

реактор 9,2 м<sup>3</sup>/ч, расход пара на распыл сырья и в захватное устройство лифт-реактора 7898 кг/ч.

На рисунке 1 представлена зависимость относительной активности закоксованного катализатора в отношении первичных и вторичных реакций крекинга от содержания смол в сырьевом потоке.

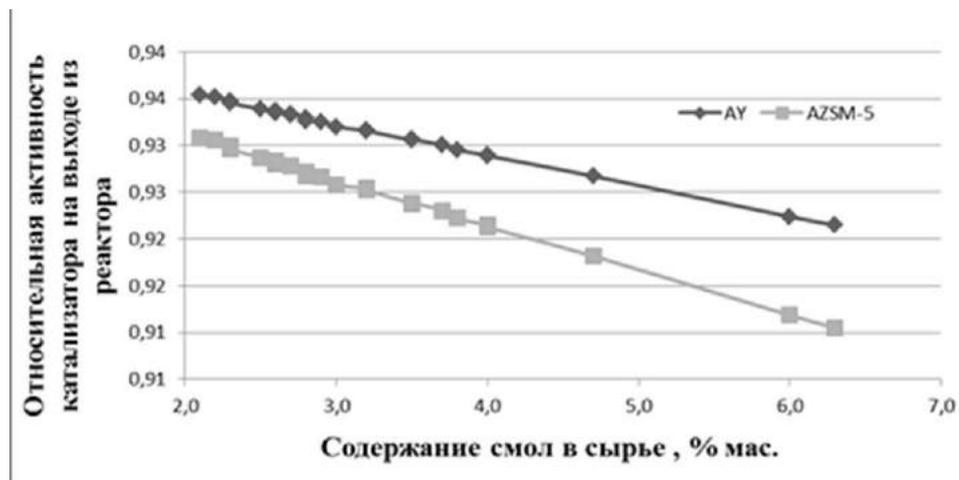


Рис. 1. Зависимость относительной активности катализатора от содержания смол в сырье каталитического крекинга

В соответствии с рисунком 1 при увеличении содержания смол в сырье каталитического крекинга с 2,1 до 6,3 % мас. относительная активность катализатора снижается с 0,935 до 0,920 в отношении первичных реакций крекинга и с 0,931 до 0,910 в отношении вторичных реакций крекинга при поддержании постоянных параметров технологического режима работы реактора. Снижение активности катализатора связано с увеличением выхода кокса, образующегося на поверхности катализатора с 2,85 до 6,95 % мас.

Разработка и применение математической модели реактора, учитывающая групповой состав перерабатываемого сырья и функцию дезактивации катализатора позволит проводить исследования, направленные на увеличение выхода светлых фракций с установки каталитического крекинга и снижение избыточного коксообразования.

#### Литература

1. Bartholomew C. H. Mechanisms of catalyst deactivation // Applied Catalysis A: General. – 2001. – Vol. 212 – №1-2. – P. 17–60.
2. C. Naccache, in: J. Oudar, H. Wise (Eds.), Deactivation and Poisoning of Catalysts, Marcel Dekker, New York, 1985.
3. Lipin P. V., Doronin V. P. et al. Conversion of Higher n-Alkanes under Deep Catalytic Cracking Conditions // Petroleum chemistry. – 2010. Vol. 50, № 5. – P. 362-367.

### МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА КАТАЛИТИЧЕСКОГО РИФОРМИНГА БЕНЗИНОВ НА ПАВЛОДАРСКОМ НПЗ

А.Е. Ордабаев, Г. Ж. Сейтенова, В.А. Чузлов

Научный руководитель Э.Д. Иванчина

Национальный исследовательский Томский политехнический университет, г. Томск, Россия

Особенность ПНПЗ - большие единичные мощности комбинированных технологических установок с набором современных процессов. ПНХЗ расположен в северном промышленном узле г. Павлодара. В 2009 году ТОО «ПНХЗ» вошел в состав АО НК «КазМунайГаз», что, определило выбор стратегического направления развития предприятия. Сегодня основная цель Павлодарского нефтехимического завода – выпуск востребованной продукции в необходимом для нужд страны объеме и соответствующей по своему качеству требованиям мирового рынка. Основой достижения этой цели является создание современной производственной базы в результате проведения реконструкции, модернизации и технического перевооружения существующего производства, а также строительства новых высокотехнологичных объектов. Установка ЛК-6У состоит из 4-х секций: - С-100 -ЭЛОУ-АТ, мощностью 7,5 млн.тн/год;- С-200 -каталитический риформинг, мощностью 1 млн. тн/год;- С-300/1 -гидроочистка дизельного топлива, мощностью 2000 тыс.тн/год;- С-300/2 -гидроочистка керосина, мощностью 600 тыс.тн/год;- С-400 -газофракционирование, мощностью 450 тыс.тн/год. Секция 200 установки ЛК-6У – каталитический риформинг, предназначена для получения высокооктановых компонентов автомобильных бензинов и технического водорода в результате каталитических превращений широкой бензиновой фракции 62-180°С секции 100 установки ЛК-6У. Водородсодержащий газ (технический водород) используется далее в процессах гидроочистки топлив. Процесс риформинга осуществляется при последовательном прохождении сырья через три реактора, заполненных катализатором: Р-202, Р-203, Р-204 – полиметаллический катализатор RG-682 фирмы «Аксенс», Узел смещения бензинов промежуточным звеном между технологическими

