

МЕТОД ОЦЕНКИ ИНТЕНСИВНОСТИ ОБРАЗОВАНИЯ ВТОРИЧНОГО СЕРОВОДОРОДА ПРИ НАГРЕВЕ НЕФТИ В ПЕЧАХ*

Л.Г. Григорян, С.Б. Коньгин, М.С. Аграфенин

Самарский государственный технический университет
443100, г. Самара, ул. Молодогвардейская, 244

Рассмотрены вопросы разложения компонентов нефти при ее нагреве в печах с образованием вторичного сероводорода. Предложен метод оценки интенсивности данного процесса.

Ключевые слова: *нагрев нефти в печах, вторичный сероводород.*

Одной из проблем, возникающих при нагреве нефти в технологических печах, является возможность термического разложения серосодержащих углеводородов с образованием вторичного сероводорода. Эта проблема весьма актуальна для установок подготовки нефти, где происходит доведение содержания сероводорода в нефти до нормативных требований.

Как правило, температура нагрева нефти в печах выбирается таким образом, чтобы исключить появление вторичного сероводорода. Однако авторами работы описывается возможность его образования в тепловом пограничном слое на внутренней поверхности труб змеевика, где локальная температура может быть существенно выше средней по потоку.

Для оценки интенсивности образования вторичного сероводорода была разработана модель данного процесса, учитывающая тепловой и гидродинамический аспекты проблемы. Для проведения оценки необходима экспериментальная зависимость содержания серы в рассматриваемой нефти от ее температуры $x(T)$.

В рамках теплового аспекта проблемы на основании двухслойной модели теплового пограничного слоя было построено распределение температуры нефти в зависимости от расстояния y от внутренней стенки печной трубы радиуса R [1]

$$T(y) = \begin{cases} T_R + \frac{q}{\gamma \alpha \rho c_p u_0} (\ln y - \ln R), & y \geq \delta_T, \\ T_R + \frac{q}{\alpha_{вн}} - \frac{q y}{\rho c_p \text{Pr}}, & y < \delta_T, \end{cases} \quad (1)$$

где T_R – температура нефти на оси трубы (средняя температура потока);
 q – теплонапряженность змеевика печи;
 ρ – плотность нефти;
 c_p – теплоемкость нефти;
 $\alpha_{вн}$ – внутренний коэффициент теплоотдачи;

* Исследование выполнено при поддержке Министерства образования и науки Российской Федерации, контракт 14.В37.21.0304.

Леон Гайкович Григорян (д.т.н.), профессор кафедры «Машины и аппараты химических производств».

Сергей Борисович Коньгин (д.т.н.), заведующий кафедрой «Машины и аппараты химических производств».

Максим Сергеевич Аграфенин, аспирант.

δ_T – толщина теплового подслоя, равная [1]

$$\delta_T = b \frac{\text{Pr}}{u_0}; \quad (2)$$

u_0 – характерная скорость турбулентных пульсаций, равная [1]

$$u_0 = \sqrt{\frac{\tau}{\rho}}; \quad (3)$$

τ – напряжение трения, вычисляемое по эмпирическим данным [2].

Значения постоянных коэффициентов, фигурирующих в уравнениях (1) и (2), равны $\alpha = 0,4$, $\gamma = 1,2$, $b = 11,7$ [1].

Будем считать, что процесс разложения соединений в каждой точке потока на выходе из печи достигает своего равновесного значения. Тогда расход вторичного сероводорода на выходе из печи, образовавшегося в слое с координатой y , будет равен

$$dG_{H_2S} = dG[x(T_{ex}) - x(T(y))] \frac{M_{H_2S}}{M_S}, \quad (4)$$

где dG – расход нефти в слое с координатой y ;

T_{ex} – температура нефти на входе в печь;

M_{H_2S} , M_S – молекулярные массы сероводорода и серы соответственно.

Массовый расход нефти в элементарном кольцевом слое потока с координатой y будет равен

$$dG = 2\pi r u(y) (R - y) dy. \quad (5)$$

В рамках гидродинамического аспекта проблемы с использованием трехслойной модели было построено распределение скоростей нефти $u(y)$ в пограничном слое на внутренней стороне печного змеевика [1, 3]

$$u(y) = \begin{cases} u_0 y^*, & 0 \leq y^* \leq 5, \\ u_0 [10 \arctg(0,1 y^*) + 1,2], & 5 \leq y^* \leq 30, \\ u_0 (5,5 + 2,5 \ln y^*) & y^* > 30, \end{cases} \quad (6)$$

где y^* – безразмерное расстояние от поверхности трубы, определяемое как

$$y^* = y \frac{\sqrt{\rho \tau}}{\mu}; \quad (7)$$

μ – динамическая вязкость нефти.

Распределение скоростей (6) позволяет определить локальные расходы жидкости в зависимости от расстояния от поверхности трубы. Интегрирование расхода (4) по полному сечению трубы с учетом теплового (1) и гидродинамического (6) факторов позволяет определить общий расход вторичного сероводорода на выходе из печного змеевика

$$G_{H_2S} = 2\pi r \frac{M_{H_2S}}{M_S} \int_0^R u(y) (R - y) [x(T_{ex}) - x(T(y))] dy. \quad (8)$$

Конечным результатом данной работы является теоретическая методика, позволяющая провести оценку количества образовавшегося вторичного сероводорода в зависимости от свойств нефти и режима ее нагрева в печи. Для дальнейшего развития предложенного подхода и его практического использования необходимо проведение экспериментальных исследований, посвященных анализу снижения количества серы в нефти при ее нагреве и объемов образовавшегося сероводорода.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Левич В.Г.* Физико-химическая гидродинамика. – М.: Государственное издательство физико-математической литературы, 1959. – 700 с.: ил.
2. *Идельчик И.Е.* Справочник по гидравлическим сопротивлениям. – М.: Машиностроение, 1992. – 672 с.: ил.
3. *Кэйс В.М.* Конвективный тепло- и массообмен. – М: Энергия, 1972. – 448 с.: ил.

Статья поступила в редакцию 2 июня 2013 г.

METHOD OF ASSESSMENT OF HYDROGEN SULPHIDE FORMATION INTENSITY IN THE FURNACES FOR OIL HEATING

L.G. Grigoryan, S.B. Konygin, M.S. Agrafenin

Samara State Technical University
244, Molodogvardeyskaya st., Samara, 443100

Questions of oil components breakdown and hydrogen sulphide formation in the furnaces are described. Method of assessment of the process intensity is offered.

Keywords: *oil heating in the furnaces, hydrogen sulphide formation.*

Leon G. Grigoryan (Dr. Sci. (Tech.)), Professor of the Machines and Apparatus of Chemical Manufactures Department.

Sergey B. Konygin (Dr. Sci. (Techn.)), Head of the Machines and Apparatus of Chemical Manufactures Department.

Maksim S. Agrafenin, postgraduate student.