

Practical significance. 3D numerical model is proposed for assessing the territorial risk in a building environment. The model is based on the numerical integration of the equation of mass transfer of hazardous substances in the presence of buildings.

Keywords: *territorial risk assessment, air pollution, toxic chemical emission.*

УДК 519.6

© Н.Н. Беляев, М.В. Лемеш, П.Б. Машихина

УПРОЩЕННАЯ МОДЕЛЬ РАБОТЫ АЭРОТЕНКА

© M. Biliaiev, M. Lemesh, P. Mashykhina

SIMPLIFIED MODEL TO SIMULATE THE AERATION TANK WORK

Цель. Целью работы является создание быстро считающей компьютерной модели для оценки эффективности работы аэротенка. Модель ориентирована на экспресс прогноз значения концентрации загрязняющего вещества, активного ила и кислородного режима в аэротенке.

Методика исследований состоит в применении метода численного интегрирования обыкновенных дифференциальных уравнений, которые описывают изменения концентрации загрязняющего вещества, активного ила и растворенного кислорода в аэротенке. Для численного интегрирования моделирующих уравнений используется метод Эйлера. Моделирующие уравнения включают в себя параметры, учитывающие рост бактерий активного ила, отмирание бактерий активного ила, изменение кислородного режима, за счет потребления кислорода бактериями активного ила.

Результаты исследования. Построена математическая модель, позволяющая в течение нескольких секунд оценить эффективность работы аэротенка с учетом влияния на процесс биологической очистки сточных вод следующих параметров: концентрация активного ила, растворенного в воде кислорода, концентрации загрязняющего вещества в сточной воде. Выполнена программная имплементация разработанной численной модели.

Научная новизна. Предложена новая эффективная численная модель для оценки эффективности биологической очистки сточных вод в аэротенке. Особенностью модели является достаточно полный учет основных физических факторов, влияющих на процесс биологической очистки. Основу модели составляют балансовые уравнения для концентрации загрязняющего вещества в сточной воде, активного ила и растворенного в воде кислорода.

Практическое значение. Разработана математическая модель для оценки эффективности работы аэротенка. Выполнена программная реализация модели в виде пакета прикладных программ. Модель позволяет оперативно проводить серийные расчеты по анализу и прогнозу эффективности биологической очистки сточных вод в аэротенках с учетом основных физических параметров, влияющих на работу аэротенка. Разработанная математическая модель может быть использована для анализа работы новых аэротенков или при реконструкции уже существующих аэротенков. Представлены результаты вычислительного эксперимента, проведенного на базе разработанной математической модели.

Ключевые слова: *аэротенк, сточные воды, математическое моделирование.*

Introduction. Wastewater treatment plants are carried out biological treatment using microorganisms. This treatment takes part in aeration tanks. Aeration tanks can work under different regimes. Colonies of microorganisms in aeration tank are called activated sludge. It is well known that this activated sludge contains different microorganisms which form a complicated ecological microsystem. These microorganisms are born live and die in aeration tank. Change of aeration tank regime can change microorganism treatment performance and this results in efficiency of aeration. Another important side of this problem is oxygen transfer process. This is a process by which oxygen is transferred from the gaseous to the liquid phase. Concentration of dissolved oxygen in wastewater is very important for microorganisms and influences the efficiency wastewater treatment processes. Oxygen is supplied by means of special equipment which supplies air or pure oxygen bubbles in to aeration tank. Prediction of dissolved oxygen concentration and its change during different regimes of aeration tank.

So it is important to predict their efficiency beforehand. For practice it is very important to have a set of mathematical models to solve this problem. These models must take into account the main physical processes and be convenient for PC implementation.

Literature review. Aeration tanks are widely used for wastewater treatment at different enterprises (fig.1).



Fig. 1. Aeration tanks

The process of biological treatment of wastewater in aeration tank is very complicated and includes a lot of factors which influence the efficiency of wastewater treatment. Some factors are not clear now days. To simulate the wastewater treatment the engineers use different models, for example, empirical models, mass balance models, one-dimensional equations of mass transport and CFD models [1-11]. CFD models are the most powerful tool of mathematical simulation. CFD numerical experiments comprise of two steps. The first step is computation of flow field. Very often this flow field is computed using of Navier-Stokes equations. The second step is simulation of admixture transfer on the basis of computed flow field. Application of Na-

vier-Stokes equations needs much computing time. It is not convenient in case of many calculations during aeration tanks design or at stage of aeration tanks re-engineering. For “pilot” calculations we must have mathematical models which are convenient for practical application and do not consume much computer time.

Goal. The goal of this work is the development of mathematical model to simulate the process of biological wastewater treatment aeration tank.

Mathematical model. To develop quick computing model for prediction of aeration tank efficiency we used ideas described in [10, 11]. Sketch of aeration tank is shown in fig.2.

