UDK 519.6:697.953:004.94

CALCULATION OF AIR ION REGIME IN THE CASE OF ARTIFICIAL AIR IONIZATION

BILIAIEV M. M.[1*], *Dr. Sc. (Tech.),Prof.*,
TSYGANKOVA S. G.[2*], *Assist.*
[1*] Department of Hydraulics and Water Supply, National University of Railway Transport Named after academician V. Lazaryan, 2, akademika Lazariana str., Dnipropetrovsk 49010, Ukraine, tel. +38 (056) 373-15-09, e-mail: gidravlika2013@mail.ru, ORCID ID 0000-0002-1531-7882
[2*] Department of Water Supply, Drainage and Hydraulic, State Higher Educational Establishment «Pridneprovs'ka State Academy of Civil Engineering and Architecture», 24-a, Ghernyshevskogo str., Dnipropetrovsk 49600, Ukraine, tel. +38 (050) 697-92-18, e-mail: s-tsygankova@mail.ru, ORCID ID 0000-0002-9837-3109

Summary. Purpose. One of the major tasks in the field of labor protection is providing of the necessary qualitative composition of air in the working areas of office and industrial spaces. In order to maintain the necessary air ion level in the air space premises, the artificial ionization of air is used often in the premises. At present in Ukraine analytical model are used for the calculation of air ion regime in premises, influencing on the formation process of air ions concentration field. An alternative solution is the use of CFD models, developing including the air jets aerodynamics in the premise, the presence of furniture, equipment, transfer of ions under an electric field, and other physical factors, determining intensity and shape of air ions concentration field in the premise. ***Methodology***. Influence of air flow was taken into account in the development of CFD models for calculation of air ion regime in the apartment, caused by operation of ventilation, diffusion, electric field impact, as well as the interaction of different polarity ions with each other, and their interaction with dust particles. The proposed model of calculation of air ion regime in premises based on the use of aerodynamics, electrostatics and mass transfer levels. This model allows operatively to calculate air ions concentration field with the influence of the walls, floor, ceiling and obstacles on the process of air ions dispersion, the specific location of different polarity ions emission and their interaction in the premise and work areas in conditions of artificial air ionization. ***Results.*** The calculated data were obtained and on their base could be estimated the concentration of air ion anywhere in the premise with artificial air ionization. Ions concentration field, being calculated using this CFD model, as concentration field isolines is presented. ***Originality***. The results of the air ion regime calculation in the premise are presented, based on numerical 2D CFD model. To solve the problem on the base, of the developed CFD model, about a minute of computer time is required. ***Practical value.*** 2D CFD model for air ion regime calculation in premises allows to calculate the ions concentration in their working areas of premise in conditions of artificial air ionization including the basic physical factors, determining the formation of ions concentration fields.

Key words*:* *CFD model; air ion regime; concentration field of air ions, artificial ionization*

РОЗРАХУНОК АЕРОІОННОГО РЕЖИМУ У ВИПАДКУ ШТУЧНОЇ ІОНІЗАЦІЇ ПОВІТРЯ

БІЛЯЄВ М. М.[1*], *д. т. н., проф.*,
ЦИГАНКОВА С. Г.[2*], *асист.*
[1*] Кафедра гідравліки та водопостачання, Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна, вул. Академіка Лазаряна, 2, 49010, Дніпропетровськ, Україна, тел. +38 (056) 373-15-09, e-mail: gidravlika2013@mail.ru, ORCID ID 0000-0002-1531-7882
[2*] Кафедра водопостачання, водовідведення та гідравліки, Державний вищий навчальний заклад «Придніпровська державна академія будівництва та архітектури», вул. Чернишевського, 24а, 49600, Дніпропетровськ, Україна, тел. +38 (050) 697-92-18, e-mail: s-tsygankova@mail.ru, ORCID ID 0000-0002-9837-3109

