

Ключові слова:

CFD модель, аероіонний режим, рівняння потенціальної течії, рівняння масопереносу, обчислювальний експеримент.

Abstract. This paper presents a numerical model for predicting air-ion dispersion inside the rooms. The model is based on equations of ideal fluid motion and mass transfer equation for the negative and positive ions and dust. The numerical simulation of modeling equations uses finite difference schemes. The numerical calculation is carried out on a rectangular computational grid. Markers are used for forming a computational domain. The developed numerical model predicts air-ion dispersion mode with taking into account the room shape, aerodynamics air flows, indoor furniture, equipment, etc. The model predicts air-ion dispersion in the rooms when computers of small and medium power are used. Calculation time for one variant is few seconds. Results of a computational experiment are presented.

Keywords:

2-D numerical model, air-ion dispersion, equation of potential flow, equation of mass transfer, numerical experiment.

Статья поступила в редакцию 6.01. 2014

Рекомендовано к печати д-ром техн. наук В.Г. Шевченко

УДК 622.5: 628.35: 519.6

Н.Н. Беляев, д-р техн. наук, профессор,
Е.Ю. Гунько, канд. техн. наук, доцент,
В.А. Козачина, магистр
(ГВУЗ «ДНУЖТ им. В. Лазаряна»)

ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА ОСВЕТЛЕНИЯ ШАХТНЫХ ВОД В ГОРИЗОНТАЛЬНОМ ОТСТОЙНИКЕ

М.М. Беляев, д-р техн. наук, профессор,
О.Ю. Гунько, канд. техн. наук, доцент,
В.А. Козачина, магистр
(ДВНЗ «ДНУЗТ ім. В. Лазаряна»)

ЧИСЕЛЬНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСУ ОСВІТЛЕННЯ ШАХТНИХ ВОД У ГОРИЗОНТАЛЬНОМУ ВІДСТІЙНИКУ

N.N. Bielaev, D.Sc. (Tech.), Professor,
E. Yu. Gunko, Associate Professor, Ph.D. (Tech.)
V.A. Kozachyna, Master of Science
(SHEE «DNURT named after V. Lazaryan»)

NUMERICAL SIMULATION OF THE MINE WATERS TREATMENT IN HORIZONTAL SETTLER

Аннотация. Горизонтальные отстойники являются одним из важнейших элементов в технологической схеме очистки шахтных вод. Их применение связано с возможностью пропуска достаточно больших объемов сточных вод. 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. Наиболее негативное влияние на водные объекты угледобывающих регионов обусловлено сбросом горными предприятиями шахтных вод.

Это объясняется низким качеством шахтных вод по многим показателям, что не соответствует современным требованиям правил охраны поверхностных вод от загрязнения, а также масштабным влиянием процессов угледобычи на водные объекты на протяжении длительного времени на огромной территории.

Загрязнение шахтных вод взвешенными веществами, наличие в них хлоридов, сульфатов, фосфатов, фторидов, ионов тяжелых металлов, железа, марганца, нефтепродуктов, микроорганизмов, повышенная жесткость препятствуют их использованию для технических и бытовых потребностей.

Исходя из этого, очевидной является необходимость поиска новых решений с минимальными затратами для очистки шахтных вод с целью дальнейшего повторного их использования для бытовых и промышленных нужд.

Горизонтальные отстойники широко используются в настоящее время в различных отраслях [5] и, в частности, в горнорудной промышленности. В Украине для расчета горизонтальных отстойников применяются эмпирические модели [3,6]. Данные модели не учитывают геометрическую форму отстойника и гидродинамику течения в сооружении. В настоящее время наиболее перспективными являются численные модели расчета процесса массопереноса в отстойниках [1,2]. Цель данной работы – разработка численной модели массопереноса в горизонтальном отстойнике, позволяющей учитывать при моделировании геометрическую форму отстойника.

Математическая модель процесса массопереноса.

Для расчета транспорта примеси в горизонтальном отстойнике используется осредненное по ширине сооружения конвективно-диффузионное уравнение переноса [6]

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

где C – концентрация примеси в воде; u, v, w – компоненты вектора скорости те-

чения; $\mu = (\mu_x, \mu_y)$ – коэффициенты диффузии; t – время; w – скорость оседания загрязнителя; σ – коэффициент, учитывающий процессы агломерации и т.п. в отстойнике.