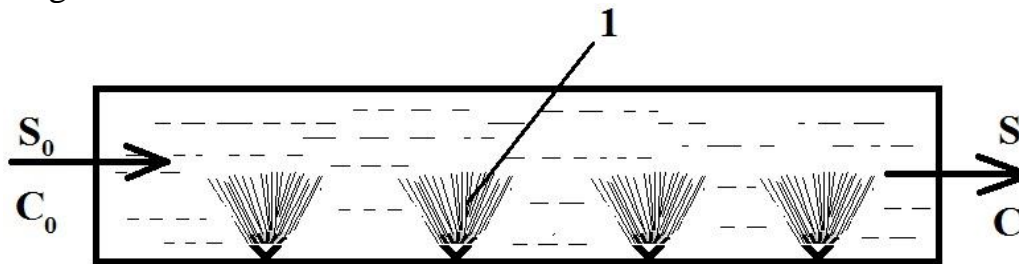


Fig. 2. Sketch of aeration tank: 1 – air supplier

Process of biological treatment in aeration tank is described on the basis of mass balance equations for sludge, substrate and dissolved oxygen in aeration tank

$$V \frac{dC}{dt} = QC_{in}(t) - QC - V \frac{\mu(t)}{Y} S \quad (1)$$

$$V \frac{dS}{dt} = QS_{in}(t) - QS + V\mu(t)S - VK_d S \quad (2)$$

$$V \frac{dDO}{dt} = QDO_{IN} - QDO + \\ + V \cdot K_L a (DO_{SAT} - DO) - V \frac{\mu(t)}{Y} S, \quad (3)$$

where C – is the averaged concentration of substrate in outlet opening of aeration tank. It is supposed that due to well mixing in aeration tank this concentration is equal to the concentration of substrate inside aeration tank. It is a well known disadvantage of all balance models;

S – is the averaged concentration of sludge;

DO – is averaged concentration of dissolved oxygen in water;

DO_{SAT} – is saturation concentration of oxygen in water;

μ – is biomass growth rate;

Y – is biomass yield factor;

V – is volume of aeration tank;

Q – is wastewater flow;

$K_L a$ – is dissolved oxygen mass transfer coefficient;

K_d – is coefficient which takes into account death of biological organisms;

t – is time.

Eq.(1) describes substrate change vs time in aeration tank, Eq.(2) describes sludge concentration change vs time in aeration tank and Eq.(3) describes change of dissolved oxygen vs time. To calculate biomass growth rate Monod law was used.

Every equation from this set of equations is used with the proper initial condition which is formulated for time level $t = 0$. For example, the initial conditions may be as follows: $C = C_0, S = S_0, DO = DO_0$ for $t = 0$.

Numerical integration. Numerical integration of governing equations is performed using Eurler's method. Of cause it is possible to choose another numerical method having more accuracy than Eurler' method but we must take into account that this class of problems has input data which we know approximately.

On the basis of developed numerical model code 'BIO-T' was developed. FORTRAN language was used to code formulae of numerical integration of governing equations.

In fig. 3, 4 we present some results of mathematical simulation on the basis of developed model. We used, partially, data from [11, 12] and data from known sources which were available for authors and obtained in Oblvodchoz. Results are presented in dimensionless form. We simulated the case when initial concentration (at time $t = 0$) of substrate was equal to $C_0 = 100$ and sludge concentration was equal to $S_0 = 20$.

In fig. 3 we present substrate concentration change vs time in aeration tank. From Fig. 1 we the typical behavior o substrate concentration – it drops during time.

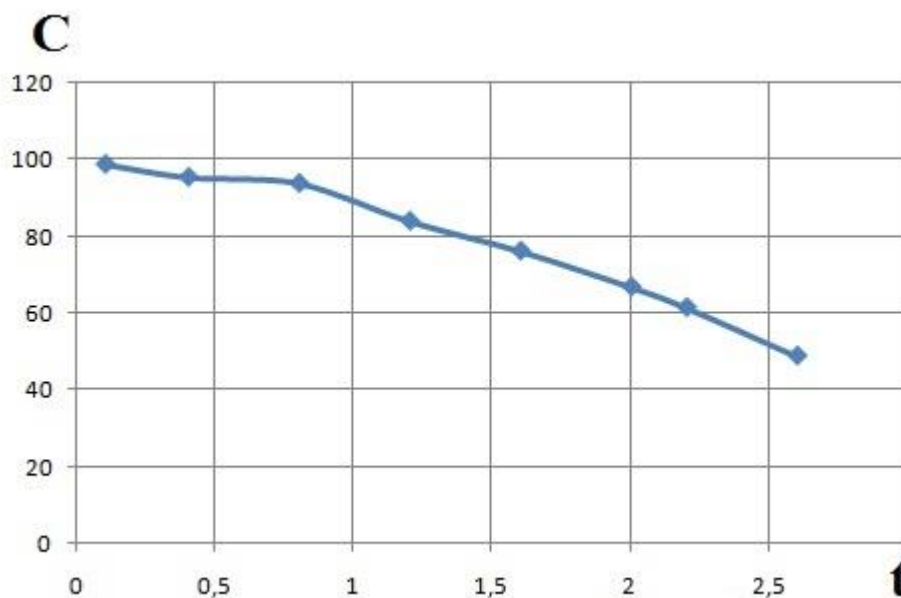


Fig. 3. Substrate concentration vs time (parameters are dimensionless)

In fig. 4 we see substrate concentration change vs time.

