

газового фактора рекомендуется сочетание спуска насоса на большую глубину с использованием предвключенных модулей для борьбы с газом (газосепараторов, диспергаторов, мультифазных насосов, а также их комбинаций).

#### Литература

1. Газосепараторы EZ-Line. Техническое описание. – Тюмень.: ООО «Технологическая компания Шлюмберже», 2010. – 5с.
2. Гареев, А.А. О предельном газосодержании на приеме электроцентробежного насоса / А.А. Гареев // Научно-технический журнал «Оборудование и технологии для нефтепромыслового комплекса». – 2009. – № 2. – С. 21–25.
3. Дроздов А.Н. Технология и техника добычи нефти погружными насосами в осложнённых условиях: Учебное пособие для вузов. – М.: РГУ нефти и газа им. И. М. Губкина, 2008. – с. 616.
4. Зейман, Ю.В. Оптимизация работы УЭЦН для предотвращения образования осложнений / Ю.В. Зейман, А.В. Колонских // Электронный научный журнал «Нефтегазовое дело». – 2005. – № 2. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [http://ogbus.ru/authors/Zeigman/Zeigman\\_1.pdf](http://ogbus.ru/authors/Zeigman/Zeigman_1.pdf).

### **ИНФРАКРАСНАЯ ФУРЬЕ-СПЕКТРОСКОПИЯ ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ СТАБИЛЬНОСТИ И ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ В НЕФТЯНЫХ СИСТЕМАХ**

**Фай Демба**

Научный руководитель - доцент Л.В. Шишмина

***Национальный исследовательский Томский политехнический университет, г. Томск, Россия***

Современная нефтяная отрасль в последнее время столкнулась с трудностями, обусловливающими необходимость разработки эффективных технологий добычи тяжелых нефтей. Проблемы извлечения тяжелой нефти связаны с высокой стоимостью её добычи, переработки и транспортировки, скоплением асфальтеносмолопарафиновых отложений в технологическом оборудовании, приводящем к снижению производительности технологических процессов [1–5].

Образование отложений приводит к неэффективной теплопередаче, а также значительным потерям энергии и сырья во время производственного процесса, что может составлять несколько процентов от энергопотребления (эквивалента) сырой нефти.

Таким образом, одним из базовых условий создания эффективных технологий добычи тяжелых нефтей является понимание факторов, определяющих устойчивость нефтяных дисперсных систем, поведение и химические превращения их компонентов в различных внешних условиях, включая высокие температуры и давления, а также наличие специально введенного химического соединения ароматического или алифатического типа, алкенов, полимеров, добавляемых для предотвращения осаждения соединений, используемых для растворения осадков, содержащих асфальтены (спирты, простые эфиры, амины и тому подобное) и соединения, содержащие серу, но также и хлор.

Признано, что асфальтены входят в состав основных компонентов нефти. Однако, несмотря на огромный объем работ, посвященных определению молекулярной массы, размера и формы молекул асфальтенов, изучению их физико-химических свойств и их структуры, механизм агрегации асфальтенов в реальных нефтях остается открытым вопросом.

Сложность и разнообразие молекулярных структур асфальтенов является одной из проблем, с которыми сталкиваются исследователи при изучении таких углеводородов. Считается, что асфальтеновые молекулы обычно имеют полициклическое ароматическое углеводородное ядро, состоящее из 5–8 колец с гетероатомами (в основном азот, кислород и сера). Заместителями в кольцах являются в основном алкильные фрагменты с различными функциональными группами (гетероатомами), насыщенные структуры, содержащие сульфидную и азотную, карбонильную, эфирную или сложноэфирную группы. Возможности дать более точное определение асфальтенов сталкиваются с трудностями, связанными с разнообразием их молекулярных структур, что связано как с разнообразием химических превращений, которые происходят в процессе образования нефти, так и с различиями в условиях их течения (температура, давление).

В настоящее время ИК-Фурье-спектроскопия является одним из физико-химических методов исследования, используемых для изучения структуры, а также свойств тяжелых нефтей [3–7].