Для данного уравнения ставятся следующие граничные условия. На твердых стенках, а также верхней границе реализуется граничное условие вида

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

где n – единичный вектор внешней нормали к поверхности. На горизонтальных границах в численной модели реализуется граничное условие «поглощения» загрязнителя, который выпадает из потока со скоростью w .

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

$$C| = C_0$$

где C_0 – известное значение концентрации загрязнителя.

На выходной границе расчетной области, в численной модели ставится мягкое граничное условие, которое в численной модели записывается так

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

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

В начальный момент времени полагается $C=0$ в расчетной области. Задача переноса примеси в горизонтальном отстойнике решается на установление решения.

Модель гидродинамики. Для решения этой 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]

1. Уравнение Пуассона для функции тока ψ :

$$\frac{\partial^2 \psi}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \psi}{\partial y^2} = -\omega. \quad (2)$$

2. Уравнение переноса завихренности $\omega = \frac{\partial v}{\partial x} - \frac{\partial u}{\partial y}$ в водном потоке:

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

Граничные условия: нижняя и верхняя границы расчетной области – линии тока, поэтому на них для функции тока ставится условие вида $\psi|_{zp} = const$, для завихренности ω на этих границах ставится условие непротекания, которое реализуется путем использования в дискретной модели фиктивных ячеек. На выходной границе для данных функций в дискретной модели реализуется мягкое граничное условие [4]. На входной границе задается значение завихренности (например $\omega = 0$), а для функции тока значение $\psi|_0 = y \cdot u_в$ ($u_в$ – скорость втекания потока).

Начальные условия имеют вид $\omega|_{t=0} = \omega_0(x, y)$, где ω_0 – известное значение завихренности в расчетной области, $\psi|_{t=0} = \psi_0(x, y)$. В угловых точках, где допускается отрыв потока, располагается источник завихренности. В дискретной модели это реализуется с помощью маркера. Интенсивность источника завихренности определяется по методике, рассмотренной в работе [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. Компоненты вектора скорости определяются на серединах сторон разностных ячеек.

Разностные уравнения для расчета завихренности, на каждом шаге расщепления, имеют вид [4]:

- на первом шаге

$$\frac{\omega_{i,j}^{n+\frac{1}{2}} + \omega_{i,j}^n}{\Delta t} + \frac{u_{i+1,j}^+ \omega_{i,j}^{n+\frac{1}{2}} - u_{i,j}^+ \omega_{i-1,j}^{n+\frac{1}{2}}}{\Delta x} + \frac{v_{i,j+1}^+ \omega_{i,j} - v_{i,j-1}^+ \omega_{i,j-1}}{\Delta y} = 0;$$

- на втором шаге

$$\frac{\omega_{i,j}^{n+1} - \omega_{i,j}^{n+\frac{1}{2}}}{\Delta t} + \frac{u_{i+1,j}^- \omega_{i+1,j}^{n+\frac{1}{2}} - u_{i,j}^- \omega_{i,j}^{n+\frac{1}{2}}}{\Delta x} + \frac{v_{i,j+1}^- \omega_{i,j+1}^{n+\frac{1}{2}} - v_{i,j-1}^- \omega_{i,j-1}^{n+\frac{1}{2}}}{\Delta y} = 0.$$

Неизвестное значение завихренности на каждом шаге расщепления определяется по формуле бегущего счета. Эти уравнения используются для определения завихренности на временном слое t^{n+1} .

Для численного интегрирования уравнения Пуассона будем использовать разностную схему суммарной аппроксимации. В этом случае решение данного уравнения расщепляется на ряд шагов:

- на первом шаге решается уравнение

$$\frac{\psi_{ij}^{n+\frac{1}{4}} - \psi_{ij}^n}{\Delta t} = \frac{\bar{\psi}_{ij}}{2};$$

- на втором шаге

$$\frac{\Psi_{i,j}^{n+\frac{1}{2}} - \Psi_{i,j}^n}{\Delta t} = - \frac{\Psi_{i,j}^{n+\frac{1}{2}} - \Psi_{i-1,j}^{n+\frac{1}{2}}}{\Delta x^2} - \frac{\Psi_{i,j}^{n+\frac{1}{2}} - \Psi_{i,j-1}^{n+\frac{1}{2}}}{\Delta y^2};$$

