

АННОТАЦИЯ ПО ПРОЕКТУ

Государственный контракт №14.740.11.0043 от 01 сентября 2010 г.

Тема: «Использование мембранных каталитических систем и СВЧ-активации в конверсии метана и этана в ценные продукты»

Исполнитель: Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт органической химии им. Н.Д. Зелинского РАН, г. Москва, 119991 Москва, Ленинский просп. 47

Ключевые слова: Разделение газов, СВЧ-излучение, катализ, катализаторы, наноматериалы, адсорбенты, парциальное окисление, метан, этан, мембраны, установки с СВЧ-активацией.

1. Цель проекта

1. Формулировка задачи / проблемы, на решение которой направлен реализованный проект (2-3 предложения).

1. Разработка эффективных и селективных катализаторов окислительной конденсации метана в этилен и конверсии метана и этана в бензол, а также ресурсо- и энергосберегающих процессов конверсии компонентов природного газа (метан, этан) в ценные продукты (бензол, этилен, водород, синтез-газ).

2. Подготовка и закрепление в сфере науки и образования научных и научно-педагогических кадров, формирование эффективных и жизнеспособных научных коллективов.

2. Формулировка цели реализованного проекта, места и роли проекта и его результатов в решении задачи/проблемы, сформулированной в п. 1.1 (2-3 предложения).

Разработка новых мембранных катализаторов для процессов окислительного дегидрирования этана, паровой конверсии метана, окислительного сочетания метана с получением этилена и ароматизации метана и использование новых методов активации катализаторов, в частности СВЧ-активации с целью улучшения параметров процесса (конверсия, селективность, производительность) при снижении энергопотребления. Эффективное разделение легких газов (этан, этилен, CO, CO₂, N₂) с использованием новых мембранных систем на основе металлоорганических каркасов типа MOF.

2. Основные результаты проекта (этапа проекта)

1) Краткое описание основных полученных результатов (основные теоретические и экспериментальные результаты, фактические данные, обнаруженные взаимосвязи и закономерности);

Разработаны высокоселективные, в том числе мембранные катализаторы конверсии метана и этана с использованием СВЧ-активации и мембранных технологий, а также мембранные системы для разделения газовых смесей, содержащих CO₂, CO, метан и этан, и продукты их превращения путем окислительного дегидрирования, паровой конверсии, ароматизации и окислительного сочетания. Изготовлены экспериментальные образцы катализаторов (5 образцов по 50 г каждый) и мембран с нанесенными MOF (2 образца по 20 г каждый).

Разработаны Программы двух спецкурсов «Нетрадиционные методы проведения химических (каталитических) процессов» и «СВЧ-технологии в химии» по кафедре общей химии Химического факультета Московского государственного университета им. М.В. Ломоносова и Высший химический колледж РАН. Разработана Программа внедрения результатов НИР в образовательный процесс.

2) Указание основных характеристик созданной научной продукции;

Конверсия в этих процессах составляет:

- в парциальном окислении метана и паровой конверсии метана в синтез-газ - 98%;
- в окислительной конденсации метана и ароматизации метана и этана - выше 30%;
- в окислительном дегидрировании этана в этилен – не ниже 60%.

В разрабатываемых процессах достигнута селективности по целевому продукту не ниже 70-75%, в частности:

- в парциальном окислении метана и паровой конверсии метана в синтез-газ - 98%;
- в окислительной конденсации метана – 70-75%,
- в ароматизации метана и этана - не ниже 90%;
- в окислительном дегидрировании этана в этилен – не ниже 96%.

Использование СВЧ-активации в указанных процессах на ранее созданной коллективом уникальной установки для in-situ СВЧ-активации материалов и катализаторов, которая базируется на проточном мономодовом реакторе резонаторного типа на рабочей частоте 4.0-6.0 ГГц с КПД СВЧ-активации не ниже 97-98% (т.е. вся СВЧ-энергия, генерируемая в системе, включающей генератор и усилитель СВЧ-излучения, расходуется на эффективный нагрев материала, помещенного в реактор) позволило снизить на 80-130С температуру процесса и на 30-40% энергопотребление на осуществление процесса. Кроме того, за счет снижения температуры процесса удалось дополнительно повысить селективность каталитических процессов и повысить стабильность катализаторов.

