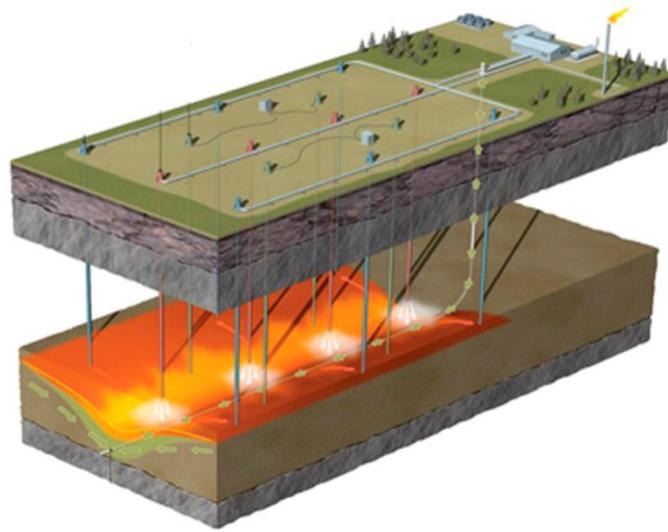




Центр превосходства в области новых технологий добычи высоковязкой нефти и природных битумов



АКТУАЛЬНОСТЬ ТЕМАТИКИ

Эпоха легкодоступной нефти заканчивается и уже более половины запасов углеводородного сырья в России и в мире относится к трудноизвлекаемым, причем с увеличением их доли уменьшается коэффициент извлечения нефти и возрастает себестоимость добычи. Наиболее перспективным направлением, особенно для высоковязких нефей, и низкопроницаемых коллекторов, является разработка термических методов увеличения нефтеотдачи.

В связи с этим, в рамках Программы повышения конкурентоспособности КФУ на базе Института геологии и нефтегазовых технологий совместно с Химическим институтом им. А.М. Бутлерова был создан Центр превосходства в области новых технологий добычи высоковязкой нефти и природных битумов на основе термокаталических методов, в который входят научно-исследовательские лаборатории: « Внутрипластовое горение» и «Каталитический акватермолиз».

Центр превосходства в области новых технологий добычи высоковязкой нефти и природных битумов

- ✓ НИЛ «Внутрипластовое горение»
 - ✓ НИЛ «Каталитический акватермолиз»
1. Лаборатория термического анализа и калориметрии (М.А. Варфоломеев);
 2. Лаборатория реологических свойств нефти и нефтепродуктов (И.Т. Ракипов);
 3. Лаборатория каталитической внутрипластовой обработки нефти (А.В. Вахин);
 4. Лаборатория физической органической химии нефти (А.В. Галухин);
 5. Лаборатория по изучению распространения температурных фронтов внутри пласта методами геофизической локации (Э.В. Утемов)

Проблемы при реализации тепловых методов внутрипластовой переработки высоковязких нефей и природных битумов

- трудно регулируемый процесс;
- отсутствие надежных технических средств контроля за распространением фронта горения;
- сложность поддержания стабильного фронта горения;
- в результате окислительного крекинга возможно ухудшение качества нефти, а также закупорка пласта;
- засоры фильтров добывающих скважин (вынос песка);
- сложность математического моделирования;
- отсутствие однозначных критериев и рекомендаций по использованию тепловых технологий к разработке на конкретном месторождении.

Цель:

- 1. Создание и внедрение инновационного технологического комплекса для добычи трудноизвлекаемого и нетрадиционного углеводородного сырья (кероген, сланцевая нефть, высоковязкие нефти и др.) на основе термокатализитических методов.**
- 2. Формирование команды проекта, способной выполнять научно-исследовательские и хоз.договорные работы в области тепловых МУН, в рамках конкурсов ФЦП и для коммерческих заказчиков на международном уровне.**

Задачи:

- изучение кинетических параметров каталитического и некаталитического окисления нефей в пористых средах;
- создание геолого-гидродинамических моделей термических методов добычи на основе лабораторных и опытно-промышленных данных;
- разработка каталитических систем для внутрипластовой переработки тяжелых нефей;
- разработка рекомендаций по эффективному использованию термических и термокаталитических технологий извлечения углеводородов;
- изучение термодинамических характеристик нетрадиционного углеводородного сырья (термостабильность, фазовые переходы и теплотворная способность);
- разработка методик контроля фронта внутрипластового горения;
- создание собственного программного алгоритма для моделирования процесса извлечения нефти.

ПЛАНИРУЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ 2015 Г.

- Число высокоцитируемых ученых, работающих в КФУ – 7
- Число лабораторий мирового уровня в КФУ – 2
- Число публикаций в Scopus и Web of Science в - 70
- Привлечение дополнительных доходов
(хоздоговора и гранты) – 85 млн. руб.