- на третьем шаге

$$\frac{\Psi_{i,j}^{n+\frac{3}{4}} - \Psi_{i,j}^{n+\frac{1}{2}}}{\Delta t} = \frac{\Psi_{i+1,j}^{n+\frac{3}{4}} - \Psi_{i,j}^{n+\frac{3}{4}}}{\Delta x^2} + \frac{\Psi_{i,j+1}^{n+\frac{3}{4}} - \Psi_{i,j}^{n+\frac{3}{4}}}{\Delta y^2};$$

- на четвертом шаге

$$\frac{\Psi_{ij}^{n+1} - \Psi_{ij}^{n+\frac{3}{4}}}{\Delta t} = \frac{\overline{\omega}_{ij}}{2},$$

$$\text{где } \overline{\omega}_{i,j} = \frac{1}{4} (\omega_{i,j} + \omega_{i-1,j+1} + \omega_{i-1,j-1} + \omega_{i,j-1}).$$

Для численного интегрирования уравнения переноса примеси в горизонтальном отстойнике используется попеременно – треугольная разностная схема [4]. Разностные соотношения данной схемы в операторном виде записываются так [4]:

на первом шаге расщепления $k = n + \frac{1}{4}$:

$$\begin{aligned} \frac{C_{ij}^k - C_{ij}^n}{\Delta t} + \frac{1}{2} (L_x^+ C^k + L_y^+ C^k) &= \\ &= \frac{1}{4} (M_{xx}^+ C^k + M_{yy}^+ C^n) \end{aligned}$$

на втором шаге расщепления $k = n + \frac{1}{2}, c = n + \frac{1}{4}$:

$$\begin{aligned} \frac{C_{ij}^k - C_{ij}^c}{\Delta t} + \frac{1}{2} (L_x^- C^k + L_y^- C^k) &= \\ &= \frac{1}{4} (M_{xx}^- C^k + M_{yy}^- C^c) \end{aligned}$$

на третьем шаге расщепления $k = n + \frac{3}{4}, c = n + \frac{1}{2}$:

$$\begin{aligned} \frac{C_{ij}^k - C_{ij}^c}{\Delta t} + \frac{1}{2}(L_x^- C^k + L_y^- C^k) &= \\ &= \frac{1}{4}(M_{xx}^- C^c + M_{yy}^- C^k) \end{aligned}$$

на четвертом шаге расщепления $k = n + 1, c = n + \frac{3}{4}$:

$$\begin{aligned} \frac{C_{ij}^k - C_{ij}^c}{\Delta t} + \frac{1}{2}(L_x^+ C^k + L_y^+ C^k) &= \\ &= \frac{1}{4}(M_{xx}^+ C^k + M_{yy}^+ C^k) \end{aligned}$$

В данных выражениях использованы следующие обозначения разностных операторов

$$\begin{aligned} \frac{\partial u^+ C}{\partial x} &\approx \frac{u_{i+1,j}^+ C_{ij}^{n+1} - u_{ij}^+ C_{i-1,j}^{n+1}}{\Delta x} = L_x^+ C^{n+1} \\ \frac{\partial u^- C}{\partial x} &\approx \frac{u_{i+1,j}^- C_{i+1,j}^{n+1} - u_{ij}^- C_{ij}^{n+1}}{\Delta x} = L_x^- C^{n+1} \\ \frac{\partial v^+ C}{\partial y} &\approx \frac{v_{i,j+1}^+ C_{ij}^{n+1} - v_{ij}^+ C_{i,j-1}^{n+1}}{\Delta y} = L_y^+ C^{n+1} \\ \frac{\partial v^- C}{\partial y} &\approx \frac{v_{i,j+1}^- C_{i,j+1}^{n+1} - v_{ij}^- C_{ij}^{n+1}}{\Delta y} = L_y^- C^{n+1} \\ \frac{\partial}{\partial x} \left(\mu_x \frac{\partial C}{\partial x} \right) &\approx \tilde{\mu}_x \frac{C_{i+1,j}^{n+1} - C_{ij}^{n+1}}{\Delta x^2} - \tilde{\mu}_x \frac{C_{ij}^{n+1} - C_{i-1,j}^{n+1}}{\Delta x^2} = M_{xx}^- C^{n+1} + M_{xx}^+ C^{n+1} \\ \frac{\partial}{\partial y} \left(\mu_y \frac{\partial C}{\partial y} \right) &\approx \tilde{\mu}_y \frac{C_{i,j+1}^{n+1} - C_{ij}^{n+1}}{\Delta y^2} - \tilde{\mu}_y \frac{C_{ij}^{n+1} - C_{i,j-1}^{n+1}}{\Delta y^2} = M_{yy}^- C^{n+1} + M_{yy}^+ C^{n+1} \end{aligned}$$