Разработаны мембранные системы для эффективного разделения газовых смесей, содержащих CO₂, CO, и продукты конверсии метана и этана с использованием металлоорганических каркасных структур (MOF), нанесенных на керамические и гибридные мембраны.

3) Описание новизны научных решений;

В качестве базовых катализаторов процессов использованы массивные смешанные оксидные катализаторы и нанесенные металлические катализаторы и те же каталитические системы на керамических мембранных носителях. В качестве катализаторов окислительного дегидрирования разработаны оригинальные смешанные оксидные катализаторы. Новый подход позволяет практически использовать такие соотношения этан/O₂, которые недопустимы в газовых смесях по соображениям безопасности. Максимальный достигнутый на данный момент эффект: повышение конверсии этана за один проход с 50% до 70% при сохранении селективности на уровне 95-98%. Разработаны новые мембранные системы для адсорбционного разделения легких газов и реакционной смеси, которая может содержать легкие углеводороды, водород, CO и CO₂. Для этой цели применены металлоорганические каркасные структуры (MOF, metal organic frameworks) типа MOF-5, MIL-177, MIL-199, представляющие собой высокопористые координационные полимеры типа поликарбоксилатов металлов и характеризующиеся исключительно высокой пористостью (объем пор до 1.5 см³/г, удельная поверхность до 5000 м²/г). Металлоорганические каркасные структуры впервые нанесены на керамические мембраны для увеличения эффективности разделения. Новизна научных разработок связана также с использованием СВЧ-активации катализатора.

4) Сопоставление с результатами аналогичных работ, определяющими мировой уровень.

Наиболее выдающиеся результаты получены для окислительного дегидрирования этана в этилен, по показателям конверсии, селективности и производительности (до 60%, 98% и 2 г этилена на 1 г катализатора в час) разработанные катализаторы значительно превосходят известные из мировой практики (30%, 92% и 0.2 г/г час, соответственно). Для других процессов известные показатели перекрыты при использовании СВЧ-активации

катализатора. Для процессов разделения легких газов мембранные системы на основе MOF в мировой практике не описаны, поэтому разработанные в проекте системы не имеют аналогов.

3. Назначение и область применения результатов проекта (этапа проекта)

1) *Описание областей применения полученных результатов (области науки и техники; отрасли промышленности и социальной сферы, в которых могут или уже используются полученные результаты или созданная на их основе инновационная продукция);*

В настоящее время проблема конверсии метана в ценные продукты, а также разделения газовых смесей, содержащих легкие газы (метан, этан и др.) весьма актуальна. Существующие методы неселективны, требуют жестких условий процесса. Имеются недостатки и у катализаторов (низкая селективность, высокие температуры, низкая стабильность). Разработка новых мембранных катализаторов для процессов окислительного дегидрирования этана, паровой конверсии метана, окислительного сочетания метана с получением этилена и ароматизации метана и использование новых методов активации катализаторов, в частности СВЧ-активации позволят значительно улучшить параметры процесса (конверсия, селективность, производительность) при снижении энергопотребления. Не менее актуальна и проблема разделения легких газов (алканы и алкены C1-C2, CO, CO₂, N₂). Новые мембранные системы на основе металлоорганических каркасов типа MOF позволят значительно повысить эффективность разделения. Поэтому области применения новых разработанных высокоселективных катализаторов и мембранных систем для каталитических процессов конверсии метана и этана, а также разделения газовых смесей, содержащих продукты конверсии метана и этана либо смеси на основе метана (например, биогаз) и новых методов их активации, в частности, СВЧ-активации, могут быть использованы в различных областях и отраслях промышленности: нефте- и газохимии, переработке отходов.

