

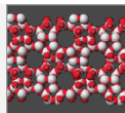
## Пояснительная записка

к дорожной карте «Использование нанотехнологий  
в каталитических процессах нефтепереработки»

Дорожная карта «Использование нанотехнологий в каталитических процессах нефтепереработки» (далее — ДК) представляет собой обобщающий документ, который отражает многоуровневую систему стратегического развития предметной области в рамках единой временной шкалы и содержит показатели экономической эффективности перспективных технологий и продуктов, обладающих высоким потенциалом спроса и привлекательными потребительскими свойствами. ДК разработана на основе данных экспертного исследования, а также исследования российских и зарубежных аналитических материалов.

ДК описывает структуру спроса на катализаторы для нефтепереработки (далее – катализаторы), динамику ключевых технико-экономических характеристик основных типов используемых установок (в зависимости от общей схемы проведения каталитического процесса), динамику ключевых характеристик основных типов катализаторов, используемых в данных установках. На ДК представлены альтернативные технологии производства катализаторов. Дается оценка перспектив введения в эксплуатацию в России технологических линий различной конфигурации с точки зрения возможности обеспечить производство катализаторов, ключевые характеристики которых отвечают нормативам конкурентоспособности.

Для различных технологий производства катализаторов на ДК отражены основные направления исследований и разработок по их развитию в России, а также направления импорта технологий (виды технологического оборудования, которое предпочтительно закупать за рубежом). С учетом рыночных (*market pull*) и технологических (*technology push*) факторов на карте дается оценка предельно достижимых стратегических целей российских производителей катализаторов. Горизонт ДК — до 2030 г.



### Общая характеристика предметной области

**Катализаторы для нефтепереработки** — наноструктурированные вещества, которые, вступая в цикл промежуточных взаимодействий, ускоряют протекание химических реакций нефтепереработки, однако сами при этом не расходуются.

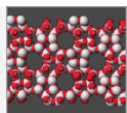
Катализаторы используются в большинстве процессов нефтепереработки и нефтехимии и играют ключевую роль в их проведении. Разработка и внедрение новых и улучшенных катализаторов является наиболее перспективным направлением развития нанотехнологий в нефтепереработке и нефтехимии и должно внести наибольший вклад в решение многих задач в данной области.

Дорожная карта рассматривает 5 основных процессов нефтепереработки, объемы рынков катализаторов для которых, как ожидается, будут наибольшими в пределах горизонта дорожной карты:

1. гидроочистка дизельного топлива (далее — ДТ);
2. каталитический крекинг;
3. изомеризация легких бензиновых фракций;
4. каталитический риформинг;
5. гидрокрекинг.

Кроме того, в дорожной карте рассматриваются 4 процесса нефтехимии, которые широко распространены в России и в которых имеются наибольшие перспективы распространения нанотехнологий:

6. переработка попутных нефтяных газов;
7. алкилирование изобутана бутиленами;
8. производство изопропилбензола;
9. производство этилбензола.



## Тенденции нефтепереработки и мировой рынок катализаторов

В спектре продукции мировой нефтепереработки в последние годы все большую значимость получают светлые нефтепродукты. Мощности вторичных каталитических процессов стремительно растут. Как ожидается, эта тенденция сохранится в будущем и будет в значительной мере определять характер развития отрасли.

