

1. Температура процесса – 375 °С, давление – 0,35 МПа, расход сырья – 0,5 мл/мин.

2. Температура процесса – 425 °С, давление – 0,35 МПа, расход сырья – 0,5 мл/мин.

В качестве сырья процесса была использована прямогонная дизельная фракция, в качестве катализатора – цеолитный катализатор марки КН-30.

Результаты определения характеристик сырьевой фракции и полученных продуктов приведены в Таблице. Все представленные характеристики были определены согласно методикам, регламентированным [1].

Из результатов, представленных в Таблице следует, что по низкотемпературным показателям и вязкости оба полученных продукта соответствуют требованиям, предъявляемым к марке дизельного топлива А (арктическое), а по значе-

ниям плотности требованиям, предъявляемым к марке З (зимнее) [1]. С ростом температуры процесса наблюдается улучшение низкотемпературных свойств (ПТФ снижается на 7 °С), но ухудшаются такие показатели как плотность (увеличение на 16 кг/м<sup>3</sup>) и вязкость (увеличение на 0,661 мм<sup>2</sup>/с). Также важно отметить, что в процессе облагораживания происходит снижение содержания серы, причем с ростом температуры данный эффект усиливается (снижение содержания серы на 170 мг/кг и 469 мг/кг соответственно).

Таким образом из полученных результатов можно заключить, что использование катализатора марки КН-30 является перспективным для облагораживания дизельного топлива. Из представленных условий ведения процесса наиболее оптимальными являются условия №1.

### Список литературы

- ГОСТ 305-2013 Топливо дизельное. Технические условия.– М.: Стандартинформ, 2014.– 10 с.

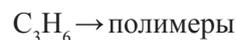
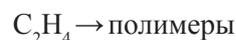
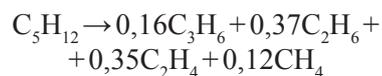
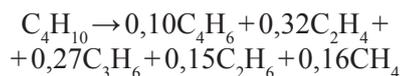
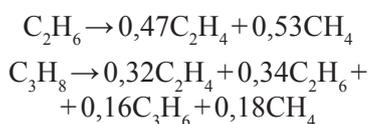
## КОМПЬЮТЕРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПИРОЛИЗА БЕНЗИНОВОЙ ФРАКЦИИ

А.А. Бунаев, И.О. Долганова, И.М. Долганов, Н.А. Чиркина, М.Н. Чернышов, М.Ю. Межова  
 Научный руководитель – к.т.н., н.с.И.О. Долганова

Национальный исследовательский Томский политехнический университет  
 634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина 30, aiurbunaev@gmail.com

Пиролиз является одним из главных процессов для многих установок на нефтехимическом производстве, который позволяет получать для них сырье. При этом, одним из направлений в области усовершенствования ведения данного процесса является разработка детерминированных математических моделей, которые позволяют сформировать наилучшую стратегию оптимизации за счет многостороннего анализа [1].

В основе разрабатываемой модели лежит кинетическая модель, предложенная Жорыным Ю.М., Васильевой Н.И. и Панченковым Г.М., которая состоит из 7 реакций, где задействованы 12 компонентов [2]. В данной модели добавлена также реакция образования из побочных полимеров кокса.



Таким образом, математическая модель процесса пиролиза состоит из двух частей. Первая – система 7 экспоненциальных уравнений для расчета констант скоростей приведенных выше реакций [1]:

$$K_j = K_{0j} \cdot P_0 \cdot \exp\left(\frac{-E_j}{RT}\right), j \in \{1, \dots, 7\},$$

где  $K_j$  – константа скорости реакции  $j$ , с<sup>-1</sup>,  $K_{0j}$  – предэкспоненциальный множитель, с<sup>-1</sup>,  $P_0$  – дав-

