

ВЛИЯНИЕ СОСТАВА СЫРЬЯ НА ЭФФЕКТИВНОСТЬ ОЦЕНКИ КАЧЕСТВА ПРОЦЕССА КАТАЛИТИЧЕСКОГО РИФОРМИНГА МЕТОДОМ МАТЕМАТИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ

М.В. Винидиктова, Е.С. Чернякова

Научный руководитель доцент каф. ХТТ и ХК Е.С. Чернякова

Национальный исследовательский Томский политехнический университет,
г. Томск, Россия

Каталитический риформинг – важнейший процесс современной нефтепереработки, позволяющий получать высокооктановые компоненты моторных топлив. Качество получаемого продукта зависит от различных факторов, одним из которых является состав сырья, используемого для переработки. Наряду со все более строгими экологическими требованиями к качеству продукта, повышение ресурсоэффективности промышленных процессов является необходимой мерой при непостоянстве экономической ситуации в мире и, в частности, в России, где доходы от нефтедобывающей отрасли являются важнейшей частью бюджета страны [3]. В связи с этим встает необходимость непрерывного контроля на всех стадиях производства нефтепродуктов. Компьютерное обеспечение, разработанное на основе метода математического моделирования, прочно заняло место наиболее эффективного, удобного в использовании и многозадачного инструмента контроля, прогнозирования и оценки эффективности различных процессов нефтепереработки, в том числе – и каталитического риформинга [2].

В ходе работы проведен мониторинг установки каталитического риформинга одного из НПЗ России с использованием метода математического моделирования. При анализе состава сырья на математической модели было выявлено, что используемый ранее критерий оценки качества сырья – так называемый Индекс сырья (1) – не позволяет адекватно оценивать влияние состава сырья на работу установки риформинга и дать достаточно полное представление о процессах, происходящих в ректоре, так как вычисляется лишь на основе данных о суммарном содержании в сырье нафтеновых и ароматических углеводородов:

$$\text{Индекс сырья} = A + 0,85H, \quad (1)$$

где А и Н – содержание ароматических и нафтеновых углеводородов в гидроочищенном сырье соответственно, % мас. [1].

Известно, однако, что прямогонная бензиновая фракция, являющаяся сырьем для процесса риформинга, – непрерывная многокомпонентная смесь, содержащая помимо нафтеновых и ароматических также и парафиновые углеводороды нормального и изо-строения, которые неизбежно подвергаются превращению в результате промышленной переработки.

В ходе работы были исследованы две различные даты одного сырьевого цикла, индекс сырья для которых совпадал при абсолютно различном его компонентном составе (табл. 1).

Таблица 1

Состав перерабатываемого сырья (% мас.) и его индекс для разных дат цикла

04.02.2016	nC ₆	nC ₇	nC ₈	nC ₉	nC ₁₀	iC ₄	iC ₅	iC ₆	ИНДЕКС СЫРЬЯ
	0,08	11,44	2,6	5,63	4,59	0	0	0,04	
	iC ₇	iC ₈	iC ₉	iC ₁₀	MZP	DMZP	ZG	MZG	
	6,75	6,9	13,68	2,3	0,08	6,26	0,46	8,49	
	C ₈ H	C ₉ H	C ₁₀ H	BENZ	TOLY	KSIL	AP ₉	AP ₁₀	
04.04.2016	10,89	6,98	2,3	0,01	2,92	3,33	1,98	1,98	ИНДЕКС СЫРЬЯ
	nC ₆	nC ₇	nC ₈	nC ₉	nC ₁₀	iC ₄	iC ₅	iC ₆	
	0,35	9,29	2,23	6,69	5,49	0	0	0,45	
	iC ₇	iC ₈	iC ₉	iC ₁₀	MZP	DMZP	ZG	MZG	
	9,58	5,71	14,26	2,74	0,6	5,9	0,87	7,01	
04.04.2016	C ₈ H	C ₉ H	C ₁₀ H	BENZ	TOLY	KSIL	AP ₉	AP ₁₀	ИНДЕКС СЫРЬЯ
	10,07	8,2	2,74	0,07	2,28	3,09	2,42	2,42	

где nC₆–nC₁₀ – парафиновые углеводороды нормального строения; iC₄–iC₁₀ – парафины изо-строения; MZP, DMZP, ZG, MZG, C₈H, C₉H, C₁₀H – нафтеновые углеводороды; BENZ, TOLY, KSIL, AP₉, AP₁₀ – ароматические углеводороды.

