

Материалы, разработанные в международных проектах и вошедшие в конкурсную заявку на премию «Глобальная энергия»

- 9 проектов Международного Научно-Технического Центра (МНТЦ);
- 7 проектов Нидерландской организации по научным исследованиям (NWO);
- 2 проекта COPERNICUS;
- 4 проекта INTAS;
- 3 проекта Японской Организации по развитию новой энергетики и промышленных технологий (NEDO);
- Контракт № 6600028821 «Окислительное обессеривание жидких топлив» совместно с Saudi Aramco;
- Проект DEMCAMER 7-й Рамочной Европейской программы;
- 5 международных проектов РФФИ и РФНФ;
- Интеграционные проекты СО РАН и с академиями наук Азербайджана, Беларуси, Казахстана и Украины.

Важные научные достижения и направления, развиваемые под руководством З.Р. Исмагилова (со списком диссертаций, написанных под его руководством / при его участии)

«Перечисление важных научных направлений и достижений будем сопровождать и списком наших диссертаций по каждому направлению, это будет полезная информация для молодого поколения сотрудников Института», – поясняет Зинфер Ришатович (далее от первого лица).

• Исследование и результаты в области использования катализаторов для сжигания топлив

Речь идет о беспламенном явлении горения топлива, когда на поверхности катализаторов идет окисление углеводородов, при этом выделяется тепло и, поскольку нет пламени, не образуются вредные токсичные газы, CO, сажа, а самое главное — отсутствуют оксиды азота. По сути, это беспламенное низкотемпературное сжигание топлива. Данная технология изначально предложена моим учителем, академиком Георгием Константиновичем Боресковым. Еще в 1968 году он пригласил меня, студента ФЕН НГУ, в лабораторию окисления, и мы начали заниматься этой тематикой.

Сначала были получены результаты по окислению водорода — мы изучили механизм окисления водорода изотопными методами, установили закономерности в ряду катализаторов и предложили более активные для этого процесса катализаторы. Тогда на наши исследования с водородом многие смотрели как на экзотику, а теперь эта тематика низкотемпературного, вплоть до комнатной температуры, каталитического окисления водорода становится актуальной в связи с развитием водородной энергетики, топливных элементов и так далее.

В дальнейшем под руководством Г.К. Борескова талантливым ученым Э.А. Левицким данная идея была развита до технологии. Мы сжигаем топливо в слое катализатора и в этом же слое проводим другой химический процесс — это кипящий, или псевдооживленный слой твердых частиц катализатора. По итогу были созданы так называемые каталитические генераторы тепла (КГТ), по существу котлы — аппараты с кипящим слоем. Как вы понимаете, для осуществления этого процесса нужны очень прочные катализаторы, и мы выполнили большую серию фундаментальных материаловедческих исследований для создания технологии производства высокопрочных сферических алюмооксидных носителей диаметром от 0,5 до 3 мм и активных и низко истираемых катализаторов на этих носителях.

• Окисление водорода

1. Исмагилов Зинфер Ришатович, «Исследование механизма реакции каталитического окисления водорода на окислах переходных металлов IV периода методом кинетического изотопного эффекта» (1974)

• Алюмооксидные носители и катализаторы для КГТ

2. Шепелева Марина Наумовна, «Разработка способа получения высокопрочного сферического оксида алюминия — носителя катализаторов для каталитических генераторов тепла» (1986)
3. Кириченко Ольга Алексеевна, «Исследование стабильности структурно-механических свойств катализаторов в условиях сжигания топлив и разработка оксидных и разработка оксидных алюмомагнийхромов катализаторов для КГТ» (1987)
4. Корябкина Наталья Анатольевна, «Научные основы приготовления и разработка способа получения высокопрочных магнийсодержащих алюмооксидных носителей» (1993)
5. д.х.н. Шкрабина Римма Ароновна, «Закономерности формирования и регулирования физико-химических и структурно-механических свойств сферических алюмооксидных носителей» (1997)
6. Лазарева Светлана Валерьевна, «Синтез и исследование ураноксидных катализаторов» (2011)

