖ Средняя мощность одной установки 409,3 тыс. т/год.
- ❖ Средний возраст 8,4 лет.
- ❖ В 2015 г. коэффициент использования мощностей изомеризации составил 83,6%.
- ❖ На Российскую Федерацию приходится 10, 1 % мировых мощностей изомеризации (2-е место в мире).
- ❖ В 2015 г. были введены установки изомеризации на Астраханском ГПЗ, Орскнефтеоргсинтезе и Рязанской НПК. В 2016 г. планируется ввод новых установок на Антипинском НПЗ, Газпром Нефтехим Салават и ТАНЕКО. Всего до 2035 г. ввод новых установок изомеризации планируется на 15 предприятиях.

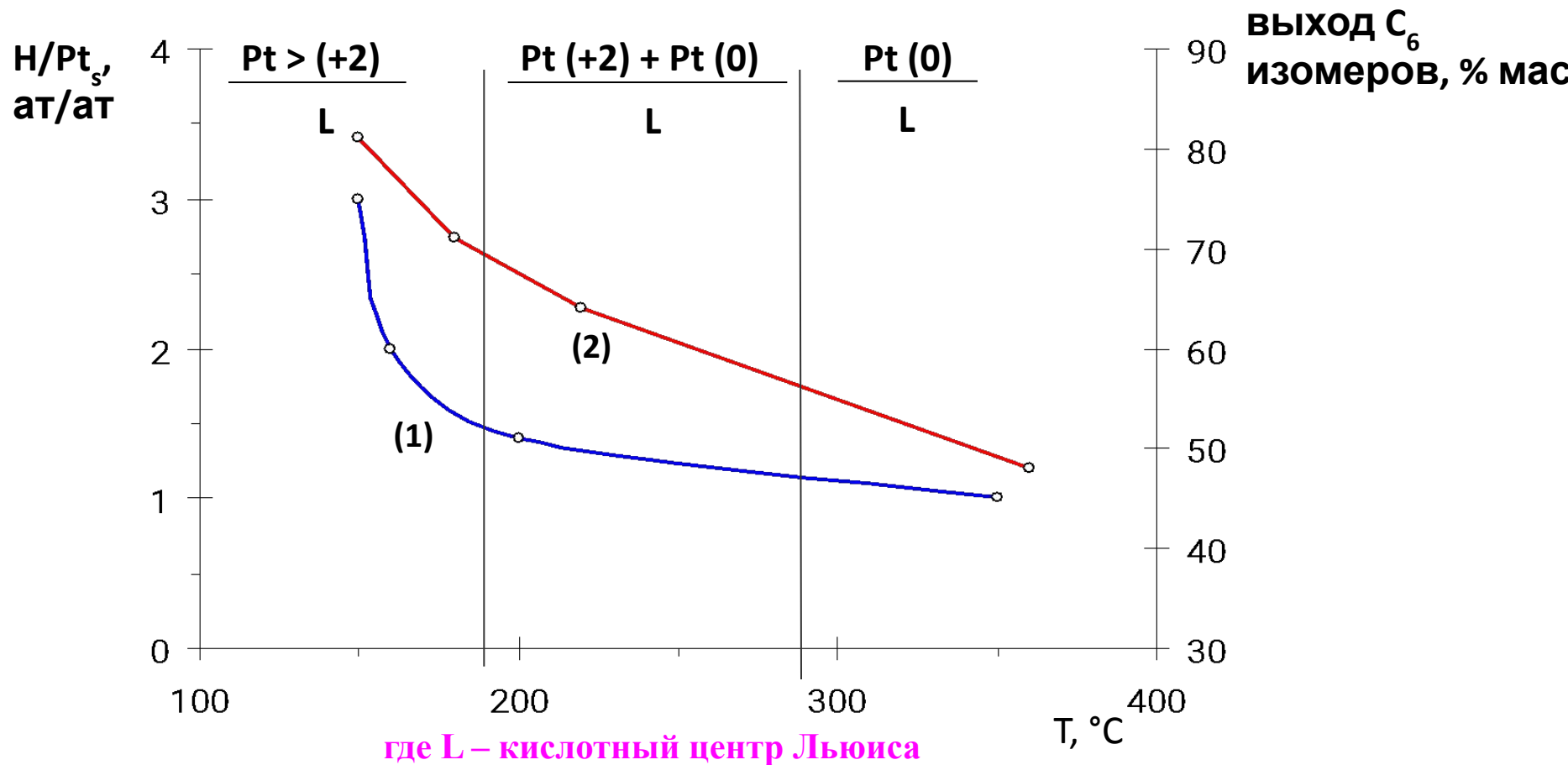
Типичный состав катализатора изомеризации