Планируемые результаты 2020 г.

- Входит в тройку мировых лидеров по исследованиям в области добычи трудноизвлекаемых углеводородов
- Выполняет международные междисциплинарные научно-исследовательские и хоз.договорные работы на сумму не менее 2 млрд. руб.
- Получено не менее 35 патентов, в том числе не менее 7 международных патентов на новые способы и методы разработки залежей.
- Опубликовано не менее 350 статей в высокорейтинговых международных журналах.
- Число магистров и аспирантов по этому направлению составит не менее 280, в том числе из стран дальнего зарубежья не менее 40.
- Ежегодно проходят международные конференции, в рамках которых проходят уникальные курсы повышения квалификации по тепловым методам добычи углеводородов с приглашением в качестве лекторов мировых лидеров в этой отрасли.



Инфраструктура и кадровый состав

- Объем закупленного оборудования – **200 000 000 рублей** (один из первых в мире центров, имеющий полный комплекс оборудования для проведения НИОКР в области термических и каталитических методов увеличения нефтеотдачи пластов)
- **10 крупнейших мировых университетов и научных центров** из США, Европы и Азии официальные партнеры и участники проекта
- **7 ведущих зарубежных ученых** (Германия, США, Турция, Польша, Франция), являющихся научными руководителями и консультантами лаборатории
- Лабораторный комплекс: **5 научно-исследовательских лабораторий**, 3D Геоцентр для геологического и гидродинамического моделирования, зал для видеоконференций (общая площадь 350 кв.м.)



РУКОВОДИТЕЛИ



НИЛ «Внутрипластовое горение»
НИЛ «Каталитический акватермолиз»
к.т.н., с.н.с., Вахин А.В.
тел. +7 987 001 07 81
e-mail: vahin-a_v@mail.ru



Сектор физико-химических
исследований нефти, к.х.н.,
с.н.с. Варфоломеев М.А.
e-mail: vma.ksu@gmail.com



Научный консультант
д.г.-м.н., проректор по научной
деятельности, проф. Нургалиев Д.К.



Консультант по развитию
к.т.н., советник ректора по
взаимодействию с крупными
компаниями и гос. корпорациями
Шапошников Д.А.

Центр превосходства в области новых технологий добычи высоковязкой нефти и природных битумов

✓ НИЛ «Внутрипластовое горение»



НИЛ «Внутрипластовое горение»
к.т.н., с.н.с., Вахин А.В.
тел. +7 987 001 07 81
e-mail: vahin-a_v@mail.ru



**Сектор физико-химических
исследований нефти, к.х.н., с.н.с.
Варфоломеев М.А.**
e-mail: vma.ksu@gmail.com

ПРИГЛАШЕННЫЕ ЗАРУБЕЖНЫЕ СОТРУДНИКИ



Sergey P. Verevkin
HI=34, University of Rostock, Germany



Mustafa Versan Kok
HI=28, Middle East Technical University, Ankara, Turkey



Vladimir N. Emel'yanenko
HI=19, University of Rostock, Germany



Wojciech Marczak
**HI=15, Institute of Occupational Medicine
and Environmental Health, Poland**



Dmitry G. Zaitsau
HI=14, University of Rostock, Germany



ЗАРУБЕЖНЫЕ КОНСУЛЬТАНТЫ



Anthony Kovscek
HI=26, Stanford University, USA



Jean Charles De Hemptinne
HI=19, IFP Energies nouvelles, Paris, France



Gordon Moore
HI=16, University of Calgary, Canada



UNIVERSITY OF
CALGARY



Malcolm Greaves
HI=14, University of Bath, UK



ЗАРУБЕЖНЫЕ КОНСУЛЬТАНТЫ



John Belgrave

HI=10, Belgrave Oil and Gas Corp, Canada



Louis Castanier

HI=10, Stanford University, USA



Alex Turta

**HI=8, Alberta Innovates - Technology
Futures, Canada**



Claude Gadelle

Xytel, USA



Rafael Lugo

HI=6, IFP Energies nouvelles, Paris, France



Сотрудники «НИЛ Внутрипластовое горение»



Исаков Д.Р.
к.х.н., с.н.с.



Галухин А.В. к.н.с.
к.х.н



Ракипов И.Т.
м.н.с.,
аспирант



Нагриманов Р.
н. м.н.с.,
аспирант



Хачатрян А.А. м.н.с.,
аспирант



Ерохин А.А. м.н.с.,
аспирант



Мазитова А.А. м.н.с.



Хафизов Р.Р. м.н.с.

