

Рис.2. Формализованная схема превращений углеводородов в процессе каталитического крекинга

Реакции  $k_1, k_2$  приводят к образованию компонентов бензина и легкого газойля из насыщенных ароматических углеводородов сырья каталитического крекинга, реакция  $k_3$  – реакция получения бутилена и компонентов бензина в результате крекинга компонентов легкого газойля, реакции  $k_4-k_8$  – реакции образования индивидуальных компонентов газов крекинга из компонентов бензина, реакция  $k_9$  – реакция образования изобутана в результате переноса водорода, реакция  $k_{10}$  – реакция конденсации ароматических углеводородов легкого газойля с насыщенными углеводородами бензина, приводящая к образованию ароматических углеводородов сырья. Из последних рассмотрено получение смолистых компонентов сырья в результате реакции конденсации ( $k_{11}$ ). Схема позволяет прогнозировать количество кокса ( $k_{12}$ ), который образуется при протекании побочных реакция процесса каталитического крекинга.

Результаты будут использованы при разработке математической модели, ориентированной на прогнозирование газов крекинга. Разработка и применение математической модели с расширенной схемой превращений углеводородов до газов обеспечит прогнозирование выхода и состава целевых продуктов процесса (бензиновой фракции и газов) в зависимости от состава сырья, технологических режимов работы аппаратов и активности катализатора.

#### Литература

1. Исламов, Г. И. Обзор и анализ математических моделей процесса каталитического крекинга / Г. И. Исламов, И. М. Губайдуллин // Актуальные проблемы вычислительной и прикладной математики 2019. – 2019. – С.175–180.
2. Сталл, Д. Химическая термодинамика органических соединений / Д. Сталл, Э. Вестрам, Г. Зинке. – М.: Мир, 1971. — 806 с.

## ВОВЛЕЧЕНИЕ РАФИНАТА И ДЕАСФАЛЬТИЗАТА ВАКУУМНОГО ОСТАТКА НА УСТАНОВКУ КАТАЛИТИЧЕСКОГО КРЕКИНГА ВАКУУМНОГО ГАЗОЙЛЯ

Нафо Б.Д., Назарова Г.Ю.

Научный руководитель доцент Г.Ю. Назарова

Национальный исследовательский Томский политехнический университет, г. Томск, Россия

На сегодняшний день в условиях введения комплексов глубокой переработки нефти на НПЗ на базе гидрокрекинга возникает проблема дефицита традиционного сырья для технологии каталитического крекинга и необходимость расширения сырьевой базы процесса. При использовании прямогонного вакуумного газойля дефицит сырья может достигать 40-50 %.

На установках, в качестве сырья каталитического крекинга обычно использует вакуумный газойль с температурой кипения 370–540 °С. В настоящее время особенно актуальны исследования, направленные на вовлечение в переработку на установках каталитического крекинга и других нефтяных фракции, таких как дистилляты смазочных масел, атмосферные газойли, газойли коксования, остатки процесса гидрокрекинга, масло пиролиза шин, парафиновые гачи, деасфальтизированные нефтяные остатки и др. [1-4]. Вовлечение рафината осветленного масла повышает выход сжиженного нефтяного газа и бензина при снижении кокса на катализаторе. Увеличение выхода продуктов крекинга при переработке вакуумного газойля с рафинатом осветленного масла улучшает экономику работы установки крекинга. В работе [5] вакуумные остатки из Китая (Daqing и Dagang) подвергали глубокому фракционированию растворителем с использованием сверхкритической флюидной экстракции и фракционирования для получения деасфальтизата с четырьмя уровнями выхода: 30, 40, 50 и 60 мас. %, которые являлись сырьем лабораторной установки.

Учитывая широкий спектр низкокачественных нефтяных фракций на НПЗ, являющихся потенциальным сырьем каталитического крекинга, важно оценить целесообразность их вовлечения и оптимальное количество с учетом типа применяемых катализаторов. Исследования состава, структуры и физико-химических свойств тяжёлого

## СЕКЦИЯ 11. ХИМИЧЕСКАЯ ТЕХНОЛОГИЯ ПОДГОТОВКИ И ПЕРЕРАБОТКИ УГЛЕВОДОРОДНЫХ РЕСУРСОВ

нефтяного сырья является необходимым для создания эффективных режимов и выбора наилучших вариантов переработки тяжелого нефтяного сырья. При этом принципиально важным фактором является прогнозирование влияния качества и состава сырья на выход продуктов и, особенно, кокса, поскольку конверсия сырья может ограничиваться производительностью регенератора по коксу и дезактивацией катализатора, например, при переработке тяжелого высокоароматизированного и высокосернистого сырья, приводя к нарушению теплового баланса процесса и снижению выхода целевых продуктов.

Поэтому целью работы является увеличение выхода целевых продуктов процесса каталитического крекинга за счет вовлечения в переработку рафината и деасфальтизата вакуумного остатка в качестве сырья процесса.

