

**Государственный контракт от «08» октября 2009 г. № 02.513.11.3482**

на выполнение НИР по теме «Разработка наноструктурированного бифункционального катализатора мягкого гидрокрекинга производных пиролиза лигноцеллюлозы с участием научных организаций Республики Беларусь»

в рамках ФЦП «Исследования и разработки по приоритетным направлениям развития научно-технологического комплекса России на 2007-2013 годы»

(Приоритетное направление развития науки и техники «Индустрия наносистем и материалов», мероприятие 1.3 Программы)

Шифр: «2009-03-1.3-28-13-006»

Период выполнения «08» октября 2009 г. - «20» сентября 2010 г.

Исполнитель: Учреждение Российской академии наук Институт катализа им. Г.К.Борескова Сибирского отделения РАН, г. Новосибирск с участием иностранного партнера - Государственное научное учреждение «Институт химии новых материалов Национальной академии наук Беларуси» (г. Минск)

Цель работы Создание научно-технического задела для разработки технологии приготовления высокоактивных и термостабильных наноструктурированных бифункциональных катализаторов мягкого гидрокрекинга производных пиролиза лигноцеллюлозы для получения органических веществ топливного назначения и сырья для производства продуктов органического синтеза.

Повышение уровня информационного обмена, стимулирование научной и деловой активности на основе международной кооперации и интеграции инновационного научного потенциала университетов и других научно-исследовательских организаций, усиление конкурентоспособности и инвестиционной привлекательности наноиндустрии Российской Федерации, привлечение талантливой молодежи к участию в перспективных международных научных исследованиях по приоритетному направлению «Индустрия наносистем и материалов».

### **1 Актуальность проекта**

Актуальность исследований по данному направлению связана с решением одной из крупных проблем современной науки и техники – диверсификацией способов производства различного видов топлив и другого химического сырья, в том числе на основе переработки растительной лигноцеллюлозной биомассы. По прогнозам специалистов к 2050 году человечество будет способно получить из биомассы до 38 % потребляемого топлива и до 17 % электроэнергии. Кроме того, успешная утилизация биомассы связана с решением ряда социальных проблем и охраной окружающей среды. Интенсивный путь развития биоэнергетики позволит повысить конкурентоспособность не только профилирующих лесной, деревоперерабатывающей промышленности и сельского хозяйства, но и получае-

мого биотоплива, цена которого на настоящий момент выше аналога из минеральной нефти.

В настоящий момент наблюдается тенденция повышенного интереса в развитых странах к использованию органических веществ растительного происхождения в качестве альтернативного топлива, а также для получения других полезных продуктов. Связано это, прежде всего, с возобновляемостью данного топливного ресурса и его экологической чистотой. Рост цен на ископаемое углеводородное топливо повышает привлекательность программ обеспечения энергетической безопасности с учетом всех ресурсов топлива, в том числе биомассы.

Россия и Беларусь обладают огромными биоресурсами, в том числе лесными, но при этом недостаточно эффективно используются отходы переработки древесины (отходы лесо- и деревопереработки, лигнин и другие отходы целлюлозно-бумажных комбинатов) и сельского хозяйства (солома, шелуха, сапрпель, сухой навоз). В связи с этим было выбрано правильное направление, объединить усилия научного сообщества обеих стран для разработки каталитических наносистем, позволяющих в процессе гидрооблагораживания продуктов пиролиза получать широкий спектр ценных органических соединений топливного назначения и для химического синтеза.

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

### *2.1 Номенклатура продукции, разрабатываемой в рамках проекта*

Лабораторная методика синтеза высокоактивных и термо- и кислотостабильных наноструктурированных катализаторов бифункциональной природы для процесса мягкого гидрокрекинга производных быстрого пиролиза лигноцеллюлозы с получением органических веществ топливного назначения и сырья для производства продуктов органического синтеза.

Лабораторная методика процесса каталитического гидрокрекинга производных быстрого пиролиза лигноцеллюлозы.

Экспериментальные образцы катализаторов мягкого гидрокрекинга производных пиролиза лигноцеллюлозы.

