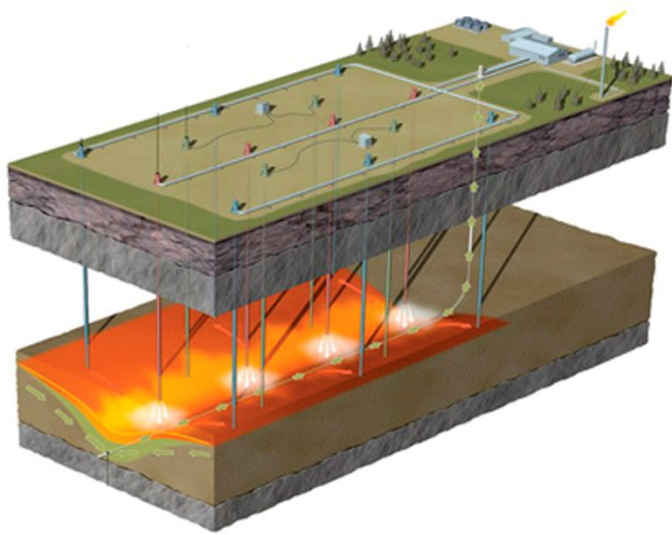




## Центр превосходства в области исследований и разработки комплексных технологий добычи тяжелых нефтей и битумов на основе термических и термокаталитических методов

Лаборатория мирового уровня в области термического анализа и физико-химии процессов тепловых методов добычи  
**(SAGD, in-situ combustion)**

1. Лаборатория термического анализа и калориметрии
2. Лаборатория реологических свойств нефти и нефтепродуктов
3. Лаборатория каталитической внутрипластовой обработки нефти
4. Лаборатория физической органической химии нефти





# Схема процесса тепловых процессов

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

Теплота ( $Q$ ,  $\Delta H$ )  
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



## **Проблемы при реализации тепловых методов внутрипластовой переработки высоковязких нефтей 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 технологии ВПГ к разработке на конкретном месторождении.**



# 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.



## Международные научные партнеры



STANFORD  
UNIVERSITY



UNIVERSITY OF  
**BATH**



ORTA DOĞU TEKNİK ÜNİVERSİTESİ





## 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.)





## Первый этап исследований.

Первичный скрининг технологии тепловых процессов на различных по составу и свойствам нефтях и нефтесодержащих породах с использованием **методов термогравиметрии (ТГА), дифференциально-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:  $-170 \div 600^{\circ}\text{C}$
- Скорость нагрева: от 0,001 K/мин до 500 K/мин
- Измерения в различных газовых средах: инертные:  $\text{N}_2$ , благородные газы, восстановление:  $\text{H}_2$  окисление:  $\text{O}_2$ ,  $\text{CO}_2$ , 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  $\pm$  0.002 МПа),
- Температурный диапазон (в зависимости от типа газа):
  - $-150 \dots 600^{\circ}\text{C}$  (при 1 атм.)
  - $-90 \dots 600^{\circ}\text{C}$  (при 50 атм.)
  - $-50 \dots 450^{\circ}\text{C}$  (при 150 атм.),
- Скорость нагрева: 0.01... 100 K/мин,
- Измерения в различных газовых средах: инертные:  $\text{N}_2$ , благородные газы, восстановление:  $\text{H}_2$  окисление:  $\text{O}_2$ ,  $\text{CO}_2$ , 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 нагрева/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