При расчете показателей работы установки для каждой исследуемой даты в программу вносили компонентный состав сырья, перерабатываемого на НПЗ соответствующей даты отбора, полученный после хроматографирования образца исходной смеси. Число компонентов сырья, выявленных на хроматограмме, порой превышает 100. Реакционная способность углеводородов различных классов определяется длиной и строением индивидуальных молекул, поэтому лишь тщательный учет каждого из компонентов сырья при подготовке расчетов на программном обеспечении на основе математической модели позволяет добиться наибольшей точности при прогнозировании показателей работы установки. Из табл. 1 же видно, что общее содержание парафиновых углеводородов нормального и изо-строения в сырье составляет более половины всей его массы (54

и 57 % мас. соответственно для 04.02.16 и 04.04.16).

Проведенные расчеты показателей работы установки (октановое число и выход продуктов, содержание кокса на поверхности катализатора, степень ароматизации и изомеризации) также значительно различаются для двух дат при одинаковом технологическом режиме (активность катализатора, расход сырья, температура входа и так далее) (табл.2):

Таблица 2

Технологический режим и показатели работы установки в исследуемые даты

Дата отбора	04.02.2016	04.04.2016
Активность, отн. ед.	0,98	
Переработано сырья, т	292071	
Температура входа в реактора, °С	488	
Расход сырья, м³/ч	156	
Кратность циркуляции, м³/м³	1315,9	
Водород в ВСГ, %	84,8	
Степень изомеризации	38	33
Степень ароматизации	22,51	19,38
Ароматических углеводородов в катализате, % мас.	64,98	62,13
Октановое число (ИМ)	96,3	96,6
Выход водорода, %	2,9	2,77
Кокс на катализаторе, % мас.	1,02	0,84
Выход риформата, % мас.	91,68	88,17
Пар/(Нафт+Аром) в сырье	1,18	1,24
н-Пар/и-Пар в сырье	0,82	0,73

Из табл. 2 видно, что, например, октановое число для двух разных дат различается незначительно, однако выход риформата и содержание кокса на поверхности катализатора различается для данных технологических условий на 3,51% и 0,18 % мас. соответственно, что может быть весомым при больших объемах промышленной переработки сырья, при которой необходимо соблюдать как качественные показатели получаемого продукта, так и экономические. Ведь меньший выход продукта при одинаковом объеме сырья и одинаковых технологических условиях процесса говорит о неэффективности переработки, а увеличение при прочих равных содержания кокса на поверхности катализатора может привести к ускорению снижения его (катализатора) активности и, соответственно, уменьшению межрегенерационного цикла. Это, в свою очередь, приводит к дополнительным затратам на производство товарных продуктов.

Об адекватности полученных результатов можно также судить по данным, представленным в табл. 3, по которым видно, что значения показателей качества продукта риформинга, полученные в результате расчета на математической модели, практически совпадают с данными, полученными непосредственно на производстве с использованием различных экспериментальных методов.

Таблица 3

Сравнение расчетных и экспериментальных показателей работы установки

	04.02.16		04.04.16	
	Расчет	Эксперимент	Расчет	Эксперимент
Выход риформата, % мас.	91,68	89,97	90,05	88,17
Октановое число (ИМ)	96,4	96,3	96,3	96,6

Таким образом, проведенные в ходе работы исследования подтверждают необходимость учета покомпонентного состава перерабатываемого сырья при прогнозировании работы промышленной установки риформинга с использованием математической модели. Это позволит, в свою очередь, давать более полные и точные данные о работе промышленных установок как для аналитических, так и для прогностических целей. Кроме того, тщательный учет компонентного состава позволит подобрать такие параметры процесса, при которых производство нефтепродуктов будет наиболее экономически выгодным, а затраты будут наименьшими.

Литература

1. Иванчина Э.Д., Ивашкина Е.Н., Чеканцев Н.В., Францина Е.В., Шарова Е.С. Создание и применение моделирующих систем каталитических нефтехимических процессов в промышленных реакторах// Нефтепереработка и нефтехимия : научно-технические достижения и передовой опыт информационный сборник / Центральный научно-исследовательский институт информации и технико-экономических исследований нефтеперерабатывающей и нефтехимической промышленности (ЦНИИТЭнефтехим). — 2013. — № 5. — С. 20-26
2. Мельник Д. И., Галушин С. А., Кравцов А. В., Иванчина Э. Д., Фетисова В. Н. Повышение эффективности промышленной эксплуатации установок риформинга ЛЧ-35-11/1000 и ЛГ-35-8/300Б ПО «КИНЕФ» на основе системы контроля работы катализатора // Известия ТПУ. 2006. №1 С.103-106.
3. Министерство финансов Российской Федерации [Электронный ресурс] : офиц. сайт. Информационно-аналитический раздел. URL: http://info.minfin.ru/kons_doh.php (дата обращения: 28.01.2017).