Pt	0,3-0,5 %мас.
SO_4^{2-}	6-10 %мас.
ZrO_2	80-90 %мас.
Al_2O_3	остальное



Строение активных центров реакций изомеризации алканов

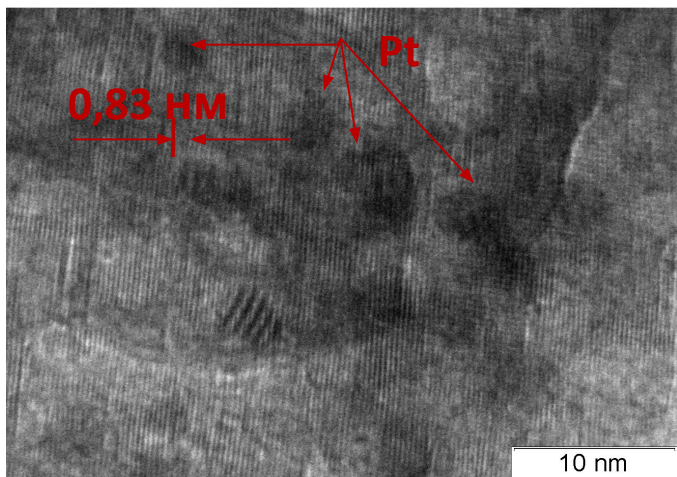


Количество адсорбированного водорода на Pt (1) и выход изомеров C₆ (2) в температурном диапазоне активности бифункциональных катализаторов скелетной изомеризации алканов



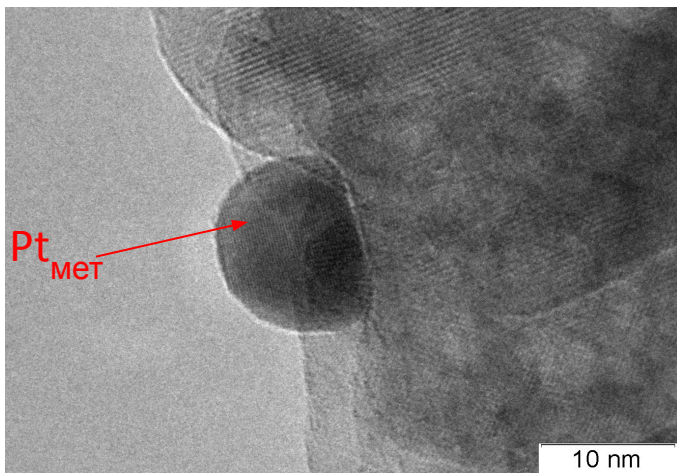
Исследование состояния Pt и кислотных свойств катализаторов низкотемпературной скелетной изомеризации n-гексана и гидроизомеризации бензола

