

Библиографические ссылки

1. Гахов Ф. Д. Краевые задачи / Ф. Д. Гахов – М.: Наука. – 1977. – 640 с.
2. Леонов М. Я. О разрывных деформациях твердого тела / М. Я. Леонов, Н. Ю. Швайко // ПМТФ. – 1961. – №2. – С. 96 – 103.
3. Мусхелишвили Н. И. Некоторые основные задачи математической теории упругости / Н. И. Мусхелишвили – М.: Наука. – 1966. – 707с.
4. Новожилов В. В. О необходимом и достаточном критерии хрупкой прочности / В.В. Новожилов // Прикл. матем. и механика. – 1969. – Т. 33, Вып. 2. – С. 212 – 222.
5. Новожилов В. В. К основам теории равновесных трещин в упругих телах / В. В. Новожилов // Прикл. матем. и механика. – 1969. – Т. 33, Вып. 5. – С. 797 – 812.
6. Панасюк В. В. Предельное равновесие хрупких тел с трещинами / В. В. Панасюк – К.: Наук. думка. – 1968. – 248 с.
7. Хоникомб Р. Пластическая деформация металлов / Р. Хоникомб – М.: Мир. – 1972. – 408 с.
8. Черняков Ю. А. Локализация пластической деформации в форме ограниченной полосы разрыва перемещений / Ю. А. Черняков, А. Г. Шевченко // Доповіді НАН України. – 2013. – №11. – С. 61 – 66.
9. Herrmann K.P. Interface crack with a contact zone in an isotropic bimaterial under thermomechanical loading / K. P. Herrmann, V. V. Loboda, I. V. Kharun // TAFM. – 2004. – Vol. 42, Issue 3. – P. 335 – 348.
10. Zhang J. Luders Bands Propagation of 1045 Steel under Multiaxial Stress State / J. Zhang, Y. Jiang // International Journal of Plasticity. – 2005. – Vol. 21. – P. 651 – 670.

Надійшла до редколегії 03.05.2014

UDC 622.5: 628.35

Biliaiev M.M., Kozachyna V.A.

Dnepropetrovsk National University of Railway Engineering

CFD MODELLING OF THE WATER TREATMENT IN THE HORIZONTAL SETTLER

Метою даної роботи є розробка ефективної CFD моделі, яка може бути використана для розрахунку ефективності роботи горизонтального відстійника з урахуванням його геометричної форми, конструктивних аспектів та особливостей процесу осідання домішок. Для моделювання процесу очистки води в горизонтальному відстійнику використовувались рівняння переносу завислих частинок та рівняння потенційного потоку рідини. Для розв'язку цих рівнянь використовувались неявні різницеві схеми Самарського А.А. На основі побудованої чисельної моделі було розроблено код на мові FORTRAN.

Ключові слова: чисельна модель, горизонтальний відстійник, очистка води.

Целью данной работы является разработка эффективной CFD модели, которая может быть использована для расчета эффективности работы горизонтального отстойника с учетом его геометрической формы, конструктивных аспектов и особенностей процесса осаждения примесей. Для моделирования процесса очистки воды в горизонтальном отстойнике использовались уравнение переноса взвешенных частиц и уравнение потенциального течения жидкости. Для решения этих уравнений использовались неявные разностные схемы Самарского А.А. На основе построенной численной модели был разработан код на языке FORTRAN.

Ключевые слова: численная модель, горизонтальный отстойник, очистка воды.

© Biliaiev M.M., Kozachyna V.A., 2014

Objective of this work is development of the effective CFD model which can be used for prediction efficiency of the horizontal settlers with taking into account the geometrical form of the settler and the peculiarities of the sedimentation process. To simulate the process of the water purification in the horizontal settler the transport equation of pollutions and the equation of potential flow are used. To solve these equations Samarskii A.A. implicit difference scheme is used. On the basis of developed numerical model the code was created using FORTRAN language.

