

**Государственный контракт от 20 апреля 2007 г. № 02.513.11.3203**

на выполнение НИР по теме «Разработка технологических основ использования наноразмерных эффектов для создания нового поколения наноструктурированных катализаторов промышленно значимых процессов окисления и гидрирования»  
в рамках ФЦП «Исследования и разработки по приоритетным направлениям развития научно-технологического комплекса России на 2007-2013 годы»  
(Приоритетное направление «Индустрия наносистем и материалов»,  
мероприятие 1.3 Программы)

Шифр: «2007-3-1.3-28-03-127»  
Период выполнения 20.04.2007 г.- 31.10.2008 г.

Исполнители: Головной исполнитель - Институт катализа им. Г.К.Борескова Сибирского отделения Российской академии наук, г. Новосибирск.  
Соисполнители:  
ГОУ ВПО «Новосибирский государственный университет» (НГУ), г. Новосибирск.  
Федеральное государственное учреждение Российский научный центр «Курчатовский институт» (РНЦ КИ), г. Москва.  
ЗАО «Редкинский катализаторный завод» (РКЗ), Тверская обл., г. Редкино

Цель работы Разработка промышленно значимых каталитических процессов, базирующихся на применении наноструктурированных катализаторов, обеспечивающих существенное увеличение эффективности промышленных процессов, требующих получения высокочистых продуктов органического синтеза, а также обезвреживания газовых выбросов

**1. Наименование разрабатываемой научной (научно-технической, инновационной) продукции**

Научные знания о влиянии размера частиц и состояния активного компонента на активность и/или селективность катализатора в реакциях полного окисления и селективного гидрирования.

Наноструктурированные Pt- и Pd-катализаторы с регулируемым размером частиц активного компонента для промышленно важных процессов обезвреживания газовых выбросов промышленных стационарных источников и автомобильных двигателей различного типа, а также очистки олефинового сырья для процессов полимеризации от примесей ацетиленовых соединений.

## **2. Характеристика выполненных работ**

### *2.1. Основные результаты работы*

Установлено, что стабильные двумерные агрегаты со структурой, близкой  $\alpha$ -PtO<sub>2</sub>, доминирующие в нитратных растворах предшественников, наследуются в структуре катализаторов. Разработан способ получения эффективных катализаторов обезвреживания газовых выбросов с металл-оксидными частицами активного компонента регулируемых размеров и универсальный способ регулирования дисперсности наночастиц металла, нанесённых на углеродные носители. Разработан лабораторный технологический регламент на приготовление наноструктурированных Pt- и Pd- катализаторов с регулируемыми размерами частиц активного компонента.

Завершены комплексные структурные исследования Pd и Pt катализаторов для процессов окисления и гидрирования. На основании анализа связи структурных параметров активного компонента с каталитической активностью выявлены возможные типы активных центров катализаторов окисления и гидрирования. Сформулированы гипотезы о природе размерных эффектов в целевых реакциях. Сформировано представление об «оптимальном» катализаторе (состав, размер частиц и зарядовое состояние активного компонента) для каждого конкретного процесса и создана научная основа для управления каталитической активностью в окислительно-восстановительных реакциях, катализируемых нанесенными частицами платиновых металлов.

Установленные размерные эффекты и эффекты взаимовлияния компонентов при их совместном присутствии (СО и углеводородов, этилена и ацетилен) использованы для разработки катализаторов. Сравнительные испытания блочных катализаторов с зарубежными, выполняющими нормы Евро-4, показали сравнимую эффективность очистки многокомпонентных смесей, моделирующих выхлопные газы определенного типа автомобильных двигателей (дизельных, бензиновых и газовых). Эффективность очистки газовых выбросов печатающих машин «Komori» и газовых сдувок из технологических аппаратов действующего производства фталевого ангидрида на опытных образцах катализаторов удовлетворяет условиям техзадания, а глубина очистки этилена от ацетиленовых примесей на 0.1%Pd катализаторах превосходит заданную.

### *2.2. Новизна научных, конструкторских или технологических решений.*

Использование размерных эффектов и специфической электронной структуры активного компонента для обеспечения максимальной активности катализатора при относительно низком содержании благородного металла путем оптимизации состава, размера, состояния и электронной структуры наночастиц активного компонента и оксидного промотора, степени взаимодействия с носителем и промотором для условий конкретного целевого про-

цесса. Разработка опирается на комплексные теоретические, экспериментальные и физико-химические исследования, объединяющие знания и усилия высококвалифицированных специалистов в различных областях каталитической науки и технологии, которые не имеют аналогов в мире как в изучении фундаментальных проблем гетерогенного катализа, так и в разработке новых технологий приготовления и применения наноструктурированных катализаторов. Разработанные катализаторы благодаря высокой эффективности позволят удовлетворить внутренние потребности страны и избавиться от импортной зависимости. Полученные новые знания о катализаторах и процессах создают научную основу для управления активностью нанесенных катализаторов в структурно-чувствительных окислительно-восстановительных реакциях.

### *2.3. Особенности методологии проведения работы*

Практическое использование наноразмерных эффектов для создания новых катализаторов потребовало не только разработки методов тонкого регулирования размера и состояния частиц активного компонента, но и выявления зависимости каталитической активности от размера частиц, электронных или структурных характеристик активного компонента в условиях, максимально приближенных к используемым практически. Такие исследования невозможны без привлечения комплекса современных физико-химических методов для характеристики катализаторов, тщательно отработанных методик определения удельной каталитической активности и установления ее связи с рядом других параметров, используемых в практическом катализе (температуры зажигания, конверсии), осуществления масштабных переходов от лабораторных к опытным образцам катализаторов, в том числе нанесенных в виде каталитического покрытия на монолитные блоки, от лабораторных к стендовым испытаниям.