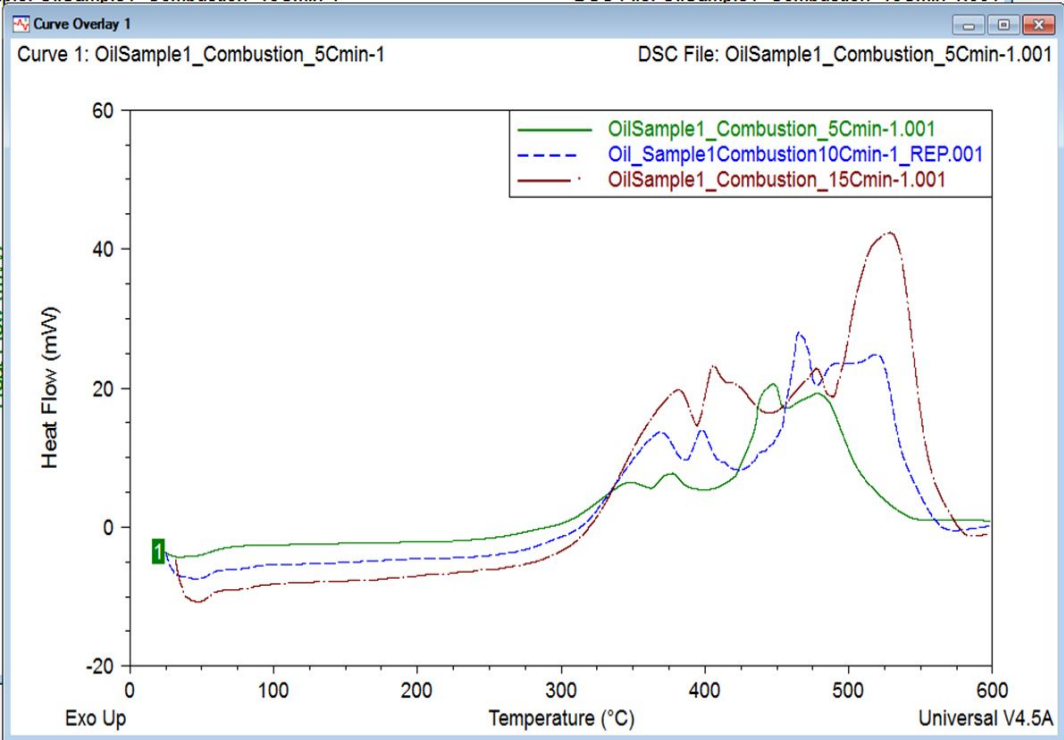
- Температурный интервал: от -45°C до 120°C
  - Скорость нагрева/охлаждения: от 0.001 до 2 К/мин
  - Объем ячейки: 1 мл,
  - Виды ячеек: стандартная ячейка, ячейка для изучения процессов смешивания, ячейка высокого давления.
- Позволяет измерять теплоемкость различных материалов и индивидуальных химических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

