

Математическое моделирование двухфазных течений в аэротенках с пневматической системой аэрации

Научный руководитель – Недопекин Федор Викторович

Лучина Анастасия Юрьевна

Аспирант

Донецкий национальный университет, Донецк, Украина

E-mail: anastasiia.luchyna@gmail.com

В настоящей работе рассмотрена проблема интенсификации процесса биологической очистки бытовых сточных вод. Для поддержания аэробных процессов в сооружениях используются пневматические системы аэрации. Их эффективность зависит от продолжительности контакта пузырьков воздуха с жидкостью.

Для определения соотношений циркуляционных потоков жидкости предлагается математическая модель, гидродинамические процессы в которой описываются уравнениями Навье-Стокса и неразрывности в цилиндрической системе координат:

$$\begin{aligned} \frac{\partial}{\partial t} v_{1z} + \frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial z} (r v_{1z} v_{1z}) + \frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} (r v_{1r} v_{1z}) &= -\frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial z} + \frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial z} (r \mu_{ef} \nabla \vec{v}_1) + \frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} \left(r \mu_{ef} \left(\frac{\partial v_{1z}}{\partial r} + \frac{\partial v_{1r}}{\partial z} \right) \right) - \frac{1}{\rho} F_{12r}, \\ \frac{\partial}{\partial t} v_{1r} + \frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial z} (r v_{1z} v_{1r}) + \frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} (r v_{1r} v_{1r}) &= -\frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial r} + \frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial z} \left(r \mu_{ef} \left(\frac{\partial v_{1r}}{\partial z} + \frac{\partial v_{1z}}{\partial r} \right) \right) + \frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} (r \mu_{ef} \nabla \vec{v}_1) - \frac{1}{\rho} F_{12z}, \\ \frac{\partial v_{1r}}{\partial r} + \frac{\partial v_{1z}}{\partial z} + \frac{v_{1r}}{r} &= 0, \end{aligned}$$

где v_{1r}, v_{1z} – проекции на оси r и z векторов скорости течения жидкости, м/с; p – давление, Па; ρ – плотность жидкости, кг/м³; $\mu_{ef} = \mu + \mu_t$ – ламинарная и турбулентная вязкости; \vec{F}_{12} – приведенная сила сопротивления.

А также уравнениями стандартной k - ε -модели турбулентности (для транспорта кинетической энергии турбулентности и диссипации турбулентности) [2].

При учете влияния пузырьков воздуха на характер движения газожидкостной смеси система уравнений дополняется следующими уравнениями движения пузырьков газа и относительной скорости:

$$\begin{aligned} \frac{\partial N}{\partial t} + \frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} (v_{2r} r N) + \frac{\partial}{\partial z} (v_{2z} N) &= f_N, \\ v_{2r} &= v_{1r} + v_{21r}; v_{2z} = v_{1z} + v_{21z}, \end{aligned}$$

где $v_{21r}, v_{21z}, v_{2r}, v_{2z}$ – проекции на оси r и z векторов скорости движения газовой фазы относительно жидкости и скорости переноса газовой фазы в объеме аэротенка, м/с; N – количество пузырьков в единице объема, 1/м³; f_N – интенсивность образования дисперсной газовой фазы. Для области вне зоны попадания пузырьков $f_N = 0$ [1].

Система уравнений дополняется начальными и граничными условиями. На нижней и боковых границах расчетной области использовалось условие прилипания: $\vec{v} = 0$. На верхней границе расчетной области выполняется условие скольжения: $\vec{v} \times \vec{n} = 0$ [2].

Построенная модель позволяет определить гидродинамические параметры потока жидкости в аэротенке, а также интенсивность аэрации для обеспечения необходимых скоростей на входе в затопленную колонну с эрлифтом. Таким образом, полученные расчетные данные можно переносить на промышленные очистные сооружения биологической очистки сточных вод.

Источники и литература

- 1) Бакакин А.В. Математическая модель тепломассообменных процессов в ковше при обработке металла инертным газом Текст. / А.В. Бакакин, В.О. Хорошилов, Г.С. Гальперин, В.Е. Кельманов // Известия ВУЗов. Черная металлургия, 1985. № 9. С. 51-54.
- 2) Недопекин Ф.В. Исследование вертикальных двухфазных течений в аэротенках с пневматической системой аэрации / Ф.В. Недопекин, А.Ю. Лучина // Вестник Луганского национального университета имени Владимира Даля № 4(6) Ч.2, 2017. С. 41-45.