

Таким образом, в работе изучено влияние электромагнитной обработки, низкочастотного акустического воздействия и комплексной обработки на реологические свойства, температуру застывания и энергетические параметры высоковязкой нефти Русского месторождения. Показано, что после 5 ч ЭМО при 20 °С наблюдается снижение предельного напряжения сдвига и пластической вязкости, значения которых не восстанавливаются через 48 ч. При этом наблюдается снижение температуры застывания и температуры фазового перехода, а также уменьшение энергии активации вязкого течения в низкотемпературной области. Оптимальное время низкочастотной акустической обработки нефти, после которого получены минимальные значения предельного напряжения сдвига и пластической вязкости, составило 20-30 минут. Установлено, что после 20 мин НАО и 5 ч ЭМО при 20 °С происходит значительное снижение вязкости и  $\eta$ , однако, при понижении температуры от 0 до минус 10 °С эффективность обработки резко падает.

#### Литература

1. Гузев С. П., Данекер В. А., Рикконен С. В., Теплов А. И., Хорьков А. К. Патент РФ № 2203862. 2003.
2. Лоскутова Ю. В. и др. Изменение реологических свойств нефтяных дисперсных систем при вибрационной обработке // Коллоидный журнал. – 2005. – Т. 67. – №. 5. – С. 663-667.
3. Лоскутова Ю. В., Юдина Н. В., Данекер В. А. Влияние низкочастотного акустического поля и полимерной присадки на структурно-механические параметры нефти // Известия высших учебных заведений. Химия и химическая технология. – 2019. – Т. 62. – №. 1. – С. 70-77.
4. Тронов В.П. Промысловая подготовка нефти. – М.: Недра, 1977. – 260 с.

### **ВЛИЯНИЕ ТЕРМООБРАБОТКИ НА ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА NI- И ПОЛИОКСОМЕТАЛЛАТ-СОДЕРЖАЩИХ КАТАЛИТИЧЕСКИХ СИСТЕМ**

**Махалкина А.Р.<sup>1</sup>, Жиров Н.<sup>2</sup>, Журавков С.П.<sup>3</sup>**

Научный руководитель научный сотрудник А.С. Акимов<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>*Национальный исследовательский Томский государственный университет, г. Томск, Россия*

<sup>2</sup>*Институт химии нефти СО РАН, г. Томск, Россия*

<sup>3</sup>*Национальный исследовательский Томский политехнический университет, г. Томск, Россия*

Растущий спрос на энергию привел к использованию топлив, которые в свою очередь получены из нетрадиционных ресурсов (например, таких как нефтеносные пески или сланцевая нефть). Газойль, полученный из этих ресурсов, содержит большое количество органической серы (3,5-5,0 мас. %) и азота (0,30-0,45 мас. %), а также ядовитые металлы, такие как мышьяк и ванадий [1-3].

В связи с политикой проводимой правительством РФ в настоящее время инновационный курс отечественных НПЗ направлен на замену дорогостоящих зарубежных каталитических систем на отечественные катализаторы [4-5]. В следствии вышеотмеченных тенденций в ближайший временной интервал актуальность разработок в области приготовления новых каталитических систем будет заметно возрастать.

Тенденции синтеза и изучения свойств современных катализаторов для гидрогенизационных процессов направлены на методы одновременного нанесения активных металлов (Ni/Co, Mo/W), представляющих собой комплексные соединения так органической, как и неорганической природы. Особый интерес представляют координационные соединения молибдена, в частности, полиоксомолибдаты (молибденовые сини), где степень окисления молибдена может варьироваться от +6 до +5.

Целью данной работы является синтез и исследование влияния температуры термообработки на свойства Ni- и полиоксомолибдат-содержащих каталитических систем.

Для синтеза полиоксометаллатных соединений и катализаторов применяли коммерческие реактивы без дополнительной очистки: дисульфид молибдена (MoS<sub>2</sub>), нитрат никеля ((Ni(NO<sub>3</sub>)<sub>2</sub>\*6H<sub>2</sub>O)) «ч.д.а», спирт этиловый (C<sub>2</sub>H<sub>5</sub>OH) «х.ч.». В качестве носителя использовали  $\gamma$ -Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> ( $S_{уд}$ =191 м<sup>2</sup>/г,  $D_{ср.пор}$ =1,8 нм). Использование носителя с такими текстурными характеристиками позволяет готовить катализатор, в котором частицы активного компонента доступны для всех реагирующих молекул. Перед нанесением активных компонентов (Ni- и Mo-содержащих) носитель прокачивали на воздухе при 550 °С в течение 4 часов.

Снятие ИК-спектров проводили с использованием ИК-Фурье спектрометра Nicolet 5700 (США) в диапазоне частот от 4000 до 400 см<sup>-1</sup> с разрешением 4 см<sup>-1</sup>. Порошковые образцы готовили согласно стандартной методике - прессованием таблеток исследуемого порошка с КВг. Морфологию образцов исследовали на микроскопе JCM-6000 при ускоряющем напряжении 15 кВ. Рентгенофазовый анализ проводили на исследовательском комплексе D8 Discover (США) в диапазоне 2  $\theta$  от 8 до 86 °.

На рисунке приведены ИК-спектры исследованных образцов. В спектре образца, высушенного при комнатной температуре, фиксируется ряд полос поглощения в области 900-400 см<sup>-1</sup> и 1385 см<sup>-1</sup>, которые можно отнести к деформационным и валентным колебаниям фрагмента Al-O и симметричным валентным колебаниям (NO) соответственно. Образец, термообработанный при температуре 400 °С, характеризуется полным отсутствием полосы при 1385 см<sup>-1</sup>, что свидетельствует о полном удалении азотсодержащих фрагментов.