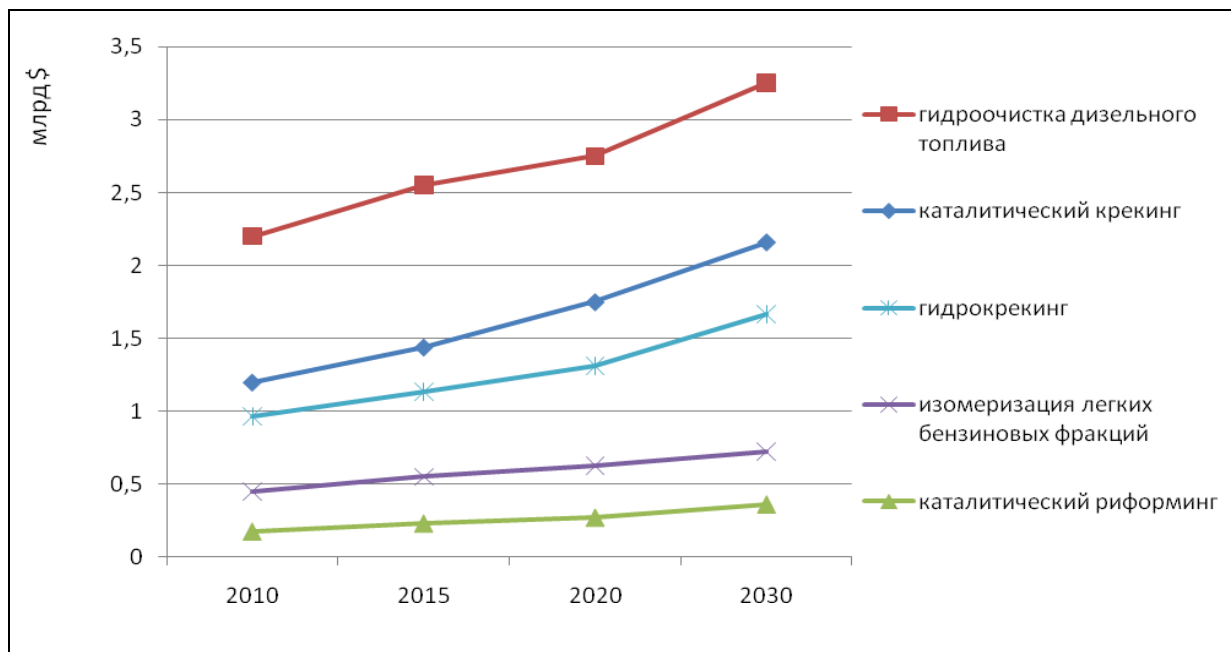
Общемировой тенденцией, наиболее ярко выраженной в промышленно-развитых странах-импортерах нефтепродуктов, стало ужесточение экологического законодательства. Оно направлено, в первую очередь, на снижение вредных выбросов при сжигании топлива, а также на постоянный рост требований к качеству нефтепродуктов (переход стран ЕС на топлива по Евро-5 со сверхнизким содержанием серы).

Тенденции последних лет показывают, что в странах ЕС наиболее быстро растет спрос на дистиллятные дизельные топлива и высококачественные бензины — наиболее важную продукцию отрасли. Потребление бензинов в США и странах АТР также увеличивается. В меньшей степени возрастает спрос на реактивное топливо, а потребность рынка в котельном топливе постепенно снижается.

Распределение мирового рынка катализаторов нефтепереработки, согласно результатам экспертного исследования, следующее: порядка 40% — катализаторы гидроочистки, 30% — катализаторы крекинга, 7% — гидрокрекинга, 5% — риформинга, 20% — прочие. Темпы ежегодного обновления ассортимента промышленных катализаторов — 15-20%.

Для 5 основных процессов нефтепереработки прогноз объема мирового рынка в стоимостном выражении представлен на *рис. 1*.

Рис. 1. **Мировой рынок катализаторов для процессов с наибольшими рыночными перспективами**



Развитие мирового рынка в пределах горизонта дорожной карты будет определяться следующими основными тенденциями:

— **Гидроочистка ДТ:**

- общая мощность установок гидроочистки ДТ вырастет на 25% к 2030 г.;
- ожидается рост потребления сульфидных катализаторов гидроочистки ДТ — как в натуральном, так и в стоимостном выражении;
- цены на катализаторы, в основном, будут оставаться текущем уровне.

— **Каталитический крекинг:**

- общая мощность установок будет оставаться на текущем уровне в период до 2030 г.;
- ожидается незначительный рост потребления катализаторов крекинга;
- объем мирового рынка в стоимостном выражении значительно вырастет до 2030 г. за счет ожидаемого существенного роста цен на катализаторы.

— **Изомеризация легких бензиновых фракций:**

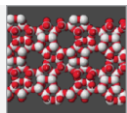
- в период до 2030 г. ожидается 40–50-процентный рост мирового рынка катализаторов изомеризации;
- наиболее современным и перспективным процессом является низкотемпературная изомеризация.

– **Каталитический риформинг:**

- в период до 2030 г. ожидается 20-процентный рост мощностей риформинга;
- наиболее современным и перспективным способом проведения процесса является риформинг в движущемся слое катализатора;
- ежегодное потребление катализаторов будет возрастать как в натуральном (за счет роста мощностей), так и в стоимостном (ускоренными темпами) выражении.