Проект ТЗ на ОКР

### *2.2 Характеристика разрабатываемой продукции*

Характеристика разрабатываемой продукции, произведенной при выполнении работ:

2.2.1 Лабораторная методика синтеза наноструктурированных катализаторов бифункциональной природы для процесса мягкого гидрокрекинга производных быстрого

пиролиза лигноцеллюлозы с получением органических веществ топливного назначения и сырья для производства продуктов органического синтеза.

2.2.2 Экспериментальные образцы катализаторов мягкого гидрокрекинга производных пиролиза лигноцеллюлозы.

Основные технические характеристики синтезированных катализаторов представлены в таблице:

Наименование разрабатываемой продукции	Содержание оксидов металлов, масс. %			Содержание активного компонента, масс. %		Содержание модификатора, масс. %		Удельная поверхность, м <sup>2</sup> /г	Объем пор см <sup>3</sup> /г	Степень деоксигениции, масс. %	Наименование аналога
	CeO <sub>2</sub>	ZrO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Ni	Cu	SiO <sub>2</sub>	B				
катализатор Ni 20.8/ Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>			75.2	20.8		4.0		118	0.25	98	аналога нет
катализатор NiCu 16.2-2/ Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>			77.8	16.2	2.0		4.0	92	0.27	96	аналога нет
катализатор NiCu 13.8-6.83/ Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>			77.4	13.8	6.83	2.0		122	0.28	96	аналога нет
катализатор NiCu 13.3-11.8/ Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>			72.7	13.3	11.8		2.2	120	0.3	95	аналога нет
катализатор NiCu 5.92-18.2/ Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>			70.88	5.92	18.2	5.0		118	0.3	100	аналога нет
катализатор Cu 24.5/ Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>			71.0		24.5		4.5	123	0.25	98	аналога нет
катализатор NiCu 29.4-11.2/ZrO <sub>2</sub>		57.0		29.4	11.2	2.4		107	0.3	95.3	аналога нет
катализатор NiCu 33-17/ CeO <sub>2</sub>	46			33	17	4.0		95	0.28	100	аналога нет
катализатор NiCu 32-16/ CeO <sub>2</sub> - ZrO <sub>2</sub>	24	24		32	16	4.0		105	0.28	96.6	аналога нет
катализатор NiCu 14-7.1/ Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>			75.4	14	7.1		3.5	113	0.3	96.5	аналога нет
катализатор NiCu 6.2-20.3/ Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>			69.0	6.2	20.3		4.5	106	0.3	98.2	аналога нет

катализатор Ni 22.1/ Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>			73.9	22.1			4.0	116	0.25	97.2	аналога нет
катализатор Cu25.3/ Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>			69.7		25.3	5.0		127	0.26	98	аналога нет
катализатор NiCu 33-17/ CeO <sub>2</sub>	47			33	17		3.0	98	0.3	96	аналога нет
катализатор NiCu 33-17/ CeO <sub>2</sub> - ZrO <sub>2</sub>	24	23		33	17		3.0	102	0.28	98.8	аналога нет

*2.2.3 Лабораторная методика процесса проведения каталитического гидрокрекинга производных быстрого пиролиза лигноцеллюлозы.*

Для проведения процесса каталитического гидрокрекинга с реальными продуктами производных быстрого пиролиза лигноцеллюлозы была создана лабораторная установка, общий вид которой представлен на рисунке.



2.2.4 Проект ТЗ на ОКР «Разработка технологии приготовления высокоактивных и термостабильных наноструктурированных бифункциональных катализаторов мягкого гидрокрекинга производных пиролиза лигноцеллюлозы для получения органических веществ топливного назначения и сырья для производства продуктов органического синтеза».

### 3. Характеристика выполненных работ

#### 3.1. Результаты работы

В ходе выполнения государственного контракта был проведен анализ литературных данных, который показал, что на настоящий момент сохраняется задача разработки катализаторов не содержащих благородных металлов, обладающих высокой активностью в удалении кислорода и стабильностью по отношению к воде и кислотам, входящим в состав бионефти.