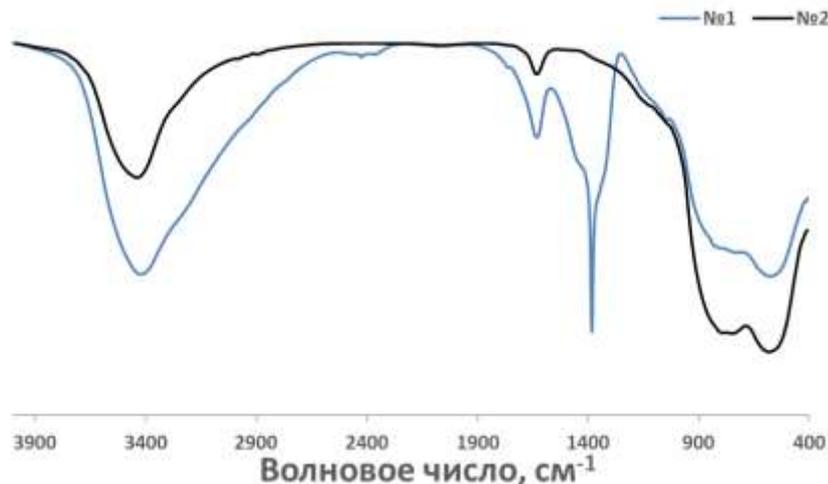


Рис. ИК-спектры Ni- и Mo-содержащих каталитических систем: №1 – комнатная температура, №2 – термообработанный при  $T 400\text{ }^{\circ}\text{C}$

В результате работы были получены Ni- и полиоксомолибдат-содержащие каталитические системы. Следует отметить, что в отличие от традиционных катализаторов в качестве Mo-содержащего соединения использовали полиоксомолибдатное соединение – молибденовые сини. Синтезированные катализаторы были изучены комплексом физико-химических методов исследования: ИК-спектроскопия, рентгенофазовый анализ, сканирующая электронная микроскопия.

Работа выполнена в рамках государственного задания ИХН СО РАН (проект FWRN-2021-0004), финансируемого Министерством науки и высшего образования Российской Федерации.

#### Литература

1. Badoga S. et al. Effect of synthesis technique on the activity of CoNiMo tri-metallic catalyst for hydrotreating of heavy gas oil //Catalysis Today. – 2017. – Т. 291. – С.160-171.
2. Cervantes-Gaxiola M. E. et al. Experimental and theoretical study of NiMoW, NiMo, and NiW sulfide catalysts supported on an AlTiMg mixed oxide during the hydrodesulfurization of dibenzothiophene //Fuel. – 2013. – Т. 113. – С.733-743.
3. Mendoza-Nieto J. A. et al. Development of new trimetallic NiMoW catalysts supported on SBA-15 for deep hydrodesulfurization //Fuel. – 2013. – Т. 110. – С.268-277.
4. Ninh T. K. T. et al. Support effect for CoMoS and CoNiMoS hydrodesulfurization catalysts prepared by controlled method //Applied Catalysis A: General. – 2014. – Т. 487. – С.210-218.
5. Нагиев Р. С. Разработка современных отечественных катализаторов гидроочистки на основе  $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$  / Р. С. Нагиев, Е. Б. Чернов // Башкирский химический журнал. – 2015. – № 2. – С. 38–40.

### РАЗРАБОТКА ФОРМАЛИЗОВАННОЙ СХЕМЫ ПРЕВРАЩЕНИЙ УГЛЕВОДОРОДОВ В ПРОЦЕССЕ КАТАЛИТИЧЕСКОГО КРЕКИНГА ДЛЯ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ИНДИВИДУАЛЬНОГО СОСТАВА ГАЗОВ

Межова М.Ю., Назарова Г.Ю.

Научный руководитель доцент Г.Ю. Назарова

Национальный исследовательский Томский политехнический университет, г. Томск, Россия

Сегодня наблюдается растущая потребность в газах каталитического крекинга как в нефтехимическом сырье. Легкие олефины являются основными нефтехимическими продуктами, используемыми в производстве полимеров и других упаковочных материалов. В этом состоит актуальность прогнозирования состава газа крекинга, зависящего от параметров технологического режима и состава сырья. Особенно остро такая задача стоит для установок, интегрированных с нефтехимическими заводами. Вместе с тем, в литературе ограничены исследования по моделированию процесса каталитического крекинга на основе схемы превращений углеводородов, ориентированной на прогнозирование индивидуального состава газов крекинга. Так, в работе [1] в основе модели положена формализованная схема с участием псевдокомпонентов широкого фракционного состава (вакуумный газойль, бензин, кокс-1, кокс-2), а также легких олефинов — этилена и пропилена, при этом не учитывает углеводородный состав сырья и не позволяет прогнозировать содержание таких компонентов как изобутан и алкенов  $\text{C}_4$ , содержание которых в бутан-бутиленовой фракции составляет ок.40 % мас.

Целью работы является разработка формализованной схемы превращений углеводородов в процессе каталитического крекинга, ориентированной на прогнозирование индивидуального состава газов крекинга.

Для разработки реакционной схемы, ориентированной на прогнозирование состава газов каталитического крекинга, необходимо выполнить термодинамический анализ реакций процесса с участием компонентов сырья, газа, бензина и легкого газойля ( $\Delta_r G^{\circ}_{768-893} < 0$ ). Для этого, на первом этапе, проанализирован компонентный состав газов