и т.д. В приведенных обозначениях принято $v = v - w$.

Подробное пояснение к данным разностным операторам представлено в работе [4]. Значение концентрации загрязнителя на каждом шаге расщепления определяется по явной формуле «бегущего счета».

Формирование формы горизонтального отстойника на прямоугольной разностной сетке осуществляется с помощью метода маркирования [4].

Практическая реализация модели.

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

Построенная CFD модель была использована для моделирования процесса массопереноса в горизонтальном отстойнике без перегородки (рис.1) и с перегородкой (рис.3). Цель моделирования – оценка влияния размеров перегородки на эффективность осветления воды в отстойнике.

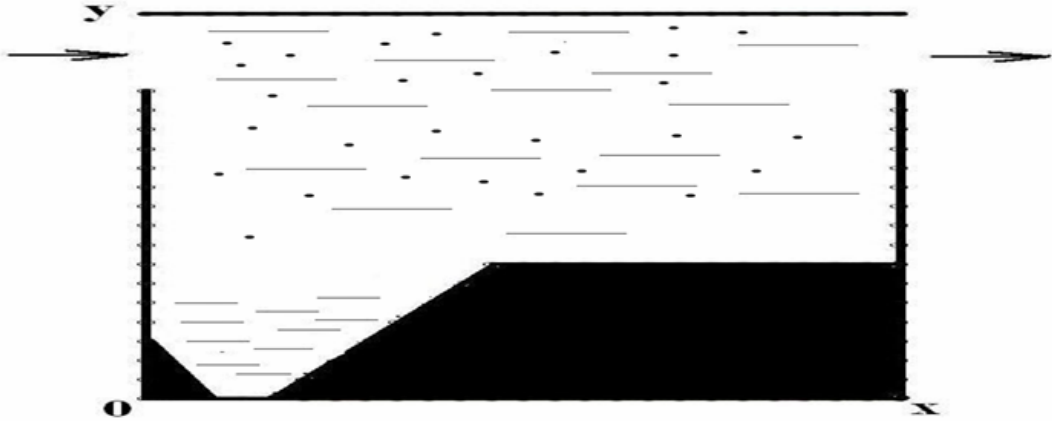


Рисунок 1 – Схема горизонтального отстойника без перегородки.

