

показателей технологической эффективности: глубины переработки нефти и выхода светлых нефтепродуктов, а также экономической эффективности — максимальная удельная маржинальная прибыль. При этом вариант 5 конфигурации характеризуется наибольшим из рассмотренных потреблением водорода.

Таким образом, разработанная модель позволяет оценить наиболее эффективную схему переработки нефти с изменёнными показателями качества.

Основные достоинства модели:

- возможность оценки материальных балансов установок и основных показателей качества продуктов в зависимости от изменения свойств сырьевых потоков в автоматическом режиме;
- прозрачность принципов расчётов, применённых при создании модели.

Основной недостаток состоит в том, что выбор оптимальной схемы переработки необходимо осуществлять вручную, анализируя полученные значения критериев оценки эффективности.

Применение подобной расчётной модели позволяет прогнозировать направление модернизации, ориентированной на переработку более тяжёлого сырья, а также даёт возможность проведения предварительной оценки эффективности создания обособ-

ленных комплексов переработки тяжёлых нефтей и остатков в высококачественные товарные продукты или в синтетические нефти.

ЛИТЕРАТУРА

1. <https://www.transneft.ru/news/view/id/15201/>.
2. https://www.transneft.ru/u/section_file/12482/18-02.pdf.
3. <https://oilcapital.ru/news/transport/30-10-2017/kachestvo-eksportiruemoj-nefti-po-truboprovodu-druzhba-v-2018-godu-ne-izmenitsya>.
4. <http://www.tnhi.ru/news/1388/>.
5. Способ гидроконверсии тяжёлых фракций нефти (RU 2556997). Владельцы патента: Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Ордена Трудового Красного Знамени Институт нефтехимического синтеза им. А.В. Топчиева Российской академии наук (ИНХС РАН) (RU) <http://www.findpatent.ru/patent/255/2556997.html> © FindPatent.ru — патентный поиск, 2012-2015.
6. Гэри Дж. Х., Хэндверк Г.Е., Кайзер М.Дж. Технологии и экономика нефтепереработки: Пер. с англ. 5-го изд. / Под ред. О.Ф. Глаголевой. — СПб.: ЦОП «Профессия», 2013. — 440 с.
7. Черножуков Н.И. Технология переработки нефти и газа. Ч. 3. — М.: Химия, 1978. — 424 с.
8. Танатаров М.А., Ахметшина М.Н., Фасхутдинов Р.А. и др. Технологические расчеты установок переработки нефти. — М.: Химия, 1987. — 352 с.

УДК 519.254

УЧЕТ НЕЛИНЕЙНОСТИ РЕЦЕПТУР СМЕШЕНИЯ ТОПЛИВ В ПРОГРАММНОМ КОМПЛЕКСЕ ОПТИМАЛЬНОГО ПЛАНИРОВАНИЯ И ОПТИМИЗАЦИИ РЕЦЕПТУР СМЕШЕНИЯ ТОПЛИВ

С.С. ГОРБУНОВ, А.А. АЛЕКСАНИН, В.А. КОСТАНДЯН, А.Ф. ЕГОРОВ

ООО «МЦЭ-Инжиниринг», РХТУ им. Д.И. Менделеева

Основная проблема построения точной математической модели (ММ) расчёта рецептур смешения бензинов и мазутов состоит в том, что зависимость ряда показателей качества топлив не характеризуется аддитивностью от состава компонентов смешения и соответствующих показателей качества.

Существуют различные подходы учёта влияния нелинейности компонентов смешения на ряд показателей качества товарного топлива — октановые числа исследователем (ИОЧ) и моторным (МОЧ) методами, давление насыщенных паров (ДНП) для бензинов, вязкость для мазутов и др. Эти зависимости определяются с различной степенью точности эмпирически, и при расчёте рецептуры смешения возникает неизбежная по-

грешность прогноза показателей качества товарного топлива [1-4].

Задача оптимизации смешения нефтепродуктов усложняется как наличием нелинейных зависимостей и ограничений, так и необходимостью в режиме реального времени отслеживать и корректировать оптимальную рецептуру смешения топлив.

Математическое описание показателей качества бензинов

Нелинейные модели зависимости ДНП и октанового числа бензинов от состава приведены в [4,5].

Использование этих моделей сопряжено с данными экспериментальных лабораторных исследований, что недопустимо для оперативного регулирования и управления в режиме реального времени.

В первом приближении зависимость показателей качества смеси товарных топлив от состава и показателей качества компонентов смеси описывается как аддитивная функция (1):

$$Y_j = \sum_{i=1}^n x_i p_{ij}, \quad (1)$$

где Y_j — j -й показатель качества смеси, $j = 1, \dots, m$; x_i — концентрация i -го компонента рецептуры смешения, $i = 1, \dots, n$;

p_{ij} — j -й показатель качества i -го компонента смешения.

Существуют различные способы описания показателей качества бензинов, учитывающих нелинейность [1,3,4].

