

CFD МОДЕЛИРОВАНИЕ РАБОТЫ ГОРИЗОНТАЛЬНОГО ОТСТОЙНИКА СО СТРУЕНАПРАВЛЯЮЩИМИ ПЛАСТИНАМИ

Н.Н. Беляев, В.А. Козачина

Днепропетровский национальный университет железнодорожного транспорта
им. акад. В. Лазаряна. г. Днепропетровск
gidravlika2013@mail.ru

Одним из важнейших элементов в технологической схеме подготовки воды для производственных и хозяйственно-бытовых нужд, очистки сточных вод является горизонтальный отстойник. Это связано с возможностью пропуска достаточно больших объемов воды, а также относительной простотой эксплуатации данных сооружений. При реконструкции или проектировании горизонтальных отстойников возникает ответственная задача по оценке их эффективности. Расчет эффективности отстойника может быть выполнен методом математического моделирования. Используемые в настоящее время модели и методики не позволяют учесть форму отстойника и различные конструктивные особенности. В данной работе рассмотрено построение численной модели для оценки эффективности горизонтального отстойника модифицированной конструкции. В основу модели положено уравнение движения идеальной жидкости и уравнение массопереноса. Для численного моделирования моделирующих уравнений используются разностные схемы. Численный расчет осуществляется на прямоугольной разностной сетке. Для формирования вида расчетной области и выделения ее особенностей применяется метод маркирования. Модель позволяет рассчитать процесс осветления в отстойнике при использовании компьютеров малой и средней мощности. Время расчета одного варианта задачи составляет несколько секунд. Представляются результаты проведенного вычислительного эксперимента.

Ключевые слова: численное моделирование, горизонтальный отстойник, CFD модель.

Введение

В процессе водоподготовки для промышленных и бытовых нужд, при очистке сточных вод механическая очистка является неотъемлемой составляющей. Одним из важных элементов очистных сооружений, который производит механическую очистку вод от взвешенных примесей, является горизонтальный отстойник.

В Украине для расчета горизонтальных отстойников применяются эмпирические модели [3,6]. Данные модели не учитывают геометрическую форму отстойника и гидродинамику течения в сооружении. Поэтому для практики крайне важно разрабатывать такие методики расчета отстойников, которые позволяли бы учитывать наиболее существенные факторы, влияющие на процесс массопереноса в отстойниках, а именно, его форму, диффузию, неравномерное поле скорости течения в сооружении [1,2]. Целью данной работы является разработка численной модели массопереноса (CFD модель) в горизонтальном отстойнике, позволяющей учитывать при моделировании геометрическую форму отстойника и его конструктивные особенности.

Математическая модель процесса осветления воды в горизонтальном отстойнике

Расчет процесса осветления воды в отстойнике разбивается на два этапа.

На первом этапе выполняется расчет поля скорости водного потока внутри отстойника. Для решения этой гидродинамической задачи используется уравнение потенциального течения [2]:

$$\frac{\partial^2 P}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 P}{\partial y^2} = 0. \quad (1)$$

Для данного уравнения ставятся следующие граничные условия [1]:

- на твердых стенках отстойника, перегородках внутри него: $\frac{\partial P}{\partial n} = 0$, где n - единичный вектор внешней нормали к твердой границе;

- на входной границе (область подачи воды в отстойник): $\frac{\partial P}{\partial n} = V_n$, где V_n - известное значение скорости подачи воды;

- на выходной границе расчетной области (область выхода осветленных вод из отстойника) $P = P^*(x = const, y) + const$. (условие Дирихле).

После расчета поля потенциала скорости внутри отстойника определяются компоненты вектора скорости потока внутри отстойника на основании соотношений [7]:

$$u = \frac{\partial P}{\partial x}, \quad v = \frac{\partial P}{\partial y}. \quad (2)$$

Полученное значение компонент вектора скорости течения потока внутри горизонтального отстойника используется на втором этапе – при расчете транспорта примеси в отстойнике на базе осредненного по ширине сооружения конвективно-диффузионного уравнения переноса примеси [1]:

$$\frac{\partial C}{\partial t} + \frac{\partial uC}{\partial x} + \frac{\partial (v-w)C}{\partial y} + \sigma C = \text{div}(\mu \text{grad} C), \quad (3)$$

где C – концентрация примеси в воде, г/м³; u, v , – компоненты вектора скорости течения, м/с; $\mu = (\mu_x, \mu_y)$ – коэффициенты диффузии, м²/с; t – время, с; w – скорость оседания загрязнителя, м/с; σ - коэффициент, учитывающий процессы агломерации и т.п. в отстойнике, с⁻¹.