2) *Описание направлений практического внедрения полученных результатов или перспектив их использования;*

Применение СВЧ-технологий позволяет снизить энергопотребление в указанных процессах, как минимум, в 1.5-2 раза. В случае получения новых наноматериалов в СВЧ-условиях могут быть получены принципиально новые материалы, которые не образуются в термических условиях или являются метастабильными, как было показано на примере смешанных оксидных композиций, использующихся в качестве катализаторов окислительного дегидрирования. В случае осуществления каталитических процессов в СВЧ-режимах может быть достигнут выигрыш в активности катализаторов при заданной температуре (до 2-5 раз), селективности процесса (на 15-30%), стабильности работы катализатора (за счет подавления нежелательных побочных процессов, приводящих к продуктам уплотнения, которые дезактивируют катализатор). Также возможно снижение температуры начала каталитического процесса, что может быть существенно для решения экологических задач. Наконец, существенное преимущество СВЧ-технологий связано с возможностью мгновенного включения и выключения каталитического процесса, что важно в случае парциального окисления углеводородов, когда продукт окисляется легче, чем исходное соединение и требуется мгновенная закалка реакционной смеси. Распространение подобных установок для исследовательских целей позволит сократить разрыв в разработке новых каталитических и нанотехнологий, пока еще существующий между работами российских и западных ученых.

3) *Оценка или прогноз влияния полученных результатов на развитие научно-технических и технологических направлений; разработка новых технических решений; на*

изменение структуры производства и потребления товаров и услуг в соответствующих секторах рынка и социальной сферы.

Оценка или прогноз влияния полученных результатов, товаров и услуг, созданных на основе полученных результатов, на развитие науки, техники, экономики и социальной сферы России: разработка и последующее внедрение новой технологии, основанной на использовании СВЧ-обработки для получения наноматериалов, в том числе нанесенных наночастиц оксидов металлов, активации катализаторов и других материалов, каталитических процессов конверсии метана и этана в ценные продукты позволит сократить энергопотребление на 20-30%, увеличить активность катализаторов, повысить селективность каталитических процессов и снизить температуру начала реакции, а также позволит создать новые материалы, в том числе наноматериалы, которые невозможно получить традиционными методами.

4) Описание ожидаемых социально-экономических и др. эффектов от использования товаров и услуг, созданных на основе полученных результатов (повышение производительности труда, снижение материало- и энергоёмкости производства, уменьшение отрицательного техногенного воздействия на окружающую среду, снижение риска смертности, повышение качества жизни и т.п.).

Социоэкономический эффект от внедрения СВЧ- и мембранных технологий связан не только со снижением энергопотребления в химических, в частности каталитических процессах, и в процессах получения новых материалов, но и со снижением выбросов разрабатываемых процессов, снижением нагрузки на окружающую среду и повышением экологической составляющей химической промышленности.

5) Описание существующих или возможных форм коммерциализации полученных результатов: организация производства продукции и/или оказание услуг, в том числе с образованием нового юридического лица или без него; заключение лицензионных договоров, заключение договоров уступки прав на РИД, либо указать: «Коммерциализация проектом не предусмотрена».

Объектом реализации потребителям по итогам выполнения проекта являются:

- коммерческое предложение по применению СВЧ-активации и мембранных технологий для приготовления нанокатализаторов процессов конверсии метана и этана в олефины и синтез-газ с использованием СВЧ-активации и мембранных технологий и адсорбентов для разделения газовых смесей, содержащих CO₂, CO, метана и этана, и продукты их конверсии.

- "ноу-хау", патенты, заключение лицензионных договоров или договоров уступки прав на РИД;

6) Описание видов новой и усовершенствованной продукции (услуги), которые могут быть созданы или уже созданы на основе полученных результатов интеллектуальной деятельности (РИД); указание предполагаемых или фактических рынков сбыта (с указанием сегмента, емкости и доли рынка и прогноза развития рынков сбыта на 5 лет), прогнозируемых или фактических объемов продаж на внутреннем и внешних рынках, предполагаемых сроков окупаемости.

Новая и усовершенствованная продукция, которая может быть создана на основе полученных результатов интеллектуальной деятельности включает новые технологии конверсии метана и этана в этилен и синтез-газ, новые составы катализаторов, новые методы активации известных катализаторов, новые системы для разделения легких газов. Рынки для таких систем практически не ограничены (как в России, так и в других газо- и нефтедобывающих странах. Наиболее важной задачей в настоящее время является выбор партнеров для коммерциализации разработанных систем, в первую очередь катализаторов окислительного дегидрирования этана в этилен.