# STA 449C Jupiter+QMS 403C Aeolos Netzsch

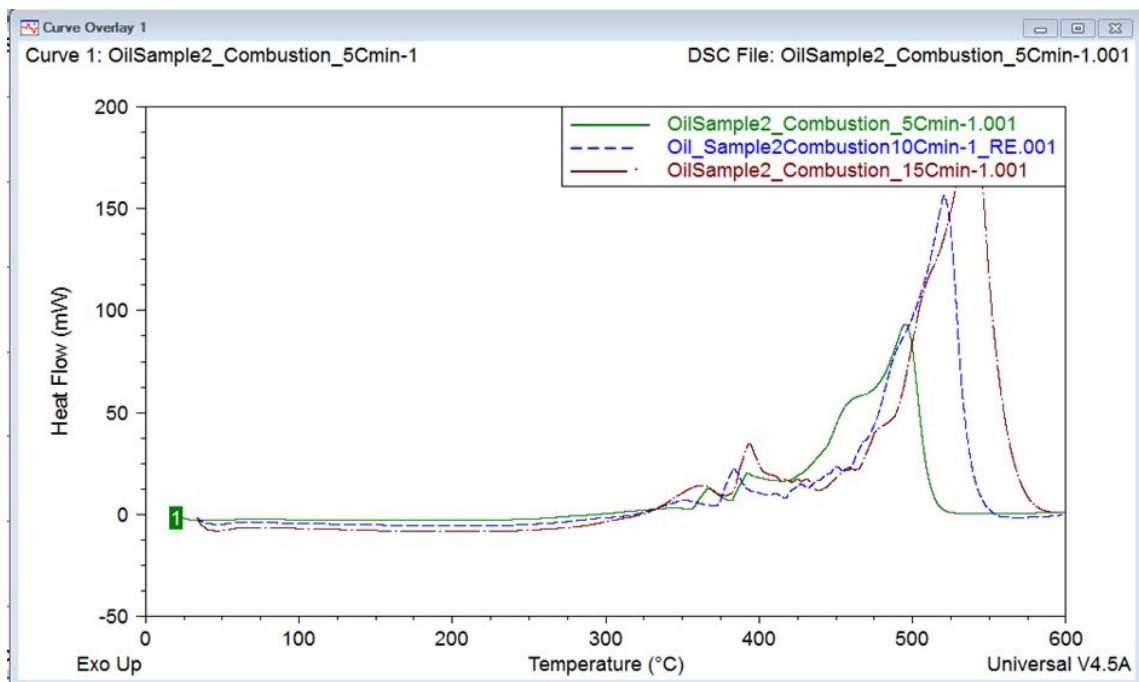


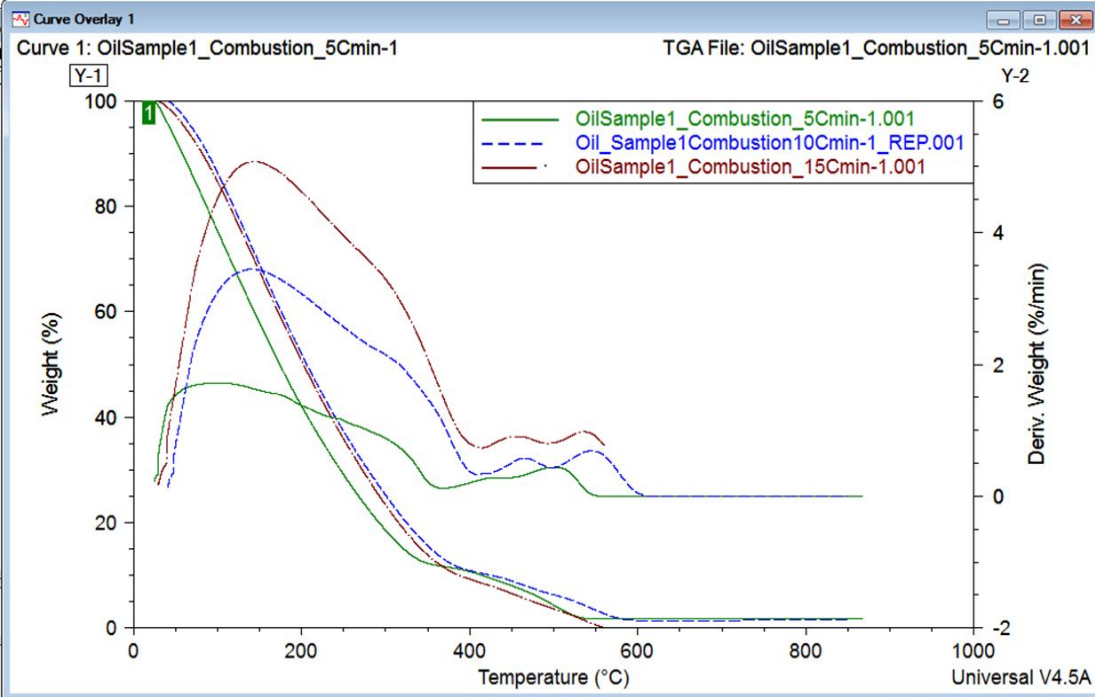
- Температурный диапазон: комн. – 1500°C
  - Скорость нагрева и охлаждения: 0,01 К/мин – 50 К/мин
  - Диапазон взвешивания: 5000 мг
  - Атмосфера: инертная, окислительная, восстановительная, статичная, динамичная
  - Совмещение с масс-спектрометром через нагреваемый адаптер
  - Оснащение уникальной системой PulseTA®
- Измеряемые величины: теплоемкость, тепловой эффект (теплота, энтальпия) 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)**

