

CFD МОДЕЛИРОВАНИЕ РАБОТЫ ГОРИЗОНТАЛЬНОГО ДВУХЭТАЖНОГО ОТСТОЙНИКА С ПОВОРОТОМ ПОТОКА В ВЕРТИКАЛЬНОЙ ПЛОСКОСТИ

Рассмотрено построение численной модели для расчета горизонтального двухэтажного отстойника с поворотом потока в вертикальной плоскости. 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. 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.

Розглянуто побудову чисельної моделі для розрахунку двоповерхового відстійника з поворотом потоку у вертикальній площині. 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. 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 проведенного обчислювального експерименту.

The numerical model of the horizontal two-storied settler was discussed in this paper. 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 to 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.

Введение. Отстойники широко используются при очистке воды. При этом в различных областях промышленности нашли широкое применение горизонтальные отстойники. С течением времени было разработано достаточно много конструкций таких отстойников. При создании той или иной конструкции ставилась задача достигнуть главную цель – повысить эффективность очистки воды. Анализ литературных источников показал, что при наличии значительного числа конструкций горизонтальных отстойников имеется одно «узкое» место в этой области – отсутствие универсальных методик расчета отстойников. Под понятием «универсальная методика» здесь понимается наличие такого инструмента расчета, который позволил бы проектировщику быстро выполнять расчет процесса оседания примеси в отстойнике без ограничения на его форму и наличие внутри отстойника различных элементов (пластины, перегородки и т.п.).

В настоящее время в Украине для расчета горизонтальных отстойников применяются эмпирические модели [3, 5, 8]. Эти модели нельзя назвать универсальными, т.к. они не учитывают геометрическую форму отстойника и гидродинамику течения в сооружении. Целью данной работы является разработка численной модели массопереноса (CFD модель) в горизонтальном двухэтажном отстойнике с поворотом движения потока в вертикальной плоскости, позволяющей учитывать при моделировании геометрическую форму отстойника и его конструктивные особенности.

Математическая модель процесса осветления воды в горизонтальном отстойнике. Расчет процесса массопереноса в отстойнике разбивается на два этапа. На первом этапе решается гидродинамическая задача – выполняется расчет поля скорости водного потока внутри отстойника, имеющего сложную геометрическую форму (рис. 1–3). Для решения этой гидродинамической задачи используется уравнение потенциального течения [1, 2, 6]

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

Граничные условия для данного уравнения рассмотрены в работе [1, 2]:

После расчета поля потенциала скорости внутри отстойника определяются компоненты вектора скорости потока внутри отстойника на основании соотношений [6]

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

Полученное значение компонент вектора скорости течения потока внутри горизонтального отстойника используется на втором этапе – расчет транспорта примеси в отстойнике на базе осредненного по ширине сооружения конвективно-диффузионного уравнения переноса примеси [1, 2]

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

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

Постановка краевых условий для данного уравнения рассмотрена в работе [1].

Метод решения. Формирование формы горизонтального отстойника на прямоугольной разностной сетке осуществляется с помощью метода маркирования [4]. Для численного интегрирования уравнения (1) используется метод А.А. Самарского [7]. Для численного интегрирования уравнения массопереноса (3) применяется неявная разностная схема [1, 2, 4]. Расчет неизвестных величин P и C осуществляется по методу бегущего счета в построенной CFD 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 двухэтажном отстойнике, в котором происходит поворот потока в вертикальной плоскости. Конструкция такого отстойника предложена в работе [8]. Цель моделирования – оценка эффективности очистки воды в данном отстойнике (рис. 1–3).

