



Рис. 1. Формализованная схема превращений процесса гидрокрекинга

ний на основе лабораторный исследований и литературных данных [2], которая в дальнейшем будет основой для создания математической модели процесса гидрокрекинга вакуумного газойля.

Таким образом, основными реакциями являются гидрогенолиз серу- и азотсодержащих соединений, гидрирование ароматических углеводородов [3], а также гидрокрекинг парафинов,

изопарафинов, нафтенных и ароматических соединений.

Также наблюдаются протекание и побочных реакций:

- поликонденсация ароматических соединений
- изомеризация
- коксообразование.

### Список литературы

1. Капустин В. М. *Технология переработки нефти. В 4-х частях. Часть вторая. Физико-химические процессы* / В. М. Капустин, А. А. Гуреев. – М.: Химия, 2015. – 400 с.
2. Анчита Х. *Переработка тяжелой нефти. Реакторы и моделирование процессов: пер. с англ. яз.* / Х. Анчита; под ред. О. Ф. Глаголевой, В. А. Винокурова. – СПб.: ЦОП «Профессия», 2015. – 592 с.
3. Самойлов Е. Р. *Термодинамический анализ реакций процесса гидроочистки вакуумного газойля* / Е. Р. Самойлов, А. Д. Афанасьева, Т. А. Калугев // *Химия и химическая технология в XXI веке: материалы XXII Международной научно-технической конференции студентов и молодых ученых ХХТ-2021.* – Томск, 2021. – С. 84–85.

## МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА РЕГЕНЕРАЦИИ КАТАЛИЗАТОРА В ТЕХНОЛОГИИ КАТАЛИТИЧЕСКОГО КРЕКИНГА

И. А. Самсонов

Научный руководитель – к.т.н., доцент Г. Ю. Назарова

Национальный исследовательский Томский политехнический университет  
пр. Ленина, 30, ias78@tpu.ru

Эффективность стадии окислительной регенерации существенно влияет на экономику и показатели процесса каталитического крекинга, определяя активность катализатора, поступающего в лифт-реактор и обеспечивая требуемые температуры крекинга с учетом организации па-

раметров кратности циркуляции катализатора, расхода и температуры сырья. При протекании химических реакций на поверхности катализатора образуются коксовые структуры, дезактивируя его и снижая выход целевых продуктов. При значительном увеличении температуры

**Таблица 1.** Материальный баланс регенератора

Поток	Количество, кг/ч	%
Приход:		
Катализатор	2027825,17	91,5
Кокс до регенерации	11214,72	0,5
Воздух на регенерацию	175068,48	8
Расход:		
Катализатор	2027825,17	91,5
Кокс после регенерации	1867,32	0,0843
Дымовые газы	185464,43	8,37
Итого:	2215156,92	100

Разработка и применение математической модели, учитывающей физико-химические закономерности протекания реакций окисления кокса в среде воздуха, позволяет прогнозировать не только содержание остаточного кокса на катализаторе и состав дымовых газов регенерации, но и температуру в зоне регенерации в зависимости от параметров технологического режима работы реакторно-регенераторного блока с учетом количества кокса, образующегося на поверхности катализатора в реакторе.

Целью работы является анализ данных с промышленной установки каталитического крекинга и моделирование процесса окислительной регенерации катализатора.

На первом этапе выполнен расчет материального баланса процесса регенерации катализатора (Таблица 1) и соотношение количества углерода и водорода в коксе согласно промышленным данным (таблица 2).

Среднее соотношение С/Н в коксе соответствует 1,3 ед., состав молекулы может быть представлен полиароматической структурой строения  $C_{52}H_{40}$ .

### Список литературы

1. Д. Кунии, О. Левеншпиль // *Промышленное псевдооживление*. – М.: Изд. «Химия», 1976. – 448 с. 1976.2.
2. Иванов И. И. *Оценка погрешностей результатов измерений*. – М.: Наука, 1996. – 256 с.

**Таблица 2.** Результаты расчета С/Н

	Диапазон
Содержание $O_2$ в газах регенерации, % об.	2,97–5,5
Содержание $CO$ в газах регенерации, % об.	0,05–0,29
Содержание $CO_2$ в газах регенерации, % об.	12,73–15,58
Масса кокса, кг	9426,53–11931,89
Суммарный расход воздуха, $nm^3/ч$	126632,56–139996,80
С/Н в коксе	1,19–1,67

Для моделирования процесса окислительной регенерации выбрана двухфазная пузырьковая модель реактора в псевдооживленном слое [1, 2]. Расчет плотной фазы осуществляется в соответствии суравнением

$$G_I C_{Af} + \int_0^H K_{gA} a (C_{AB} - C_A) A_C dh = G_I C_A + A_I H \rho_b R$$

Молярный баланс на элементе пузырьковой фазы, где скорость реакции пренебрежимо мала:

$$G_C \frac{dC_{AB}}{dh} = -K_{gA} a A_C (C_{AB} - C_A),$$

где  $\rho_b$  – насыпная плотность твердого тела при минимальных условиях псевдооживления;  $a$  – отношение площади внешней поверхности пузырьков ( $cm^2$ ) к объему пузырьковой фазы ( $cm^3$ );  $K_{gA}$  – коэффициент массопереноса между пузырьком и плотной фазой,  $G$  – массовый расход,  $R$  – скорость реакции.

Разработанная модель позволит прогнозировать состав газов крекинга и содержание остаточного кокса на регенерированном катализаторе. Следующим этапом станет расчет теплового баланса процесса.