В таблице показаны характеристики тяжелых нефтяных фракций, вовлекаемых в процесс каталитического крекинга согласно литературным данным [1, 5].

**Таблица**

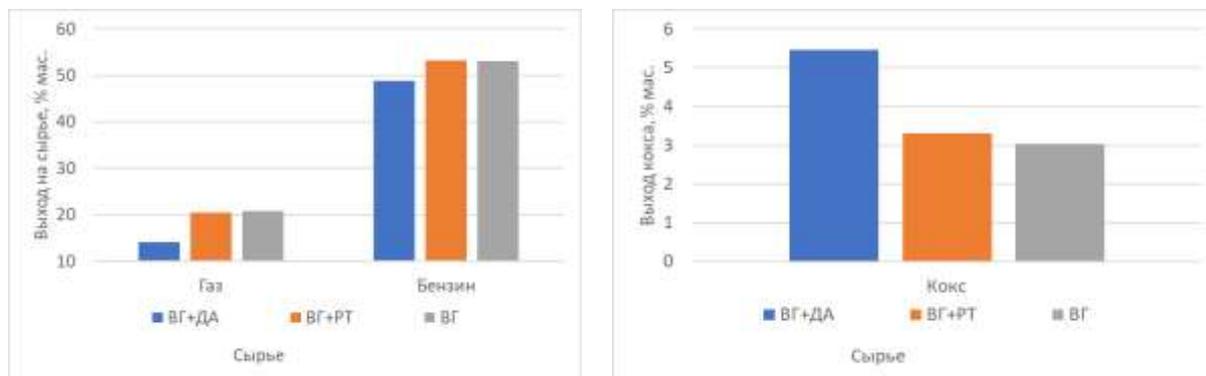
**Характеристики и состава сырья**

Свойства	Плотность при 15°C	Насыщенные УВ, мас. %	Ароматические УВ, мас. %	Смолы, % мас.	Фракционный состав, °C
Вакуумный газойль (из Персидского залива)	0,8757	69,5	30,5		297-540
Вакуумный газойль из казахстанской и западно-сибирской нефти	0,887	68,5	29,9	1,6	300-542
Осветленное масло	0,973	28,2	71,8		254-673
Рафинат осветленного масла	0,869	91,6	8,4		279-510
Деасфальтизат вакуумного остатка	0,9071	67,4	23,9	8,7	300-560
Деасфальтизат вакуумного остатка (ДА)	0,9291	57,9	29,3	12,9	300-560
Рафинат (РТ)	0,808	81,4	15,7	2,9	150-325

На исследуемой установке каталитического крекинга фактическая загрузка составляет 72,7 % от максимальной (5000 тонн/сут). Для обеспечения производительности установки каталитического крекинга по сырью, выполнены прогнозные расчеты с применением математической модели, разработанной в НИ ТПУ [6] с целью определения целесообразности вовлечения и оптимального соотношения компонентов в смесевом сырье, содержащем вакуумный газойль из казахстанской и западно-сибирской нефти, рафината и деасфальтизата вакуумного остатка (ДА).

На рис. 1 показано влияние смесового сырья на выход целевых продуктов и кокса при переработке вакуумного газойля (ВГ) и смесового сырья, содержащего вакуумный газойль и 1) деасфальтизат (ВГ+ДА) и 2) рафинат (ВГ+РТ) в соотношении ВГ:ДА(РТ) = 2,6 при прочих равных условиях.

Модельные расчеты показали, что при переработке смеси вакуумного газойля и смеси ВГ+РТ обеспечиваются наибольшие выходы целевых продуктов бензина и легких олефинов (53,1-53,2 и 20,4-20,8 % мас.) за счет высокого содержания насыщенных углеводородов в сырье. Применение модели показывает, что при переработке смеси вакуумного газойля с деасфальтизатом в таком же соотношении, количество кокса наибольшее (282,84 тн/сут), что выше в 1,8 раза, относительно результатов, полученных при переработке вакуумного газойля. Это связано с высоким содержанием смол в смесевом сырье (4,7 % мас.), которые интенсивно конденсируются с образованием кокса и слабо крекируются в условиях каталитического крекинга. Активность катализатора на выходе из лифт-реактора составила 52,4 %, в то время как при переработке вакуумного газойля эта величина составила 72,4 %. Переработка такого сырья приводит к значительной дезактивации катализатора коксом и превышает производительность регенератора возможности сжигания кокса регенератора для исследуемой установки.



**Рис.1. Выход целевых продуктов и кокса при переработке различного сырья при постоянных параметрах технологического режима**

Вследствие этого смешение вакуумного газойля с деасфальтизатом в таком соотношении нецелесообразно перерабатывать на установке каталитического крекинга из-за интенсивного образования кокса на катализаторе, при этом совместная переработка вакуумного газойля, ДА и РТ позволит дозагрузить установку каталитического крекинга дополнительным сырьем и увеличить выход целевых продуктов (рис. 2, 3).