Проведены патентные исследования для определения новизны научных, конструкторских и технологических решений в сравнении с другими работами, родственными по тематике и целевому назначению и определяющими мировой уровень

Выбрано направление и способы решения поставленной задачи, в результате которых будут наработаны и исследованы экспериментальные образцы наноструктурированных бифункциональных катализаторов для последующего их тестирования в гидрокрекинге продуктов пиролиза.

Исследованы методы синтеза катализаторов мягкого гидрокрекинга, в том числе:

- исследована морфология частиц носителя (оксида алюминия) и частиц активных компонентов в восстановленном состоянии, определены характерные размеры кристаллитов,

- проведено детальное исследование текстурных, морфологических, фазовых и других характеристик полученных образцов с использованием комплекса физико-химических методов, включая рентгенофазовый анализ, рентгенофазовый анализ *in situ* в атмосфере водорода, просвечивающая электронная микроскопия (ТЕМ) и электронная микроскопия высокого разрешения (HRTEM), температурно-программируемое восстановление, метод БЭТ и элементный анализ.

Для проведения испытаний экспериментальных образцов катализаторов мягкого гидрокрекинга разработана программа и методика исследовательских испытаний полученных катализаторов в целевой реакции.

Наработана серия носителей катализаторов мягкого гидрокрекинга производных пиролиза лигноцеллюлозы на основе гексаалюмината бария, оксида церия и смешанных оксидов церия и циркония в общем количестве 4.0 кг. Данные анализов и характеристики носителей представлены в таблице.

№ п/п	Наименование	Содержание оксидов металлов, масс. %				Размер частиц мм	Удельная поверхность, м <sup>2</sup> /г	Насыпная плотность г/см <sup>3</sup>	Количество кг
		CeO <sub>2</sub>	ZrO <sub>2</sub>	BaO	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>				
1	Гексаалюминат бария			20	80	1.5-2.0	20	0.75	1.0

2	Смешанный оксид церия и циркония	74	26			1.0-2.0	130	2.2	1.5
3	Оксид церия	98				1.0-2.0	110	2.5	1.5

Проведены исследования приготовленных носителей различными физико-химическими методами (рентгенофазовый анализ, определение текстурных характеристик методом БЭТ, температурно-программируемое восстановление, термогравиметрия, энергодисперсионный рентгеновский микроанализ).

Результаты исследований показали, что:

- приготовление образцов путем соосаждения соответствующих солей обеспечивает получение практически чистой фазы гексаалюмината.

- образцы, прокаленные при 700°C, рентгеноаморфны; формирование однофазной структуры гексаалюмината происходит после прокаливания при 1200, при этом образуются фазы, различающиеся соотношением M/Al и долей кислорода, а именно: SrAl<sub>12</sub>O<sub>19</sub>, BaAl<sub>13,2</sub>O<sub>20,8</sub>, LaAl<sub>11</sub>O<sub>18</sub>.

- синтезированные гексаалюминаты характеризуются высокой удельной поверхностью, которая после обработки при 700°C изменяется в пределах 75 – 160 м<sup>2</sup>/г; увеличение температуры прокаливания приводит к снижению величины удельной поверхности, что является результатом спекания образцов. При этом, значения удельной поверхности образцов, прокаленных при 1200°C, составляют 15 – 22 м<sup>2</sup>/г, что свидетельствует о высокой термостабильности рассматриваемых композиций.

- образцы, синтезированные в интервале температур 700 – 1000°C, являются практически мезопористыми, средний диаметр пор которых составляет ≈ 300 Å. Композиции с указанной пористой структурой могут быть подходящими в качестве носителей катализаторов мягкого гидрокрекинга производных пиролиза лигноцеллюлозы.

- суммарная концентрация льюисовских кислотных центров и суммарная концентрация основных центров на поверхности гексаалюминатов при сопоставимых условиях в зависимости от природы M увеличивается в ряду: BaAl<sub>12</sub>O<sub>19</sub> < SrAl<sub>12</sub>O<sub>19</sub> < LaAl<sub>11</sub>O<sub>18</sub>, при этом наиболее сильные основные центры присутствуют на поверхности BaAl<sub>12</sub>O<sub>19</sub>.