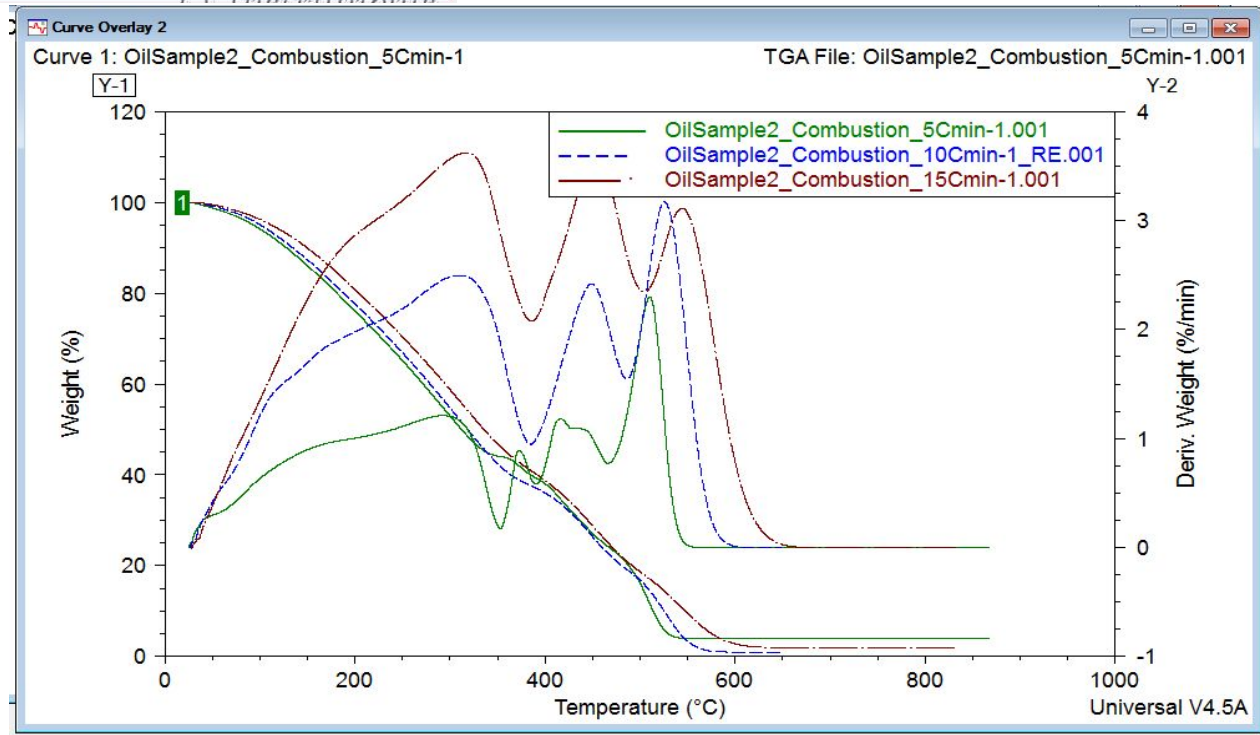


## Примеры ДСК измерений





## Примеры ТГА измерений



## Стоимость:

### Совмещенный ТГА-ДСК-МС

- Анализ одного образца нефти при одной скорости нагрева  $10\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{мин}$  в инертной атмосфере (аргон) с идентификацией газообразных продуктов от 12 до 150 г/моль от комнатной температуры до  $600\text{ }^{\circ}\text{C}$  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 ( $5\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{мин}$ ,  $10\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{мин}$ ,  $15\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{мин}$ ) в инертной атмосфере (аргон) с идентификацией газообразных продуктов от 12 до 150 г/моль от комнатной температуры до  $600\text{ }^{\circ}\text{C}$  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  $10\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{мин}$  в инертной или окислительной атмосфере (азот, воздух) от комнатной температуры до  $600\text{ }^{\circ}\text{C}$  с первичной обработкой данных (ДСК-кривые, изменение теплоемкости) – **1 900 рублей** (при работе в низких температурах до  $-170^{\circ}\text{C}$  – **2 500 рублей**)
- Кинетический анализ 1 образец при трех скоростях нагрева ( $5\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{мин}$ ,  $10\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{мин}$ ,  $15\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{мин}$ ) в инертной или окислительной атмосфере (азот, воздух) от комнатной температуры до  $600\text{ }^{\circ}\text{C}$  с первичной обработкой данных (ДСК-кривые, изменение теплоемкости) – **5 700 рублей** (при работе в низких температурах до  $-170^{\circ}\text{C}$  – **7 500 рублей**)

### ТГА

- 1 анализ при одной скорости нагрева  $10\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{мин}$  в инертной или окислительной атмосфере (азот, воздух) от комнатной температуры до  $1100\text{ }^{\circ}\text{C}$  с первичной обработкой данных (ТГА- и ДТГ-кривые) – **1 900 рублей**
- Кинетический анализ 1 образец при трех скоростях нагрева ( $5\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{мин}$ ,  $10\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{мин}$ ,  $15\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{мин}$ ) в инертной или окислительной атмосфере (азот, воздух) от комнатной температуры до  $1100\text{ }^{\circ}\text{C}$  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 каталитической активности



