

Козачина В.А.

*Днепропетровский национальный университет железнодорожного транспорта
имени академика В. Лазаряна*

**МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА МАССОПЕРЕНОСА В ОТСТОЙНИКЕ
ПРИ ИМПУЛЬСНОЙ ПОДАЧЕ ПРИМЕСИ**

Введение.

Горизонтальные отстойники широко используются в настоящее время в различных отраслях [5] промышленности. В Украине для расчета горизонтальных отстойников применяются, как правило, эмпирические модели [3,5,6]. Данные модели не учитывают геометрическую форму отстойника и гидродинамику течения в сооружении. Кроме этого они не учитывают различные режимы функционирования, которые возникают на практике – например, массоперенос в случае импульсного поступления загрязнителя в отстойник. В настоящее время наиболее перспективным методом решения таких задач массопереноса в отстойниках является применение численных моделей [1].

Целью данной работы является проверка возможности применения разработанного пакета программ «Clarifier» для моделирования массопереноса в горизонтальном отстойнике в случае импульсного поступления загрязнителя.

Моделирующие уравнения.

Пакет программ «Clarifier» представляет собой компьютерную программу, реализующую численное интегрирование уравнения массопереноса и уравнений гидродинамики. Рассмотрим эти уравнения. Для расчета транспорта примеси в горизонтальном отстойнике используется осредненное по ширине сооружения конвективно-диффузионное уравнение переноса [1,2,8]

$$\frac{\partial C}{\partial t} + \frac{\partial uC}{\partial x} + \frac{\partial (v-w)C}{\partial y} + \sigma C = \text{div}(\mu \text{grad} C) \tag{1}$$

где C – концентрация примеси в воде; u, v, w – 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 [1].

Для решения гидродинамической задачи – определения поля скорости водного потока в горизонтальном отстойнике – используются уравнения Эйлера, записанные в переменных Гельмгольца. В этом случае моделирующие уравнения включают в себя [5,7]

- уравнение Пуассона для функции тока Ψ :

$$\frac{\partial^2 \Psi}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \Psi}{\partial y^2} = -\omega \tag{2}$$

- уравнение переноса завихренности

$$\omega = \frac{\partial v}{\partial x} - \frac{\partial u}{\partial y} \text{ в водном потоке:}$$

$$\frac{\partial \omega}{\partial t} + \frac{\partial u \omega}{\partial x} + \frac{\partial v \omega}{\partial y} = 0 \tag{3}$$

Постановка краевых условий для данных уравнений рассмотрена в [4].

Метод решения. Численное интегрирование моделирующих уравнений реализуется на прямоугольной разностной сетке. Значения концентрации примеси, завихренности рассчитываются в центрах разностных ячеек. Значение функции тока определяется в узлах сетки. Для численного интегрирования моделирующих уравнений используется попеременно – треугольная неявная разностная схема расщепления и метод А.А. Самарского [4]. Неизвестное значение концентрации загрязнителя, завихренности, функции тока, на каждом шаге расщепления в применяемых разностных методах решения, определяется по явной формуле «бегущего счета».

Результаты. На первом этапе исследования экспериментальным путем определялась скорость осаждения примеси (глина) в лабораторном цилиндре. Для этого в цилиндр высотой $h=500$ мм, заполненный водой, импульсно подавалась примесь и проводилась видеосъемка. Величина стоксовской скорости оседания для каждого эксперимента рассчитывалась как путь, пройденный частицами примеси, деленный на время. Среднее значение скорости оседания составило $\omega_s=1,05$ см/с.

На втором этапе исследований проводилась импульсная подача (на протяжении 0,3 - 0,6 с) примеси (глина) в модель горизонтального отстойника без пластин и с пластинами. В каждом эксперименте подавалась $m_0 = 4$ г глины. На выходе из отстойника поток поступал в емкость, из которого далее удалялась примесь, высушивалась и взвешивалась. Таким образом определялась масса примеси m_2 , которая не осела в отстойнике. То есть, масса примеси, которая осела в отстойнике, составляет $m_1 = m_0 - m_2$. При проведении экспериментов объемный расход составлял порядка 0,3 л/с.

Динамика формирования распределения примеси в середине отстойника без пластин показана на рис.1, рис.2.



