

## Выбор оптимальной конструкции вертикального отстойника на базе 3d cfd модели

**Е.К.Нагорная**

*Государственное высшее учебное заведение “Приднепровская государственная академия строительства и архитектуры”*

*49600, г. Днепропетровск, ул. Чернышевского, 24<sup>а</sup>*

Канализационные отстойники являются одним из важнейших элементов в технологической схеме очистки сточных вод. Эти сооружения определяют, в значительной степени, эффективность функционирования комплекса очистных сооружений в целом.

При разработке систем очистки воды небольших объектов и промышленных предприятий применяют вертикальные отстойники. Оценка эффективности работы этих отстойников – сложная и ответственная задача, оперативное решение которой на этапе проектирования, когда рассматриваются различные варианты отстойников, варьируется их конструкция, габариты – возможно только расчетным путем – на основе метода математического моделирования.

В настоящее время большинство прикладных методов расчета вертикальных отстойников базируется на применении одномерных кинематических моделей транспорта загрязнителя или нуль-мерных балансовых моделей. Эти модели не позволяют учитывать гидравлический режим работы отстойника и его геометрическую форму.

В работе представлена 3D CFD модель гидродинамики течения и массопереноса в вертикальных отстойниках различной конструкции. Разработанная численная модель позволяет учитывать при моделировании геометрическую форму отстойника и наличие внутри него различных конструктивных особенностей: перегородок, водосливов и т.п.

Для решения задачи по определению поля скорости в отстойнике используется 3D модель потенциального течения

$$\frac{\partial^2 P}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 P}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 P}{\partial z^2} = 0,$$

где  $P$  - потенциал скорости.

Процесс транспорта загрязнителя в вертикальном отстойнике рассчитывается на базе трехмерного уравнения переноса

$$\frac{\partial C}{\partial t} + \frac{\partial uC}{\partial x} + \frac{\partial vC}{\partial y} + \frac{\partial (w-w_s)C}{\partial z} + kC = \frac{\partial}{\partial x} \left( \mu_x \frac{\partial C}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left( \mu_y \frac{\partial C}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left( \mu_z \frac{\partial C}{\partial z} \right),$$

где  $C$  – концентрация загрязнителя в воде;  $u, v, w$  – компоненты вектора скорости течения;  $\mu_x, \mu_y, \mu_z$  - коэффициенты диффузии;  $t$  - время;  $w_s$  – скорость оседания загрязнителя;  $k$  - коэффициент, учитывающий процессы агломерации и т. п. в отстойнике.

Расчет отстойника осуществляется на прямоугольной разностной сетке. Для задания сложной формы отстойника в численной модели применяется метод маркирования (метод фиктивных областей). Для численного интегрирования уравнения Лапласа используется метод Либмана

$$P_{i,j,k} = \left[ \frac{P_{i+1,j,k} - P_{i-1,j,k}}{\Delta x^2} + \frac{P_{i,j+1,k} - P_{i,j-1,k}}{\Delta y^2} + \frac{P_{i,j,k+1} - P_{i,j,k-1}}{\Delta z^2} \right] / A,$$

где  $A = \left( \frac{2}{\Delta x^2} + \frac{2}{\Delta y^2} + \frac{2}{\Delta z^2} \right)$ .

После расчета поля потенциала скорости внутри сооружения выполняется расчет компонент вектора скорости на гранях разностных ячеек по зависимостям

$$u_{i,j,k} = \frac{P_{i,j,k} - P_{i-1,j,k}}{\Delta x}, \quad v_{i,j,k} = \frac{P_{i,j,k} - P_{i,j-1,k}}{\Delta y}, \quad w_{i,j,k} = \frac{P_{i,j,k} - P_{i,j,k-1}}{\Delta z}.$$

Для численного интегрирования уравнения транспорта загрязнителя в отстойнике используется попеременно – треугольная неявная разностная схема. Разностный аналог уравнения переноса примеси в операторном виде будет иметь вид

$$\begin{aligned} & \frac{C_{i,j,k}^k - C_{i,j,k}^c}{\Delta t} + \frac{1}{2} \left( L_x^- C^k + L_y^- C^k + L_z^- C^k \right) + \frac{\sigma}{4} C_{i,j}^k = \\ & = \frac{1}{4} \left( M_{xx}^- C^k + M_{xx}^+ C^c + M_{yy}^- C^k + M_{yy}^+ C^c + M_{zz}^- C^k + M_{zz}^+ C^c \right), \end{aligned}$$

где, например,  $L_x^+ C^{n+1} = \frac{u_{i+1,j,k}^+ C_{i,j,k}^{n+1} - u_{i,j,k}^+ C_{i-1,j,k}^{n+1}}{\Delta x}$ ,  $u = \frac{u + |u|}{2}$  и т.д.

Далее интегрируется уравнение движения загрязнителя под действием силы тяжести

$$\frac{\partial C}{\partial t} - \frac{\partial w_s C}{\partial y} = 0.$$

Данное уравнение аппроксимируется следующим образом

$$\frac{C_{i,j}^{n+1} - C_{i,j}^n}{\Delta t} - \frac{w_s C_{i,j+1}^{n+1} - w_s C_{i,j}^{n+1}}{\Delta y} = 0.$$

Из данной формулы находим концентрацию загрязнителя на верхнем временном слое.

Разработанная 3D CFD модель процесса массопереноса в вертикальных отстойниках, позволяет, в отличие от существующих моделей, оперативно рассчитать эффективность очистки воды в сооружении с учетом его геометрической формы и конструктивных особенностей. Особенностью разработанной модели является устойчивость в области большой кривизны линий тока.

Представлены результаты проведенных вычислительных экспериментов по оценке эффективности очистки воды в вертикальных отстойниках.