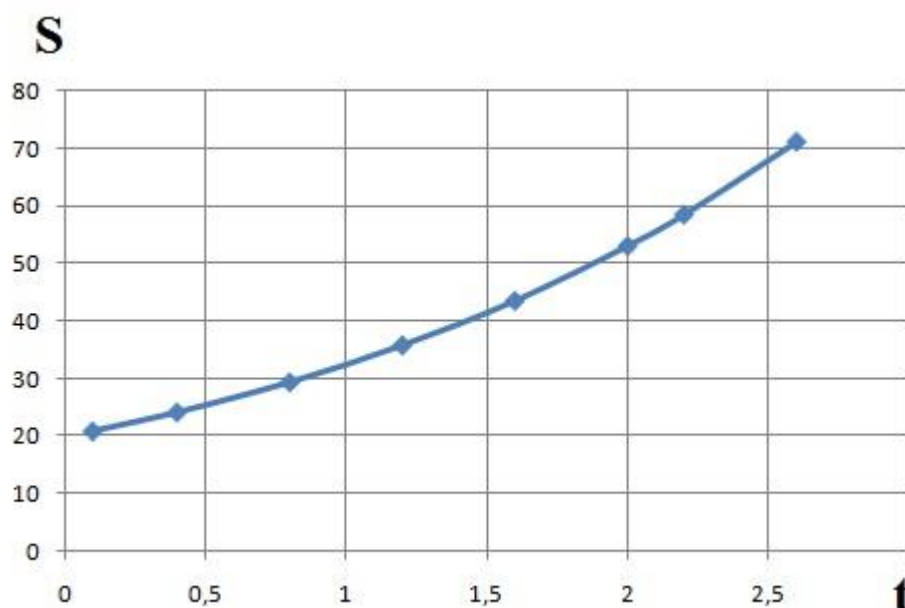


Fig. 4. Sludge concentration vs time (parameters are dimensionless)

To solve numerically problem it took 1s of PC time.

Conclusions. Mathematical model was developed to compute wastewaters treatment in aeration tank. To simulate the process of biological wastewaters treatment mass balance equations of substrate, dissolved oxygen, sludge change in aeration tank were used. The modeling equations can simulate aeration tank behavior under different regime of work. It is important for engineers who design aeration tanks and have to simulate different practical situations. The future work in this field will be connected with development of 3D fluid dynamics model which takes into account oxygen transfer in the aeration tank.

References

1. Беляев, Н.Н., Козачина, В.А. (2015). *Математическое моделирование массопереноса в горизонтальных отстойниках*. – Днепропетровск: Акцент ПП.
2. Беляев, Н.Н., Нагорная, Е.К. (2012). *Математическое моделирование массопереноса в отстойниках систем водоотведения*. – Днепропетровск: Нова ідеологія.
3. Горносталь, С.А., Уваров, Ю.В. (2011). Исследование зависимости концентрации загрязнений в очищенной воде на выходе из аэротенка в процессе биологической очистки. *Збірка наук. пр. «Проблеми надзвичайних ситуацій»*, 14, 65-69.
4. Колобанов, С.К., Ершов, А.В., Кигель, М.Е. (1997). *Проектирование очистных сооружений канализации*. Київ: Будівельник.
5. Олійник, О.Я., Айрапетян, Т.С. (2015). Моделювання очистки стічних вод від органічних забруднень в біореакторах-аэротенках зі зваженим (вільно плаваючим) і закріпленим біоценозом. *Доповіді НАН України*, 5, 55-60.
6. Карелин, Я.А., Жуков, Д.Д., Журов, В.Н., Репин, Б. Н. (1973). *Очистка производственных сточных вод в аэротенках*. Москва: Стройиздат.