Анотація. Мета. Одне із найважливіших завдань у галузі охорони праці - забезпечення необхідного якісного складу повітряного середовища в робочих зонах офісних і виробничих приміщень. Для підтримки необхідного рівня аероіонів у повітряному середовищі приміщень часто застосовують штучну іонізацію повітря в приміщеннях. На даний момент в Україні для розрахунку аероіонного режиму в приміщеннях використовуються переважно аналітичні моделі, розроблені, як правило, без урахування різних фізичних факторів, що впливають на процес формування концентраційного поля аероіонів. Альтернативним рішенням є застосування CFD моделей, які розробляються з урахуванням аеродинаміки повітряних струменів у приміщенні, наявності меблів, обладнання, перенесення іонів за дії електричного поля, інших фізичних факторів, що визначають інтенсивність і форму концентраційного поля аероіонів у приміщенні. ***Методика***. Розробляючи числову CFD модель для розрахунку аероіонного режиму в приміщеннях, враховували вплив потоків повітря, викликаних роботою вентиляції, дифузії, вплив електричного поля, а також взаємодію іонів різної полярності між собою і із частинками пилу. Запропонована модель розрахунку аероіонного режиму в приміщеннях заснована на застосуванні рівнянь аеродинаміки, електростатики і масопереносу. Ця модель дозволяє оперативно розраховувати концентраційне поле аероіонів з урахуванням впливу стін, підлоги, стелі, перешкод на процес розсіювання аероіонів, конкретного місця емісії іонів різної полярності та їх взаємодії в приміщенні і в робочих зонах в умовах штучної іонізації повітря. ***Результати.*** Отримано розрахункові дані, на підставі яких можна оцінити концентрацію аероіонів у будь-якому місці приміщення зі штучною іонізацією повітря. Концентраційне поле аероіонів, розраховане за допомогою даної CFD моделі, наведене у вигляді ізоліній. ***Наукова новизна.*** Наведено результати розрахунку аероіонного режиму в приміщенні на базі чисельної 2D CFD моделі. Для розв’язання задачі на базі розробленої CFD моделі потрібно близько хвилини комп᾽ютерного часу. ***Практична значимість.*** 2D CFD модель розрахунку аероіонного режиму в приміщеннях дозволяє розраховувати концентрацію аероіонів у робочих зонах приміщення в умовах штучної іонізації повітря з урахуванням основних фізичних факторів, що визначають формування концентраційних полів аероіонів.

Ключові слова: *CFD модель; аероіонний режим; концентраційне поле аероіонів, штучна іонізація*

РАСЧЕТ АЭРОИОННОГО РЕЖИМА В СЛУЧАЕ ИСКУССТВЕННОЙ ИОНИЗАЦИИ ВОЗДУХА

БЕЛЯЕВ Н. Н.[1*], *д. т. н., проф.,*
ЦЫГАНКОВА С. Г.[2*], *ассист.*

[1*] Кафедра гидравлики и водоснабжения, Днепропетровский национальный университет железнодорожного транспорта имени академика В. Лазаряна, ул. Академика Лазаряна, 2, 49010, Днепропетровск, Украина, тел. +38 (056) 373-15-09, e-mail: gidravlika2013@mail.ru, ORCID ID 0000-0002-1531-7882

[2*] Кафедра водоснабжения, водоотведения и гидравлики, Государственное высшее учебное заведение «Приднепровская государственная академия строительства и архитектуры», ул. Чернышевского, 24а, 49600, Днепропетровск, Украина, тел. +38 (050) 697-92-18, e-mail: s-tsygankova@mail.ru, ORCID ID 0000-0002-9837-3109