Изучена устойчивость носителей катализаторов к водным и кислым средам, моделирующих условия целевого процесса гидрокрекинга продуктов пиролиза лигноцеллюлозы. Для определения стабильности носителей катализаторов в кислой и водной среде при повышенных температурах ряд наиболее перспективных носителей (CeO<sub>2</sub>, δ-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, гексаалюминат, ZrO<sub>2</sub> и CeO<sub>2</sub> - ZrO<sub>2</sub>) были проведены тесты с уксусной кислотой. Образцы нагревались при температуре 300 °C в течение 48 часов в закрытых ампулах с водным раствором уксусной кислоты (4%). После обработки слабым раствором уксусной кислоты

удельная поверхность всех образцов изменилась, то же самое произошло и с суммарным объемом пор образцов. Максимальное падение величины поверхности наблюдалось в случае  $\delta - \text{Al}_2\text{O}_3$  (с 129 до 29 м<sup>2</sup>/г), объем пор также упал с 0.47 до 0.11 см<sup>3</sup>/г.

Были проведены исследования каталитической активности наноструктурированных катализаторов мягкого гидрокрекинга в реакциях с модельными кислородорганическими субстратами. Сравнительное тестирование Ni-Cu и Ni-образцов в реакции гидродеоксигенации показало, что введение меди в никельсодержащие катализаторы повышает селективность образования алифатических углеводородов по сравнению с ароматическими продуктами. Активность никелевых катализаторов при введении меди увеличивается, в то время как сама по себе медь не проявляет заметной активности в реакции гидродеоксигенации кислородароматических соединений. Исследования синтезированных образцов наноструктурированных катализаторов с использованием ТПВ и РФА показали, что введение меди в никельсодержащие катализаторы приводит к образованию твердого раствора  $\text{Ni}_{1-x}\text{Cu}_x$ , что является одной из причин восстановления NiO при более низких температурах.

Таким образом, введение меди в состав никелевого катализатора позволяет восстанавливаться оксиду никеля, переводя его в активное состояние, в условиях целевого процесса при температуре 300-400°C и давлении 2,0 -6.0 МПа водорода.

Синтезированы и испытаны в соответствии с ПМ исследовательских испытаний 15 экспериментальных образцов наноструктурированных бифункциональных катализаторов мягкого гидрокрекинга производных пиролиза лигноцеллюлозы, содержащих в своем составе наноразмерные частицы активного компонента (никеля и меди), нанесенные на носители ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{ZrO}_2$ ,  $\text{CeO}_2$ ) и стабилизированные модификатором (соединения кремния или бора). Результаты испытаний экспериментальных образцов наноструктурированных бифункциональных катализаторов с реальными продуктами пиролиза лигноцеллюлозы приведены в таблице:

Наименование разрабатываемой продукции	Время проведения испытаний в проточном режиме, час.	Степень деоксигенации (селективность образования продуктов, не содержащих кислород) с образованием неперегоняемого остатка не более 10% (условия перегонки – до 280°C при 10 мм. рт. ст.), масс. %	Содержание кислорода в образцах переработки продуктов пиролиза лигноцеллюлозы (углеводородная фракция), масс. %
Катализатор Ni 20.8/ $\text{Al}_2\text{O}_3$	72	98	4.5
Катализатор NiCu	72	96	2.8

16.2-2/ Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>			
Катализатор NiCu 13.8-6.83/ Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	72	96	1.4
Катализатор NiCu 13.3-11.8/ Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	72	95	2.2
Катализатор NiCu 5.92-18.2/ Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	72	100	1.9
Катализатор Cu 24.5/ Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	72	98	3.3
Катализатор NiCu 29.4-11.2/ZrO <sub>2</sub>	72	95.3	4.0
Катализатор NiCu 33-17/ CeO <sub>2</sub>	72	100	1.5
Катализатор NiCu 32-16/ CeO <sub>2</sub> - ZrO <sub>2</sub>	72	96.6	1.8
Катализатор NiCu 14-7.1/ Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	72	96.5	2.6
Катализатор NiCu 6.2-20.3/ Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	72	98.2	3.2
Катализатор Ni 22.1/ Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	72	97.2	4.0
Катализатор Cu25.3/ Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	72	98	3.7
Катализатор NiCu 33-17/ CeO <sub>2</sub>	72	96	1.5
Катализатор NiCu 33-17/ CeO <sub>2</sub> - ZrO <sub>2</sub>	72	98.8	1.2