### *2.4. Получены охраноспособные результаты интеллектуальной деятельности (РИД):*

1. Патент № 2352391 «Способ получения растворов нитрата платины и платиновых катализаторов на их основе», опубликовано 20.04.2009 г., РФ.

2. Патент № 2374172 «Способ регулирования дисперсности углеродметаллических катализаторов (варианты)», опубликовано 27.11.2009 г., РФ.

2. Патент № 2388532 «Способ приготовления катализатора для обезвреживания газовых выбросов (варианты)», опубликовано 10.05.2010 г., РФ.

*2.5 По результатам работы опубликовано 8 статей в ведущих отечественных и зарубежных изданиях, защищены 3 диссертации на соискание кандидата химических наук.*

### **3. Области и масштабы использования полученных результатов**

#### *3.1. Области применения полученных результатов.*

Научные результаты, полученные в рамках проекта, особенно выявленные размерные эффекты в реакциях полного окисления и гидрирования и взаимовлияние компонентов реакционных смесей на свойства катализатора, могут быть использованы для решения фундаментальных проблем гетерогенного катализа. Наибольшую научную значимость имеет эффект индуцированной пара-водородом поляризации на наноструктурированных катализаторах, что открывает широкие перспективы не только в области фундаментального катализа, но и может использоваться для получения гипер-поляризуемых контрастеров в биомедицинских приложениях.

Разрабатываемые катализаторы и технологии могут быть применены в автомобильной, горно-металлургической, лакокрасочной, типографской, нефтехимической, кабельной промышленности, на лакокрасочных и полиграфических производствах, предприятиях энергетического комплекса и других отраслях народного хозяйства. Поскольку оптимизация размера и наноструктуры частиц платинового металла и оксидного промотора приводит к значительному увеличению каталитической активности, можно даже при некоторой экономии благородного металла добиться большей эффективности очистки от токсических веществ, что приведет к уменьшению стоимости катализаторов и увеличению как объемов их производства, так и доли промышленных стационарных установок и выпускаемых автомобилей, ими укомплектованных. Суммарный объем токсичных газовых выбросов уже сегодня составляет более 100 млн тонн в год, а темпы его роста достигают 15–16 процентов в год. В структуре выбросов автотранспорт занимает первое место. Величина ежегодного экологического ущерба от функционирования автотранспортного комплекса РФ оценивается в 120-150 млрд. руб. и продолжает расти. Учитывая нормативы платы за выбросы загрязняющих веществ, установка экономичных очистных сооружений позволит снизить налоговое бремя с промышленных предприятий на сотни млн. рублей в год. Повышение эффективности очистки газов в технологических циклах полимеризации олефинов или производства полиэтилентерефталата необходимо для обеспечения качества, и, соответственно, конкурентоспособности продукции. Однако основные эффекты разрабатываемой продукции, как это характерно для инновационной продукции в целом, лежат не в области производства катализаторов, а в сферах их применения. Использование наноструктурированных катализаторов в различных сферах экологической направленности приведет к значительному уменьшению выброса токсических веществ в атмосферу, и, как следствие, к качественному улучшению среды обитания, улучшению здоровья нации и снижению прессинга парникового эффекта. Предварительные расчеты эффективности внедрения раз-

работанных катализаторов показывают, что срок окупаемости капитальных затрат на создание производств - 4-5 лет, при этом, начиная с 2012-2013 года, производство продукции начнет приносить чистый доход.

### *3.2. Ход практического внедрения полученных результатов.*

Дальнейшие работы в данном направлении обеспечат закрепление приоритетных позиций в мировой каталитической науке и, что более важно, практическом катализе. Для достижения этой цели в настоящее время требуется развитие технологии промышленного производства таких катализаторов, то есть проведение опытно-технологических работ и поставка катализаторов на производство. Этого требует и сложившийся на отечественном рынке неудовлетворенный спрос на высокотехнологичную продукцию такого рода.

### *3.3. Оценка или прогноз влияния полученных результатов на развитие науки, техники, экономики и социальной сферы России.*

Успешная реализация проекта позволит отечественным производителям полимеров и синтетических волокон улучшить качество, целому ряду предприятий различного профиля сэкономить средства на экологических выплатах, а производителям автомобилей – перейти на выпуск новых моделей, отвечающих современным экологическим стандартам на выхлопы двигателей, что приведет к снижению себестоимости и повышению конкурентоспособности продукции отечественных производителей на внутреннем и, в перспективе, внешнем рынках, созданию новых рабочих мест, улучшению экологической обстановки за счет снижения техногенной нагрузки на окружающую среду.

## **4. Выводы**

Программные индикаторы, все задачи проекта и требования технического задания выполнены в полном объеме. Полученные в рамках проекта новые научные знания вносят значимый вклад в фундаментальный катализ, а разработанные катализаторы и технологии имеют высокие перспективы внедрения.

Руководитель работ по проекту  
Зам. директора Института катализа СО РАН,  
чл.-корр.РАН В.И. Бухтияров  
2008 г.