7. Олейник, Я.А., Калугин, Ю.И., Степовая, Н.Г., Зябликов, С.М. (2004). Теоретический анализ процессов осаждения в системах биологической очистки сточных вод. *Прикладна гідромеханіка*, Т.6 (78), 4, 62-67.
8. Biliaiev, M.M., Kozachyna, V.A. (2015). Numerical determination of horizontal settlers performance. *Наука та прогрес транспорту*, № 4 (58), 34-43. <http://dx.doi.org/10.15802/STP2015/49201>.
9. Pie, M., Robescu, D.N., Chita, G. (2009). Modeling and simulation of Organic Matter Biodegradation Processes in Aeration Tanks with Activated Sludge. *REVISTA DE CHIMIE București-România*, Vol. 60, Nr. 5, 529-532.
10. Mocanu, C.R., Mihailescu, R. (2012). Numerical simulations of wastewater treatment aeration processes. *U.P.B. Scientific Bulletin, Series D*, Vol. 74, Iss. 2, 191-198.
11. Mocanu, C.R., Robescu, L.D. (2013). Using Numerical Simulation Software for Improving Wastewater Treatment Efficiency. *INCD ECOIND –International Symposium – SIMI 2013 «The Environment and the Industry»*, 207-214.

АНОТАЦІЯ

Мета. Метою роботи є створення комп'ютерної моделі для оцінки ефективності роботи аеротенка. Модель орієнтована на експрес прогноз значення концентрації забруднюючої речовини, активного мулу і кисневого режиму в аеротенку.

Методика досліджень полягає в застосуванні методу чисельного інтегрування звичайних диференціальних рівнянь, які описують зміни концентрації забруднюючої речовини, активного мулу і розчиненого кисню в аеротенку. Для чисельного інтегрування рівнянь використовується метод Ейлера. Моделюючі рівняння включають в себе параметри, що враховують зростання бактерій активного мулу, відмирання бактерій активного мулу, зміну кисневого режиму, за рахунок споживання кисню бактеріями активного мулу.

Результати дослідження. Побудовано математичну модель, що дозволяє протягом декількох секунд оцінити ефективність роботи аеротенку з урахуванням впливу на процес біологічного очищення стічних вод наступних параметрів: концентрація активного мулу, розчиненого у воді кисню, концентрації забруднюючої речовини в стічній воді. Виконана програмна імплементація розробленої чисельної моделі.

Наукова новизна. Запропоновано нову ефективну чисельну модель для оцінки ефективності біологічної очистки стічних вод в аеротенку. Особливістю моделі є досить повний облік основних фізичних факторів, що впливають на процес біологічного очищення. Основу моделі складають балансові рівняння для концентрації забруднюючих речовини в стічній воді, активного мулу і розчиненого у воді кисню.

Практичне значення. Розроблено математичну модель для оцінки ефективності роботи аеротенка. Виконана програмна реалізація моделі у вигляді пакета прикладних програм. Модель дозволяє оперативно проводити серійні розрахунки з аналізу і прогнозу ефективності біологічної очистки стічних вод в аеротенках з урахуванням основних фізичних параметрів, що впливають на роботу аеротенка. Розроблена математична модель може бути використана для аналізу роботи нових аеротенків або при реконструкції вже існуючих аеротенків. Представлені результати обчислювального експерименту, проведеного на базі розробленої математичної моделі.

Ключові слова: аеротенк, стічні води, математичне моделювання

ABSTRACT

Purpose. The purpose of the work is to create a fast computing model for evaluating the efficiency of the aeration tank. The model is oriented to the express forecast of the concentration of pollutant, activated sludge and oxygen regime in the aeration tank.

Methodology. The research method consists in applying the method of numerical integration of ordinary differential equations that describe the changes in the concentration of pollutant, activated sludge and dissolved oxygen in the aeration tank. For the numerical integration of modeling equations, the Euler method is used. Modeling equations include parameters that take into account the growth of active sludge bacteria, the dying off of activated sludge bacteria, the change in the oxygen regime, due to oxygen consumption by active sludge bacteria.

Results. A mathematical model is constructed that allows to estimate the efficiency of the aeration tank in a few seconds, taking into account the influence of the following parameters on the process of biological treatment of wastewater: concentration of activated sludge, dissolved oxygen in water, concentration of pollutant in sewage. The program implementation of the developed numerical model has been completed.

Scientific novelty. A new effective numerical model for estimating the effectiveness of biological wastewater treatment in an aeration basin is proposed. The peculiarity of the model is a fairly complete account of the main physical factors affecting the process of biological treatment. The basis of the model is balance equations for the concentration of pollutant in waste water, activated sludge and dissolved oxygen in water.

Practical significance. A mathematical model is developed to evaluate the efficiency of the aeration tank. A software implementation of the model in the form of a package of applied programs was carried out. The model allows us to promptly conduct serial calculations on the analysis and forecast of the effectiveness of biological treatment of wastewater in aerotanks, taking into account the basic physical parameters that affect the operation of the aeration tank. The developed mathematical model can be used to analyze the operation of new aerotanks or in the reconstruction of existing aerotanks. The results of a computational experiment based on the developed mathematical model are presented.

Keywords: *aeration tank, wastewater, mathematical simulation*