Key words: CFD model, horizontal settler, water treatment.

Introduction. Horizontal settlers are very important elements in the water treatment chain. Designers need to have the information about the efficiency of the settler for the different conditions. Now days the settlers with the comprehensive geometrical form have started to be used in practice. But designers face the real lack of methods to calculate the efficiency of the settlers with the comprehensive geometrical form.

Literature review. To compute the process of the waste waters purification in settlers the empirical models are widely used in Ukraine and abroad. 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 is more effective than the employed in Ukraine models and which can be used for prediction of the horizontal settler efficiency.

Modeling equations. To simulate the process of the water purification in the horizontal settler the transport equation (1) is used [1, 2]:

$$\frac{\partial C}{\partial t} + \frac{\partial uC}{\partial x} + \frac{\partial (v-w)C}{\partial y} + \sigma C = \frac{\partial}{\partial x} \left(\mu_x \frac{\partial C}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\mu_y \frac{\partial C}{\partial y} \right), \quad (1)$$

where C is the concentration; u , v , are the velocity components in x , y direction respectively; w is the speed of the gravity fallout; σ is the parameter taking into account the process of flocculation and decay; μ_x , μ_y – are the coefficients of turbulent diffusion in x , y direction respectively; x_i , y_i – are the Cartesian coordinates.

The transport equation is used with the following boundary conditions [1, 2, 4]:

– inlet boundary: $C|_{inlet} = C_E$, where C_E is the known concentration (in the case study of this paper it is dimensionless and equal to $C_E = 100$);

– outlet boundary: in numerical model the condition $C(i+1, j) = C(i, j)$ is used. Here, $C(i+1, j)$ is the concentration at the outlet boundary (this boundary condition means that we neglect the process of diffusion at this plane).

Fluid Dynamic Model. To simulate the flow in the horizontal settler the model of potential flow. In this case the governing equation is [7]

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

where P is the potential of flow. The components of the water flow inside the settler are calculated as follows [7]

$$u = \frac{\partial P}{\partial x}, v = \frac{\partial P}{\partial y}$$

The boundary conditions are discussed in [2].

Numerical integration of the equations. To develop the numerical model the following splitting of equation (1) is carried out [7]:

$$\frac{\partial c}{\partial t} + \frac{\partial uc}{\partial x} + \frac{\partial (v-w)c}{\partial x} + \sigma c = 0,$$

$$\frac{\partial c}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial x} \left(\mu_x \frac{\partial c}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\mu_y \frac{\partial c}{\partial y} \right)$$

The following approximation of the first order derivatives is fulfilled [7]:

$$\frac{\partial C}{\partial t} \approx \frac{C_{ij}^{n+1} - C_{ij}^n}{\Delta t}, \quad \frac{\partial uC}{\partial x} = \frac{\partial u^+ C}{\partial x} + \frac{\partial u^- C}{\partial x},$$

$$\frac{\partial vC}{\partial y} = \frac{\partial v^+ C}{\partial y} + \frac{\partial v^- C}{\partial y},$$

where: $u^+ = \frac{u+|u|}{2}$; $u^- = \frac{u-|u|}{2}$; $v^+ = \frac{v+|v|}{2}$; $v^- = \frac{v-|v|}{2}$.

$$\frac{\partial u^+ C}{\partial x} \approx \frac{u_{i+1,j}^+ C_{ij}^{n+1} - u_{ij}^+ C_{i-1,j}^{n+1}}{\Delta x} = L_x^+ C^{n+1}$$

$$\frac{\partial u^- C}{\partial x} \approx \frac{u_{i+1,j}^- C_{i+1,j}^{n+1} - u_{ij}^- C_{ij}^{n+1}}{\Delta x} = L_x^- C^{n+1}$$

$$\frac{\partial v^+ C}{\partial y} \approx \frac{v_{i,j+1}^+ C_{ij}^{n+1} - v_{ij}^+ C_{i,j-1}^{n+1}}{\Delta y} = L_y^+ C^{n+1},$$

$$\frac{\partial v^- C}{\partial y} \approx \frac{v_{i,j+1}^- C_{i,j+1}^{n+1} - v_{ij}^- C_{ij}^{n+1}}{\Delta y} = L_y^- C^{n+1},$$