Электронная микроскопия модельного катализатора 4,5% Pt/ZrO₂

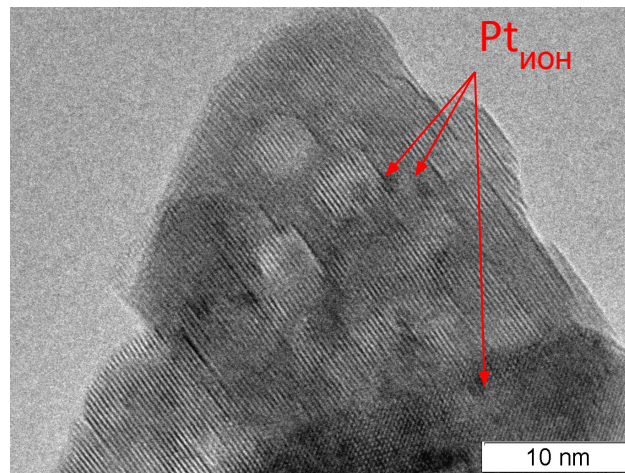


Методом ПЭМ установлено бидисперсное распределение частиц Pt

- крупные частицы в виде полусфер диаметром 10-15 нм, «прилипшие» к поверхности t-ZrO₂
- мелкие плоские частицы Pt размером 1-3 нм в виде эпитаксиальных пленок на поверхности t-ZrO₂. Образование эпитаксиальных пленок подтверждается возникновением трансляционного муара (на снимке слева) (частный случай интерференции, возникающий при наложении решеток с параметрами для Pt параметр 2,27 Å и для t-ZrO₂ параметр 3,1 Å).



Крупные частицы металлической Pt отвечают за гидрирование предшественников кокса и предотвращают дезактивацию катализатора

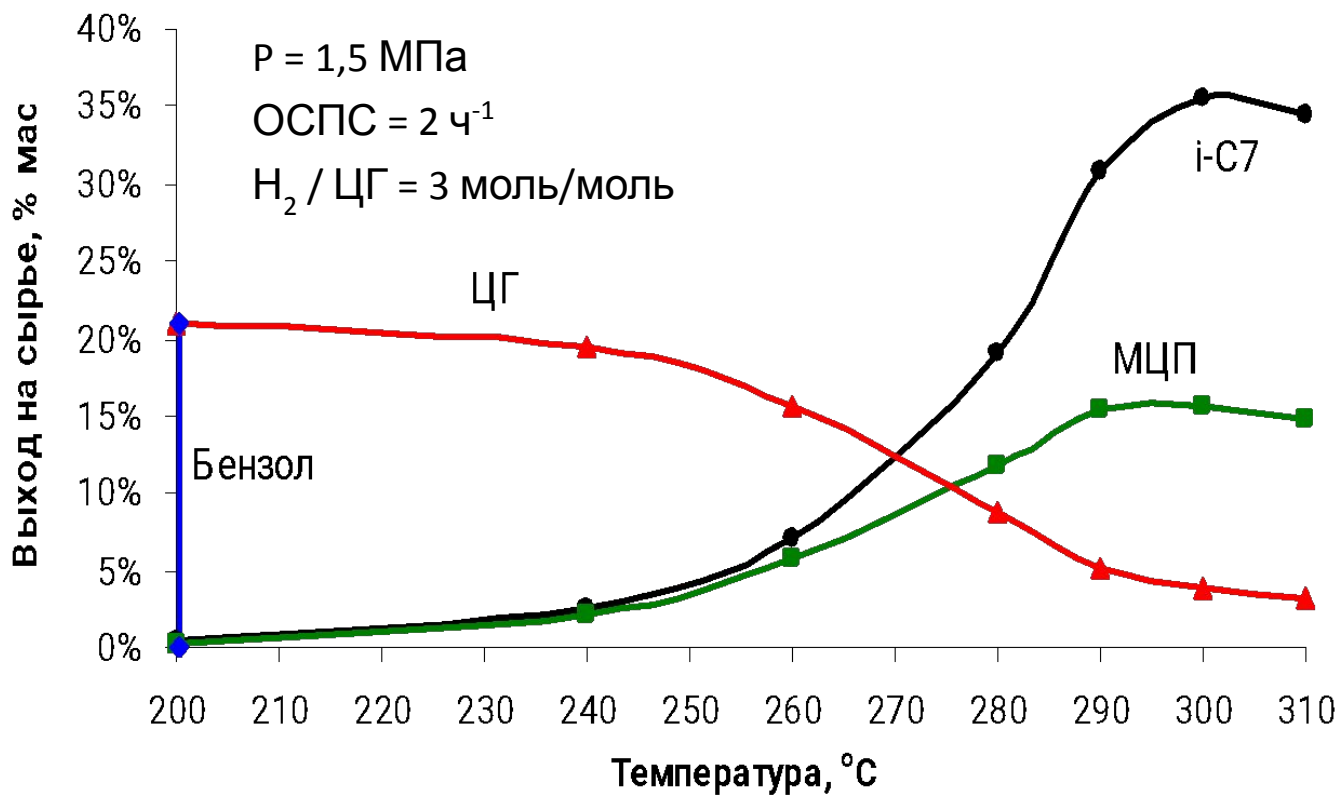


Мелкие частицы «ионной» Pt обуславливают гетеролитическую диссоциацию H₂ с гидридным H⁻ переносом на завершающей стадии изомеризации, а также отвечают за регенерацию кислотных H⁺ центров