В результате выполненных исследований разработана лабораторная методика синтеза наноструктурированных катализаторов бифункциональной природы для процесса мягкого гидрокрекинга производных быстрого пиролиза лигноцеллюлозы с получением органических веществ топливного назначения и сырья для производства продуктов органического синтеза. Нарботана серия (15 шт.) экспериментальных образцов с наноразмерными (1-5 нм) частицами активного компонента (Ni, Cu и их комбинации) на носите-

лях  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{ZrO}_2$ ,  $\text{CeO}_2$ ,  $\text{CeO}_2$ -  $\text{ZrO}_2$  с удельной поверхностью 92-127  $\text{м}^2/\text{г}$ , объемом пор 0,25-0,3  $\text{см}^3/\text{г}$ ;

Для обобщения и оценки результатов исследований наноструктурированных катализаторов мягкого гидрокрекинга были проведены дополнительные эксперименты, необходимые для уточнения полученных закономерностей. Были дополнительно синтезированы катализаторы мягкого гидрокрекинга производных пиролиза лигноцеллюлозы методом пропитки носителя водным раствором нитратов меди и никеля. В качестве носителя использовали сферический  $\text{Al}_2\text{O}_3$  диаметром 1.5 мм (Sasol Company). Перед пропиткой  $\text{Al}_2\text{O}_3$  прокачивали на воздухе при температуре 1000 °С, после пропитки проводили термическую активацию при температуре 350°С.

На установке мягкого гидрокрекинга производных быстрого пиролиза лигноцеллюлозы были проведены испытания полученных образцов наноструктурированных бифункциональных катализаторов. В процессе мягкого гидрокрекинга продуктов гидролиза лигнинной фракции бионефти при температуре-350°С; давлении  $\text{H}_2$  - 3,0 МПа; объемной скорости подачи сырья -  $\text{LHSV}=3 \text{ час}^{-1}$  получены фракции углеводородов с содержанием кислорода менее 5% по весу и теплотворной способностью 28-30 МДж/час. Степень деоксигенации (селективность образования продуктов, не содержащих кислород) с образованием неперегоняемого остатка не более 10% (условия перегонки – до 280°С при 10 мм. рт. ст.) экспериментальных образцов наноструктурированных катализаторов составляет более 95 масс. %.

Для определения стабильности катализаторов в кислой и водной среде при повышенных температурах был проведен тест с уксусной кислотой. Образцы нагревались при температуре 300 °С в течение 48 часов в закрытых ампулах с водным раствором уксусной кислоты (4%). После обработки слабым раствором уксусной кислоты наблюдается изменение удельной поверхности и суммарного объема пор всех образцов.

Для уточнения полученных закономерностей были проведены исследования физико-химических свойств катализаторов мягкого гидрокрекинга продуктов пиролиза биомассы до и после целевого процесса. Детально исследованы текстурные, морфологические, фазовые и другие характеристики полученных образцов катализаторов с использованием комплекса физико-химических методов, включая рентгенофазовый анализ, просвечивающая электронная микроскопия (ТЕМ) и электронная микроскопия высокого разрешения (HRTEM), температурно-программируемое восстановление, метод БЭТ и элементный анализ.

На основании проведенных исследований физико-химических свойств экспериментальных образцов катализаторов и испытаний их каталитической активности с реальными

продуктами пиролиза были выделены следующие образцы катализаторов: NiCu 13.8-6.83/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>; NiCu 33-17/ CeO<sub>2</sub> и NiCu 32-16/ CeO<sub>2</sub>- Zr O<sub>2</sub>. При этом, катализатор NiCu 13.8-6.83/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> был выбран как наиболее перспективный, представляющий интерес для дальнейшей разработки и использования в целевых процессах мягкого гидрокрекинга производных быстрого пиролиза лигноцеллюлозы.