– **Гидрокрекинг:**

- гидрокрекинг является одним из наиболее перспективных процессов – к 2030 г. его мощности возрастут в 2 раза;
- ежегодное потребление катализаторов также возрастет до двух раз.



## **Российская нефтепереработка и рынок катализаторов**

В состоянии нефтеперерабатывающей промышленности России в последние годы заметны явные улучшения. При росте объемов переработки постепенно повышается качество выпускаемых моторных топлив. На ряде российских НПЗ ведется строительство новых комплексов глубокой переработки нефти, часть из которых уже введена в эксплуатацию.

Основу нефтеперерабатывающей промышленности России составляют 27 крупных НПЗ суммарной проектной мощностью по сырью 260 млн. т/г, что составляет 95–98% всей перерабатываемой нефти. Объем первичной переработки нефти на российских НПЗ в 2009 г. составил около 236 млн. т.

Однако нефтеперерабатывающая отрасль России существенно отстает в своем развитии от промышленно развитых стран мира. Основными проблемами отрасли являются:

- низкая глубина переработки нефти (низкая доля вторичных процессов от первичной переработки);
- невысокое качество выпускаемых нефтепродуктов;
- отсталая структура производства;
- высокая степень износа основных фондов;
- высокий уровень энергопотребления.

Из-за низкой глубины переработки российские НПЗ загружены на 70–75%, в то время как для мировой нефтепереработки сегодня из-за высокого спроса и высоких цен на

нефтепродукты характерна загрузка близкая к 100% (глубина переработки в России – 66–72%, в Европе — 86–88%, в США 89–92%).

В структуре экспорта российской нефтепереработки преобладают относительно дешевые нефтепродукты, в том числе прямогонный бензин, вакуумный газойль, дизельное топливо низкого в сравнении с европейскими требованиями по содержанию серы качества, а также топочный мазут, базовые масла. Доля товарных нефтепродуктов с высокой добавленной стоимостью крайне мала.

Значительной проблемой нефтеперерабатывающей промышленности России является высокая степень износа основных фондов, составляющая до 80%, а также использование устаревших энергоемких и экономически несовершенных технологий (на 6 из 13 российских НПЗ, где есть установки каталитического крекинга, работают устаревшие установки с шариковым катализатором). В результате российская нефтепереработка характеризуется высоким уровнем энергопотребления, что негативно отражается на экономической эффективности отрасли. Удельный расход энергоресурсов на действующих российских заводах в 2–3 раза превышает зарубежные аналоги.

Следствием серьезных проблем с размещением предприятий отрасли является рост числа мини-НПЗ (в настоящее время – более 150 мини-НПЗ) с мощностью по первичной переработке от 10 до 700 тыс. т в год. В настоящее время ими производится 2–5% от всех производимых в стране нефтепродуктов. Как правило, на таких мини-НПЗ осуществляется неквалифицированная переработка нефтяного сырья (нет процессов глубокой переработки), а их существование заметно осложняет экологическую обстановку в регионах.

Тем не менее, в последнее время наметилась тенденция к улучшению ситуации в отрасли, о чем свидетельствуют:

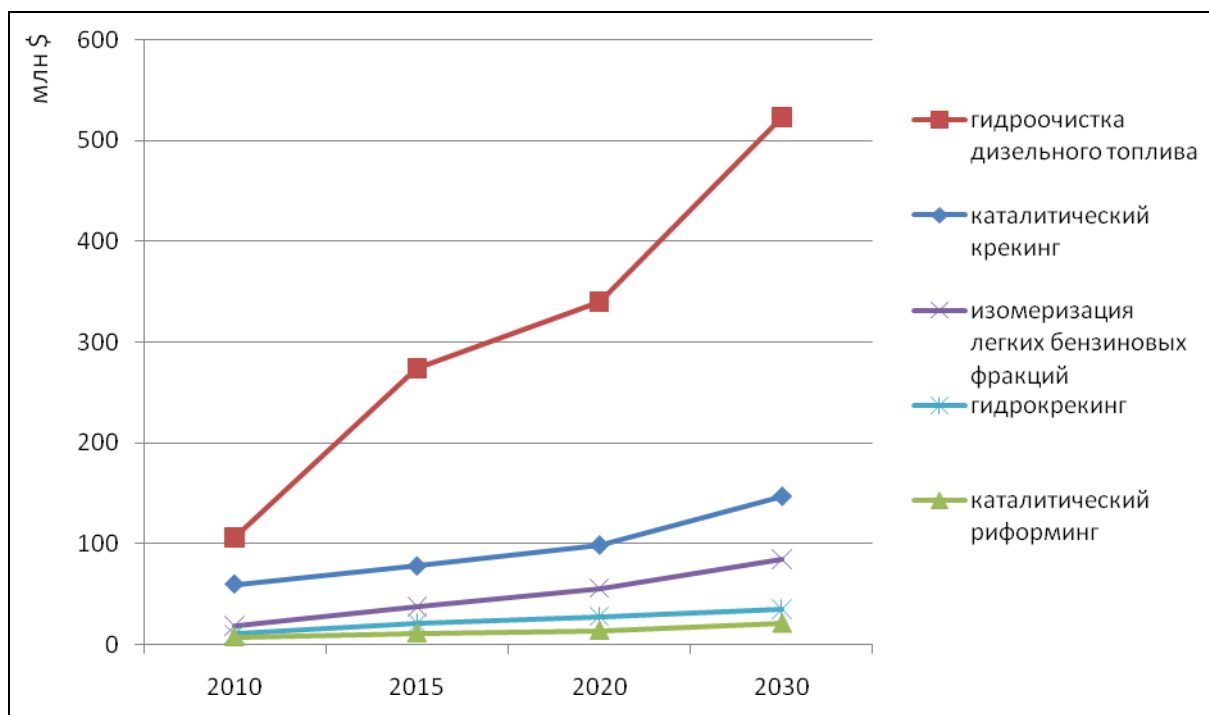
- существенное увеличение инвестиций российских нефтяных компаний в нефтепереработку;
- рост объемов переработки нефти;
- постепенное улучшение качества выпускаемых моторных топлив за счет отказа от производства этилированных автобензинов;
- увеличение доли выпуска высокооктановых бензинов и экологически чистых дизельных топлив.

Однако в процессе модернизации нефтепереработки России отечественные разработки практически не используются. Большинство технологий и оборудования на отечественных НПЗ закупается у ведущих западных производителей, в частности большая часть используемых в нефтепереработке катализаторов (55–70%)

поставляется иностранными фирмами. Темпы ежегодного обновления ассортимента промышленных катализаторов в России — 4%.

Для 5 основных процессов нефтепереработки прогноз объема российского рынка катализаторов в стоимостном выражении представлен на рис. 2.

**Рис. 2. Российский рынок катализаторов для процессов с наибольшими рыночными перспективами**



Развитие российского рынка в пределах горизонта дорожной карты будет определяться следующими основными тенденциями:

— **Гидроочистка ДТ:**

- общая мощность установок будет возрастать;
- рост мощностей будет происходить, в основном, за счет распространения катализаторов «кобальт-молибден на оксиде алюминия»;
- к 2030 г. эксперты прогнозируют возможное введение в эксплуатацию технологии окисления — принципиально новой технологии производства катализаторов;
- к 2030 г. ожидается появление новых типов носителей, например, наноструктурированной двуокиси титана.

— **Каталитический крекинг:**

- общая мощность установок крекинга, по мнению экспертов, будет возрастать;

- до 2030 г. ожидается вывод из эксплуатации установок с шариковым катализатором;
- рост мощностей будет происходить, в основном, за счет распространения микросферических алюмосиликатных цеолитсодержащих катализаторов со средним диаметром частиц от 10 до 150 мкм.

— **Изомеризация легких бензиновых фракций:**

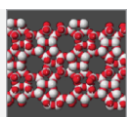
- в России к 2030 г. число установок изомеризации возрастет вдвое и достигнет 30 шт.
- потребление катализаторов существенно возрастет — как в натуральном, так и в стоимостном выражении;
- цены катализаторов, как ожидается, будут расти за счет роста цен на благородные металлы.

— **Каталитический риформинг:**

- общая мощность установок заметно вырастет к 2030 г.;
- в ближайшем будущем должна произойти масштабная замена действующих установок на более современные комплексы;
- увеличение мощностей будет в значительной степени связано с ростом числа установок на оксидных катализаторах;
- цены катализаторов, как ожидается, увеличатся за счет роста цен на благородные металлы.

— **Гидрокрекинг:**

- в России этот процесс пока не получил широкого распространения;
- к 2030 г. число установок, как ожидается, достигнет 7;
- цены катализаторов в период до 2030 г. не будут существенно меняться.