Выход продуктов гидроизомеризации смеси 20 % бензола и 80 % н-гептана на катализаторе

РТ(К) / НМ-30 / АЛМ-70



ИОЧ_{сырья} = 22,6

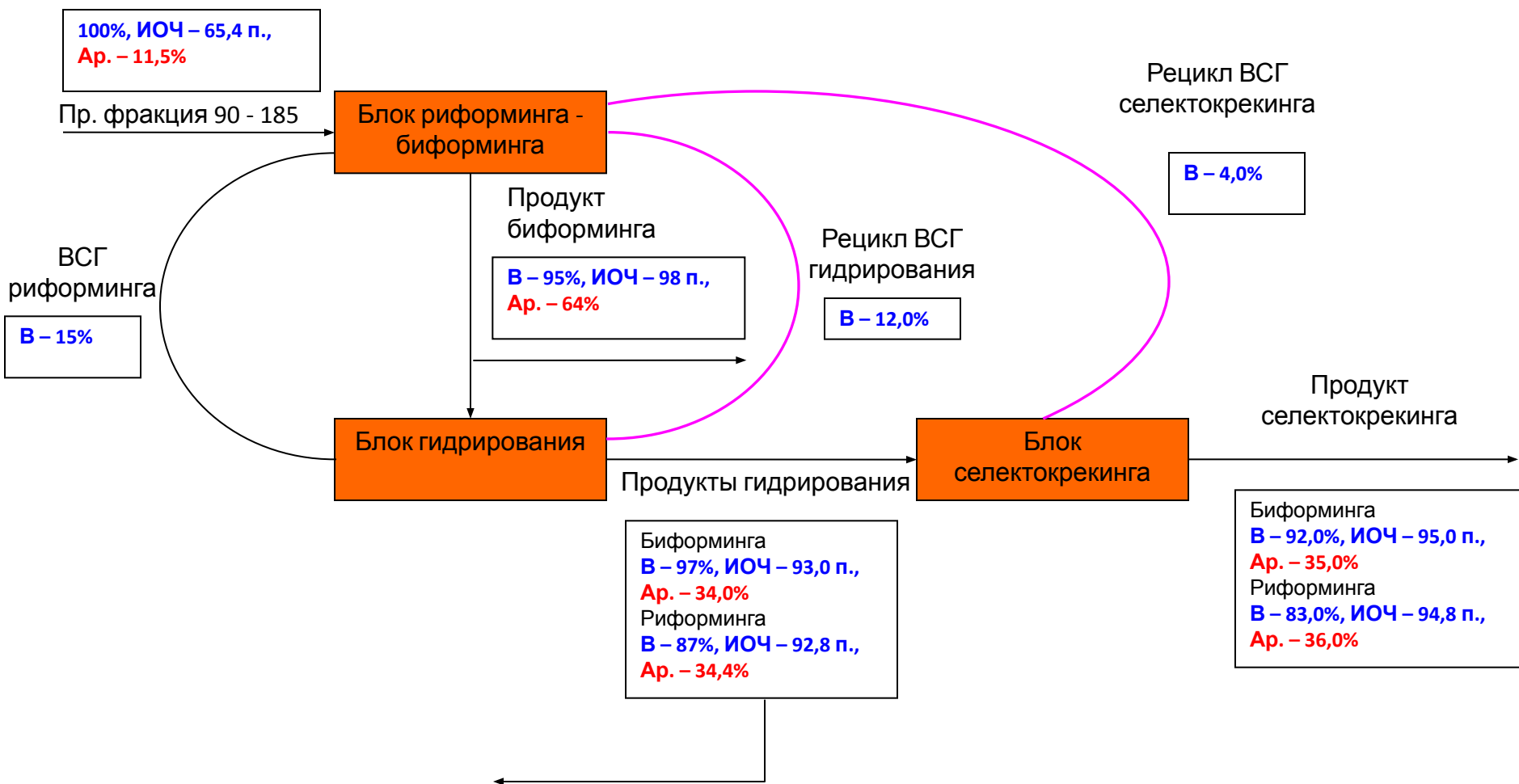
ИОЧ_{280°C} = 34,4

ИОЧ_{300°C} = 71,1

Селективность гидроизомеризации Бензол → МЦП = 98,2%_{290°C} – 94,1%_{300°C} 87



Блок-схема процесса Экоформинг





Селектокрекинг парафинов $n\text{-C}_6 \div \text{C}_8$ в бензиновых фракциях

Цеолит: феррьерит - двумерная система каналов с размерами окон $4,3 \times 5,5 \text{ \AA}$ и $3,4 \times 4,8 \text{ \AA}$

Гидрирующий металл: платина $0,3 \div 0,5 \%$ масс.

Рабочий диапазон:

- давление: $1,5 \div 2,0 \text{ МПа}$
- температура: $300 \div 350 \text{ }^\circ\text{C}$
- ОСПС: 2 ч^{-1}
- отношение $\text{H}_2/\text{сырье}=5$

Достигаемые показатели:

Конверсия сырья: $90\text{-}92 \%$

Селективность: $98\text{-}99 \%$



Материальный баланс и показатели процессов гидрирования и селектокрекинга катализата биформинга

№	Показатели	Продукты	
		гидрирования	селектокрекинга
1	Углеводородный состав, % масс.:		
	i-парафины	22,6	23,8
	n-парафины	9,3	4,2
	нафтены	32,1	33,9
	ароматические	36,1	38,0
2	Октановое число (ИОЧ)	93,1	96,9
3	Выход C ₅₊ -продуктов, %масс., на сырье экоформинга	97,1	92,0
4	Октан-тонны на 1 тонну сырья	90.4	89.2



Основные показатели установки риформинга ЛЧ-35-11/600 ООО «КИНЕФ» в период фиксированного пробега 7-11 октября 2011 г. на катализаторе ПР-71

Состав сырья (гидрогенизата)