Рис. 1. Распределение примеси в отстойнике без пластин ($t=0,1$ с)



Рис. 2. Распределение примеси в отстойнике без пластин ($t=1,2$ с)

Как видно из приведенных рисунков, сначала зона распределения примеси в отстойнике напоминает «каплю», которая

движется вертикально вниз. Далее с течением времени происходит размыв этой зоны по глубине отстойника (что характерно для турбулентного течения) и снос ее к выходному сечению.

На рис. 3 - 5 показана динамика формирования зоны загрязнения в отстойнике при импульсной подаче примеси при проведении второго этапа исследований - импульсная подача примеси в горизонтальный отстойник с наклонными пластинами.



Рис. 3. Распределение примеси в отстойнике с пластинами ($t=0,1$ с)



Рис. 4. Распределение примеси в отстойнике с пластинами ($t=0,2$ с)

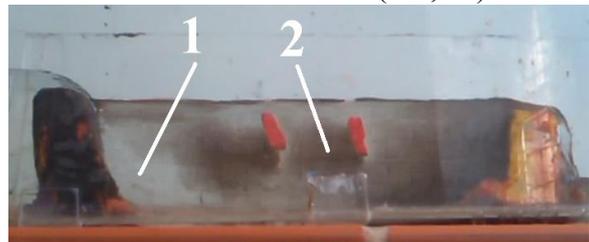


Рис. 5. Распределение примеси в отстойнике с пластинами ($t=2,1$ с)
1 – зона, свободная от примеси; 2 – зона загрязнения

На основании серии проведенных экспериментов была получена масса примеси на выходе из отстойника при ее импульсной подаче. Результаты экспериментов представлены в табл. 1-2.

БУДІВНИЦТВО

Таблица 1 - Значение массы m_1 примеси, которая осела в отстойнике без пластин, определенная экспериментальным путем

№ эксперимента	1	2	3	4	5	6	7
Q, л/с	0,27	0,25	0,25	0,24	0,26	0,24	0,23
m_1 , г	2,43	2,58	2,54	2,63	2,50	2,64	2,69

Таблица 2 - Значение массы m_1 примеси, которая осела в отстойнике с пластинами, определенная экспериментальным путем

№ эксперимента	1	2	3	4	5	6	7
Q, л/с	0,24	0,27	0,26	0,27	0,25	0,23	0,26
m_1 , г	2,69	2,48	2,53	2,46	2,60	2,76	2,52

На следующем этапе исследований проводилась серия вычислительных экспериментов по моделированию импульсной подачи примеси в горизонтальный отстойник с наклонными пластинами с помощью пакета программ Clarifier. При этом варьировались размеры сетки, размеры и положение пластин в отстойнике. Некоторые результаты этих вычислительных экспериментов показаны на рис. 6 – 8.

Результаты измерений и расчета массы примеси по построенной модели представлены табл.3.

Таблица 3 - Значение массы m_1 примеси, которая осела в отстойнике с пластинами (эксперимент и расчет)

№ эксперимента	1	2	3	4	5	6	7
Q, л/с	0,24	0,27	0,26	0,27	0,25	0,23	0,26
m_1 (эксперимент), г	2,69	2,48	2,53	2,46	2,60	2,76	2,52
m_1 (расчет), г	2,32	2,16	2,19	2,16	2,25	2,35	2,18

Выводы. В работе представлена новая CFD модель для расчета процесса осветления воды в горизонтальных отстойниках. Модель дает возможность рассчитывать процесс массопереноса с учетом сложной геометрической формы очистного сооружения. Проведено сопоставление экспериментальных данных с результатами

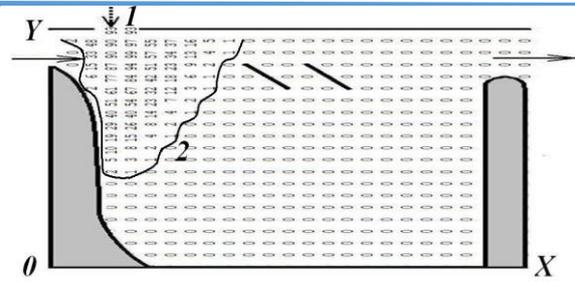


Рис. 6. Зона загрязнения в отстойнике при импульсной подаче примеси, $t=0.18$ с (1 – место подачи примеси; 2 – граница зоны загрязнения)