• **Исследование окисления различных классов органических соединений**

7. Добрынкин Николай Михайлович, «Исследование относительной реакционной способности и механизма глубокого каталитического окисления кинетическими и изотопными методами» (1984)
8. Сушарина Татьяна Лоэнгриновна, «Исследование закономерностей глубокого каталитического окисления азотсодержащих органических соединений. Пути снижения выбросов оксидов азота при сжигании топлив в каталитических генераторах тепла» (1986)
9. Арндарский Дмитрий Александрович, «Исследование природы активного компонента катализаторов КГТ комплексом физико-химических методов» (1989)
10. Зайниева Инлик Жумажановна, «Специальная тематика ДСП» (1990)
11. Исмагилов Ильяс Зинферович, «Специальная тематика ДСП»
12. Заборцев Григорий Михайлович, «Исследование и разработка процесса озон-каталитического окисления паров органических веществ» (1998)

• **Исследования гетерогенно-гомогенного механизма каталитических реакций окисления**

Каталитическое сжигание водорода и органических топлив часто сопровождается выходом реакции в объем газовой фазы и может продолжаться по одному из цепных механизмов. Нами были выполнены пионерские исследования гетерогенно-гомогенного механизма каталитических реакций окисления углеводородов и спиртов методом прямой регистрации радикалов в газовой фазе над катализатором. Впервые накопление газофазных радикалов, образующихся над катализатором, для этих реакций проводилось по оригинальной методике вымораживания непосредственно в резонаторе ЭПР спектрометра, что позволило количественно описать кинетику этих реакций и установить детальный механизм.

13. Пак Сергей Николаевич, «Исследование образования свободных радикалов при взаимодействии аминов и спиртов с кислородом на нанесенных алюмомеднохромово и алюмоплатиновомкатализаторах глубокого окисления» (1990)
14. Криштопа Лариса Геннадьевна, «Изучение закономерностей образования RO₂ радикалов при взаимодействии спиртов с кислородом на оксидах переходных металлов IV периода» (1991)

• **Технологические применения каталитических генераторов тепла (КГТ)**

Совместно с красноярскими коллегами были выполнены масштабные исследования по сжиганию и газификации Канско-Ачинских углей в КГТ. В дальнейшем наша технология нашла применение в разных областях, в том числе, например, для сжигания в кипящем слое катализатора сточных вод и иловых осадков. Так, в прошлом году в Омске ГК «Росводоконал» запустил в эксплуатацию установку по сжиганию иловых осадков, созданную по технологии КГТ.

15. Кутакова Диана Алексеевна, «Глубокое окисление жидких промышленных отходов и иловых осадков в каталитических генераторах тепла» (1987)
16. д.х.н. Исмагилов Зинфер Ришатович, «Закономерности глубокого каталитического окисления некоторых классов органических соединений и развитие научных основ каталитического сжигания топлив в каталитических генераторах тепла» (1988)

17. Хайрулин Сергей Рифович, «Исследование реакции прямого каталитического окисления сероводорода и разработка технологий очистки газов от сероводорода» (1998)
18. д.х.н. Островский Юрий Владимирович, «Разработка технологий обезвреживания жидких и газообразных отходов предприятий атомной промышленности» (1999)

- **Сотовые блочные и структурированные катализаторы**

Мы разработали сотовые блочные катализаторы, создали малое предприятие «КерамЭк», производили катализаторы на высокопористых ячеистых материалах (ВПЯМ), катализаторы на волокнистых и стеклотканевых материалах.

Совместно с коллегами из Центрального института авиационного моторостроения им. П.И. Баранова мы успешно испытали опытные каталитические камеры сгорания газовых турбин мощностью 250 кВт. Достигнуты минимальные выбросы оксида углерода и оксидов азота на уровне 5–6 ppm, против 500 ppm и более при традиционном пламенном сжигании.