# **Accelerating Rate Calorimeter ARC® 254** **(Адиабатическая реакционная калориметрия)**



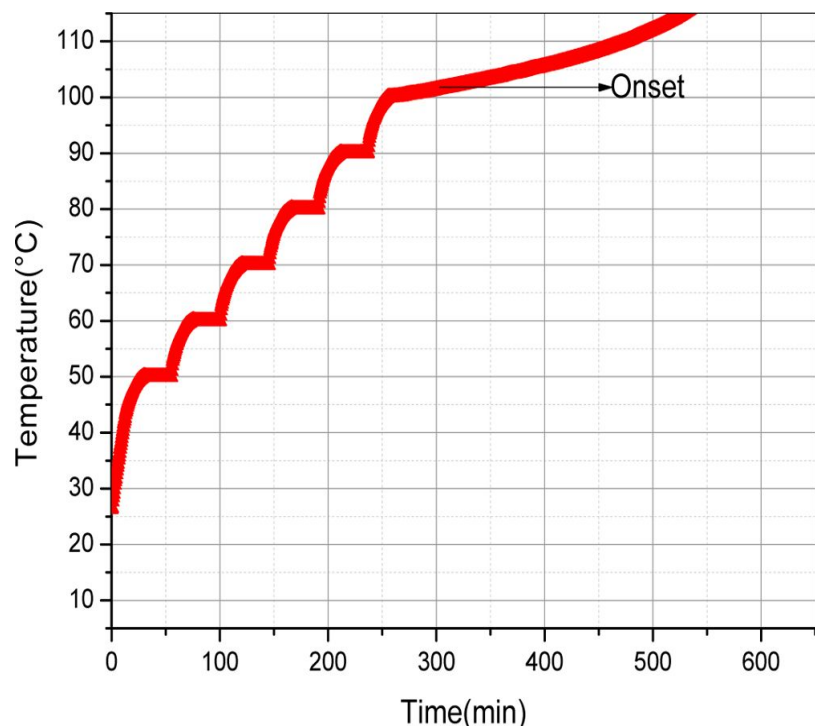
Предназначен для физико-химического изучения процессов окисления и пиролиза нефти и битумов, а также поведение энергоемких и взрывчатых веществ. Оборудован модулем VariPhi, который позволяет изучать реакции в различных режимах, и системой подачи жидких и газообразных веществ в ходе эксперимента.