The second order derivatives are approximated as following:

$$\frac{\partial}{\partial x} \left(\mu_x \frac{\partial C}{\partial x} \right) \approx \tilde{\mu}_{x_1} \frac{C_{i+1,j}^{n+1} - C_{ij}^{n+1}}{\Delta x^2} - \tilde{\mu}_{x_2} \frac{C_{i,j}^{n+1} - C_{i-1,j}^{n+1}}{\Delta x^2} = M_{xx}^- C^{n+1} + M_{xx}^+ C^{n+1},$$

$$\frac{\partial}{\partial y} \left(\mu_y \frac{\partial C}{\partial y} \right) \approx \tilde{\mu}_{y_1} \frac{C_{i,j+1}^{n+1} - C_{ij}^{n+1}}{\Delta y^2} - \tilde{\mu}_{y_2} \frac{C_{i,j}^{n+1} - C_{i,j-1}^{n+1}}{\Delta y^2} = M_{yy}^- C^{n+1} + M_{yy}^+ C^{n+1}$$

Here we use notation $v=v-w$. In these formulas $L_x^+, L_x^-, L_y^+, L_y^-, L_z^+, L_z^-, M_{xx}^+, M_{xx}^-$, etc. are the notations of the difference operators.

After the approximation the solution of the difference equation is splitted in 4 steps [7]:

– at the first step $k = \frac{1}{4}$:

$$\frac{C_{ij}^{n+k} - C_{ij}^n}{\Delta t} + \frac{1}{2} \left(L_x^+ C^k + L_y^+ C^k \right) + \frac{\sigma}{2} C_{ij}^n = 0;$$

– at the second step $k = n + \frac{1}{2}$; $c = n + \frac{1}{4}$:

$$\frac{C_{ij}^k - C_{ij}^c}{\Delta t} + \frac{1}{2} \left(L_x^- C^k + L_y^- C^k \right) + \frac{\sigma}{2} C_{ij}^k = 0;$$

– at the third step $k = n + \frac{3}{4}; c = n + \frac{1}{2}$:

$$\frac{C_{ij}^k - C_{ij}^c}{\Delta t} = \frac{1}{2} \left(M_{xx}^- C^c + M_{xx}^+ C^k + M_{yy}^- C^c + M_{yy}^+ C^k \right);$$

– at the fourth step $k = n + 1; c = n + \frac{3}{4}$:

$$\frac{C_{ij}^k - C_{ij}^c}{\Delta t} = \frac{1}{2} \left(M_{xx}^- C^k + M_{xx}^+ C^c + M_{yy}^- C^k + M_{yy}^+ C^c \right).$$

To solve the fluid dynamic equation of potential flow Samarskii A.A. implicit difference scheme is used. On the basis of the developed numerical model the code was created using FORTRAN language.

Results. The developed CFD model was used to compute the process of the water purification in the horizontal settlers. Three scenarios were studied:

1. Horizontal settler having the typical form (Fig.1)
2. Horizontal settler having vertical plate, perforated plate and short weir (Fig.2)
3. Horizontal settler having vertical plate, perforated plate and long weir (Fig.3)

The initial data were as following: the speed of the flow at the inlet plane is 0.1m/s; $w=0.001\text{m/s}$; diffusive coefficients are equal to $2.8\text{m}^2/\text{s}$; the length of the computational domain is 9m, the width is 3m. Concentration at the inlet is equal to 100 (the concentration is dimensionless).

In Fig.4 - 6 the dimensionless concentration inside the settlers is shown. These figures allow us to see zones with different intensity of water purification.