Зависимости давления насыщенных паров, октановых чисел смеси бензинов можно представить соотношениями, состоящими из линейной части в некоторой степени и алгебраической суммы произведения парных влияний на показатели качества смеси топлив.

$$Y_j = \sum_{i=1}^n (x_i \cdot p_{ij})^{a_j} + \sum_{i=1}^{n-1} \sum_{k=i+1}^n \beta_{i,k} \cdot x_j \cdot x_k, \quad (2)$$

где Y_j — показатели качества бензинов, $j = 1, \dots, 3$; Y_1, Y_2, Y_3 — ДНП, ИОЧ и МОЧ соответственно;

a_j — показатель степени линейной части j -го показателя качества;

$\beta_{i,k}$ — эмпирические коэффициенты парного влияния соотношения компонентов смешения на показатель качества смеси.

Использование моделей (2) для целей оперативного управления и регулирования смешением бензинов в режиме реального времени имеют ограниченное применение ввиду следующих условий:

- необходима постановка и реализация определённого плана лабораторных измерений показателей качества (ДНП, ИОЧ, МОЧ для бензинов, вязкости для мазута и т.п.) смеси для определения коэффициентов парных влияний компонентов смешения на показатели качества продукта;

- отсутствуют показатели качества компонентов смешения в нелинейной части парных влияний, что сужает её применение в широком диапазоне изменения состава и показателей качества компонентов смешения.

Для расчёта как ДНП, так и октановых чисел была использована полностью нелинейная структура модели расчёта (3):

$$Y_j = \left\{ \sum_{i=1}^n x_i \cdot (p_{ji})^{a_j} \right\}^{b_j}, \quad (3)$$

Параметры математической модели

Показатели качества	Параметры модели второго порядка					
	β_1	β_2	β_3	β_{12}	β_{13}	β_{23}
Кинематическая вязкость при:						
$T_2 = 50^\circ\text{C}, \nu_1, \text{сСт}$	880,45	703,62	157,64	10,46	-684,78	-444,84
$T_2 = 100^\circ\text{C}, \nu_2, \text{сСт}$	54,48	46,09	19,209	-3,38	-23,57	-14,706

где a_j, b_j — заранее неизвестные параметры моделей.

Представленная математическая модель расчёта рецептур смешения топлив была реализована в программном комплексе оптимального планирования и оптимизации рецептур смешения топлив (ПК ОПОР) [6].

Идентификация параметров модели (3) осуществляется в ПК ОПОР по данным лаборатории или АСУ ТП (состав, ИОЧ, МОЧ и ДНП для смеси и компонентов смешения).

Результаты тестирования ПК ОПОР показали достаточную точность расчётных и измеренных показателей качества смеси бензинов.

Расчёт вязкости при планировании и оптимизации рецептур смешения мазутов

На основе результатов анализа рецептур смешения мазутов на НПЗ был установлен нелинейный характер вязкости мазутов от состава и вязкостей компонентов смешения.

Для построения расчётной модели вязкости мазута от состава и вязкостей компонентов смешения были использованы данные лабораторного обследования на НПЗ.

В качестве плана лабораторного обследования был выбран симплекс-решётчатый план Шеффе [7].

Исследование проводилось не во всём концентрационном треугольнике, а лишь на локальном участке диаграммы с пределами смешения компонентов мазута:

- крекинг-остаток с установок висбрекинга, 80-100% мас., X_1 ;
- тяжёлый газойль с установок каталитического крекинга (КК), 0-5% мас., X_2 ;
- фракция верхнего циркуляционного орошения с ЭЛОУ-АВТ-6, 0-5% мас., X_3 .

Планирование экспериментов осуществлялось в системе координат псевдокомпонентов Z_1, Z_2, Z_3 соответственно.

Перевод состава компонентов X_i (% мас.) в псевдокомпоненты Z_i (безразмерная величина) осуществляется в соответствии с соотношениями, приведёнными в работе [7].

$$\begin{aligned} Z_1 &= 1 - 20 \cdot X_2 - 5 \cdot X_3; \\ Z_2 &= 20 \cdot X_2; \\ Z_3 &= 5 \cdot X_3. \end{aligned} \quad (4)$$

Для проведения экспериментов был осуществлён переход от псевдокомпонентов Z_i к исходным компонентам X_i .

В таблице приведены параметры математической модели расчёта вязкости мазута от состава.

Параметры модели β_i и β_{ij} справедливы для случая, когда показатели качества компонентов смешения стабильны и выражаются уравнением

$$n = \sum X_i \cdot \beta_i + \sum Z_i \cdot Z_j \cdot \beta_{ij}, \quad (5)$$

где n — кинематическая вязкость мазута, сСт;
 β_i, β_{ij} — параметры математической модели (ММ) линейных и парных взаимодействий.