ПАРТНЕРЫ



UNIVERSITY OF
CALGARY



ORTA DOĞU TEKNİK ÜNİVERSİTESİ



UNIVERSITY OF
BATH

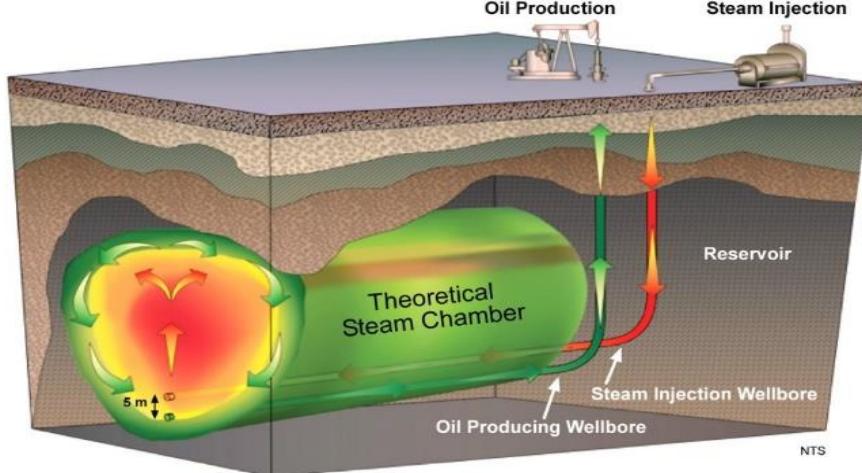


STANFORD
UNIVERSITY



Steam Injection

Oil Production



ЗАРУБЕЖНЕФТЬ



French Institute of Petroleum (IFP), France;
Middle East Technical University, Turkey;
University of Rostock, Germany;
University of North Texas;
University of Cambridge, UK;
Texas A&M University, USA;
Alberta Innovates Technology Futures, Canada;
University of Alberta, Canada;
University of Calgary, Canada;
CNRS Lyon University, Lyon, France;
Xytel Inc. USA.

РГУ нефти и газа им. И.М.Губкина;
ИОФХ им. А.Е. Арбузова КазНЦ РАН;
Институт нефтехимического синтеза им. А. В. Топчиева РАН;
ОАО «РИТЭК»;
ОАО «НИИнефтепромхим»;
ОАО «Зарубежнефть»;
ОАО «Газпромнефть»;



Схема процесса тепловых процессов

2. ПИРОЛИЗ И ПЛАВЛЕНИЕ НЕФТИ И БИТУМА (ДРУГИЕ ФАЗОВЫЕ ПЕРЕХОДЫ)

Теплота (Q , ΔH)

Давление (p)

Состав

Химические реакции

Теплоемкость

Кинетика



(Температура, затрачиваемая
теплота процесса и т.д.)

Вязкость

Плотность

Текучесть

Проницаемость и
пористость породы

1. ГОРЕНИЕ НЕФТИ И БИТУМА (НЕБОЛЬШАЯ ЧАСТЬ)



(Температура, количество
кислорода или воздуха и т.д.)

3. ДОБЫЧА НЕФТИ И БИТУМА





Основные направления исследований



Шаг 1.

Исследование тепловых процессов и физико-химических свойств нефти при нагревании и высоком давлении на лабораторных установках. Установление общих соотношений «структура – свойство».

Шаг 2.

Изучение влияния состава нефти, свойств породы, введение катализаторов и металлических добавок на эффективность тепловых процессов.

Шаг 3.

Разработка и конструирование реакторов и труб горения, моделирующих реальные свойства нефтяных пластов. Оптимизация технологии внутрипластового горения на данных установках.



Первый этап исследований.

Первичный скрининг технологии тепловых процессов на различных по составу и свойствам нефтях и нефтесодержащих породах с использованием методов термогравиметрии (ТГА), дифференциаль- сканирующей калориметрии (ДСК) и систем совмещенного термоанализа:

- 1. Оценка кинетических параметров**
- 2. Оценка температуры начала реакции**
- 3. Оценка тепловых эффектов**
- 4. Оценка термической стабильности нефти**
- 5. Влияние состава и свойств нефти (вязкость, плотность) на параметры процесса**
- 6. Оценка состава отходящих газов**
- 7. Оценка потенциала применения тепловых методов в первом приближении**

DSC 214 Polyma Netzsch



- Температурный диапазон: - 170 ÷ 600°C
 - Скорость нагрева: от 0,001 К/мин до 500 К/мин
 - Измерения в различных газовых средах: инертные: N₂, благородные газы, восстановление: H₂ окисление: O₂, CO₂, воздух и другие газы
 - Встроенные контроллеры газовых потоков (до трех газов)
- Позволяет изучать температуры и энергетику процесса кристаллизации парафинов (парафиноотложение) при низких температурах.