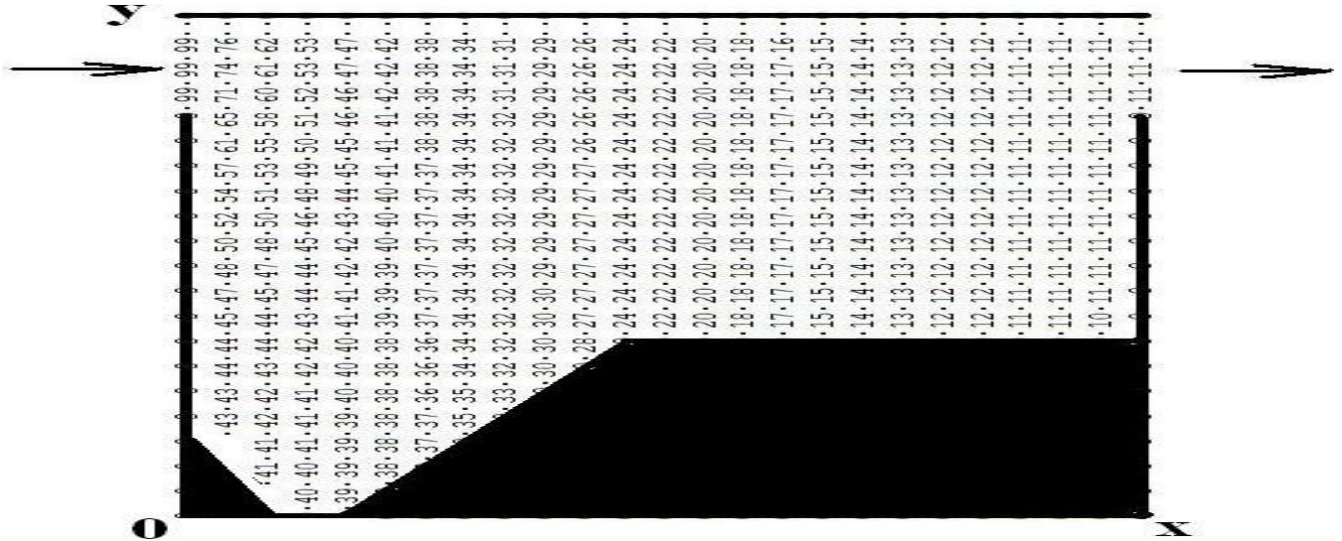


Рисунок 2 – Распределение концентрации загрязнителя в горизонтальном отстойнике без перегородки

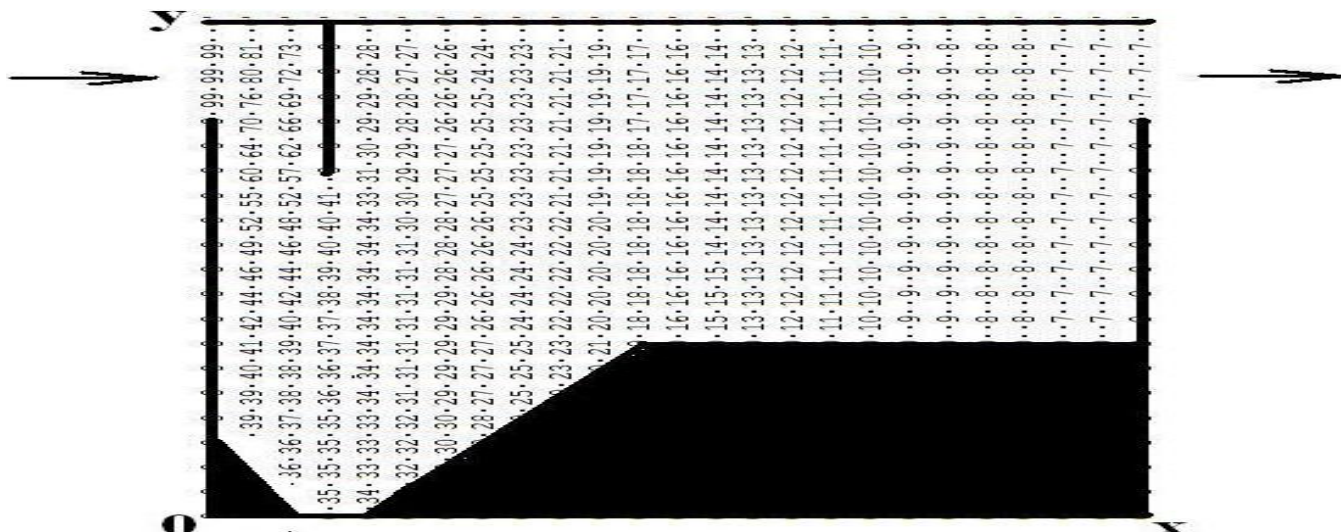


Рисунок 3 – Распределение концентрации загрязнителя в горизонтальном отстойнике с короткой перегородкой