установками ЛК-6У, КТ-1 и товарно-сырьевым парком является узел смещения бензинов. На нем происходит прием, компаундирование компонентов автомобильных бензинов, вырабатываемых на установках, с целью приготовления товарной продукции – автомобильных бензинов марок А-76, АИ-80, АИ-91, АИ-93.

Установка ЛК-6У состоит из 4-х секций:

- С-100 -ЭЛОУ-АТ, мощностью 7,5 млн.тн/год;
- С-200 -каталитический риформинг, мощностью 1 млн. тн/год;
- С-300/1 -гидроочистка дизельного топлива, мощностью 2000 тыс.тн/год;
- С-300/2 -гидроочистка керосина, мощностью 600 тыс.тн/год;
- С-400 -газофракционирование, мощностью 450 тыс.тн/год.

В результате технологического процесса получают отдельные нефтяные фракции, которые являются сырьем последующих секций установки ЛК-6У, а именно:

- фр. НК – 62°С – нестабильная головка – сырье секции 400,
- Фр. 62 – 180°С – прямогонный бензин – сырье секции 200,
- Фр.140 – 230°С – керосиновая фракция – сырье секции 300/2,
- фр.230 – 350°С – дизельная фракция – сырье секции 300/1,
- фр. выше 350°С – мазут – сырье вакуумных блоков КТ-1, УПБ.

Математическое моделирование каталитических процессов как научное направление создавалось в середине 60-70-х годов прошлого века и продолжает развиваться. Определяющую роль играет моделирование в развитии каталитических процессов. Многие промышленные процессы нефтепереработки и нефтехимии в различных технологических системах протекают вдали от равновесия. Полнота реализации потенциала катализатора определяет ресурсоэффективность всего производства в целом. Исследование закономерностей превращения углеводородов при реализации таких процессов представляет крупное научное направление, включающее проведение термодинамических, кинетических и гидродинамических расчётов. Основной причиной дезактивации катализаторов нефтепереработки и нефтехимии является образование кокса. Дезактивация коксом зависит не только от его количества, но и от того, какие функции (металлические или кислотные) подавляются на катализаторе, так как одно и то же количество кокса в разной степени изменяет активность металлической или кислотной функций. Рост углеродистых отложений начинается с металлического центра. Быстрое накопление кокса на поверхности металла постепенно снижается и в дальнейшем изменяется незначительно. Устанавливается равновесие между углеродистыми отложениями и активностью металла в реакции гидрирования этих углеродистых отложений. Затем начинает снижаться доля кислотных центров, которые блокируются коксом тем больше, чем выше число крекинга, которое является мерой снижения активности кислотных центров в реакциях углеводородов, катализируемых ими. В этом случае увеличивается скорость гидрогенолиза, так как снижается скорость изомеризации, и из метилциклопентана образуются олефины.

Скорость химических реакций (изменение концентрации углеводородов) зависит от температуры и времени контакта по дифференциальному уравнению в частных производных по времени контакта и параметра дезактивации Z:

$$\frac{\partial C_i}{\partial z} + \frac{\partial C_i}{\partial V} = \frac{1}{G} \cdot \sum_j W_j;$$

$$W_j = C_{ij} \cdot k_{0ij} \cdot e^{-\frac{E_{ij}}{RT}},$$

где  $W_j$  — скорость превращения i-го углеводорода в j-й реакции; z — суммарный объём переработанного сырья, м<sup>3</sup>; V — объём катализатора, м<sup>3</sup>;  $C_i$  — концентрация i-го углеводорода в смеси;  $E_{ij}$  — энергия активации j-й реакции i-го углеводорода.

Использование нестационарной кинетической модели процесса риформинга обеспечило прогнозирование длительности межрегенерационного цикла при поддержании оптимальной активности катализатора в процессе эксплуатации. Интеллектуальная компьютерная система уже не является синонимом рефлекторного сознания, а практически полностью имитирует искусственный интеллект и способна в связи с этим не только анализировать и оптимизировать процесс, но, главное, прогнозировать как режимные параметры, так и результаты работы системного объекта на примере, в данном случае, сложнейшего процесса каталитического риформинга.

#### Литература

1. Слинко М.Г. О сокращении сроков разработки и усовершенствования каталитических процессов // Катализ в промышленности. — 2006. — № 4.