Рассмотрим постановку условий для данного уравнения [1]. В построенной численной модели на твердых непроницаемых стенках реализуется граничное условие вида:

$$\frac{\partial C}{\partial n} = 0,$$

где n – единичный вектор внешней нормали к твердой поверхности.

На дне отстойника в численной модели реализуется граничное условие «поглощения» загрязнителя, т.е. загрязнитель выпадает из потока со скоростью w .

На входной границе (граница входа потока сточных вод в отстойник) ставится условие:

$$C|_{\text{граница}} = C_E,$$

где C_E - известное значение концентрации загрязнителя.

На выходной границе расчетной области, в численной модели ставится «циклическое» (мягкое) граничное условие, которое в численной модели записывается в виде:

$$C(i+1, j) = C(i, j),$$

где $(i+1, j)$ – номер последней разностной ячейки, а (i, j) – номер предпоследней разностной ячейки.

В начальный момент времени полагается $C=0$ в расчетной области. Задача транспорта загрязнителя в отстойнике решается на установление решения.

Метод решения

Формирование формы горизонтального отстойника на прямоугольной разностной сетке осуществляется с помощью метода маркирования [4]. Значения концентрации примеси и потенциала скорости рассчитываются в центрах разностных ячеек. Компоненты вектора скорости определяются на серединах сторон разностных ячеек. Для численного интегрирования уравнения (1) используется метод А.А. Самарского [8]. Для численного интегрирования уравнения массопереноса (3) применяется неявная разностная схема [1,4]. Расчет неизвестных величин P и C осуществляется по методу бегущего счета в построенной численной модели.

Практическая реализация модели

На основе разработанной CFD модели создан код “Отстойник-2М”, реализованный на алгоритмическом языке *FORTRAN*.

Построенная CFD модель была использована для моделирования процесса массопереноса в горизонтальном отстойнике, в котором располагаются струенаправляющие пластины. Конструкция такого отстойника предложена в работе [5]. Цель моделирования – оценка эффективности очистки воды в данном отстойнике (рис. 1).

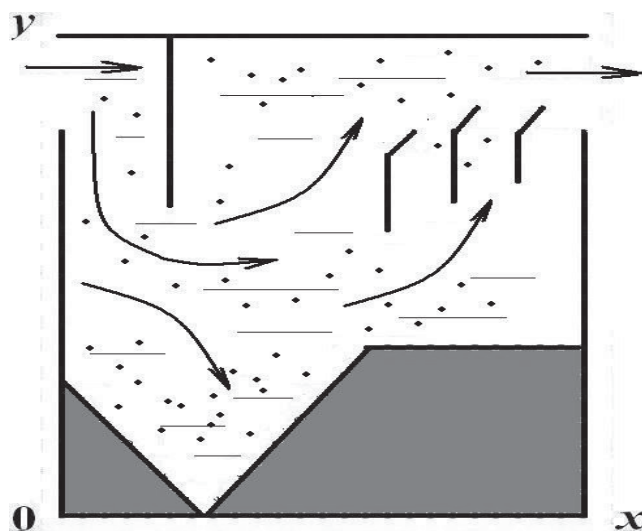


Рис. 1. Схема горизонтального отстойника со струенаправляющими пластинами.

Расчет выполнен при таких параметрах: размеры расчетной области - $8\text{м} \times 4,2\text{м}$; $w=0.003$ м/с; $\sigma=0$; скорость потока на входе в отстойник равна 0.05 м/с. Концентрация загрязнителя во входящем в отстойник потоке принята равной 100 ед. (в безразмерном виде). При проведении вычислительного эксперимента варьировалось положение вертикальной перегородки относительно входа в отстойник. Рассматривалось три варианта:

- первый вариант (рис. 2) – вертикальная перегородка расположена возле струенаправляющих пластин;
- второй вариант (рис. 3) – вертикальная перегородка расположена равноудаленно от струенаправляющих пластин и водоподводящего лотка;
- третий вариант (рис. 4) – вертикальная перегородка расположена возле водоподводящего лотка.

Результаты расчета процесса осветления воды в отстойнике показаны на рис.2,3,4. Здесь приведено поле концентрации примеси в отстойнике для всех рассматриваемых вариантов. Печать чисел на рисунках выполнена по формату «целое число», т.е. дробная часть числа не выдается на печать.

