

**Таблица 2.** Степень удаления полученных концентратов

Проба	Δw, % мас.		
	К-1	К-2	К-3
06.01.2021	0,3239	0,0629	0,0089
09.01.2021	0,3258	0,0733	0,0121
23.09.2021	0,3059	0,0516	0,0164

экстракции рафината уксуснокислым раствором серной кислоты (К-3).

Результаты исследования представлены в таблицах 1 и 2.

По результатам проведенного исследования наибольшая концентрация выделенных АО (1,4 % мас.) у гексанрастворимых высокомолекулярных соединений, которые сконцентрированы в смолах. В процессе гидроочистки их концентрация уменьшается на 0,32 % мас. Концентрация

полученных негексанрастворимых высокомолекулярных АО, в трех пробах различна, однако изменение концентрации в процессе гидроочистки остается равным и составляет в среднем 0,065 % мас. Данные соединения сконцентрированы в основном в асфальтенах. Наименьшее изменение концентрации в процессе гидроочистки (на 0,01 % мас.), наблюдается для низкомолекулярных АО.

### Список литературы

1. Ганеева Ю. М. Асфальтеновые наноагрегаты: структура, фазовые превращения, влияние на свойства нефтяных систем / Ю. М. Ганеева, Т. Н. Юсупова, Г. В. Романов // *Успехи химии*, 2011. – Т. 80. – № 10. – С. 1034–1050.
2. Герасимова Н. Н., Сагаченко Т. А., Бейко О. А., Огородников В. Д. / *Выделение и фракционирование азотистых оснований из нефти*. Издательство «Наука» Москва, 1987. – Т. 27. – № 1. – С. 32–38.

## ЗАКОНОМЕРНОСТИ ПРЕВРАЩЕНИЯ СЕРНИСТЫХ СОЕДИНЕНИЙ В ПРОЦЕССЕ КАТАЛИТИЧЕСКОГО КРЕКИНГА

А. А. Орешина, Г. Ю. Назарова

Научный руководитель – д.т.н., профессор Е. Н. Ивашкина

*Национальный исследовательский Томский политехнический университет  
634050, Россия, г. Томск, проспект Ленина, дом 30, sasha.oreshina.94@mail.ru, silko@tpu.ru*

Сегодня, для решения взаимосвязанных и многофакторных задач прогнозирования и оптимизации промышленных процессов нефтепереработки широко применяются методы математического моделирования. Поскольку процессы нефтепереработки являются многокомпонентными и на поверхности катализаторов протекает множество химических реакций, в основе разрабатываемых моделей положены формализованные схемы превращений реактантов.

Разработка формализованной схемы превращений реактантов в процессах нефтепереработки является важнейшим этапом, определяющим прогнозирующую способность модели для решения требуемых производственных задач (прогнозирование состава и выхода бензиновой,

дизельной фракции, газов крекинга, серы в продуктах и др.) и обеспечивающим высокую адекватность модели.

Поэтому целью работы является разработка формализованной схемы превращений углеводородов и сернистых соединений в процессе каталитического крекинга.

В ходе проведения термодинамического анализа было установлено, что изменение энергии Гиббса реакций деалкилирования алкилтиофенов и бензотиофенов сырья и изменяются в интервале –58,78 и –57,39 кДж/моль, термодинамическая вероятность реакций деалкилирования (при температуре 810 К) возрастает с увеличением длины алкильного заместителя от C2 до C6 –(8,45–49,97) и –(11,12–51,12) кДж/моль

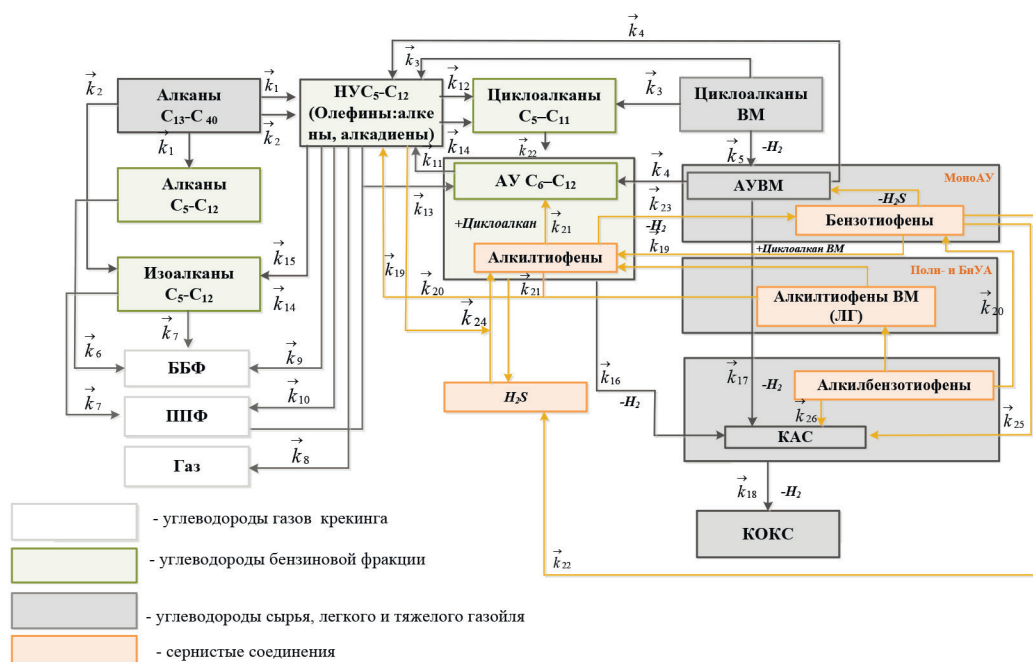


Рис. 1. Схема превращений углеводородов и сернистых соединений в процессе каталитического крекинга

– для алкилтиофенов и алкилбензотиофенов соответственно. Установлено, что высокой термодинамической вероятностью характеризуются реакции циклизации алкилтиофенов с числом углеродных атомов в алкильном заместителе более трех с последующим дегидрированием –129,67 кДж/моль. Реакции крекинга тиофенов и бензотиофенов протекают через ряд стадий при переносе водорода с последующим крекингом с образованием олефинов и сероводорода. Причем, олефины в дальнейшем участвуют в реакциях переноса водорода с образованием изоалканов и ароматических углеводородов.

Таким образом, на основании установленных термодинамических закономерностей, схе-

ма [1] дополнена реакциями с участием серусодержащих соединений (рисунок 1).

Разработанная схема превращений обеспечивает прогнозирование содержания серы в продуктах крекинга (газ, бензин, легкий газойль), с учетом реакций конденсации и циклизации олефинов, тиофенов и бензотиофенов, способствующих образованию кокса. Результаты работы будут использованы при разработке математической модели пригодной для прогнозирования содержания углеводородов бензинового ряда, газов крекинга и сернистых соединений в продуктах, что является актуальным, как с точки зрения оптимизации процессов компаундирования бензинов, так и нефтехимической обработки сырья.

## Список литературы

1. Термодинамические закономерности превращений серусодержащих соединений в процессе каталитического крекинга / труды XXIV Международного симпозиума имени академика М. А. Усова студентов и моло-

дых ученых, посвященного 75-летию Победы в Великой Отечественной войне. Том II / Томский политехнический университет. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2020. – С. 302–303.