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

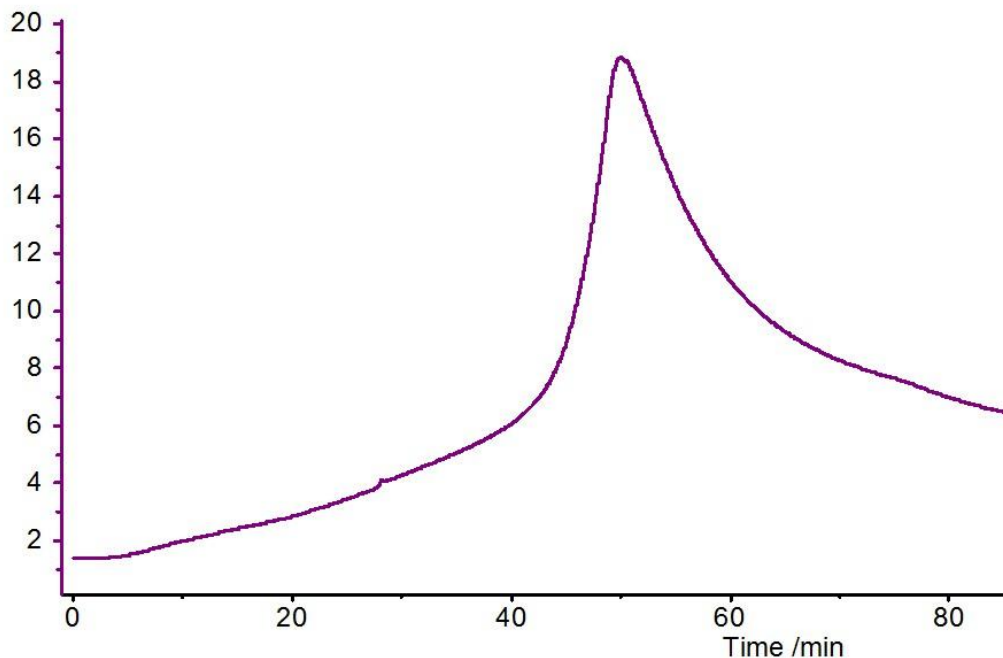
Интервал температур: 0-550 °С

Интервал давления: 0-600 бар

Объем образца: 0,5 – 130 мл



Pressure /bar



## 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 **ИКА С6000**

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





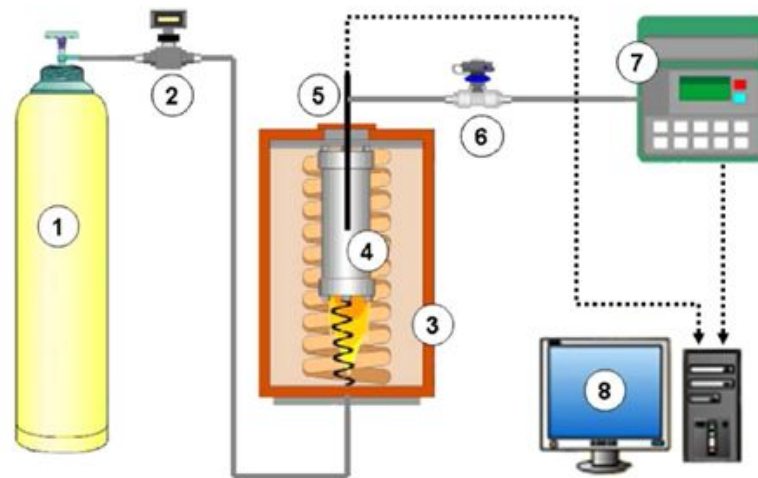
## Третий этап исследований.

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 каталитических 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**)



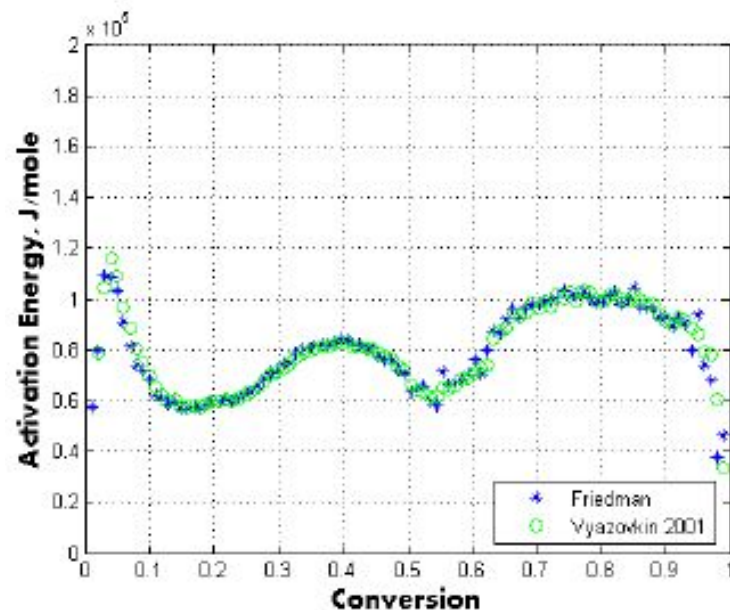
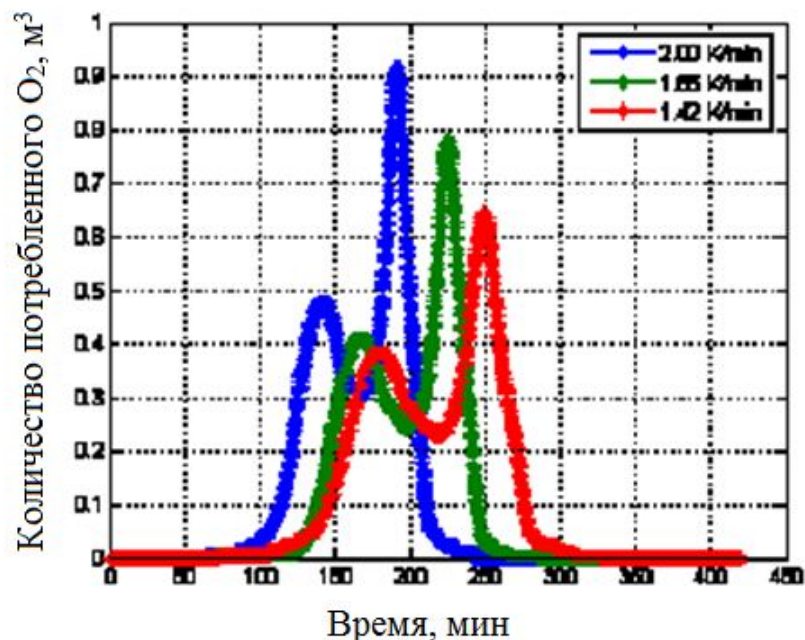
- 1 - система подачи газа, 2 - контроллер газового потока, 3 - электрическая печь, 4 - реактор, 5 - термопара, 6 - контроллер давления, 7 - газоанализатор, 8 - компьютер

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.