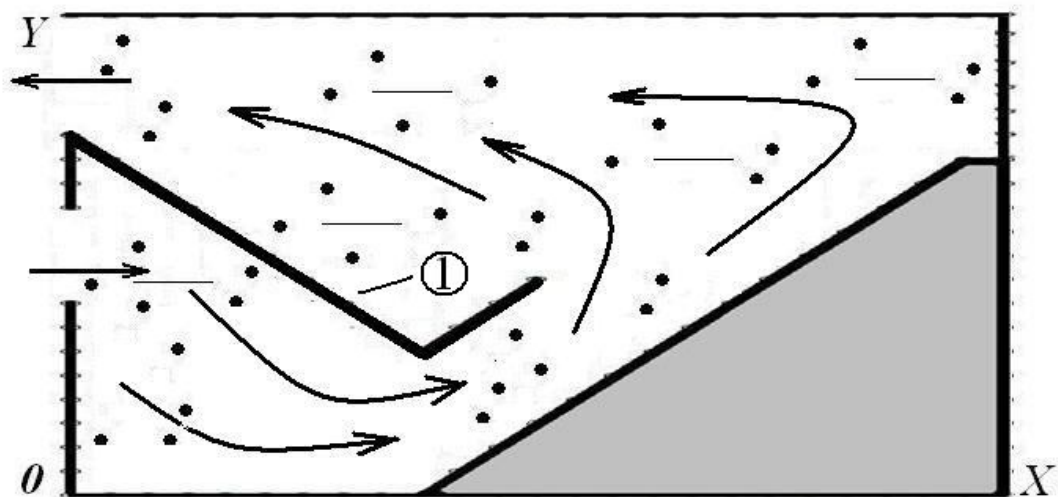


Рис. 1. Схема горизонтального двухэтажного отстойника с короткой струенаправляющей пластиной (1)

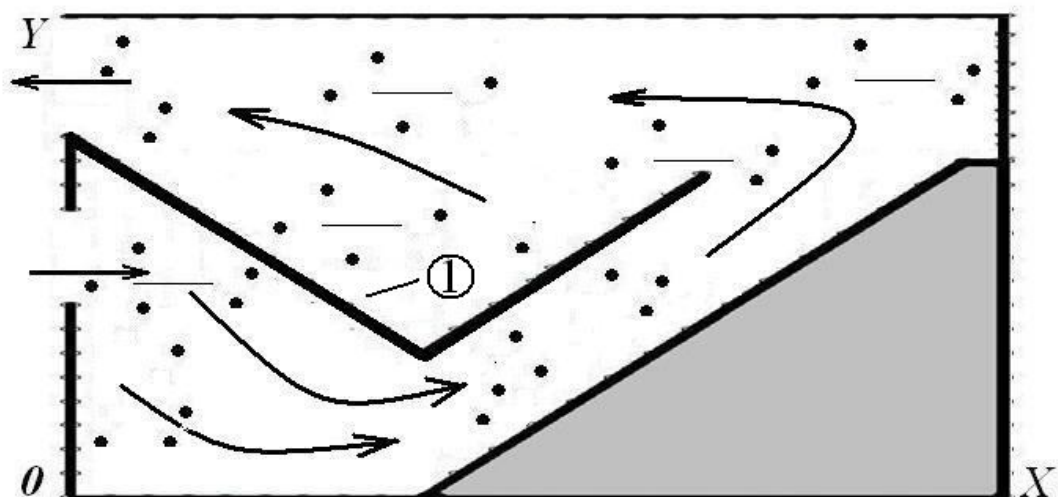


Рис. 2. Схема горизонтального двухэтажного отстойника с длинной струенаправляющей пластиной (1)

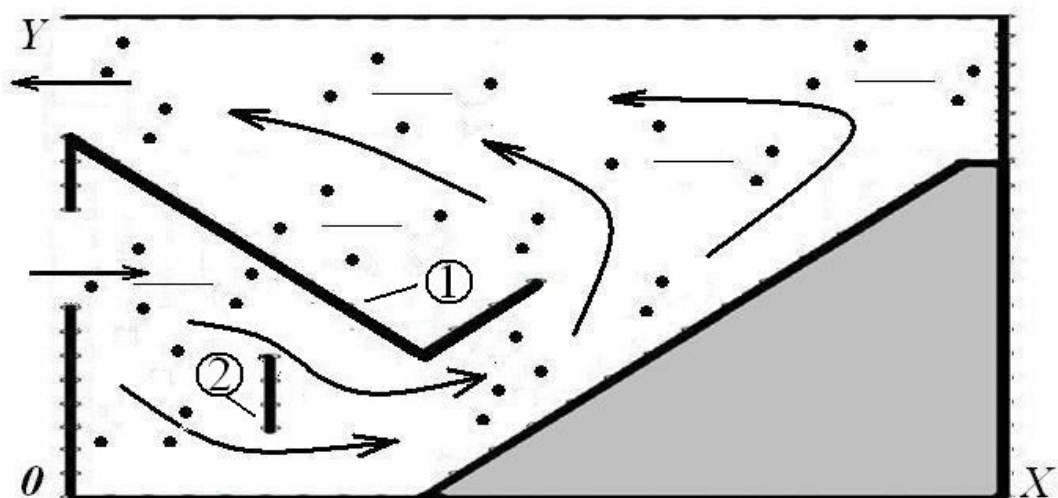


Рис. 3. Схема горизонтального двухэтажного отстойника с короткой струенаправляющей пластиной (1) и вертикальной перегородкой (2)

Расчет выполнен при таких параметрах: размеры расчетной области $6\text{м} \times 3\text{м}$; $w=0.005$ м/с; $\sigma=0$; $\mu=0,71 \frac{\text{м}^2}{\text{с}}$; скорость потока на входе в отстойник равна 0.04 м/с. Концентрация загрязнителя во входящем в отстойник потоке принята равной 100ед (в безразмерном виде). При проведении вычислительного эксперимента рассматривалось три варианта:

- первый вариант (рис. 1) – горизонтальный двухэтажный отстойник с короткой струенаправляющей пластиной;
- второй вариант (рис. 2) – горизонтальный двухэтажный отстойник с длинной струенаправляющей пластиной;
- третий вариант (рис. 3) – горизонтальный двухэтажный отстойник с короткой струенаправляющей пластиной и вертикальной перегородкой.

