Э. Г. Янукян (Пятигорск, ПФ СевКавГТУ). **Анализ неустойчивости стационарного режима горения нефти в пористой среде.**

Рассматриваем «сухое» горение нефти, осуществляемое нагнетанием в поровое пространство только воздуха. Запишем в континуальном приближении в системе координат, движущейся справа налево со скоростью движения волны горения $U(t)$, систему уравнений фильтрационного горения нефти в пористой среде

$$
\begin{aligned}
&\frac{\partial}{\partial t}(\sigma s \rho_r) + U(t)\frac{\partial}{\partial x}(\sigma s \rho_r) + \frac{\partial}{\partial x}(\rho_r v_r) = \rho_0 w(s,a,T),\\
&\frac{\partial}{\partial t}(\sigma s a \rho_r) + U(t)\frac{\partial}{\partial x}(\sigma s a \rho_r) + \frac{\partial}{\partial x}(a\rho_r v_r) = -\mu\rho_0 w(s,a,T),\\
&\frac{\partial}{\partial t}(\sigma(1-s)\rho_0) + U(t)\frac{\partial}{\partial x}(\sigma(1-s)\rho_0) + \frac{\partial}{\partial x}(\rho_0 v_0) = -\rho_0 w(s,a,T),\\
&C\frac{\partial T}{\partial t} + CU(t)\frac{\partial T}{\partial x} + (\rho_r c_r v_r + \rho_0 c_0 v_0)\frac{\partial T}{\partial x} = \lambda\frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + Q\rho_0 w(s,a,T),\\
&p = R\rho_r T\sigma^{-1}, \quad v_r = -\frac{kk_r(s)}{\mu_r'(T)}\frac{\partial p}{\partial x}, \quad v_0 = -\frac{kk_0(s)}{\mu_0'(T)}\frac{\partial p}{\partial x},\\
&C = (1-\sigma)\rho_r c_r + \sigma(1-s)\rho_o c_0 + ms\rho_r c_r.
\end{aligned} \tag{1}
$$

Ограничиваясь случаем вынужденной спутной фильтрации, когда задан поток газа вслед фронту горения и концентрация окисления a_*, запишем первые интегралы системы (1):

$$
\rho_r v_r + \rho_0(U(t)\sigma(1-s) + v_0) = -G_*, \quad a\rho_r v_r + \mu(\rho_r v_r + G_*) = -a_* G_*. \tag{2}
$$

Используя первое соотношение в (2) и неравенство $\rho_r \ll \rho_0$, преобразуем уравнение теплового баланса в системе (1):

$$
[(1-\sigma)\rho_r c_r + \sigma(1-s)\rho_0 c_0]\frac{\partial T}{\partial t} + [(1-\sigma)\rho_r c_r U(t) - c_0 G_*]\frac{\partial T}{\partial x} = \lambda\frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + Q\rho_0 w. \tag{3}
$$

Найдем выражение для нестационарной скорости движения фронта горения $U(t)$ как функции температуры:

$$
U(t) = U^0 + \frac{A(T_\Phi)}{\sigma(1 - s_1^0(0))}\left[\exp\left\{\frac{E}{2RT_\Phi^2}(T - T_\Phi)\right\} - 1\right]. \tag{4}
$$

После подстановки (4) в уравнение (3) и введения безразмерных переменных, изучение нестационарного фильтрационного горения нефти в пористой среде сводится к анализу системы

$$
\begin{aligned}
&(1+\delta)\frac{\partial\theta_1}{\partial\tau} + \beta\frac{\partial\theta_1}{\partial z} + [e^{\alpha(\theta_1(0,\tau)-1)} - 1]\frac{\partial\theta_1}{\partial z} = \frac{\partial^2\theta_1}{\partial z^2}, \qquad -\infty < z < 0,\\
&\frac{\partial\theta_2}{\partial\tau} + \beta\frac{\partial\theta_2}{\partial z} + [e^{\alpha(\theta_1(0,\tau)-1)} - 1]\frac{\partial\theta_2}{\partial z} = \frac{\partial^2\theta_2}{\partial z^2}, \qquad 0 < z < \infty,\\
&\frac{\partial\theta_1}{\partial z}(0,\tau) - \frac{\partial\theta_2}{\partial z}(0,\tau) = \beta e^{\alpha(\theta_0(0,\tau))-1},\\
&\theta_1(0,\tau) = \theta_2(0,\tau), \quad \theta_1(-\infty,\tau) = 0, \quad \theta_2(\infty,\tau) < \infty.
\end{aligned} \tag{5}
$$

Анализ уравнений (5) методом возмущений [1] позволил определить частоту и амплитуду автоколебаний поля температур и скорости движения фронта горения в кинетическом режиме.

Полученные результаты позволили сделать следующие выводы: среднее значение нестационарной скорости движения фронта горения меньше стационарной; имеет место «мягкое» самовозбуждение автоколебаний; эффекты нелинейности увеличивают частоту автоколебаний; увеличение спутного потока газа приводит к уменьшению амплитуды колебаний и нелинейной поправки к частоте; отличие теплоемкостей смеси по обе стороны фронта горения сильно влияют на амплитуду слабонелинейных автоколебаний и слабо — на частотный сдвиг.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Янукян Э. Г.* Моделирование нестационарных процессов массовой кристаллизации из растворов и расплавов. — Обозрение прикл. и промышл. матем., 2004, т. 11, в. 4, с. 964–968.