4. Достижения молодых исследователей – участников Проекта (этапа проекта)

Краткая информация (2-3 предложения) о наиболее значительных достижениях молодых исследователей в следующем формате:

В проекте принимали участие молодые кандидаты наук: к.х.н., н.с. Михайлов М.Н., Черникова Е.А., Коклин А.Е. При их непосредственном участии удалось значительно улучшить показатели для процесса окислительного дегидрирования этана в этилен, превосходящие мировой уровень, что позволит использовать полученные результаты в разработке новой технологии конверсии этана и продолжить исследования в направлении отработки технологии производства катализатора.

В проекте принимали участие молодые исследователи - м.н.с. без степени: Баркова М.А., Глухов Л.М. При их непосредственном участии удалось синтезировать новые керамические мембранные системы для разделения легких газов, превосходящие мировой уровень, что позволит использовать полученные результаты в дальнейшей разработке систем разделения в процессах конверсии метана и этана в ценные продукты (этилен, синтез-газ) и продолжить исследования в направлении отработки технологии производства мембран для разделения.

В проекте принимали участие молодые исследователи - аспиранты: Кирилин А.В., Афонина Е.А., Джунгурова Г.Е., Кустов А.Л., Головина Н.Б., Редина Е.А. При их непосредственном участии удалось получить новые результаты с использованием СВЧ-активации в изученных каталитических процессах, превосходящие мировой уровень, что позволит использовать полученные результаты в разработке новых каталитических СВЧ-технологий и продолжить исследования в направлении масштабирования этих эффектов.

В проекте принимали участие молодые исследователи - студенты: Алимов С.М., Лобко К.В., Гризик А.В., Эдняшева Ц.Н., Фридман Н.С. При их непосредственном участии удалось приготовить новые типы мембранных катализаторов и сисет для разделения легких газов, соответствующие и превосходящие мировой уровень, что позволит использовать полученные результаты в дальнейшем усовершенствовании катализаторов конверсии метана и этана и продолжить исследования в направлении увеличения их стабильности.

5. Опыт закрепления молодых исследователей – участников Проекта (этапа проекта) в области науки, образования и высоких технологий

Информация о закреплении молодых исследователей – участников Проекта (зачисление в аспирантуру или принятие на работу в учреждения высшего профессионального образования, научные организации, предприятия оборонно-промышленного комплекса, энергетической, авиационно-космической, атомной отраслей и иных приоритетных для Российской Федерации отраслей промышленности, а также другие используемые формы закрепления кадров). Описание проблем, возникших в ходе закрепления молодых исследователей.

За время выполнения проекта на работу были зачислены следующие молодые специалисты: Баркова М.А., Афонина Е.А., Кустов А.Л., Головина Н.Б., Редина Е.А. Проблем с закреплением молодых специалистов не возникало. После окончания ВУЗа в аспирантуру будет зачислен также Алимов С.М.

6. Перспективы развития исследований

1) Информация о том, насколько участие в ФЦП способствовало формированию новых исследовательских партнерств. Участвует ли НОЦ в проектах по 7-й рамочной Программе Евросоюза (с указанием названия проектов и перечня партнеров по ним).

Участие в ФЦП безусловно способствовало формированию новых исследовательских партнерств, в частности с российскими ВУЗами (МАТХТ, Химический факультет МГУ). НОЦ в настоящее время не участвует в проектах по 7-й рамочной Программе Евросоюза, но выполнял проект в 6-й рамочной программе и было подано около 5 проектов в 2011-2012 годах совместно с более, чем 25 участниками из стран Евросоюза. Один из этих проектов прошел первую стадию экспертизы, но был отклонен на второй стадии.

2) Краткая информация о проектах НОЦ по аналогичной тематике.

В настоящее время получены два новых гранта, посвященных моделированию и разработке новых каталитических систем: по темам «Механизмы химических и каталитических процессов, формирования активных интермедиатов и активных центров, структурные исследования наноразмерных материалов» (номер заявки в информационной компьютеризированной системе «2012-1.1-12-000-1014-051», соглашение № 8441 между Министерством образования и науки Российской Федерации и Российской академией наук и Федеральным государственным бюджетным учреждением науки Институтом органической химии им. Н.Д. Зелинского Российской академии наук о предоставлении гранта в форме субсидии от 31 августа 2012 г.) и «Направленный синтез промышленно важных биологически активных веществ и материалов» (номер заявки в информационной компьютеризированной системе «2012-1.1-12-000-1013-006», соглашение № 8431 между Министерством образования и науки Российской Федерации и Российской академией наук и Федеральным государственным бюджетным учреждением науки Институтом органической химии им. Н.Д. Зелинского Российской академии наук о предоставлении гранта в форме субсидии от 31 августа 2012 г.)