Н.К	10%	50%	90%	К.К.	П / Н / А
101	111	127	155	177	59 / 28 / 13

Условия процесса: $P = 1,5 \text{ МПа}$, $ОСПС = 1,4 \text{ час}^{-1}$,
кратность циркуляции ВСГ = $1270 \text{ нм}^3/\text{м}^3$ сырья

Показатели	Значения
Температура входа по реакторам, °С	494
Перепад температур по реакторам, °С	75 / 38 / 15
Среднеинтегральная температура, °С	470
Концентрация водорода в ВСГ, % об.	83-84
Выход стабильного риформата, % мас.	88,4
Выход водорода, % мас.	2,46
Октановое число риформата, ИМ	97,3



Лисичанский НПЗ – эффективность замены катализатора RG-482 на ПР-71 на установке ЛЧ-35-11/1000

Катализатор	RG-482	RG-482 + ПР-71	ПР-71
Давление, МПа	1,5	1,4	1,4
ОСПС, ч ⁻¹	1,0 -1,2	1,2	1,5
T _{средневх} , °C	495	482	492
T _{среднеинт} , °C	480	468	468
Выход C₅₊, % мас.	85-87	87,5	88,0
Содержание водорода в ВСГ, % об.	81	84	86
Октановое число, и.м.	92-95	96,0	97,2

* - температуры указаны для загрузки по сырью 140 м³/час



Состав сырья продуктов Биформинга и их гидрирования

N	Показатели	Сырье фр. 90-185°C	Продукты	
			Биформинга	Гидрирован ия
1.	Углеводородный состав, %мас.:			
	i-парафины	33.8	23.1	22.6
	n-парафины	25.1	9.4	9.3
	нафтены	29.5	2.5	32.1
	ароматические	11.5	65.0	36.0
2.	Октановое число, (ИОЧ)	56.8	98.5	93.1
3.	Выход C ₅₊ -продуктов, %мас. на сырье биформинга	100	95.0	97.1
4.	Октан-тонны на 1 тонну сырья	56.8	94.5	90.4
5.	Выход (расход) водорода, %мас.	-	3.4	-2.1

***СПАСИБО ЗА
ВНИМАНИЕ***