Целью работы является: анализ инфракрасной Фурье-спектроскопии для изучения фазовой стабильности тяжелых нефтей и происходящих в них физико-химических процессов.

ИК-Фурье-спектроскопия используется для химической визуализации различных углеводородных систем, в том числе различных компонентов нефти. Использование ИК-Фурье-спектроскопии для исследования нефтей имеет ряд значительных ограничений из-за их высокого поглощения в инфракрасном диапазоне.

Метод химического исследования с помощью инфракрасной Фурье-спектроскопии в режиме *in situ* является основным методом для исследования различных функциональных полимеров и биоматериалов. Этот метод применяется для изучения свойств двухкомпонентной системы нефть – CO<sub>2</sub> и влияния CO<sub>2</sub> на процессы агрегации асфальтенов. Существуют методы повышения степени извлечения нефти, которые используют сверхкритический CO<sub>2</sub> и одновременно решают проблему, касающуюся парникового эффекта [2]. Для работы с тяжелыми нефтями и нефтяными смесями в условиях высокого давления CO<sub>2</sub> была изготовлена специальная ячейка и разработана соответствующая методология (рис. 1) [2].

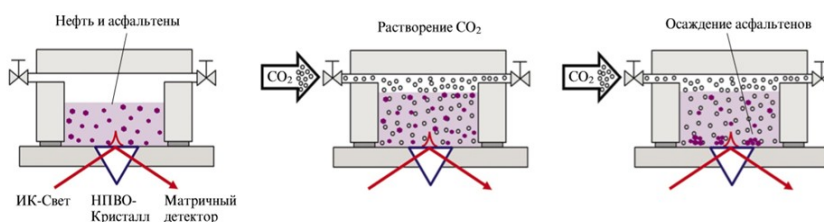


Рис.1 Схематическое представление эксперимента по изучению поведения тяжелых нефтей в режиме *in situ* при высоких давлениях  $\text{CO}_2$  с использованием визуализации с помощью ИК-Фурье-спектроскопии [2]

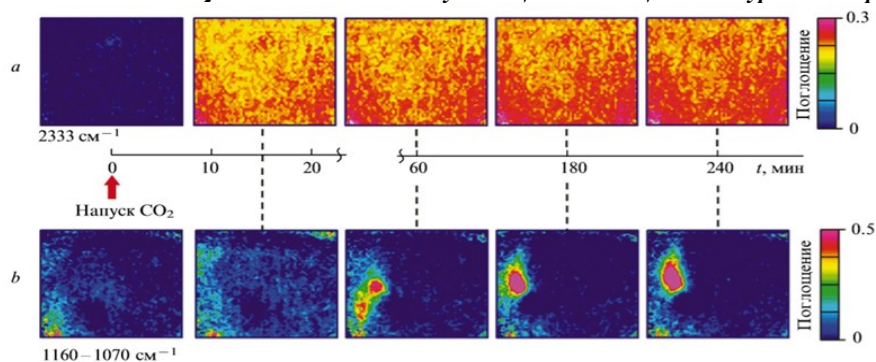


Рис.2 ИК-Фурье-спектроскопические визуализации тяжелой нефти при  $25^\circ\text{C}$  и  $50\text{ атм } \text{CO}_2$  [2]:  
 а – распределение поглощения (интегральная интенсивность) полосы  $2333\text{ см}^{-1}$ , характеризующее распределение  $\text{CO}_2$ ; б – распределение поглощения (интегральная интенсивность) полосы  $1160\text{--}1070\text{ см}^{-1}$ , которая характеризует распределение асфальтенов по наблюдаемой области образца

Во время эксперимента образец тяжелой нефти помещен в камеру, в которую введено необходимое количество  $\text{CO}_2$  до желаемого давления (1–100 атм) и температуры ( $50^\circ\text{C}$ ). Смешение нефти и  $\text{CO}_2$  происходило в контролируемых условиях, что позволило изучить стабильность асфальтенов в тяжелой нефти в данном процессе. Было обнаружено, что растворение  $\text{CO}_2$  в тяжелой нефти при давлении 50 атм приводит к увеличению объема жидкой фазы на  $9 \pm 1\%$  по сравнению с исходным объемом образца. Через час после введения  $\text{CO}_2$  в ячейку регистрировалось образование осадка (рис. 2). На основе анализа спектральных полос, зарегистрированных ИК-спектров, а именно  $1140$  и  $1030\text{ см}^{-1}$ , было установлено, что взаимодействие компонентов тяжелой нефти с  $\text{CO}_2$  в основном приводит к осаждению асфальтенов, которые содержат группы (C-O-R и S=O).