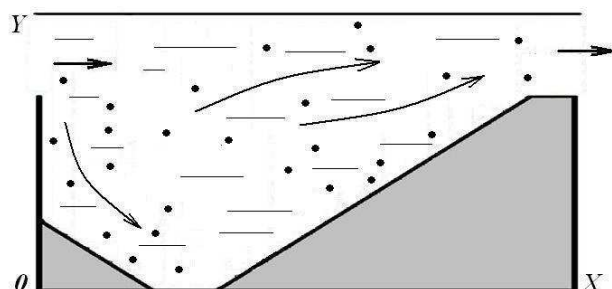


Fig.1. Sketch of the computational domain: settler without plates

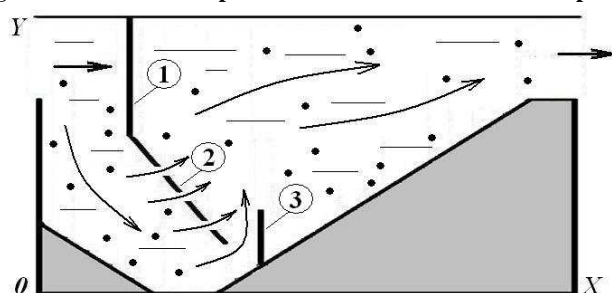


Fig. 2. Sketch of the computational domain:
1 – vertical plate; 2 – perforated plate; 3 – short weir

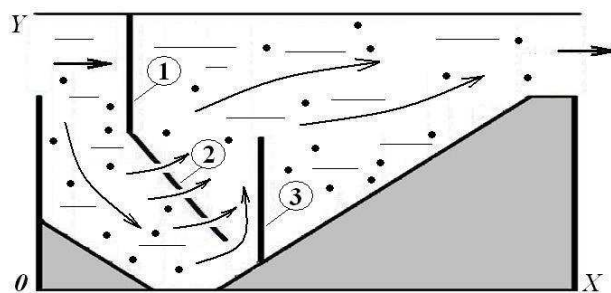


Fig. 3. Sketch of the computational domain:
1 – vertical plate; 2 – perforated plate; 3 – long weir

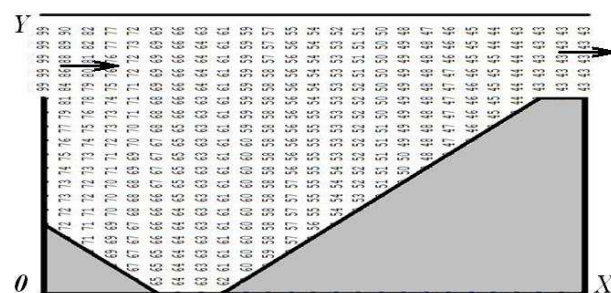


Fig. 4. Concentration field (first variant)

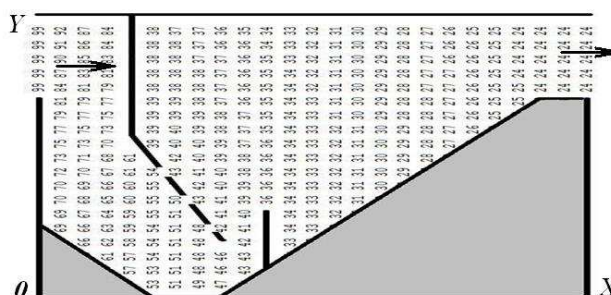


Fig. 5. Concentration field

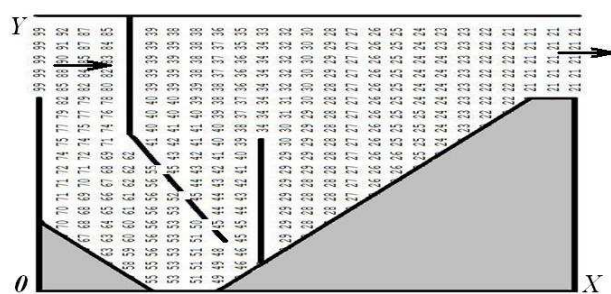


Fig. 6. Concentration field

The proposed model allows to compute the concentration at the outlet plane – the most important information for the designers. As we see from the figures, the outlet concentration for the first scenario is 43 %, for the second scenario is 24%, for the third scenario is 21%.