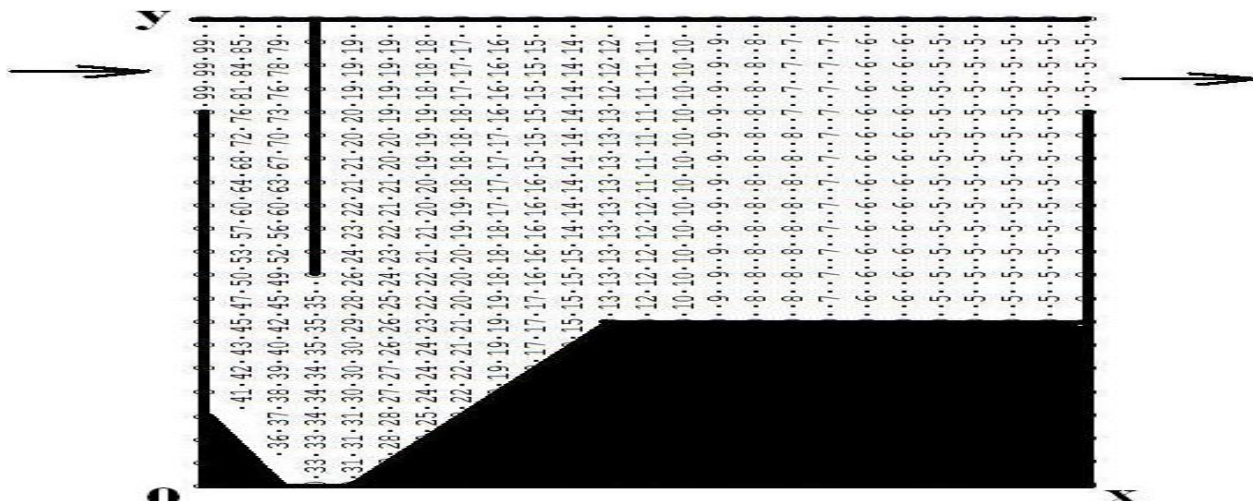


Рисунок 4 – Распределение концентрации загрязнителя в горизонтальном отстойнике с длинной перегородкой

Расчет выполнен при таких параметрах: размеры расчетной области $8\text{м} \times 2.8\text{м}$, коэффициент диффузии $0.007 \text{ м}^2/\text{с}$; $w=0.0007 \text{ м/с}$; $\sigma=0$; скорость потока на входе в отстойник равна 0.01 м/с . Концентрация загрязнителя во входящем в отстойник потоке принята равной 100 ед (в безразмерном виде). Рассматривается процесс осветления воды в отстойнике без пластины (рис.1) и в отстойнике имеющем короткую перегородку (длина перегородки 0.79м) и длинную перегородку, длиной 1.46м . Перегородка располагается на расстоянии 0.64м от входа в отстойник.

Результаты расчета процесса осветления воды в отстойнике показаны на рис.2 – 4. Печать чисел на рисунках выполнена по формату «целое число», т.е. дробная часть числа не выдается на печать.

Как видно из рис.2 - 4, распределение концентрации загрязнителя внутри отстойника - практически равномерное. Неравномерность распределения кон-

центрации примеси наблюдается в двух зонах: в зоне, прилегающей к пластине и внутри приямка.

Выбранный формат представления результатов вычислительного эксперимента позволяет быстро оценить величину концентрации примеси на выходе из отстойника:

- для отстойника без перегородки концентрация примеси на выходе составит $C=11\%$ (рис.2);
- для отстойника с короткой перегородкой концентрация примеси на выходе $C=7\%$ (рис.3);
- для отстойника с длинной перегородкой концентрация примеси на выходе $C=5\%$ (рис.4).

Хорошо видно, что при использовании длинной перегородкой концентрация $C=7\%$, которая соответствует выходной концентрации для отстойника с короткой перегородкой, достигается на расстоянии порядка 2м до выхода из отстойника. Это значит, что путем изменения длины перегородки имеется возможность изменять эффективность осветления воды в отстойнике.

В заключение следует отметить, что, что для расчета одного варианта задачи потребовалось 3 минут 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 осветления 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. Математическое моделирование массопереноса в отстойниках систем водоотведения / Н.Н. Беляев, Е.К. Нагорная. – Днепропетровск: 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. Водовідведення та очистка стічних вод міста. Курсове і дипломне проектування. Приклади та розрахунки: Навчальний посібник. / О.А. Василенко, С.М. Епоян – Київ – Харків: КНУБА, ХНУБА, ТО Ексклюзив, 2012. – 540 с.
4. 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. Горизонтальный отстойник / О.С. Кочетов, М.О. Стареева (RU 2438992)
6. Ласков, Ю.М. Примеры расчетов канализационных сооружений: Учеб. пособие для вузов. / Ю.М. Ласков, Ю.В. Воронов, В.И. Калицун – М.: Высшая школа, 1981. – 232 с.
7. Лойцянский, Л. Г. Механика жидкости и газа. / Л.Г. Лойцянский - М.: Наука, 1978. – 735 с.
8. Марчук, Г. И. Математическое моделирование в проблеме окружающей среды. / Г.И. Марчук – М.: Наука, 1982. – 320 с.

