

## OR-52

## МЕТОДИКА МАСШТАБИРОВАНИЯ ГИДРОДИНАМИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ В СЛОЕ СОРБЕНТА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ CFD-МОДЕЛИРОВАНИЯ И МОДЕЛЕЙ НА ОСНОВЕ УРАВНЕНИЯ ЭРГУНА

А. П. Хомяков<sup>1</sup>, С. В. Морданов<sup>1</sup>, О. Л. Ташлыков<sup>1</sup>, В. П. Ремез<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Уральский федеральный университет им. первого Президента России Б. Н. Ельцина, 620002, Россия, г. Екатеринбург, ул. Мира, 19;

<sup>2</sup> НПП «ЭКОСОРБ», 620014, Россия, г. Екатеринбург, ул. 8 Марта, 5.

E-mail: s.v.mordanov@urfu.ru

Предложена методика моделирования и масштабирования гидродинамических процессов в слое ионоселективного сорбента методами вычислительной гидродинамики (CFD-моделирования). В предложенной методике используется модель многофазной смеси (mixture model) [1], дополненная источником количества движения для жидкой фазы в слое сорбента. Расчет дополнительного источника количества движения осуществляется на основе уравнения Эргуна [2] с учетом эмпирических коэффициентов для коррекции фрикционной и кинетической составляющих удельного снижения движущей силы:

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho_m u_{m_i}) + \left[ (\rho_m u_{m_j}) \frac{\partial u_{m_i}}{\partial x_j} - \sum_{\varphi=1}^n (\alpha_{\varphi} \rho_{\varphi} u_{dr_j \varphi}) \frac{\partial u_{dr_i \varphi}}{\partial x_j} \right] =$$

$$= - \frac{dp}{dx_i} + \frac{\partial}{\partial x_j} \left[ \mu_m \left( \frac{\partial u_{m_j}}{\partial x_i} + \frac{\partial u_{m_i}}{\partial x_j} - \frac{2}{3} \delta_{ij} \frac{\partial u_{m_i}}{\partial x_i} \right) \right] + \rho_m g_i + S_{ml_i}, \quad (1)$$

$$S_{ml_i} = C_f \frac{150 \mu_l (1 - \alpha_l)^2}{d_p^2 \alpha_l^2} u_{dr_{il}} + C_k \frac{1,75 \rho_l (1 - \alpha_l)}{d_p \alpha_l^3} u_{dr_{il}}^2, \quad (2)$$

где  $t$  – время, с;  $\rho$  – плотность, кг/м<sup>3</sup>;  $m$  – индекс характеристик смеси;  $u$  – скорость, м/с;  $i, j$  – индексы продольного и поперечного направлений течения;  $x$  – координата, м;  $\varphi$  – индекс характеристик фазы;  $u_{dr}$  – скорость фазы относительно смеси (дрейфовая скорость), м/с;  $p$  – давление, Па;  $\mu$  – вязкость, Па·с;  $\delta_{ij}$  – метрический тензор декартова пространства;  $g$  – ускорение силы тяжести, м/с<sup>2</sup>;  $S_m$  – источник количества движения, Н/м<sup>3</sup>;  $l$  – индекс характеристик жидкой фазы;  $C_f, C_k$  – эмпирические коэффициенты коррекции фрикционной и кинетической составляющих удельного снижения движущей силы;  $d_p$  – средний размер частиц сорбента, м.

В отличие от методик, использовавшихся в наших предыдущих исследованиях [3], предложенная методика позволяет моделировать гидродинамические процессы в подвижном слое сорбента (в режимах пуска и остановки оборудования, перегрузки сорбента и др.). Для этого необходимо задавать дополнительные условия для движения фаз с помощью модификации базовых уравнений сохранения или путем принудительного присвоения значений переменных в характерных областях объема оборудования.

### Библиографический список

1. Manninen M. On the mixture model for multiphase flow / M. Manninen, V. Taivassalo, S. Kallio. – Espoo: Technical Research Center of Finland, 1996. – 67 p.
2. Ergun S. Fluid flow through packed columns / S. Ergun // Chemical Engineering Progress. – 1952. – Vol. 48, No. 2. – P. 89–94.
3. Simulation method of the low-Re flows in the packed bed technological equipment / A. P. Khomyakov, S. V. Mordanov, A. S. Lavrov [et al.] // IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering. – 2020. – Vol. 862. – 062020. – 6 P.

Работа поддержана Российским фондом фундаментальных исследований (проект № 20-08-00873).