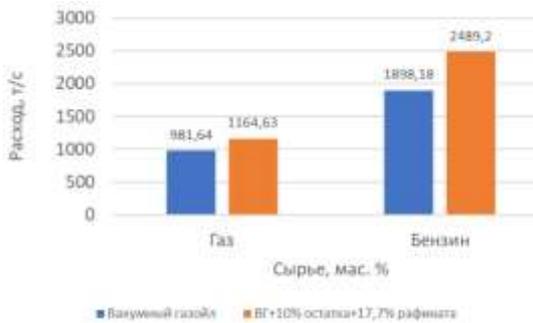


Рис.2. Выход продуктов до и после оптимизации состава сырья и дозагрузки установки

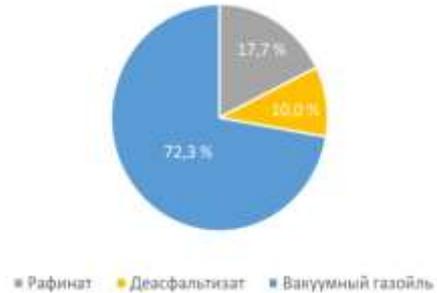


Рис.3. Состав смешеного сырья

Прогнозные расчеты показали, что вовлечение 10 % ДА и 17,7 % рафината в переработку ВГ и оптимизация состава смешеного сырья обеспечивает полную загрузку установки, увеличение выхода бензина и олефинсодержащего газа с учетом дозагрузки установки составило 591 и 183 т/сут.

#### Литература

1. Venugopal, R. Additional Feedstock for Fluid Catalytic Cracking Unit / R. Venugopal, V. Selvavathy, M. Lavanya, and K. Balu // *Petroleum Science and Technology*. – 2008. – V. 26. – P. 436–445
2. Amos, A. Innovative improvements highlight FCC's past and future / A. Amos, A. Avidan, H. Owen // *Oil Gas Journal*. –1990. – P. 33–58.
3. Rao, M. R. Residual processing in Indian FCC units: Prospects and problems / M. R. Rao, D. Bhattacharya, S. Mandal, A. K. Das, S. Ghosh // *Hydrocarbon Technol.* – 1994. – P. 3–19.
4. Wang, F. Studies on pretreatment of catalytic cracking slurry oil with added furfural. *Petrol* / F. Wang, D. Zhao, R. Song, K. Yue and, R. Zhao // *Sci. Technol.* – 2005. –V. 23. – P. 1303–1312.
5. Chunming, Xu. Correlation between feedstock SARA components and FCC product yields / X. Chunming, G. Jinsen, Zh. Suoqi, L. Shixiong // *Fuel* 84. – 2005. – P. 669–674.
6. Назарова, Г.Ю. Расчет выхода и состава стабильного бензина и олефинсодержащего газа каталитического крекинга / Г.Ю. Назарова, Е.Н. Ивашкина, А.А. Орешина // Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2020664773. – 2020.

## ТЕРМИЧЕСКИЕ ПРЕВРАЩЕНИЯ ОРГАНИЧЕСКОГО ВЕЩЕСТВА ГОРЮЧЕГО СЛАНЦА КАШПИРСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ

Пантилов П.В., Кривцов Е.Б.

Научный руководитель с.н.с. Е.Б. Кривцов

*Институт химии нефти СО РАН, г. Томск, Россия*

Горючие сланцы – каустобиолиты, состоящие из твердой растворимой смеси (битумоиды), нерастворимых органических соединений (кероген) и минеральной части, в основе которой лежат силикаты и карбонаты. Продукты переработки горючих сланцев используются в качестве органического топлива за счет выделения высокого количества энергии при их сжигании, а также в качестве сырья для органического синтеза. При комплексной переработке горючих сланцев получают масла, смолы, и ряд других ценных продуктов. Спектр эксплуатации горючих сланцев значителен и затрагивает как отопление, освещение, производство строительных материалов, медицину и т.д. Согласно отчету, Мирового Энергетического Совета за 2016 год, общие ресурсы горючих сланцев оцениваются в 6,05 трлн баррелей сланцевой нефти, что почти в 3,5 раза превышает доказанные запасы нефти. В совокупности всего выше перечисленного, можно заключить, что горючие сланцы являются перспективной альтернативой нефти. Однако, горючие сланцы имеют значительные недостатки, не позволяющие конкурировать наравне с нефтью.

Дороговизна переработки является основной проблемой горючих сланцев, она обусловлена целым рядом факторов. Образование отвалов пустой породы, способствует образованию сточных токсичных вод. Отрицательное влияние на окружающую среду продуктов сжигания горючих сланцев вследствие образования оксидов азота и серы, фенолов, меркаптанов и других различных опасных соединений создает необходимость оснащать заводы по переработке горючих сланцев специальным улавливающим оборудованием, что также повышает цену получения барреля сланцевой нефти. Высокое содержание золы также затрудняет переработку горючих сланцев – температура плавления золы ниже температуры, при которой сжигают горючие сланцы, из-за чего образуются шлаковые отложения, которые снижают эффективность переработки [1-3].