Аннотация. Цель. Одной из важнейших задач в области охраны труда является обеспечение необходимого качественного состава воздушной среды в рабочих зонах офисных и производственных помещений. Для поддержания необходимого уровня аэроионов в воздушной среде помещений часто применяют искусственную ионизацию воздуха в помещениях. На данный момент в Украине для расчета аэроионного режима в помещениях используются преимущественно аналитические модели, разработанные, как правило, без учета различных физических факторов, влияющих на процесс формирования концентрационного поля аэроионов. Альтернативным решением является применение CFD моделей, которые разрабатываются с учетом аэродинамики воздушных струй в помещении, наличия мебели, оборудования, переноса ионов под действием электрического поля, других физических факторов, определяющих интенсивность и форму концентрационного поля аэроионов в помещении. ***Методика.*** При разработке численной CFD модели для расчета аэроионного режима в помещениях учитывалось влияние потоков воздуха, вызванных работой вентиляции, диффузии, воздействия электрического поля, а также взаимодействие ионов различной полярности друг с другом и с частицами пыли. Предложенная модель расчета аэроионного режима в помещениях основана на применении уравнений аэродинамики, электростатики и массопереноса. Данная модель позволяет оперативно рассчитывать концентрационное поле аэроионов с учетом влияния стен, пола, потолка, препятствий на процесс рассеивания аэроионов, конкретного места эмиссии ионов различной полярности и их взаимодействия в помещении и в рабочих зонах в условиях искусственной ионизации воздуха. ***Результаты.*** Получены расчетные данные, на основании которых можно оценить концентрацию аэроионов в любом месте помещения с искусственной ионизацией воздуха. Концентрационное поле аэроионов, рассчитанное с помощью данной CFD модели, представлено в виде изолиний концентрационного поля. ***Научная новизна.*** Представлены результаты расчета аэроионного режима в помещении на базе численной 2D CFD модели. Для решения задачи на базе разработанной CFD модели требуется около минуты компьютерного времени. ***Практическая значимость.*** 2D CFD модель расчета аэроионного режима в помещениях позволяет рассчитывать концентрацию аэроионов в рабочих зонах помещения в условиях искусственной ионизации воздуха с учетом основных физических факторов, определяющих формирование концентрационных полей аэроионов.

Ключевые слова: *CFD модель; аэроионный режим; концентрационное поле аэроионов, искусственная ионизация*

Introduction. Under modern conditions one of the most important tasks in the labor protection field is to provide of proper micro-climatic conditions for the staff of industrial and office premises [2-12]. One of the significant parameters is directly affecting on the staff productivity is the qualitative composition of the air. In order to maintain the necessary ions level in the air space is used often the artificial ionization of the indoor air. Ionization is generally carried out either by setting the ionizer indoors or supply of ionized air into the room. In the case of an ionized air supply it is necessary to calculate the level of negative ions in the working areas of office and industrial premises, and therefore have the necessary mathematical apparatus for calculating the ions concentration field in the premises. It is important to take into account all factors that influence the ions dispersion in the room.

In Ukraine today for calculating air ion regime in premises mainly used analytical models [4-12], allowing calculating the ions concentration in the room. However, as a rule, in these models do not consider the aerodynamics of the air jets in the room, the presence of equipment, furniture, dust emission sources, that is, physical factors influencing the formation of ions concentration field. To account for the above mentioned factors, it is more expedient to use CFD models [2; 3; 13; 16].

Purpose. In the given work results of applying CFD numerical models, which is taken into account the placement of furniture and equipment in the room and physical factors determining the formation of the ions concentration field, for computation air ion regime in premises and in work areas in the conditions of artificial air ionization.

Methodology. In the development of a numerical model for computation of air ion regime should take into account the impact of indoor air flows caused by the ventilation operation, diffusion, electric field effects. It is also necessary to take into account the interaction of different polarities ions with each other and their interaction with the dust particles. Thus, in the simulation of air ions dispersion to account for the above processes will use the transfer equation in the form [16]:

$$\frac{\partial C}{\partial t}+\frac{\partial (u+bE)C}{\partial x}+\frac{\partial (v+bE)C}{\partial y}=$$

$$=\frac{\partial}{\partial x}\left(\mu_x\frac{\partial C}{\partial x}\right)+\frac{\partial}{\partial y}\left(\mu_y\frac{\partial C}{\partial y}\right)-\alpha CB-$$

$$-\quad CD+\sum Q_c(t)\delta(x-x_c)\delta(y-y_c), \quad (1)$$

where C, B, D – the concentration of negative and positive air ions and dust particles respectively; u, v, – velocity components of airflow in the room; $\mu=(\mu_x, \mu_y)$ – diffusion coefficients; t – time; ~ – the rate recombination of ions with different polarity; – the rate of recombination of ions with dust particles; Q_{Ci}, – the intensity of the negative ions emission at the appropriate points with the coordinates x_c,y_c; $¢(x-x_i)¢(y-y_i)$ – Dirac delta function; b – coefficient of ion mobility; E – electric field intensity.