Успешным примером использования блочных катализаторов является двухстадийное сжигание топлив. Например, на одном из хозяйств под Новосибирском у нас уже больше десяти лет работают смесительные каталитические теплогенераторы с сотовыми блочными катализаторами по отоплению теплиц. Вместо того, чтобы строить котельную, прокладывать линии для отопления и циркулирования горячей воды, устанавливать радиаторы, делается следующее: в теплице площадью 800 кв. м ставятся две маленькие установки диаметром всего 30 см. Они сжигают природный газ и отапливают теплицы в холодный сезон. Подобная технология показала себя удивительно экономичной и экологически чистой.

Волокнистые и тканевые катализаторы используются в производстве бытовых теплонагревателей серии «Термокат 1» и «Термокат 2».

19. Подъячева Ольга Юрьевна, «Разработка и исследование перовскитных катализаторов на металлических ячеистых носителях» (1998)
20. Кетов Александр Анатольевич, «Разработка оксидных кобальтхромовых катализаторов высокопроницаемой ячеистой структуры» (1991)
21. Коротких Ольга Владимировна, «Разработка физико-химических основ приготовления хромсодержащих блочных катализаторов сотовой структуры для процессов газоочистки» (1993)
22. Алдашукурова Гульмира Бахытжановна, «Разработка наноструктурированных каталитических систем на основе стеклоткани для процессов переработки легкого углеводородного сырья» (2012)
23. Ph.D. Protasova L.N., “Development of advanced mesostructured catalytic coatings on different substrates for fine chemical synthesis” (2012)
24. Гаврилова Анна Алексеевна, «Исследование особенностей формирования оксидных блочных катализаторов полного окисления: влияние состава и метода приготовления» (2018)

- **Исследования и разработка технологий для очистки топлив**

Это направление для решения множества экологических проблем. В первую очередь мы занимались очисткой от соединений серы и в результате разработали технологию очистки попутных нефтяных газов от сероводорода. Мы начали с исследования механизмов процесса окисления сероводорода, в результате полного окисления обычно получается сернистый газ (серная кислота). Необходимо было научиться останавливать данный процесс на стадии получения элементарной серы, чтобы сера дальше не окислялась. Мы смогли найти катализаторы, которые способствуют селективному превращению сероводорода в элементарную серу (Хайрулин С.Р., «Исследование реакции прямого каталитического окисления сероводорода и разработка технологий очистки газов от сероводорода», 1998).

В промышленности эта технология реализована в кипящем слое (вариант КГТ) с использованием сферических катализаторов и в неподвижном слое с использованием блочных катализаторов. Так, за десять лет работы на одном из месторождений Республики Татарстан на установке очистки попутного нефтяного газа от сероводорода переработали около семи тысяч тонн сероводорода, предотвратив выброс в атмосферу до пятнадцати тысяч тонн серной кислоты (это 250 железнодорожных цистерн). Сегодня по всей Республике действует уже несколько установок, ведутся переговоры по широкому

применению технологии на территории Казахстана, одна установка на стадии пусконаладки. ПАО «Новатэк» приняла разработанную нами технологию «ДИРОКС» как базовую. Примечательно, что в сотрудничестве с данной компанией мы выиграли международный тендер в конкуренции с самыми авторитетными западными компаниями (Shell и Haldor Topsoe), что еще раз подтверждает уникальную экологичность и высокую перспективность нашей технологии.

- **Окислительная очистка моторных топлив**

Разработаны научные основы, синтезированы, исследованы и запатентованы катализаторы для ультраглубокой гидроочистки моторных топлив от дибензотиофенов, высокая активность которых обеспечивается оптимальным взаимодействием ансамбля наночастиц активного компонента и носителя. Эти исследования мы проводили совместно с Saudi Aramco. Получено более 20 патентов в западных странах.