3) Информация о том, сотрудничество с какими странами и исследовательскими центрами может способствовать наибольшей отдаче для развития в России технологий в области исследования, а также для выхода российской продукции на региональные и глобальные рынки.

Наиболее перспективно сотрудничество с Финляндией, Данией, Испанией и Голландией.

7. Сведения в табличном формате:

| | |
|--|---------------------------------|
| <i>Сведения о результатах интеллектуальной деятельности, полученных в ходе исполнения Государственного контракта (этапа проекта)</i> | <i>Приложение 1 к аннотации</i> |
| <i>Сведения о публикациях, выпущенных в ходе исполнения Государственного контракта (этапа проекта)</i> | <i>Приложение 2 к аннотации</i> |
| <i>Сведения о диссертациях, подготовленных в ходе исполнения Государственного контракта (этапа проекта)</i> | <i>Приложение 3 к аннотации</i> |
| <i>Сведения о выступлениях на конференциях, проведенных в ходе исполнения Государственного контракта (этапа проекта)</i> | <i>Приложение 4 к аннотации</i> |
| <i>Сведения о внедрении результатов проекта в образовательный процесс, полученных в ходе исполнения Государственного контракта (этапа проекта)</i> | <i>Приложение 5 к аннотации</i> |

| | |
|---|--------------------------|
| Сведения об исполнителях Государственного контракта (этапа проекта) | Приложение 6 к аннотации |
|---|--------------------------|

Руководитель работ по проекту

Зав. лаб., д.х.н., проф.

Л.М. Кустов

Руководитель организации-исполнителя:

Директор ИОХ РАН



М.П. Егоров

15 октября 2012 г.

М.П.

Отчет
о достижении заданных значений Программных индикаторов и показателей
выполнения работ по государственному контракту от 01 сентября 2010 г. № 14.740.11.0043,
за 6 этап 2012 года
Шифр заявки «2010-1.1-213-080-012»