## Расчет стоимости анализов на установке **RTO**

### Анализ включает в себя:

- 1. 5** экспериментов по окислению нефти при различных скоростях нагрева;
- 2.** Обработка полученных результатов с помощью методов изоконверсионного анализа;
- 3.** Написание отчета с рекомендациями относительно пригодности использования метода ВПГ для разработки конкретного месторождения.

Цена анализа **1** образца нефти – **690 000** рублей.



## 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



**Anton Paar, Австрия**

## Область применения:

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

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

# Вискозиметр Stabinger Viscometer: SVM 3000



**Anton Paar, Австрия**

## Воспроизводимость:

вязкость  $\pm 1\%$

плотность  $\pm 0,0005 \text{ г/см}^3$

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

Объем образца: 2,5 мл

Ячейка с автоподатчиком и подогреваемым входом

## Измеряемые параметры:

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

Плотность ( $\text{г/см}^3$ ): 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.



# 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.**



## **Стоимость:**

### **Моделирование в автоклаве 300 мл**

Анализ обработки одного образца нефти при трех температурах. Определение степени конверсии нефти: степень снижения вязкости; реологические характеристики; плотность; содержание асфальто-смолистых соединений; элементный состав.

**– 20 000 рублей**

### **Моделирование в автоклаве 900 мл**

Анализ обработки одного образца нефти при трех температурах. Определение степени конверсии нефти: степень снижения вязкости; реологические характеристики; плотность; содержание асфальто-смолистых соединений; элементный состав.

**– 32 000 рублей**



## Виды услуг по получению и исследованию катализаторов внутрипластовой переработки тяжелых нефтей

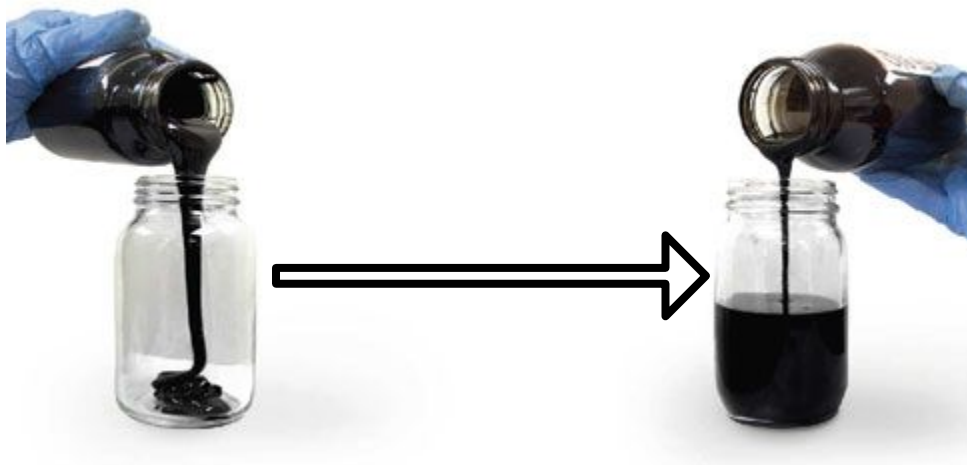
1. Разработка методов получения новых эффективных катализаторов.
2. Изучение физических и химических характеристик полученных катализаторов.
3. Лабораторные испытания каталитической активности на образцах тяжелых нефтей, а также моделирование условий внутрипластовой переработки на установке RTO.
4. Исследование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





## Разработки в области термокаталитической 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





# СПАСИБО ЗА ВНИМАНИЕ!

**Контактная информация:**

Руководитель проекта "Внутрипластовое горение"

Исаков Динис Ренатович, к.х.н

тел. +7 917 270 76 20

E-mail: [isakovdr@gmail.com](mailto:isakovdr@gmail.com)

Институт геологии и нефтегазовых технологий КФУ

[www.kpfu.ru/geo/eor](http://www.kpfu.ru/geo/eor)