25. Сальников Антон Васильевич, «Окислительная очистка дизельной фракции от сернистых соединений на медь-цинк-алюмооксидных катализаторах» (2017)

- **Синтез углеродных наноматериалов и катализаторов на них**

В химии углеродных нано-материалов выполнен большой цикл работ по синтезу и исследованию закономерностей формирования углеродных нановолокон (УНВ), детально изучены структурные, текстурные, адсорбционные и электрофизические свойства УНВ. Разработаны методы получения и наработан широкий ряд различных углеродных наноматериалов: УНВ, N-УНВ, O-УНВ, O,N-УНВ, МУНТ, N-МУНТ, O-МУНТ и O,N-МУНТ. Разработаны оригинальные методики модифицирования углеродных наноматериалов, позволяющие варьировать содержание гетероатомов и их состояние: (1) введение атомов азота путем прямого встраивания в углеродную структуру в ходе каталитического роста углеродного материала (N-УНВ и N-МУНТ); (2) введение атомов кислорода путем окислительной обработки синтезированных углеродных наноматериалов (O-УНВ, O,N-УНВ и O-МУНТ) и (3) введение атомов азота путем постобработки синтезированного углеродного материала азотсодержащими соединениями.

Полученные данные влияния способа синтеза на физико-химические свойства углеродных наноматериалов (химический состав, химический состав поверхности, морфология, структура, дефектность и др.) позволяют обоснованно выходить на коммерциализацию методов синтеза, в том числе электродных материалов для суперконденсаторов нового поколения.

26. Решетенко Татьяна Валентиновна, «Разработка биметаллических катализаторов на основе металлов подгруппы железа для получения углеродных мезопористых материалов из метана» (2003)
27. Шалагина Анастасия Евгеньевна, «Каталитический синтез и исследование азотсодержащих углеродных нановолокон» (2008)
28. Жандосов Жакпар Маратович, «Модифицированные углеродные наноматериалы на основе рисовой шелухи и абрикосовых косточек» (2010)
29. д.х.н. Барнаков Чингиз Николаевич, «Синтез нанопористых углеродных материалов из модифицированного углеродного сырья и исследование их физико-химических свойств» (2012)
30. д.х.н. Подъячева Ольга Юрьевна, «Углеродные нановолокна, допированные азотом, и нанокompозиты на их основе: синтез, физико-химические свойства и применение» (2015)

- **Исследования в области цеолитных катализаторов для облагораживания и очистки углеводородных топлив**

- **Создание катализаторов очистки отработавших газов двигателей внутреннего сгорания**

31. Яшник Светлана Анатольевна, «Изучение селективного каталитического восстановления NO пропаном и особенностей электронного состояния меди в Cu-ZSM-5 катализаторах» (2004)
32. Матус Екатерина Владимировна, «Синтез и исследование Mo/ZSM-5 катализаторов дегидроароматизации метана» (2007)
33. Михайлова Екатерина Сергеевна, «Исследование очистки сырого каменноугольного бензола методом озонлиза» (2017)

- **Синтез и исследование наноразмерных оксидных материалов**
 34. Бессуднова Елена Владимировна, «Синтез и исследование наноразмерных частиц диоксида титана для применения в катализе и нанобиотехнологиях» (2014)
- **Синтез материалов для сорбции и хранения метана**
 35. Манина Татьяна Сергеевна, «Получение и исследование высокопористых углеродных сорбентов на основе естественно окисленных углей Кузбасса» (2013)
 36. Потоккина Роза Равильевна, «Исследование взаимосвязей сорбции метана углями Печорского угольного бассейна с их физико-химическими свойствами» (2015)
- **Решение экологических проблем угледобывающих и перерабатывающих регионов**
 37. д.х.н. Жеребцов Сергей Игоревич, «Алкилирование спиртами твердых горючих ископаемых низкой степени углефикации» (2017)
 38. д.х.н. Журавлева Наталья Викторовна, «Обоснование, разработка и развитие методов оценки влияния добычи и переработки углей Кузнецкого угольного бассейна на экологическое состояние природной среды» (2017)