REFERENCES

1. Biliaiev N.N. and Nagornaya E.K. (2012), *Matematicheskoe modelirovanie massoperenosa v otstoynikakh sistem vodootvedeniya* [Mathematical simulation of mass-transportation in otstoynykakh of the systems of water-otvedeniye], Nova ideologiya, Dnepropetrovsk, Ukraine.

2. Biliaiev N.N. (2012), "To the calculation of vertical otstoynik on the base of the CFD model", *Visnyk Nats. un-tu vodnogo gospodarstva ta prirodokoristuvannya*, – no 1 (57). – pp. 32-41.
3. Vasilenko O.A. and Epoyan S.M. (2012), *Vodovidvedennya ta ochystka stichnikh vod mista. Kursove i diplomne proektuvannya. Pryklady ta rozrakhunki: Navchalnyi posibnik* [Overflow-pipe and cleaning of flow waters of city. Course and diploma planning. Examples and calculations: Train aid.], – KNUBA, HNUBA, TO Eksklyuziv, Kyiv – Kharkiv, Ukraine.
4. Zgurovskiy M.Z., Skopetskiy V.V., Hrushch V.R. and Belyaev N.N. (1997) *Chislennoe modelirovanie rasprostraneniya zagryazneniya v okruzhayushey srede* [Numerical simulation of distribution of contamination in an environment], – Nauk. dumka, Kiev, Ukraine.
5. Kochetov O.S. and Stareeva M.O. *Gorizontalnyi otstoynik* (RU 2438992)
6. Laskov Yu.M., Voronov Yu.V. and Kalitsun V.I. (1981), *Primery raschetov kanalizatsionnykh sooruzheniy: Ucheb. posobie dlya vuzov* [Examples of calculations of sewage buildings: Studies. manual for institutes of higher], Vysshaya shkola, Moscow, SU.
7. Loytsyanskiy L. G. (1978), *Mekhanika zhidkosti i gaza* [Mechanics of liquid and gas], Nauka, Moscow, SU.
8. Marchuk G. I. (1982), *Matematicheskoye modelirovaniye v probleme okruzhayushey sredy* [Mathematical simulation in the problem of environment], Nauka, Moscow, SU.

Об авторах

Беляев Николай Николаевич, д-р техн. наук, профессор, заведующий кафедрой «Гидравлика и водоснабжение» Государственного высшего учебного заведения Днепропетровского национального университета железнодорожного транспорта имени академика В. Лазаряна (ГВУЗ «ДНУЖТ им. В. Лазаряна»), Днепропетровск, Украина.

Гунько Елена Юрьевна, канд. техн. наук, доцент кафедры «Гидравлика и водоснабжение» Государственного высшего учебного заведения Днепропетровского национального университета железнодорожного транспорта имени академика В. Лазаряна (ГВУЗ «ДНУЖТ им. В. Лазаряна»), Днепропетровск, Украина.

Козачина Виталий Анатольевич, ассистент кафедры «Гидравлика и водоснабжение» Государственного высшего учебного заведения Днепропетровского национального университета железнодорожного транспорта имени академика В. Лазаряна (ГВУЗ «ДНУЖТ им. В. Лазаряна»), Днепропетровск, Украина.

About the authors

Bielaev Nikolai Nikolaievich, Doctor of Technical Sciences (D.Sc), professor, head of the department «Hydraulics and water supply» of Dnepropetrovsk State higher educational establishment «National university of railway transport named after V. Lazaryan (SHEE «DNURT named after V. Lazaryan») of Ministry of Education and Science of Ukraine (NMU), Dnepropetrovsk, Ukraine.