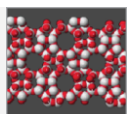
## Стратегические цели российских производителей

Дорожная карта рассматривает пять основных процессов нефтепереработки, объемы рынков катализаторов для которых, как ожидается, будут наибольшими в пределах горизонта дорожной карты. В *Таблице 1* для каждого из этих процессов сформулированы рекомендации по составу стратегических целей российских производителей катализаторов, которые могут быть достигнуты в пределах горизонта дорожной карты.

Таблица 1

## Цели российских производителей катализаторов

	Гидроочистка ДТ				Каталитический крекинг				Изомеризация				Каталитический риформинг				Гидрокрекинг				
	2010 г.	2015 г.	2020 г.	2030 г.	2010 г.	2015 г.	2020 г.	2030 г.	2010 г.	2015 г.	2020 г.	2030 г.	2010 г.	2015 г.	2020 г.	2030 г.	2010 г.	2015 г.	2020 г.	2030 г.	
<b>в области освоения рынка</b>																					
80–100% российского рынка				65			80	80							65	80					
60–80% российского рынка																					
40–60% российского рынка		40	50			60					50	50		50							
20–40% российского рынка	30								30	40											
до 20% российского рынка					20								20						50	65	
<b>в области качества</b>																					
на уровне мировых лидеров		+	+	+	+	+	+	+		+	+	+	+	+	+	+					
незначительное отставание от мировых лидеров									+										+	+	
отставание от мировых лидеров	+																				
<b>в области технологии</b>																					
разработка российской технологии полного цикла приготовления катализаторов		+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+		+	+	+				+	+
заимствование технологий за рубежом	+												+					+	+		



### Направления собственных исследований и разработок и импорта технологий

Результаты исследования свидетельствуют о том, что для преодоления технологической отсталости и достижения конкурентоспособности российских катализаторов на внутреннем рынке необходим комплекс мероприятий:

- по организации и проведению в России научных исследований и разработок (ИиР) по ряду ключевых направлений;
- по обеспечению импорта технологий (закупки технологического оборудования) для комплексной модернизации производственной базы.

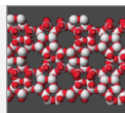
Перечень важнейших направлений собственных исследований и разработок, а также видов технологического оборудования, которое рекомендуется закупать за рубежом, для важнейших процессов нефтепереработки представлен в *Таблице 2*.



**Собственные ИиР и импорт технологий  
для развития производства катализаторов**

<b>Гидроочистка ДТ</b>	
<i>Собственные исследования и разработки</i>	<i>Направления импорта технологий</i>
<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Разработка режимов сульфидирования</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Технологические линии в комплекте</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Оптимизация режимов сушки</li> </ul>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Разработка методов синтеза биметаллических комплексов</li> </ul>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Разработка технологии активации и оборудования для нее</li> </ul>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Разработка методов управления пористой структурой носителя</li> </ul>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Разработка технологии синтеза активного компонента</li> </ul>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Разработка технологий окислительной сероочистки</li> </ul>	
<b>Каталитический крекинг</b>	
<i>Собственные исследования и разработки</i>	<i>Направления импорта технологий</i>
<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Оптимизация режимов прокалики</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Оборудование для фильтрации (центрифугирования) суспензий</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Разработка технологии гомогенизации композиций</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Оборудование для прокалики (в том числе, барабанные печи) и фильтры</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Разработка технологий прокалики в управляемых газовых средах</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Оборудование для распылительной сушки</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Разработка катализаторов, стойких к отравлению металлами (ванадий, никель) для переработки мазута</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Оборудование для синтеза цеолитов</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Синтез цеолитов различного типа, в том числе с широкими мезопорами, для каталитического крекинга тяжелого сырья и цеолитов для процесса типа «мили-секонд»</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Оборудование для термopаровой стабилизации</li> <li>▪ Смесительное оборудование</li> </ul>