DSC 204 HP Phoenix Netzsch



- Широкий интервал давлений: от 0.1 до 15 МПа (150 атм.),
 - Тонкая регулировка давления (напр. 10 МПа ± 0.002 МПа),
 - Температурный диапазон (в зависимости от типа газа):
 - -150 ... 600°C (при 1 атм.)
 - -90 ... 600°C (при 50 атм.)
 - -50... 450°C (при 150 атм.),
 - Скорость нагрева: 0.01... 100 К/мин,
 - Измерения в различных газовых средах: инертные: N₂, благородные газы, восстановление: H₂ окисление: O₂, CO₂, воздух и другие газы,
 - Точная регулировка газового потока до 500 мл/мин,
- Позволяет изучать энергии фазовых переходов и реакций при различных давлениях и температурах, в том числе процессы окисления и пиролиза.

TG 209 F1 Libra Netzsch



- Температурный интервал: 10 - 1100°C,
 - Скорость нагревания/охлаждения: 0.001 - 200 К/мин,
 - Время охлаждения: 12 мин (с 1100°C до 100°C),
 - Широкий измерительный диапазон по массе: до 2000 мг,
 - Разрешение: 0.1 мкг,
 - Встроенный контроллер газового потока на две линии для продувочных газов и одну линию для защитного газа,
- Позволяет изучать термическую стабильность веществ, процессы окисления и пиролиза, определять кинетические параметры с использованием различных моделей

MicroDSC7 evo Setaram



- Температурный интервал: от -45°C до 120°C
 - Скорость нагревания/охлаждения: от 0.001 до 2 К/мин
 - Объем ячейки: 1 мл,
 - Виды ячеек: стандартная ячейка, ячейка для изучения процессов смещивания, ячейка высокого давления.
- Позволяет измерять теплоемкость различных материалов и индивидуальных химических веществ.

STA 449C Jupiter+QMS 403C Aeolos Netzsch



- Температурный диапазон: комн. – 1500°C
 - Скорость нагревания и охлаждения: 0,01 К/мин – 50 К/мин
 - Диапазон взвешивания: 5000 мг
 - Атмосфера: инертная, окислительная, восстановительная, статичная, динамичная
 - Совмещение с масс-спектрометром через нагреваемый адаптер
 - Оснащение уникальной системой PulseTA®
- Измеряемые величины: теплоемкость, тепловой эффект (теплота, энタルпия) и температура плавления, кристаллизации, рекристаллизации, фазовых переходов, перехода стеклования, химических реакций, температура термического разложения, потеря массы, остаточная масса, температуры окисления.** Наличие масс-спектрометра позволяет проводить анализ газов – продуктов термического анализа.

**Термогравиметрический анализатор +
дифференциально-сканирующий калориметр +
масс-спектрометр (три блока в одном приборе)**

Стоимость:

Совмещенный ТГА-ДСК-МС

- Анализ одного образца нефти при одной скорости нагрева 10 °С/мин в инертной атмосфере (argon) с идентификацией газообразных продуктов от 12 до 150 г/моль от комнатной температуры до 600 °С с первичной обработкой данных (ДСК-, ТГ-, ДТГ-, МС-кривые). Определение интервала стабильности образца, диапазонов потерь массы, фракционного состава, предоставление отчета – **3 200 рублей**

Кинетический анализ 1 образца при трех скоростях нагрева (5 °С/мин, 10 °С/мин, 15 °С/мин) в инертной атмосфере (argon) с идентификацией газообразных продуктов от 12 до 150 г/моль от комнатной температуры до 600 °С с первичной обработкой данных (ДСК-, ТГ-, ДТГ-, МС-кривые при трех скоростях нагрева). Анализ полученных данных по общепринятым кинетическим моделям, определение кинетических параметров процессов деструкции и испарения нефтяных компонентов, предоставление отчета – **7 500 рублей**

ДСК

- 1 анализ при одной скорости нагрева 10 °С/мин в инертной или окислительной атмосфере (азот, воздух) от комнатной температуры до 600 °С с первичной обработкой данных (ДСК-кривые, изменение теплоемкости) – **1 900 рублей** (при работе в низких температурах до -170°C – **2 500 рублей**)

- Кинетический анализ 1 образец при трех скоростях нагрева (5 °С/мин, 10 °С/мин, 15 °С/мин) в инертной или окислительной атмосфере (азот, воздух) от комнатной температуры до 600 °С с первичной обработкой данных (ДСК-кривые, изменение теплоемкости) – **5 700 рублей** (при работе в низких температурах до -170°C – **7 500 рублей**)

ТГА

- 1 анализ при одной скорости нагрева 10 °С/мин в инертной или окислительной атмосфере (азот, воздух) от комнатной температуры до 1100 °С с первичной обработкой данных (ТГА- и ДТГ-кривые) – **1 900 рублей**
- Кинетический анализ 1 образец при трех скоростях нагрева (5 °С/мин, 10 °С/мин, 15 °С/мин) в инертной или окислительной атмосфере (азот, воздух) от комнатной температуры до 1100 °С с первичной обработкой данных (ТГА- и ДТГ-кривые при трех скоростях нагрева) – **5 700 рублей**



Второй этап исследований.