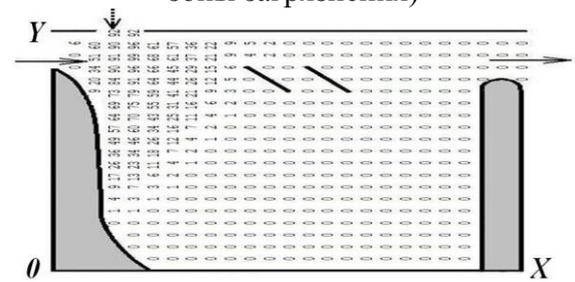


Рис. 7. Зона загрязнения в отстойнике при импульсной подаче примеси, $t=0.22$ с

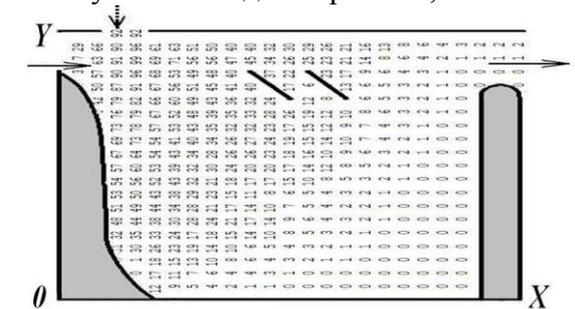


Рис. 8. Зона загрязнения в отстойнике при импульсной подаче примеси, $t=0.82$ с

расчета по предложенной модели. Дальнейшее совершенствование рассмотренной в предложенной модели необходимо проводить в направлении ее развития для моделирования трехмерного процесса переноса примеси в горизонтальных отстойниках.

ЛИТЕРАТУРА:

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. Кочетов О.С., Стареева М.О. Горизонтальный отстойник (RU 2438992)
6. Ласков Ю.М., Воронов Ю.В., Калицун В.И. Примеры расчетов канализационных сооружений: Учеб. Пособие для вузов. – М.: Высш. Школа, 1981. – 232 с.
7. Лойцянский Л. Г. Механика жидкости и газа. - М.: Наука, 1978. – 735 с.
8. Марчук Г. И. Математическое моделирование в проблеме окружающей среды. – М.: Наука, 1982. – 320 с.
9. Biliaiev M.M., Kozachyna V.A. CFD modelling of the water treatment in the horizontal settler / Biliaiev M.M., Kozachyna V.A. Вісник Дніпропетровського університету. Серія «Механіка». – Вип. 18, том 1., 2014. – с. 146 – 151.
10. Biliaiev M.M., Kozachyna V.A. New codes for the CFD simulation of the water purification in the horizontal settler / Biliaiev M.M., Kozachyna V.A. Науково-технічний збірник «Проблеми водопостачання, водовідведення та гідравліки». – Вип. 24, 2014. – с. 16 – 23.

UDC 622.5: 628.35

Biliaiev M.M., Kozachyna V.A.,

*Dnepropetrovsk national university of railway transport
named after V. Lazaryan*

Kulikova D.V.

National mining university

MODELLING OF WATER TREATMENT IN THE HORIZONTAL SETTLER WITH PERFORATED PLATES

Introduction. It is well known that the horizontal settlers are very often used in the water treatment. Today the different forms of the settlers are used at the treatment plants. But the engineers face the problem of computational methods deficit. Designers need the reliable information about the efficiency of the settler which have comprehensive geometrical form and work in different conditions. To obtain this information the CFD models are most convenient.

Literature review. The process of the waste waters purification in settlers is calculated very often using the empirical

models. These models do not take into account the geometrical form of the horizontal settlers and the peculiarities of the sedimentation process. [3, 5, 6]. Therefore, it is important to develop CFD models having more capabilities to simulate the process of the waste waters treatment in settlers and which do not need much computational time for running and allow to take into account the geometrical form of settlers [1,2].

The objective. The main objective of this paper is the development of the effective CFD model which allows to compute the mass transfer in horizontal settler with perforated plates.