Worthy of note, that the computational time to solve the problem was about 10 sec. So the developed model can be used to predict very quickly the concentration field in the settler having comprehensive geometrical form. In future the 3-D CFD model is proposed to be developed.

References

1. **Biliaiev N.N.** Matematicheskoe modelirovanie massoperenosa v otstoynikah system vodootvedeniya / N.N. Biliaiev, E.K. Nagornaya. – D.: Nova Ideologiya, 2012. – 112 s.
2. **Biliaiev N.N.** K raschetu vertikalnogo otstoynika na baze CFD modeli / N.N. Biliaiev, E.K. Nagornaya // Visnik Nats. un-tu vodnogo gospodarstva ta prirodozastovannya. – Rivne, 2012. – #1 (57). – S. 32 – 41.
3. **Kochetov O.S.** Gorizontalnyy otstoynik / Kochetov O.S., Stareeva M.O. (RU 2438992)
4. **Laskov Yu.M.** Primeryi raschetov kanalizatsionnyih sooruzheniy: Ucheb. Posobie dlya vuzov / Laskov Yu.M., Voronov Yu.V., Kalitsun V.I. – M.: Vyssh. Shkola, 1981. – 232 s.
5. **Loytsyanskiy L. G.** Mehanika zhidkosti i gaza / Loytsyanskiy L. G. – M.: Nauka, 1978. – 735 s.
6. **Marchuk G. I.** Matematicheskoe modelirovanie v probleme okruzhayushey sredy / Marchuk G. I. – M.: Nauka, 1982. – 320
7. **Vasilenko O.A.** Vodovidvedennya ta ochistka stichnih vod mista. Kursove i diplomne proektuvannya. Priklyadi ta rozrahunki: Navchalnyy posibnik / Vasilenko O.A., Epoyan S.M. – Harkiv, KNUBA, HNUBA, TO Eksklyuziv, Kyiv, 2012. – 540 s.
8. **Zgurovskiy M. Z.** Chislennoe modelirovanie rasprostraneniya zagryazneniya v okruzhayushey srede / M. Z. Zgurovskiy, V. V. Skopetskiy, V. K. Hrusch, N. N. Belyaev. – K.: Nauk. dumka, 1997. – 368 s.

Надійшла до редколегії 16.06.2014

UDC 519.6

Biliaiev M.M., Rostochilo N.V.

Dnepropetrovsk National University of Railway Engineering

NUMERICAL SIMULATION OF AIR JET SUPPLY TO REDUCE CONTAMINATION NEAR THE BUILDING IN THE CASE OF CHEMICAL OUTDOOR RELEASE

Розроблено чисельну модель для моделювання захисту будівлі від потрапляння в нього хімічно небезпечних речовин шляхом застосування повітряної завіси. Розроблена модель базується на чисельному інтегруванні рівняння переносу домішки та моделі потенціальної течії. Для чисельного інтегрування використовуються неявні різницеві схеми. Наведено результати розрахунків на базі розробленої моделі.

Ключові слова: забруднення атмосфери, чисельне моделювання, захист будівель.

Разработана численная модель для моделирования защиты здания от попадания в него химически опасных веществ путем использования воздушной завесы. Разработанная модель основывается на численном интегрировании уравнения переноса примеси и модели потенциального течения. Для численного интегрирования используются неявные разностные схемы. Приведены результаты расчетов на базе разработанной модели.

Ключевые слова: загрязнение атмосферы, численное моделирование, защита зданий.