**Проведение термических преобразований в
условиях близких к пластовым методом
адиабатической реакционной калориметрии
(АРК):**

- 1. Эксперименты при давлении до 200 бар
(возможно фиксировать процессы до 600 бар)**
- 2. Температура самовоспламенения нефти**
- 3. Изменение температуры в процессе**
- 4. Скорость изменения температуры (саморазогрев
системы)**
- 5. Изменение давления в процессе**
- 6. Скорость изменения давления**
- 7. Тепловые эффекты в ходе процесса**
- 8. Кинетические параметры**
- 9. Время, когда скорость реакции максимальна**
- 10. Ввод катализаторов в процессе и оценка
катализической активности**



Accelerating Rate Calorimeter ARC® 254

(Адиабатическая реакционная калориметрия)



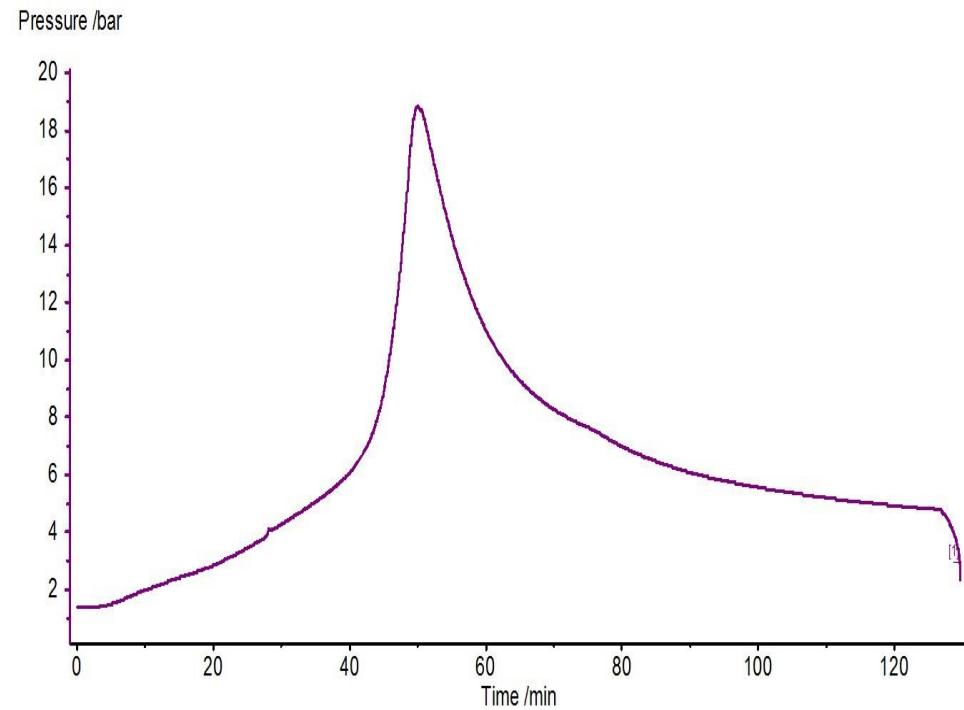
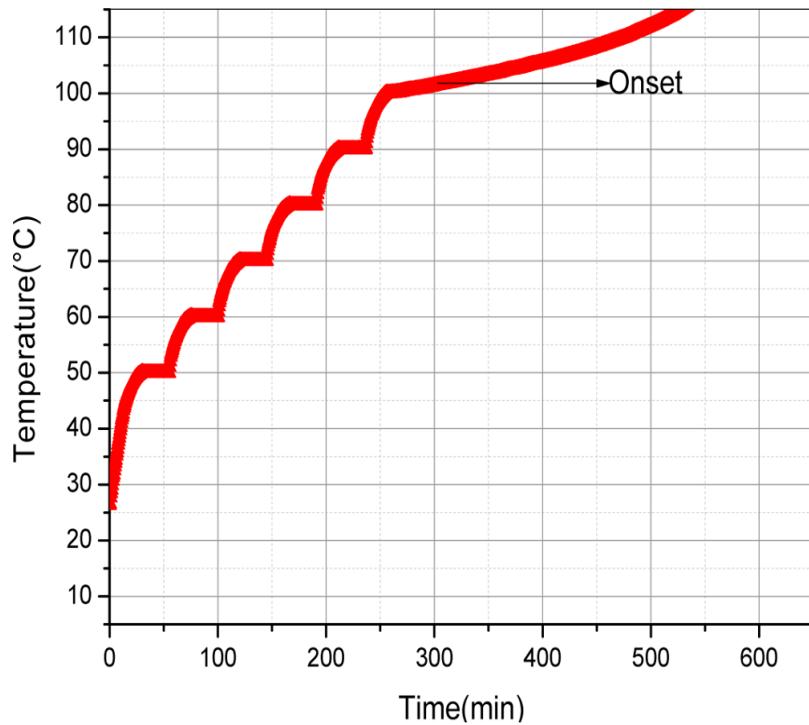
Предназначен для физико-химического изучения процессов окисления и пиролиза нефти и битумов, а также поведение энергоемких и взрывчатых веществ. Оборудован модулем VariPhi, который позволяет изучать реакции в различных режимах, и системой подачи жидких и газообразных веществ в ходе эксперимента.