Результаты расчета процесса осветления воды в отстойнике показаны на рис. 4, 5, 6. 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.

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. 4–6 видно, что наличие вертикальной перегородки и длина струенаправляющих пластин оказывают влияние на процесс осветления. Так, для первого варианта концентрация на выходе составляет порядка 10% от начальной концентрации, для второго варианта – порядка 5% , для третьего – порядка 9% .

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

Список литературы

1. Беляев Н.Н., Нагорная Е.К. Математическое моделирование массопереноса в отстойниках систем водоотведения / Н.Н. Беляев, Е.К. Нагорная. – Д.: Нова ідеологія, 2012. – 112 с.
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., Епоян С.М. Водовідведення та очистка стічних вод міста. Курсове і дипломне проектування. Приклади та розрахунки: Навчальний посібник. – Київ – Харків, КНУБА, ХНУБА, ТО Ексклюзив, 2012. – 540 с.
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. – 368 с.

5. Ласков Ю.М., Воронов Ю.В., Калицун В.И. Примеры расчетов канализационных сооружений: Учеб. Пособие для вузов. – М.: Высш. Школа, 1981. – 232 с.
6. Лойцянский Л. Г. Механика жидкости и газа. - М.: Наука, 1978. – 735 с.
7. Самарский А. А. Теория разностных схем / А. А. Самарский. – М.: Наука, 1983. – 616 с.
8. Эпоян С.М., Колотило В.Д. та ін. Водопостачання та очистка природних вод: навчальний посібник. – Х.: Фактор, 2010. – 192 с.

*Рекомендовано до публікації д.т. н.Зберовським О.В.
Надійшла до редакції 25.02.2014*

УДК 550.379:.371.3+664.61:.653+504.54

© Пикареня Д.С., Орлинская О.В., Любченко В.В.,
Чушкина И.В., Дейнеко А.В.

ВОЗМОЖНОСТИ МЕТОДА ЕСТЕСТВЕННОГО ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО ПОЛЯ ЗЕМЛИ ДЛЯ ДИАГНОСТИКИ ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ГОРОДСКИХ ВОДОПРОВОДНЫХ И КАНАЛИЗАЦИОННЫХ СЕТЕЙ

Рассмотрены результаты работ по диагностике утечек из водопроводных и канализационных сетей методом естественного импульсного электромагнитного поля Земли (ЕИЭМПЗ). Выявлены зоны замачивания грунтов, определены их параметры и причины. Показано, что метод ЕИЭМПЗ может эффективно использоваться в городах в условиях интенсивных техногенных помех в качестве одного из современных оперативных методов для оценки технического состояния систем водоснабжения и водоотведения. Это позволит предотвратить ухудшение экологического состояния земель урбанизированных территорий.

Розглянуті результати робіт щодо діагностики витоків з водопровідних і каналізаційних мереж методом природного імпульсного електромагнітного поля Землі (ПІЕМПЗ). Виявлені зони замочування ґрунтів, визначені їх параметри і причини. Показано, що метод ПІЕМПЗ може ефективно використовуватися в містах в умовах інтенсивних техногенних перешкод як один з сучасних оперативних методів для оцінки технічного стану систем водопостачання і водовідведення. Це дозволить запобігти погіршенню екологічного стану земель урбанізованих територій.

The results of works are considered on diagnostics of losses from plumbing's and sewages by the method of the natural impulsive electromagnetic field of Earth (NIEMFE). The areas of soakage of soils are educed, their parameters and reasons are certain. It is shown that the method of NIEMFE can be effectively used in cities in the conditions of intensive technogenic hindrances as one of modern operative methods for the estimation of the technical state of the plumbing and sewage systems. It will allow preventing worsening of the ecological state of earths of the urbanized territories.

В крупных населенных пунктах одной из проблем жилищно-коммунального хозяйства являются частые порывы водопроводных, канализационных и тепловых сетей. Потери поставляемой потребителям воды в водопроводных сетях могут достигать более 30%. Это приводит к проявлению и активизации опасных инженерно-геологических и экологических процессов, таких как суффозия, обводнение грунтов и подтопление территорий, загрязнение