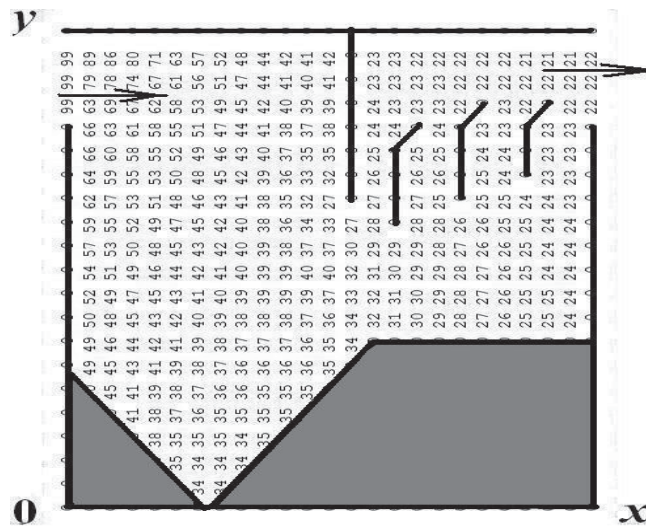


Рис. 2. Распределение концентрации загрязнителя в горизонтальном отстойнике (первый вариант).

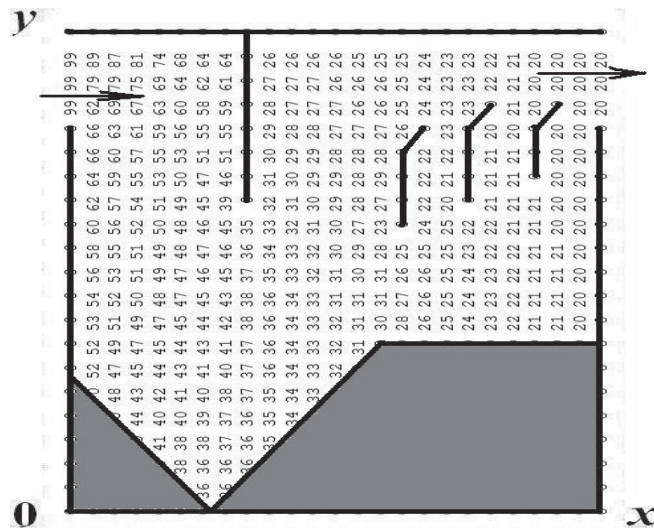


Рис. 3. Распределение концентрации загрязнителя в горизонтальном отстойнике (второй вариант).

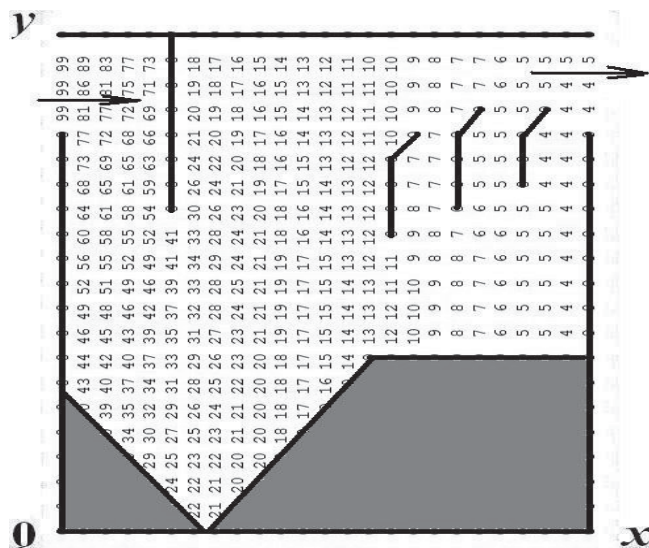


Рис. 4. Распределение концентрации загрязнителя в горизонтальном отстойнике (третий вариант).

Представление результатов расчета в виде матрицы дает возможность быстро определить концентрацию взвешенных веществ в любой зоне отстойника. Особый интерес представляет значение концентрации на выходе из отстойника. Из рис. 2 – 4 видно, что положение вертикальной перегородки оказывает влияние на процесс осветления. Так, для первого варианта концентрация на выходе составляет порядка 22% от начальной концентрации, для второго варианта – порядка 20%, для третьего – порядка 4-5%. Улучшение процесса осветления для третьего варианта объясняется тем, что при близком расположении вертикальной перегородки к водоподающему лотку происходит локальное ускорение водного потока по направлению ко дну отстойника, то есть в данном случае скорость оседания взвешенных веществ суммируется со скоростью водного потока.

В заключение следует отметить, что для расчета одного варианта задачи потребовалось 10с компьютерного времени. Таким образом, для решения сложной задачи осветления воды в отстойнике, имеющем сложную геометрическую форму, требуются небольшие затраты времени.

Выводы

В работе представлена новая CFD модель для расчета процесса очистки воды в горизонтальных отстойниках. Модель дает возможность рассчитывать процесс массопереноса с учетом сложной геометрической формы очистного сооружения. Дальнейшее совершенствование рассмотренной в предложенной модели необходимо проводить в направлении ее развития для моделирования трехмерного процесса переноса примеси в горизонтальных отстойниках.