Скорость нагревания: 0,01 - 10 °С /мин

Интервал температур: 0-550 °С

Интервал давления: 0-600 бар

Объем образца: 0,5 – 130 мл



Стоимость:

Стоимость работы на адиабатическом калориметре обсуждается в каждом индивидуальном случае, поскольку прибор способен работать при разных режимах, температурах и давлениях, осуществлять кинетический анализ и т.д. Работы можно провести при минимальной стоимости заказа **от 63 000 рублей** для ячеек объемом 7 мл и **от 125 000 рублей** для ячеек объемом 130 мл.

Полный комплекс исследования одного образца, включающий поиск реакции, определение давления и температуры реакции, кинетический анализ (эксперимент при трех скоростях и определение энергии активации, порядок реакции и т.д.) в режимах сканирующий, изотермический, нагрев-ожидание-поиск, адиабатический, а также интерпретацию результатов – **125 000 рублей**.



Калориметр сгорания IKA C6000

- 1. Оценка теплотворной способности нефти**
- 2. Оценка термодинамической эффективности ВПГ**





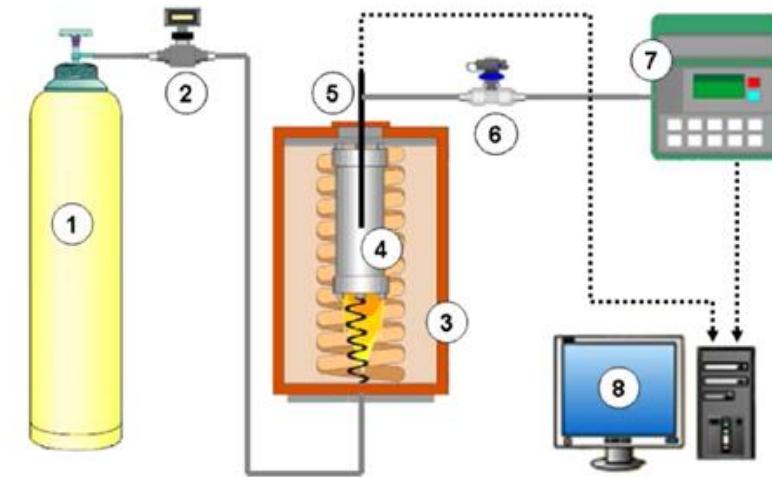
Третий этап исследований.

Заключительный этап изучения параметров процесса окисления нефти в условиях, максимально приближенных к пластовым на установке РТО:

- 1. Оценка кинетических параметров окисления нефти в пористых средах и их зависимости от степени конверсии нефти.**
- 2. Оценка количества кокса, образующегося в ходе пиролиза**
- 3. Оценка влияния компонентов породы и катализитических добавок на процессы окисления нефти в пластовых условиях**
- 4. Влияние состава и свойств нефти (вязкость, плотность) на параметры процесса**



Установка для изучения окисления нефти при линейном изменении температуры (RTO)