Gunko Elena Juriyevna, Candidate of Technical (Ph.D), Associate Professor of the department «Hydraulics and water supply» of Dnepropetrovsk State higher educational establishment «National university of railway transport named after V. Lazaryan (SHEE «DNURT named after V. Lazaryan») of Ministry of Education and Science of Ukraine (NMU), Dnepropetrovsk, Ukraine.

Kozachyna Vitaly Anatolievich, Master of Science, assistant of the department «Hydraulics and water supply» of Dnepropetrovsk State higher educational establishment «National university of railway transport named after V. Lazaryan (SHEE «DNURT named after V. Lazaryan») of Ministry of Education and Science of Ukraine (NMU), Dnepropetrovsk, Ukraine.

Анотація. Горизонтальні відстійники є одним з найважливіших елементів в технологічній схемі очищення шахтних вод. Їх застосування пов'язане з можливістю пропуску досить великих об'ємів стічних вод. При реконструкції або проектуванні горизонтальних відстійників виникає відповідальне завдання за оцінкою їх 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.

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

Keywords: numerical simulation, horizontal settler, CFD model.

Стаття поступила в редакцію 6.01.2014

Рекомендовано к публікації д-ром техн. наук В.Г. Шевченко

УДК 622.063.7/ 622-1/-9

К.М. Басс, канд. техн. наук, доцент,
В.В. Кривда, аспірант
(ГВУЗ «НГУ»)

Д.В. Швец, інженер
(ГП «ГПИ «Кривбаспроект»)

Е.С. Левченко, аспірант
(ИГТМ НАН України)

**ЗАВИСИМОСТЬ ИЗМЕНЕНИЯ ПАРАМЕТРОВ РАБОЧИХ ПЛОЩАДОК
ПРИ ПРИМЕНЕНИИ МЕХАНИЗМА ИЗМЕНЕНИЯ ПОЛОЖЕНИЯ
ЦЕНТРА МАСС НА КАРЬЕРНЫХ АВТОСАМОСВАЛАХ**

К.М. Бас, канд. техн. наук, доцент,
В.В. Кривда, аспірант
(ДВНЗ «НГУ»)

Д.В. Швець, інженер
(ДП «ДП «Кривбаспроект»)

Е.С. Шевченко, аспірант
(ИГТМ НАН України)

**ЗАЛЕЖНІСТЬ ЗМІНИ ПАРАМЕТРІВ РОБОЧИХ МАЙДАНЧИКІВ
ПІД ЧАС ЗАСТОСУВАННЯ МЕХАНІЗМУ ЗМІНИ ПОЛОЖЕННЯ
ЦЕНТРУ МАС НА КАР'ЄРНИХ АВТОСАМОСКИДАХ**

K.M. Bass, Ph. D., Associate Professor,
V.V. Krivda, Doctoral Student
(SHEI «NMU»)

D.V. Shvets, Master of Science
(SP «SPI «Krivbassproekt»)

E.S. Levchenko, Doctoral Student
(IGTM NAS of Ukraine)

**DEPENDENCE OF CHANGE WORKFLOW SETTINGS PLAYGROUNDS
IN APPLYING THE MECHANISM OF CHANGES CENTER OF MASS IN
THE PIT DUMP TRUCKS**

Аннотация. В статье представлен анализ плана горных работ Первомайского карьера ПАО «СевГОКа» и паспорта добычных работ, который показал, что в карьере применяют кольцевую и тупиковую схемы маневрирования карьерных автосамосвалов. Выполнены расчеты параметров рабочих площадок в зависимости от ширины заходки экскаватора и схем маневрирования автосамосвала при тупиковом забое, нормальной и узкой заходке. Обосновано, что в узких забоях в стесненных условиях проблема маневрирования остается актуальным вопросом, так как ширина заходки меньше рабочего радиуса разворота карьерного автосамосвала. Предложено проблему маневрирования автотранспорта на рабочих площадках решать с помощью усовершенствованных конструкций автосамосвалов БелАЗ-7512. Результаты исследований показали, что при изменении межосевого расстояния базы радиус поворота автосамосвала уменьшается на 23,1 %, что позволяет уменьшить ширину рабочей площадки в стесненных условиях при тупиковом развороте до 7 % и при кольцевом на 14,5 %.