Since air ions have a charge, they generate an electric field E, which is described by the following equation [16]:

$$\frac{\partial E_x}{\partial x}+\frac{\partial E_y}{\partial y}=\frac{q_e}{£_0}, \quad (2)$$

where $£_0$ – the dielectric permittivity; q_e – the space charge density.

From equation (2) can go to the scalar potential, taking into account such dependence

$$E_x=-\frac{\partial ¤}{\partial x},\ E_y=-\frac{\partial ¤}{\partial y}. \quad (3)$$

Then we get the Poisson equation of the following form [16], which we will use to simulate the electric field:

$$\frac{\partial^2 ¤}{\partial x^2}+\frac{\partial^2 ¤}{\partial y^2}=-\frac{q_e}{£_0}, \quad (4)$$

where $q_e=-eC(x,y)$, $C(x,y)$ – the concentration of negative air ions; ¤ – scalar potential; e – elementary charge. On the basis of this equation is performed simulations of the electric field.

To describe the processes of positive ions and dust dispersion will use the equation of transfer in the form [16]:

$$\frac{\partial B}{\partial t}+\frac{\partial uB}{\partial x}+\frac{\partial vB}{\partial y}=\frac{\partial}{\partial x}\left(«_x\frac{\partial B}{\partial x}\right)+$$

$$+\frac{\partial}{\partial y}\left(«_y\frac{\partial B}{\partial y}\right)-\sim CB-\quad BD+$$

$$+\sum Q_B(t)¢(x-x_B)¢(y-y_B), \quad (5)$$

$$\frac{\partial D}{\partial t}+\frac{\partial uD}{\partial x}+\frac{\partial vD}{\partial y}=$$

$$=\frac{\partial}{\partial x}\left(«_x\frac{\partial D}{\partial x}\right)+\frac{\partial}{\partial y}\left(«_y\frac{\partial D}{\partial y}\right)+$$

$$+\sum Q_{Di}(t)¢(x-x_D)¢(y-y_D). \quad (6)$$

Designation of the physical parameters in these equations is the same, which was given for the equation (1).

To calculate the aerodynamics of air flow in the room will use a model of potential flow. In this case the Laplace equation for the velocity potential is a modeling equation

$$\frac{\partial^2 P}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 P}{\partial y^2} = 0, \quad (7)$$

where P – velocity potential.

The components of the air environment velocity vector are connected with the velocity potential following dependencies

$$u = \frac{\partial P}{\partial x}, \quad v = \frac{\partial P}{\partial y}. \quad (8)$$

Formulation of boundary conditions for the modeling equations is considered in [1; 13; 16].

For the numerical integration of the transfer equations [1; 11; 13; 16] used the implicit alternately - triangular difference schemes, which has being implemented by the method of running accounts [1]. For the numerical solution of the Laplace equation and Poisson's equation used the Libman's method. The calculation is performed on rectangular difference grid.

On the basis of the difference schemes was designed the software package (code) «ION-2». This package is built on a modular principle; each sub-program implements a specific numerical integration of the modeling equation and implementing appropriate boundary conditions.

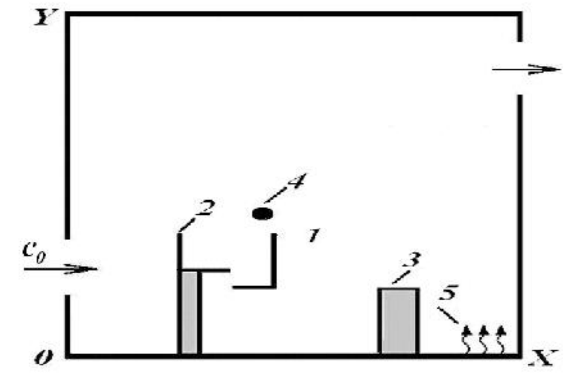

Fig. 1. The computational domain: 1 – chair; 2 – work desk; 3 – rack; 4 – place of positive ions emission (the position of the respiratory organs); 5 – place of dust emission

A feature of the modeled process is the presence of furniture in the room, i.e., objects, influencing the formation of ion concentration field. To «reproducing» these and other objects in the numerical model uses a technology called *«porosity technique»*, also called the method of marking [1]. The essence of this technology lies in the encoding of difference cells, which belong to such facilities, and the implementation of them in the appropriate boundary conditions.