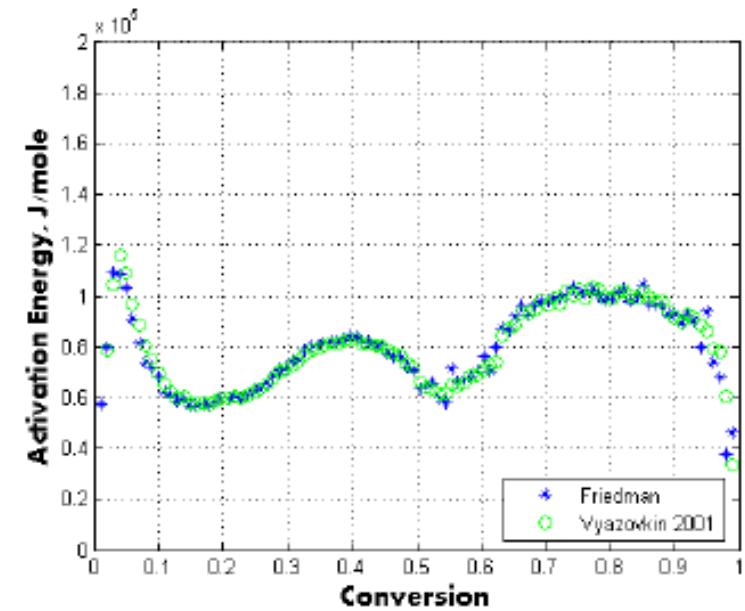
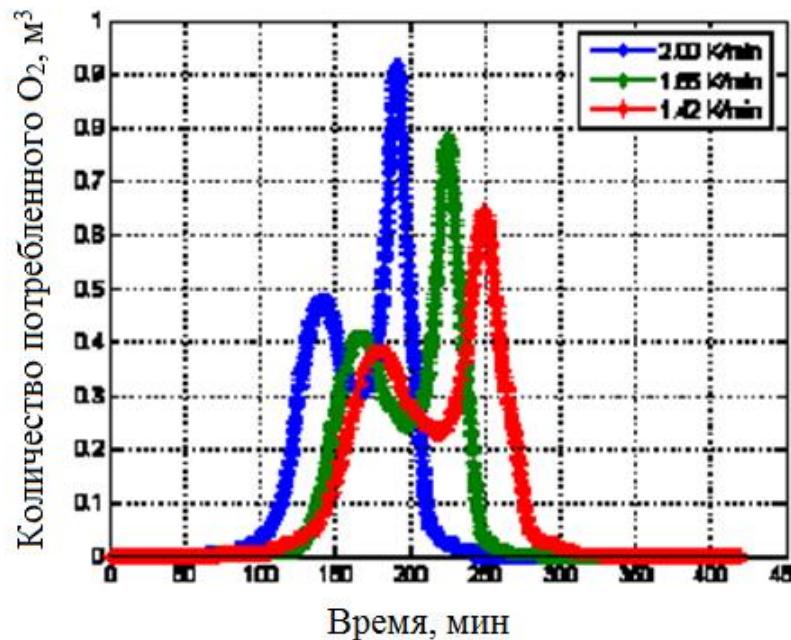


1 - система подачи газа, 2 - контроллер газового потока,
3 - электрическая печь, 4 - реактор, 5 - термопара,
6 - контроллер давления, 7 - газоанализатор, 8 - компьютер

Прибор предназначен для моделирования условий внутрипластового горения, изучения кинетики окисления нефти в пористых средах (энергия активации), оценки количества образующегося кокса. Позволяет оценить пригодность месторождения к его разработке методом ВПГ.

Получаемые данные:

1. Контролируемый нагрев нефтенасыщенной породы в поршневом реакторе одномерного потока в среде воздуха. Контроль температуры, скорости потока воздуха, оценка скорости движения фронта горения
2. Оценка кинетических параметров ВПГ и их зависимости от степени конверсии нефти.
3. Оценка количества кокса, образующегося в ходе пиролиза.
4. На основании полученных данных делается заключение о возможности использования метода ВПГ для разработки конкретного месторождения.





Дополнительные исследования

- 1. Оборудование для изучения реологических свойств нефти.**
- 2. Оборудование для изучения поверхностных свойств нефти и нефтесодержащей породы.**
- 3. Оборудование для измерения и контроля магнитных свойств нефтенасыщенной породы (разработка методов наземного контроля за движением фронта горения).**
- 4. Оборудование для анализа структуры и состава нефти, породы и катализаторов.**
- 5. Реакторы акватермолиза.**

Реометр MCR Rheometer MCR 302



Температура измерения: -40 до 400 °C

Давление: 1-300 атм

Режимы: осцилляционный, ротационный

Диапазон нормальной силы Н - 0.01 - 50 (+0.005)

Определение зависимости напряжения сдвига от скорости сдвига в режимах:

- управления скоростью сдвига;
- управления напряжением сдвига.

Определение модулей упругости и модулей потерь консистентных, вязкоупругих и упругих материалов при колебательных испытаниях в режимах:

- развертки амплитуды при управлении деформацией или напряжением

Определение податливости консистентных, вязкоупругих и упругих материалов в режимах:

- постоянной деформации сдвига;
- постоянного напряжения сдвига.

Измерение нормальных напряжений в диапазоне - 50..50 Н.

Определение реологических свойств при изменении величины зазора с задаваемой скоростью или с задаваемой нормальной силой.

Динамическая вязкость

Торсионные углы, исследования нагрузок на материалы

Anton Paar, Австрия

Область применения:

Низковязкие и высоковязкие вещества, нефть, битумы, нефтепродукты, дорожные покрытия, асфальт, смолы, растворы полимеров, гелеобразные материалы

Вискозиметр Stabinger Viscometer: SVM 3000



Anton Paar, Австрия

Воспроизводимость:

вязкость $\pm 1\%$

плотность $\pm 0,0005 \text{ г/см}^3$

температура $\pm 0,02 {}^\circ\text{C}$

Объем образца: 2,5 мл

Ячейка с автоподатчиком и подогреваемым входом

Измеряемые параметры:

Динамическая вязкость(мПа.с): 0,5 -20 000.