ММ расчёта вязкости мазута, учитывающая и изменения вязкости компонентов смешения, имеет следующий вид:

$$n = (\sum X_i \cdot v_i)^n + \beta_{12} \cdot Z_1 \cdot Z_2 + \beta_{13} \cdot Z_1 \cdot Z_3 + \beta_{23} \cdot Z_2 \cdot Z_3, \quad (6)$$

где v_i — вязкость компонентов смешения мазута, сСт;

n — порядок нелинейной части.

Укрупнённый алгоритм оценки параметров нелинейности ММ вязкости мазута от состава и вязкости компонентов смешения для двух вариантов приведён ниже.

Вариант 1 — модель расчёта вязкости состоит из относительно линейной части и составляющей парного влияния компонентов смешения мазута на вязкость смеси мазута.

$A = (\sum X_i \cdot v_i)$ — линейная (аддитивная) часть расчёта вязкости мазута от состава и вязкости компонентов смешения;

$R_1 = \beta_{12} \cdot Z_1 \cdot Z_2 + \beta_{13} \cdot Z_1 \cdot Z_3 + \beta_{23} \cdot Z_2 \cdot Z_3$ — составляющая ММ вязкости мазута — парного влияния компонентов смешения мазута на вязкость смеси мазута;

$$R_2 = A^n,$$

где n — степень нелинейности; $n_{изм}$ — измеренная кинематическая вязкость мазута, сСт; v_i — кинематическая вязкость компонентов смешения мазута, сСт.

Если модуль $|(R_1 + R_2 - v_{изм})| \cdot 100 / v_{изм} \leq \Delta$, то $n = 1$, где Δ — заданная точность, %.

Иначе:

$$R_2 = A^n = (v_{изм} - R_1);$$

$$n = \text{Ln}(v_{изм} - R_1) / \text{Ln}A.$$

Вариант 2 — упрощённая модель расчёта вязкости мазута, когда отсутствуют лабораторные данные в соответствии с представленным планом обследования.

$$A = (\sum X_i \cdot v_i); R_2 = A^n; n = 1.$$

Если модуль $|(R_2 - v_{изм})| \cdot 100 / v_{изм} \leq \Delta$, то $n = 1$.

Иначе:

$$R_2 = A^n = v_{изм};$$

$$n = \text{Ln}(v_{изм}) / \text{Ln}A.$$

Оба варианта представления ММ расчёта вязкости смеси мазута обеспечивают требуемую точность расчётов в процессе планирования и оптимизации рецептур смешения.

Параметры модели периодически корректируются по измеренным данным лаборатории или АСУ ТП для уточнения и адаптации ММ при оптимизации рецептур смешения мазутов.

Разработанные математические модели расчёта вязкости мазутов использованы в ПК ОПОР в модуле оптимизации рецептур смешения мазутов и периодической оценки параметров нелинейной модели расчёта вязкости мазута [6].

ЛИТЕРАТУРА

1. Никитин В.А., Мусаев А.А. Оптимизация компаундирования углеводородных смесей в потоке с нелинейным взаимодействием компонентов // Труды Санкт-Петербургского института информатики и автоматизации (СПИИРАН). — 2007. — Вып. 4. — С. 327-336.

2. Смышляева Ю.А., Иванчина Э.Д., Кравцов А.В., Зыонг Ч.Т., Фан Ф. Разработка базы данных по октановым числам для математической модели процесса компаундирования товарных бензинов // Известия Томского политехнического университета. — 2011. — Т. 318. — С. 75-80.

3. Смышляева Ю.А., Иванчина Э.Д., Кравцов А.В., Зыонг Чу Туен. Учет интенсивности межмолекулярных взаимодействий компонентов смеси при математическом моделировании процесса компаундирования товарных бензинов // Нефтепереработка и нефтехимия. — 2010. — № 9. — С. 9-14.

4. Wen Yu, América Morales. Gasoline Blending System Modeling via Static and Dynamic Neural Networks // International Journal of modelling and simulation. — 2004. — V. 24, № 3. — С. 151-160.

5. Aseerna Singh. Modeling and Model Updating in the Real-Time Optimization of Gasoline Blending. Department of Chemical Engineering and Applied Chemistry. University of Toronto. Copyright by (1997). 130 p.

6. Свидетельство о государственной регистрации № 2018613287, Программный комплекс оптимального планирования и оптимизации рецептур смешения бензинов и мазутов. Версия 2.0. (ПК ОПОР v.2.0). 07.03.2018.

7. Ахназарова С.Л., Кафаров В.В. Методы оптимизации эксперимента в химической технологии. Издание 2-е, переработанное и дополненное. — М.: Высшая школа, 1985. — 327 с.

Уважаемые читатели!

Если вы не успели подписаться на научно-информационный сборник «Нефтепереработка и нефтехимия» на I полугодие 2019 г. через каталоги агентств по подписке, то можете оформить заявку по e-mail: info_nr_nh@mail.ru, указав свои реквизиты для оплаты.

Цена комплекта (6 выпусков) — 14124 руб.,
 одного экземпляра — 2354 руб. с учётом НДС — 10%.