CFD МОДЕЛЮВАННЯ РОБОТИ ГОРИЗОНТАЛЬНОГО ВІДСТІЙНИКА ЗІ СТРУМЕНЕНАПРАВЛЯЮЧИМИ ПЛАСТИНАМИ

М.М. Біляєв, В.А. Козачина

Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту
ім. акад. В. Лазаряна. м. Дніпропетровськ
gidravlika2013@mail.ru

Одним з найважливіших елементів в технологічній схемі підготовки води для виробничих та господарсько-питних потреб, очищення стічних вод є горизонтальний відстійник. Це пов'язано з можливістю пропуску досить великих об'ємів води, а також відносною простотою експлуатації даних споруд. При реконструкції або проектуванні горизонтальних відстійників виникає відповідальне завдання оцінки їхньої ефективності. Розрахунок ефективності відстійника може бути виконаний методом математичного моделювання. Використовувані нині моделі і методики не дозволяють врахувати форму відстійника і різні конструктивні особливості. У цій роботі розглянута побудова чисельної моделі для оцінки ефективності горизонтального відстійника модифікованої конструкції. У основу моделі покладено рівняння руху ідеальної рідини і рівняння масопереносу. Для чисельного моделювання моделюючих рівнянь використовуються різницеві схеми. Чисельний розрахунок здійснюється на прямокутній різницевій сітці. Для формування виду розрахункової області і виділення її особливостей застосовується метод маркування. Модель дозволяє розрахувати процес освітлення у відстійнику при використанні комп'ютерів малої і середньої потужності. Час розрахунку одного варіанту завдання складає декілька секунд. Видаються результати проведеного обчислювального експерименту.

Ключові слова: чисельне моделювання, горизонтальний відстійник, CFD модель.

CFD SIMULATION OF THE HORIZONTAL SETTLER WITH FIN WORK

N.N. Biliaiev, V.A. Kozachyna

Dnepropetrovsk National University of Railway Transport named after V. Lazaryan,
Dnepropetrovsk, Ukraine
gidravlika2013@mail.ru

Horizontal settlers are one of the most important elements in the technological scheme for drinking water preparing and waste water treatment. Their use is associated with the possibility to pass a sufficiently large volume of water. When remodeling or designing horizontal tanks there is an important task to evaluate their effectiveness. Calculation of the efficiency of the settler can be made by mathematical modeling. Currently used models and methods do not allow take into account the shape of the sump and the various design features. In this paper we consider the construction of a numerical model to evaluate the effectiveness of horizontal settler modified structure. The model is based on equations of motion of an ideal fluid and mass transfer equation. For numerical simulation the finite difference schemes are used. The numerical calculation is carried out on a rectangular grid. For the formation of the computational domain markers are used. The model allows calculate the clarification process in the sump using computers small and medium power. Calculation time of one variant of the problem is a few seconds. The results of a computational experiment are presented.

Keywords: numerical simulation, horizontal settler, CFD model.

Список литературы

1. *Беляев Н.Н.* Математическое моделирование массопереноса в отстойниках систем водоотведения / Н.Н. Беляев, Е.К. Нагорная. – Д.: Нова ідеологія, 2012. – С. 112.
2. *Беляев Н.Н.* К расчету вертикального отстойника на базе CFD модели / Н.Н. Беляев, Е.К. Нагорная // Вісник Нац. ун-ту водного господарства та природокористування. – Рівне, 2012. – №1 (57). – С. 32–41.
3. *Василенко О.А.* Водовідведення та очистка стічних вод міста. Курсове і дипломне проектування / О.А. Василенко, С.М. Епоян // Приклади та розрахунки: Навчальний посібник. – Київ – Харків, КНУБА, ХНУБА, ТО Ексклюзив, 2012. – С. 540.
4. *Згуровский М.З.* Численное моделирование распространения загрязнения в окружающей среде / М. З. Згуровский, В. В. Скопецкий, В. К. Хрущ, Н. Н. Беляев. – К.: Наук. думка, 1997. – С. 368.
5. *Исмаилова Э.К.* К вопросу очистки сточных вод с высоким содержанием взвешенных веществ / Э.К. Исмаилова, М.К. Оспанулова, А.К. Киргизбаев, А.С. Куйчиев. // [Електронний ресурс]. - Режим доступу: arch.kyrlibnet.kg/uploads/kgusta.
6. *Ласков Ю.М.* Примеры расчетов канализационных сооружений: Учеб. Пособие для вузов/ Ю.М. Ласков, Воронов Ю.В., Калицун В.И. – М.: Высш. Школа, 1981. – С. 232.
7. *Лойцянский Л. Г.* Механика жидкости и газа / Л. Г. Лойцянский - М.: Наука, 1978. – С. 735.
8. *Самарский А. А.* Теория разностных схем / А. А. Самарский. – М.: Наука, 1983. – С. 616.