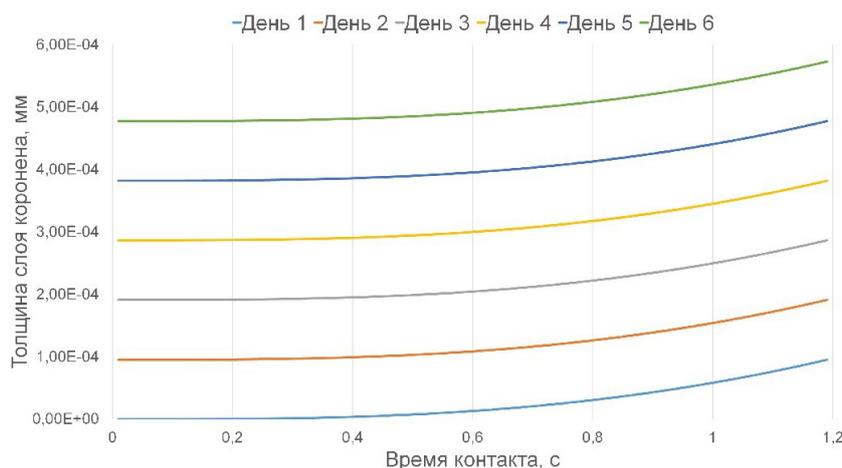


Рис. 1. Рост слоя кокса на стенках трубки в течение 6 дней

ление процесса, атм,  $E_j$  – энергия активации реакции  $j$ , Дж/моль,  $T$  – температура процесса, °К.

Вторая состоит из 11 дифференциальных уравнений. Они описывают изменения концентраций компонентов, входящих в рассматриваемую смесь углеводородов, по времени [1]:

$$\frac{dC_k}{dt} = \sum_{i,j} a_{i,j} \cdot K_j \cdot C_i$$

где  $C_i$ ,  $C_k$  – концентрация компонента  $i$ ,  $k$ , моль/л,  $\tau$  – время контакта, с,  $a_{i,j}$  – стехиометрический коэффициент компонента  $i$  в реакции  $j$ . Полученная система уравнений решается методом Рунге-Кутты первого порядка.

В работе модели учитывается нестационарность процесса, то есть, параметры системы

меняются с течением астрономического времени. Позволяет проводить в модели также расчет концентрации кокса по формуле ниже и, соответственно, толщину его отложений на стенках труб печи пиролиза [3].

$$\frac{dC_{\text{кокса}}}{dt} = K_8 \cdot C_{\text{кокса}} - \exp(0,023 \cdot C_{\text{кокса}} - 1) \cdot G^{0,8} \cdot (D - 2 \cdot \delta)^{-1,8}$$

где  $G$  – массовый расход сырья, кг/с,  $D$  – диаметр трубки, мм,  $\delta$  – толщина отложений кокса, мм.

На рисунке 1 представлен результат работы модели в течение небольшого промежутка времени, описывающие накопление слоя кокса на стенках труб печи пиролиза.

### Список литературы

1. Самедов Ф.А., Морозов А.Ю., Самойлов Н.А., Просочкина Т.Р. Математическое моделирование нестационарного процесса пиролиза углеводородов // *Нефтехимия*, 2019.– №2.– С.143–151.
2. Жоров Ю.М. Моделирование физико-химических процессов нефтепереработки и нефтехимии.– М.: Химия, 1978.– 376 с.
3. Fernandez-Baujín J.M., Solomon S.M. New reactor design offers benefits // *Oil Gas J.*, 1976.– V.74.– P.94–95.

## РАЗРАБОТКА ФОРМАЛИЗОВАННОЙ СХЕМЫ ПРЕВРАЩЕНИЯ ВЕЩЕСТВ В ПРОЦЕССЕ ЦЕОФОРМИНГА СТАБИЛЬНОГО ГАЗОВОГО КОНДЕНСАТА

Р.А. Быков, А.А. Алтынов

Научный руководитель – к.т.н., доцент М.В. Киргина

Национальный исследовательский Томский политехнический университет  
634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина 30, [mr.baroman@yandex.ru](mailto:mr.baroman@yandex.ru)

Рост спроса на автомобильные топлива ведет к разработке и поискам новых технологий их получения. Также с каждым годом растет про-

блема рационального использования попутного нефтяного газа и стабильного газового конденсата. Совокупным решением данных проблем