Полученные данные позволили предложить механизм дестабилизации асфальтенов, распределенных в сырой нефти при взаимодействии с  $\text{CO}_2$  при высоком давлении. Известно, что стабилизация молекул асфальтенов в нефти происходит в значительной степени благодаря их взаимодействию с молекулами смол, которые действуют как пептизаторы. Обнаружение специфических функциональных групп (C-O-R, S=O) в составе осажденных асфальтенов свидетельствует об их взаимодействии с  $\text{CO}_2$  с образованием нековалентно связанных комплексов. Таким образом, было высказано предположение, что  $\text{CO}_2$  конкурирует с молекулами смол за взаимодействие с асфальтенами [8]. Это приводит к снижению концентрации смол в непосредственной среде (на поверхности) молекул асфальтенов и, как следствие, к потере их устойчивости к агрегации – наблюдается осаждение асфальтенов. Полученные результаты показывают эффективность предложенных подходов и доказывают преимущества использования современных спектроскопических методов *in situ* для исследования сложных систем, таких как тяжелые нефти.

#### Литература

1. Fayazi, A. Evaluating Diffusivity of Toluene in Heavy Oil Using Nuclear Magnetic Resonance Imaging [Text] / A. Fayazi, S. Kryuchkov, A. Kantzas. – 2017. – P. 1226–1234. DOI: <https://doi.org/10.1021/acs.energyfuels.6b02464>
2. Gabrienko, A.A. Behavior of Asphaltenes in Crude Oil at High-Pressure  $\text{CO}_2$  Conditions: In Situ Attenuated Total Reflection–Fourier Transform Infrared Spectroscopic Imaging Study [Text] / A.A. Gabrienko, O.N. Martynov, S.G. Kazarian // Journal of Energy Fuels. – 2016. – V. 30(6). – P. 4750–4757.
3. Hoepfner, M.P. The Fractal Aggregation of Asphaltenes / M.P. Hoepfner, H.S. Fogler // Journal of Langmuir. – 2013. – V. 29(28). – P. 15423.
4. Martynov, O.N. The stability and evolution of Oil systems studied via advanced methods *in situ* [Текст] / O.N. Martynov, Yu.V. Larichev, E.Y. Morozov, S.N. Trukhan, S.G. Kazarian // Journal of Russian Chemical Revue. – 2017. – V. 86(11). – P. 999–1023.
5. Müller-Steinhagen, H. Загрязнение поверхности в теплообменниках // Journal of Chemical Industry. – М., 1995. – С 171–175.
6. Ostlund, J. A. Asphaltenes: Structural Characterization, Self-Association, and Stability Behavior [Text] / J. A. Oatlands, M. Nyden, I.H. Auflem, J. Sjoblom // Journal of Energy Fuels. – 2003. – V. 17(1). – P. 113 – 119.
7. Pomerantz, A.E. Constant Asphaltene Molecular and Nanoaggregate Mass in a Gravitationally Segregated Reservoir/ A. E. Pomerantz, D.J. Seifert, K.D. Bake, P.R. Craddock, O.C. Mullins, B.G. Kodalen, S. Mitra-Kirtley, T.B. Bolin // Journal of Energy Fuels. – 2013. – V. 27. – P. 4604–4608
8. Sokolov, A.E. Magneto-optical activity of crude oil and its heavy fractions [Text] / I. A. Sokolov, E. S. Edelman, V. N. Zabluda, E.A. Petrakovskaya, A. S. Aleksandrovskii, A. A. Shubin, S. N. Trukhan, O. N. Martyanov // Journal of Optics and Spectroscopy. – 2012. – V. 112(65). – P 755–762.