<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Модификация матрицы</li> </ul>	
<b>Изомеризация легких бензиновых фракций</b>	
<i>Собственные исследования и разработки</i>	<i>Направления импорта технологий</i>
<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Разработка технологии нанесения благородного металла одновременно со стадией нанесения сульфата</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Оборудование для жидкостной формовки шарикового катализатора в масляной колонне</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Отработка технологии жидкостной формовки шарикового катализатора в масляной колонне</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Шнековые центрифуги для непрерывной фильтрации и промывки мокрого продукта синтеза</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Разработка технологии гранулирования катализатора без связующего</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Ленточные прокалочные печи для непрерывной прокалики при температурах до 600°C</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Отработка технологии непрерывного синтеза цеолитов</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Автоклавы с перемешиванием и подогревом до 200°C для синтеза цеолитов</li> </ul>
<b>Каталитический риформинг</b>	
<i>Собственные исследования и разработки</i>	<i>Направления импорта технологий</i>
<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Разработка катализаторов с повышенной механической прочностью и высокой каталитической активностью для установок с движущимся слоем катализатора</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Оборудование для изготовления носителя</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Разработка катализаторов, позволяющих получить высокое октановое число на мягких режимах проведения процесса</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Оборудование для сушки</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Разработка катализаторов, позволяющих получать выход водорода</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Оборудование для восстановления в потоке водорода</li> </ul>
<b>Гидрокрекинг</b>	
<i>Собственные исследования и разработки</i>	<i>Направления импорта технологий</i>
<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Разработка технологии формирования в растворе биметаллических комплексных соединений с размером частиц около 1 нм</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Оборудование для стадии пропитки (закрепление биметаллических комплексных соединений на поверхности носителя)</li> </ul>



## Основные выводы

По итогам исследования получены следующие основные выводы:

В области развития технологий производства катализаторов:

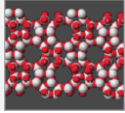
- на горизонте до 2030 г. не ожидается радикальных изменений в портфеле технологий производства катализаторов;
- усовершенствования и развитие будут локализованы в пределах отдельных технологических стадий или технических приемов;
- российские технологии производства катализаторов, в основном, уступают мировым аналогам (устаревшее оборудование, низкая загрузка мощностей);
- в цепочке разработки и распространения российских катализаторов главной проблемой является разрыв при переходе от разработок к промышленным применениям. Российские исследовательские центры практически не имеют опытной базы и не могут гарантировать масштабируемость разработанных решений. Возможное решение — создание крупных инжиниринговых центров.

В области спроса на катализаторы со стороны НПЗ:

- необходимо увеличивать глубину переработки за счет развития крекинговых процессов. Это позволит высвободить большие объемы нефти для экспорта;
- возрастающие требования регуляторов к моторным топливам, введение регламентов Евро-4 и 5 выдвигают на первый план задачу очистки топлива. Уменьшение содержания серы будет осуществляться, в основном, за счет процессов гидрооблагораживания.

Относительно перспектив развития отечественных катализаторных производств:

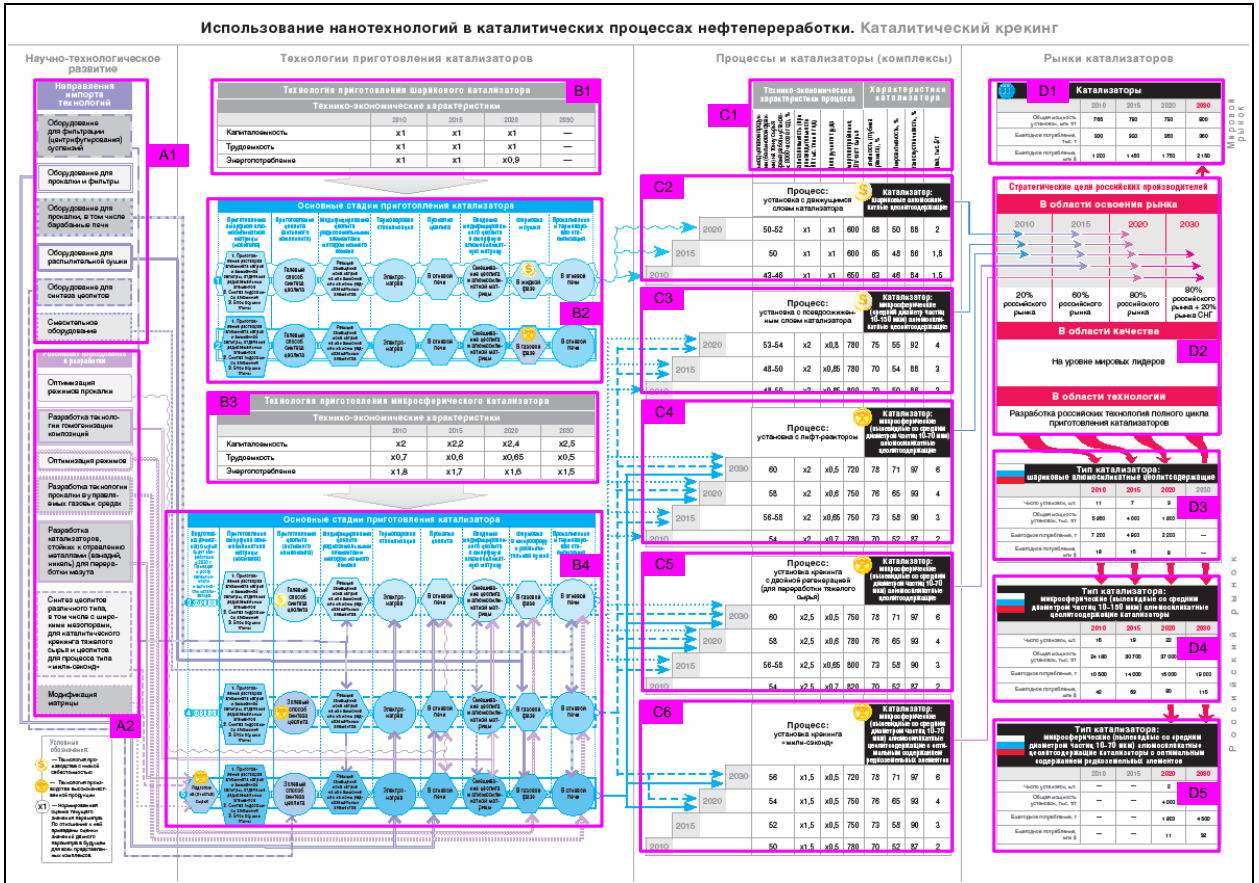
- имеется ряд перспективных разработок, уровень которых не ниже мировых аналогов, а зачастую и опережает их;
- данные разработки могут быть рекомендованы к продвижению в производство, в том числе с участием ГК «Роснанотех»;
- наиболее перспективной формой поддержки со стороны Корпорации является участие в проектах создания инжиниринговых компаний по разработке на базе результатов ИиР комплексных решений для НПЗ.



## Описание визуального представления дорожной карты

Ниже приведена структура дорожной карты с выделением ее основных элементов.

Рис. 3. Структура дорожной карты



Визуальное представление дорожной карты включает четыре основных слоя (рис. 3):

- A** Научно-технологическое развитие
- B** Технологии приготовления катализаторов
- C** Процессы и катализаторы (комплексы)
- D** Рынки катализаторов

Визуальное представление дорожной карты иллюстрирует взаимосвязи между основными технологиями, определяющими развитие предметной области, существующими и перспективными катализаторами и их характеристиками, динамикой российского и мирового рынков.

Ниже приведено краткое описание содержания перечисленных разделов.

## **Раздел А. Научно-технологическое развитие**

В разделе показаны:

1. технологическое оборудование или его комплексы, которые требуется закупить за рубежом для развития производства катализаторов в России;
2. перспективные направления исследований и разработок, которые рекомендуется провести в России в пределах горизонта дорожной карты (до 2030 г.) для развития цикла разработки и производства российских катализаторов.

## **Раздел В. Технологии приготовления катализаторов**

В данном разделе представлены основные технологии приготовления катализаторов.

Для каждой из рассматриваемых в карте технологий приведены оценки текущих значений ее основных технико-экономических характеристик, а также прогноз динамики этих характеристик в пределах горизонта дорожной карты.

Для каждой рассматриваемой технологии описаны существующие на практике или перспективные технологические линии по приготовлению катализаторов.

## **Раздел С. Процессы и катализаторы (комплексы)**

В данном разделе представлены основные типы установок для проведения каталитического процесса, а также типы катализаторов, используемых в данных установках. Признаком для включения конкретного комплекса «процесс-катализатор» в данный блок является существенная роль нанотехнологий в проведении каталитического процесса, осуществляемого в этом комплексе.

## **Раздел D. Рынки катализаторов**

В данном разделе даны оценки и прогноз значений основных показателей развития рынка катализаторов на сегодняшний день и в пределах горизонта дорожной карты.

Также дана оценка предельно достижимых стратегических целей российских производителей катализаторов, которых они могут достичь в указанные периоды времени.