Для проведения работ по исследованию и испытанию синтезированных катализаторов была разработана «Лабораторная методика процесса проведения каталитического гидрокрекинга производных быстрого пиролиза лигноцеллюлозы».

При оценке полноты решения задач и эффективности полученных результатов в сравнении с современным научно-техническим уровнем было отмечено, что основные задачи, которые необходимо было решить при разработке высокоактивных и термо- и кислотостабильных наноструктурированных катализаторов бифункциональной природы для процесса мягкого гидрокрекинга производных быстрого пиролиза лигноцеллюлозы были выполнены полностью в соответствии с требованиями Технического Задания.

По результатам работ выполнена технико-экономическая оценка рыночного потенциала полученных результатов. Стоимость разработанных в Институте Катализа бифункциональных катализаторов, а также условия проведения мягкого гидрокрекинга с реальными продуктами пиролиза показывают высокую коммерческую эффективность полученных результатов. При этом необходимо отметить, что содержание кислорода в образцах переработки продуктов пиролиза лигноцеллюлозы (углеводородная фракция) составляет менее 5 масс.%, а теплотворная способность полученных образцов переработки не менее 28МДж/час. Достаточно очевидны социально-экономические и экологические выгоды применения разработанной продукции.

Разработан проект ТЗ на выполнение опытно-конструкторских работ по теме: «Разработка технологии приготовления высокоактивных и термостабильных наноструктурированных бифункциональных катализаторов мягкого гидрокрекинга производных пиролиза лигноцеллюлозы для получения органических веществ топливного назначения и сырья для производства продуктов органического синтеза».

В ходе выполнения работ в Институте химии новых материалов НАН Беларуси проведены исследования процессов абляционного пиролиза с целью оптимизации процессов быстрого пиролиза в целом и повышения конкурентоспособности данной технологии по сравнению с технологией получения жидкого топлива из ископаемых источников энергии.

Разработана методика анализа продуктов пиролиза. Институт химии новых материалов передал в лабораторию каталитических процессов переработки возобновляемого сырья образцы продуктов пиролиза в общем количестве 5 штук, вес каждого образца 1.0 кг, для их тестирования на оборудовании и катализаторах Института Катализа СО РАН.

Характеристики образцов продуктов пиролиза и данные анализов представлены в таблице:

Характеристики	Наименование образцов				
	1	2	3	4	5
Вода, % вес.	15	18	22	25	21
Значение р-н	2.5	2.8	2.2	2.5	3.0
Плотность, г/см <sup>3</sup>	1.1	1.1	1.18	1.2	1.2
Элементный состав, % вес.					
С	58	56	54	54	55
Н	7.0	6.2	5.9	5.5	6.0
О	34	35	40	40	37
N	0.2	0.2	0.2	0.1	0.1
Зольность, % масс.	0.2	0.15	0.2	0.1	0.2
Теплота сгорания, (МДж / кг)	19	16	16	18	19
Вязкость при 50 °С, сПз	80	85	90	90	85
Содержание, масс. %:					
Кислоты, спирты	7.6	5.4	6.2	5.0	7.7
Альдегиды, кетоны, мономеры лигнина	14.8	14.0	12.1	12.5	12.0
Сахара	34.6	32.0	35.5	37.0	34.1
Экстрактивные вещества	3.7	3.3	3.0	3.5	3.1
Низкомолекулярный лигнин	11.4	11.8	11.1	10.8	12.1
Высокомолекулярный лигнин	3.0	3.5	3.0	3.2	3.2

Также были разработаны альтернативные методики синтеза катализаторов мягкого гидрокрекинга производных пиролиза лигноцеллюлозы двух типов:

- нанесенные катализаторы, приготовленные методом пропитки;
- гетерогенные катализаторы, приготовленные методом соосаждения.