| № показателя | Наименование программных индикаторов | Требование Государственного контракта | | | Достигнуто к началу этапа | Приращение за отчетный этап | Достигнуто на конец отчетного этапа |
|--------------|--|---------------------------------------|----------|-----------------|---------------------------|-----------------------------|-------------------------------------|
| | | Ед. изм. | Значение | Срок достижения | | | |
| И.1.1.1 | Количество кандидатов наук – исполнителей НИР, представивших докторские диссертации в диссертационный совет | чел. | 2 | 11/15/2012 | 1 | 1 | 2 |
| И.1.1.2 | Количество аспирантов – исполнителей НИР, представивших кандидатские диссертации в диссертационный совет | чел. | 4 | 11/15/2012 | 3 | 1 | 4 |
| И.1.1.3 | Количество студентов, аспирантов, докторантов и молодых исследователей, закрепленных в сфере науки, образования и высоких технологий (зачисленных в аспирантуру или образовательной организации на полную ставку, принявших участие в работах в течение всего срока реализации НИР) | чел. | 7 | 11/15/2012 | 7 | 0 | 7 |
| И.1.1.4 | Количество исследователей – исполнителей НИР, результаты работы которых в рамках НИР опубликованы в высокорейтинговых российских и зарубежных журналах | чел. | 11 | 11/15/2012 | 13 | 0 | 13 |
| № показателя | Наименование программных показателей | Требование Государственного контракта | | | Достигнуто к началу этапа | Приращение за отчетный этап | Достигнуто на конец отчетного этапа |
| | | Ед. изм. | Значение | Срок достижения | | | |
| П.1.1.1 | Количество докторов наук – исполнителей НИР, работающих в научной или образовательной организации на полную ставку, принявших участие в работах в течение всего срока реализации НИР | чел. | 6 | 11/15/2012 | 6 | 0 | 6 |
| П.1.1.2 | Количество молодых кандидатов наук – исполнителей НИР, работающих в научной или образовательной организации на полную ставку, принявших участие в работах в течение всего срока реализации НИР | чел. | 7 | 11/15/2012 | 7 | 0 | 7 |
| П.1.1.3 | Количество аспирантов, принявших участие в работах в течение всего срока реализации НИР | чел. | 7 | 11/15/2012 | 7 | 0 | 7 |
| П.1.1.4 | Количество студентов, принявших участие в работах в течение всего срока реализации НИР | чел. | 8 | 11/15/2012 | 9 | 0 | 9 |
| П.1.1.5 | Доля привлеченных на реализацию НИР внебюджетных средств от объема средств федерального бюджета | % | 22.0% | 11/15/2012 | 17.86% | 4.22% | 22.08% |
| П.1.1.6 | Доля фонда оплаты труда молодых участников НИР (молодых кандидатов наук, аспирантов и студентов) в общем объеме фонда оплаты труда по НИР | % | 55.0% | 11/15/2012 | 55.49% | -0.5% | 55.0% |
| № показателя | Наименование программных показателей и индикаторов (в целом по организации - исполнителю НИР) | Требование Государственного контракта | | | На начало этапа | Изменение за отчетный этап | На конец отчетного этапа |
| | | Ед. изм. | Значение | Срок достижения | | | |
| Ц 1.1 | Общая численность научных сотрудников организации | чел. | | | 473 | 0 | 473 |
| Ц 1.2 | Численность научных сотрудников организации в возрасте 30 - 39 лет (включительно) | чел. | | | 83 | 0 | 83 |
| Ц 3.1 | Общая численность ППС организации | чел. | | | 62 | 0 | 62 |
| Ц 3.2 | Численность ППС в возрасте до 39 лет (включительно) | чел. | | | 23 | 0 | 23 |
| Ц 4.1 | Численность научных сотрудников организации в возрасте до 39 лет (включительно) | чел. | | | 156 | 0 | 156 |
| Ц 4.2 | Численность научных сотрудников организации - докторов наук до 39 лет (включительно) | чел. | | | 3 | 0 | 3 |
| Ц 4.3 | Численность научных сотрудников организации - кандидатов наук до 39 лет (включительно) | чел. | | | 44 | 0 | 44 |
| Ц 5.2 | Численность ППС организации - докторов наук | чел. | | | 32 | 0 | 32 |
| Ц 5.3 | Численность ППС организации - кандидатов наук | чел. | | | 30 | 0 | 30 |
| Ц 6.1 | Количество аспирантов, принявших участие в работах по данной НИР (на основе П.1.1.3.) | чел. | 7 | 11/15/2012 | 7 | 0 | 7 |
| Ц 6.2 | Количество аспирантов, принявших участие в работах по данной НИР, представивших диссертации в диссертационный совет (на основе И.1.1.2) (нарастающим итогом с начала реализации НИР) | чел. | 4 | 11/15/2012 | 3 | 1 | 4 |
| Ц 6.3 | Количество докторантов, принявших участие в работах по данной НИР (выборка П.1.1.2. в статусе докторантов) | чел. | 2 | 11/15/2012 | 1 | 1 | 2 |
| Ц 6.4 | Количество докторантов, принявших участие в работах по данной НИР, представивших диссертации в диссертационный совет (выборка П.1.1.2. и И.1.1.1. в статусе докторантов) (нарастающим итогом с начала реализации НИР) | чел. | 2 | 11/15/2012 | 1 | 1 | 2 |
| Ц 9.1 | Количество исследователей - исполнителей данной НИР (научных сотрудников, ППС, аспирантов) (без учета студентов) | чел. | 20 | 11/15/2012 | 20 | 0 | 20 |
| Ц 9.2 | Количество исследователей - исполнителей данной НИР (научных сотрудников, ППС, аспирантов), результаты работы которых в рамках данной НИР опубликованы в высокорейтинговых российских и зарубежных журналах (Web of Science, Scopus, Российский индекс цитирования) (нарастающим итогом) | чел. | 11 | 11/15/2012 | 13 | 0 | 13 |

Дата отчета: __10__ октября __2012__ г.

Руководитель организации - исполнителя НИР

_____ (__Егоров М.П.__)

подпись

Ф.И.О.

(М.П.)