Findings. CFD numerical model was used to calculate the negative ions concentration in the field of office space in the conditions of artificial air ionization.

Sketch of the computational domain is shown in Fig. 1. It is the premises where to the air flows enter through the ventilation system. These air contains negative ions with a concentration C_0=0.55×10^{11} particles/m^3. The air exit from the room occurs through the outlet in the wall. The work area includes table and chair placed next.

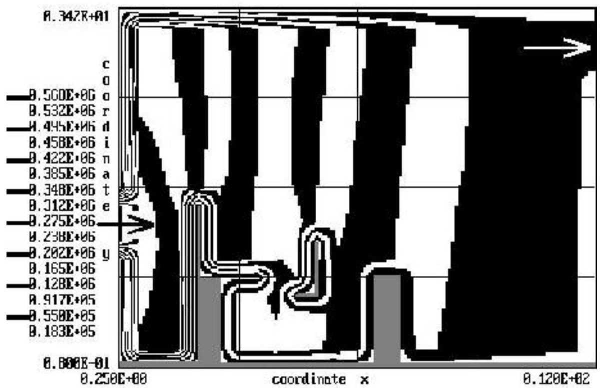

Fig. 2. Concentration field of negative air ions in the room

The people are the source of positive ions emission in the room. Therefore in the zone of their respiratory organs (Fig. 1, pos. 4) set point sources of positive ions emission intensity Q_B = 7×10^5 particles/s. The other of the problem parameters are: the size of the computational domain 12.25m×3.50m; ventilation rate is equal 3 [1/h]; the position of the inlet and outlet ventilation holes shown by arrows in Fig. 1; α = 1.5×10^{-12} m^3/s, β = 1×10^{-12} m^3/s [13; 16]; the coefficients of turbulent diffusion in all directions are taken to equal «$_x$ = «$_y$ = kV (where $k = 0{,}1$ – the parameter, V - the local velocity in the specific computational point and it is defined by solving the aerodynamic problem). Dust emission occurs indoor, Q_{Di}=52×10^6 particles/s (dust emission position shown in Fig. 1 as a wavy line). Purpose of numerical modeling is definition of the negative ions concentration in the room and the area of the human respiratory system.

The results of numerical simulation on the following figures are shown. On these figures the negative ions concentration field in the room was given. The simulation results are given in dimensionless form, where each number is a measure of concentration in percentage of the maximum ions concentration in the room C_{max}. Printing was done on the format as *«whole number»*, i.e. the fractional part shall not be issued to the printer.

In Fig. 2, the concentration of negative ions in the room is presented. The concentration of negative ions above the chair (the position of head of the worker) is equal to 0.021×10^{12} particles/m^3. It is known that the maximum level of negative ions in the working areas must be 0.05×10^{12} particles/m^3. So, for the proposed regime of ionization the concentration of negative ions is satisfied this condition.

In conclusion, for the solution of the problem on the basis of the developed CFD model it took about 1 minute of computer time.

Originality and practical value. The results of the new CFD model for the computation of air ion regime in rooms with artificial air ionization are represented. This 2D CFD model is based on the use of aerodynamics, electrostatics and mass transfer equations, and developed taking into account the main factors determining the formation of fields of concentration of ions in the room and work areas.

Conclusions. The article contains results numerical simulation of air ion regime in office and industrial environments with artificial air ionization. Calculated ions concentration field in the room, presented in the form of isoclines. To solve the problem on the basis of the developed CFD model took about a minute of computer time.