Плотность (г/см^3): 0,65 – 3,00

API gravity

Кинематическая вязкость

Индекс вязкости

Температурный диапазон: 15 – 105 ${}^\circ\text{C}$

Область применения:

Моторные масла, дизельные топлива, нефть, битумы, растворы и др.

Центр превосходства в области новых технологий добычи высоковязкой нефти и природных битумов

✓ НИЛ «Каталитический акватермолиз»



НИЛ «Каталитический акватермолиз»
к.т.н., с.н.с., Вахин А.В.
тел. +7 987 001 07 81
e-mail: vahin-a_v@mail.ru

Сотрудники



Петровнина М.С. м.н.с.
НИЛ «Каталитический
акватермолиз»



Ситнов С.А. м.н.с.
НИЛ «Каталитический
акватермолиз»



Онищенко Я.В. м.н.с.
НИЛ «Каталитический
акватермолиз»,
аспирант



Феоктистов Д.А. м.н.с.
НИЛ «Каталитический
акватермолиз»



Реактор смешения Parr Instruments

Объем реакционного сосуда: 300 мл, 900 мл,

Загрузка образца нефти 50-200 мл, 100-500 мл

Максимальное рабочее давление до 3000 psi (140 бар)

Максимальная рабочая температура до 350°C

Моделирование паротепловой обработки пласта может быть проведено с «чистой» нефтью или с использованием измельченного образца керна, либо на образце нефти с добавлением отдельных составляющих породы-коллектора (при отсутствии керна с данного месторождения), либо с образцом нефтерастворимого катализатора при тестировании методов каталитической интенсификации.

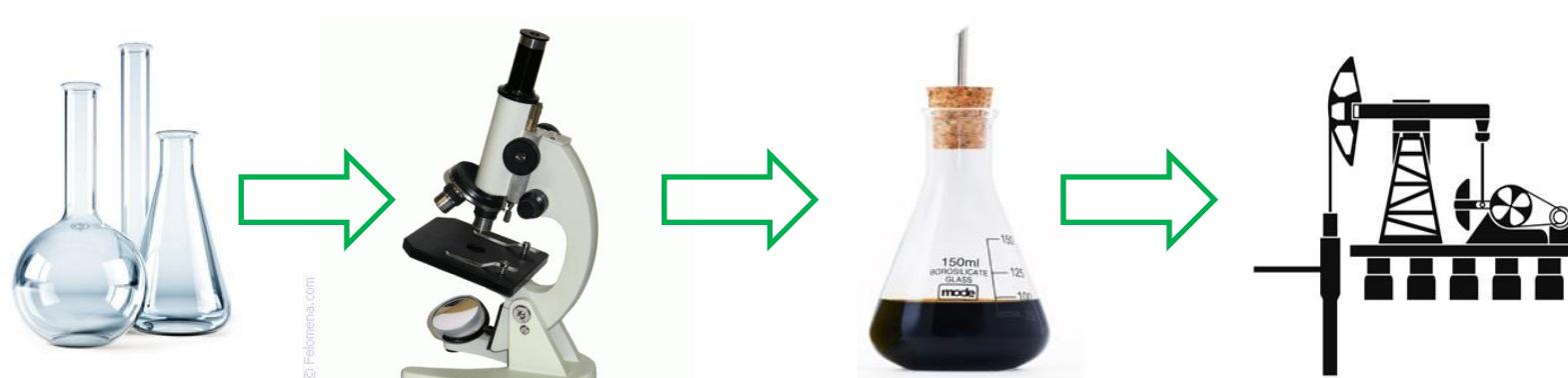
По результатам модельного эксперимента определяются критерии эффективности паротепловой обработки месторождения тяжелой нефти.





Виды услуг по получению и исследованию катализаторов внутрипластовой переработки тяжелых нефтей

1. Разработка методов получения новых эффективных катализаторов.
2. Изучение физических и химических характеристик полученных катализаторов.
3. Лабораторные испытания катализитической активности на образцах тяжелых нефтей, а также моделирование условий внутрипластовой переработки на установке RTO.
4. Исследование катализитической активности компонентов породы пласта.
5. Масштабирование методик получения катализаторов в количествах необходимых для проведения последующих полевых испытаний.





Разработки в области термокатализитической внутрипластовой обработки нефти

- 1. Разработка прекурсоров нефтерастворимых катализаторов, способных ускорять процессы окисления нефти в пористых средах**
- 2. Оценка их эффективности методами термохимического анализа**
- 3. Выявление зависимостей типа «состав-свойство» и «структура-свойство» на основании полученных данных**