Полученные данные приведены в виде технологических прописей производства партий катализаторов в количестве до 3 кг.

Полученные результаты и разработанные методы могут рассматриваться в качестве основы для получения катализаторов мягкого гидрокрекинга продуктов пиролиза лигноцеллюлозы и разработки каталитических процессов гидрооблагораживания реальной бионефти с целью получения компонентов жидких моторных топлив.

Результаты проведенных НИР могут быть использованы для проведения опытно-конструкторских и опытно-технологических работ, направленных на создание технологической базы получения топлив из возобновляемой биомассы, которая должна реализовываться на предприятиях лесопромышленного комплекса, сельского хозяйства, ТЭК и других предприятиях, которые заинтересованы в диверсификации своей деятельности.

*3.2 Получен охраноспособный результат интеллектуальной деятельности (РИД):*

Патент № 2446098 «Углеродный материал», опубликовано 27.03.2012 г., РФ.

*3.3 По результатам работы опубликовано 4 статьи в ведущих отечественных и зарубежных изданиях.*

#### **4 Области и масштабы использования полученных результатов**

В результате работы по проекту получен наноструктурированный катализатор мягкого гидрокрекинга, перспективный для промышленного использования, а также разработан процесс проведения каталитического гидрокрекинга как модельных кислородорганических соединений, так и реальных смесей продуктов пиролиза лигноцеллюлозы с получением деоксигенированных и крекированных субстратов топливного назначения и для химического синтеза.

Промышленное использование процессов проведения каталитического гидрокрекинга продуктов пиролиза лигноцеллюлозы с применением наноструктурированных катализаторов позволит:

- создать технологическую базу для получения топлив из возобновляемой биомассы.
- внедрить на предприятиях лесопромышленного комплекса технологические процессы и оборудование для производства биотоплива из самого распространенного возобновляемого растительного сырья.
- снизить себестоимость получения жидкого биотоплива.
- значительно увеличить показатель объемной энергетической плотности получаемого топлива с 2-4 ГДж/м<sup>3</sup> для отходов биомассы лесопереработки до, порядка 28 ГДж/м<sup>3</sup>, для синтезированного жидкого биотоплива.

Для включения результатов работы в последующий хозяйственный оборот после выполнения настоящего проекта потребуется выполнение следующих работ:

- разработка технических условий на наноструктурированный бифункциональный катализатор мягкого гидрокрекинга производных пиролиза лигноцеллюлозы.

- разработка технологического регламента на процесс производства наноструктурированных бифункциональных катализаторов мягкого гидрокрекинга производных пиролиза лигноцеллюлозы.

- создание технологической установки для производства наноструктурированных бифункциональных катализаторов мягкого гидрокрекинга производных пиролиза лигноцеллюлозы мощностью до 1.0 тонны в год.

- разработка конструкторской документации на нестандартное технологическое оборудование для технологической установки.

- создание пилотной установки проведения мягкого гидрокрекинга производных быстрого пиролиза лигноцеллюлозы мощностью по исходному сырью до 10 кг./час.

- проведение испытаний катализатора на пилотной установке.

### 5 Показатели выполнения контракта

Показатель	2009 г.		2010 г.		Всего	
	план	факт	план	факт	план	факт
Объем финансирования, млн. руб.	4,0	4,0	4,0	4,0	8,0	8,0
в том числе:						
бюджетные средства, млн. руб.	2,0	2,0	2,0	2,0	4,0	4,0
внебюджетные средства, млн. руб.	2,0	2,0	2,0	2,0	4,0	4,0
Объем продаж (выручки от реализации) новой и усовершенствованной высокотехнологичной продукции, произведенной в результате реализации проекта, млн. руб.	-	-	-	-	-	-
в том числе НДС, млн. руб.	-	-	-	-	-	-
в том числе объем экспорта новой и усовершенствованной высокотехнологичной продукции, произведенной в результате реализации проектов, млн. руб.	-	-	-	-	-	-

Руководитель работ по проекту  
 Зам. директора Института катализа СО РАН,  
 д.т.н. А.С.Носков  
 2010 г.