REFERENCES

1. Beliaev N.N., Hunko E.Yu. and Rostochilo N.V. *Zashchita zdaniy ot proniknoveniya v nikh opasnykh veshchestv* [Protection of building from penetration of hazardous substances into them]. Dnipropetrovsk: Aktsent PP, 2014, 136 p. (in Russian)
2. Beliaev N.N. and Tsygankova S.G. *Otsenka aeroionnogo rezhima v rabochikh zonakh na baze CFD modeli* [Evaluation of air ion regime in work areas on the base of CFD models] *Zbirnyk naukovykh prats NGU* [Proceedings of NMU]. 2015, no. 46, pp. 168-173. (in Russian).
3. Beliaev N.N. and Tsygankova S.G. *Raschet aeroionnogo rezhima v pomeshchenii i v rabochey zone na baze chislennoy modeli* [Calculation of air ion regime in the premises and work area on the basis of a numerical model] *Zbirnyk naukovykh prats NGU* [Proceedings of NMU]. 2015, no. 47, pp. 137-143. (in Russian).
4. Glyva V.A., Klapchenko V.I., Ponomarenko S.M., Shevchenko L.O and Smakovskiy D.S. *Vyznachennia ta prognozuvannia dynamiky zminy aeroionnogo skladu povitria vyrobnychykh prymishchen* [Determination and prediction of the ionic air composition change dynamics in industrial premises]. *Visnyk natsionalnoho tekhnichnogo universitetu Ukrainy «Kyivskyi politekhnichnyi instytut»* [Bulletin of National Technical University of Ukraine «Kyiv Polytechnic Institute»]. 2010, iss. 19, pp. 161-168. (in Ukrainian).
5. Tolkunov I.A., Mariniukh V.V., Popov I.I. and Ponomar V.V. *Deiaki aspekty zabezpechennia normatyvnogo aeroionnogo rezhymu robochoho seredovyshcha prymishchen spetsialnogo pryznachennia MNS Ukrainy* [Some aspects of the regulatory ionic regime of working environment of the special purpose premises of the Ministry of Emergencies of Ukraine]. *Problemy nadzvychainykh sytuatsiy* [Problems of Emergencies]. 2008, iss. 8, pp. 198-206. (in Ukrainian).
6. Zaporozhets O.I., Glyva V.A. and Sidorov O.V. *Normuvannia aeroionnogo skladu povitria robochykh prymishchen ta osnovni napriamy yogo vdoskonalennia* [The standardization of the air ionic composition of work premises and main directions of its improvement]. *Visnyk natsionalnogo aviatsionnogo universytetu* [Bulletin of national aviation university]. 2011, vol. 46, no. 1, pp. 139-143. (in Ukrainian).
7. Zaporozhets O.I., Glyva V.A. and Sidorov O.V. *Printsypy modeliuvannia aeroionnoho skladu povitria u prymishchenniakh* [The principles of modeling of the air ionic composition in premises]. *Visnyk natsionalnogo aviatsiinogo universytetu* [Bulletin of National Aviation University]. 2011, vol. 47, no. 2, pp. 120-124. (in Ukrainian).
8. Levchenko L.O., Glyva V.A. and Sidorov O.V. *Tryvymirne modeliuvannia prostorovykh rozpodiliv kontsentratsii aeroioniv u povitri* [Three-dimensional modeling of air ions concentrations spatial distributions on air]. *Upravlinnia rozvytkom skladnykh system* [Control of the development of complex systems]. 2012, iss. 11, pp. 198-206. (in Ukrainian).

9. Bahrushyn V.E., Ignakhina M.A., Vertinskii D.V. and Yeevsiukov A.Yu. *Modelirovanie raspredeleniya kontsentratsii ionov vblizi ionizatora* [Simulation of distributing concentration of ions nearly ionizator]. *Skladni systemy ta protsesy* [Complex systems and processes]. 2002, no. 1, pp. 30-36. (in Russian).
10. Tolkunov I.A. *Bipoliarnaia ionizatsia povitrianogo seredovyshcha primishchen funktsionalnykh pidrozdiliv mobilnogo gospitaliu MNS* [Bipolaris ionizationair of air environment of premises of functional units of mobile hospital of the Ministry of Emergencies]. *Problemy nadzvychainykh sytuatsiy* [Problems of Emergencies]. 2014, iss. 14, pp. 161-170. (in Ukrainian).
11. Tolkunov I.A. and Popov I.I. *Modeliuvannia protsesiv formuvannia poliv kontsetrtsii aeroioniv u povitrianomu seredovyshchi prymishchen spetsialnogo pryznachennia MNS Ukrainy* [Simulation of the process of formation of fields of air ions concentration in the air space of premises the special purpose of the Ministry of Emergencies of Ukraine]. *Problemy nadzvychainykh situatsiy* [Problems of Emergencies]. 2010, iss. 12, pp. 175-184. (in Ukrainian).
12. Tolkunov I.A., Popov I.I. and Barbasin V.V. *Teoreticheskhoe issledovanie protsessov perenosa ionov v potokakh vozdukha v pomeshcheniyakh spetsialnogo naznacheniya MChS Ukrainy* [Theoretical study of the ions transfer processes in the air flows in the premises of the special purpose of the Ministry of Emergencies of Ukraine]. *Problemy nadzvychainykh sytuatsiy* [Problems of Emergencies]. 2010, iss. 11, pp. 137-145. (in Russian).
13. Fletcher L.A., Noakes C.J., Sleigh P.A., Beggs C.B. and Shepherd S.J. *Air ion behavior in ventilated rooms*. *Indoor and built Environment*. 2008, vol. 17, no. 2, pp. 173-182.
14. Drexler P., Fiala P. and Bartusek K *Numerical modeling of accuracy of air ion field measurement. Journal of Electrical Engineering*. 2006, vol. 57, no. 8/S, pp. 62-65.
15. Murakami, S. *Computational wind engineering. Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics*. 1990, vol. 36, part 1, pp. 517-538.
16. Noakes C.J., Sleigt P.A. and Beggs C. *Modelling the air cleaning performance of negative air ionizers in ventilated rooms. Proceedings of the 10th International Conference on Air Distribution in Rooms.* Roomvent 2007, 13-15 June 2007, Helsinki. Available at: http://eprints.whiterose.ac.uk/7700/1/Noakes_roomvent_07.pdf. (Accessed 17 September 2015).
17. Jurelionis A., Gagytė L., Prasauskas T., Čiužas D., Krugly E., Šeduikytė L. and Martuzevičius D. *The impact of the air distribution method in ventilated rooms on the aerosol particle dispersion and removal: The experimental approach. Energy and Buildings*. 2015, vol. 86, january, pp. 305-313.

ИСПОЛЬЗОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

1. Беляев Н. Н. Защита зданий от проникновения в них опасных веществ : монография / Н. Н. Беляев, Е. Ю. Гунько, Н. В. Росточило. – Днепропетровск : Акцент ПП, 2014. – 136 с.
2. Беляев Н. Н. Оценка аэроионного режима в рабочих зонах на базе CFD модели / Н. Н. Беляев, С. Г. Цыганкова // Збірник наукових праць Національного гірничого університету. – Дніпропетровськ, 2015. – № 46. – С. 168-173.
3. Беляев Н. Н. Расчет аэроионного режима в помещении и в рабочей зоне на базе численной модели / Н. Н. Беляев, С. Г. Цыганкова // Збірник наукових праць Національного гірничого університету. – Дніпропетровськ, 2015. – № 47. – С. 137-143.
4. Визначення та прогнозування динаміки зміни аероіонного складу повітря виробничих приміщень / В. А. Глива, В. І. Клапченко, С. М. Пономаренко, Л. О. Шевченко, Д. С. Смаковський // Вісник Національного технічного університету України "Київський політехнічний інститут". Серія : Гірництво : зб. наук. пр. – 2010. – Вип. 19. – С. 161-168.
5. Деякі аспекти забезпечення нормативного аероіонного режиму робочого середовища приміщень спеціального призначення МНС України / І. О. Толкунов, В. В. Маринюк, І. І. Попов, В. В. Пономар // Проблеми надзвичайних ситуацій / Ун-т цивіл. захисту України. – Харків, 2008. – Вип. 8. – С. 198-206.
6. Запорожець О. І. Нормування аероіонного складу повітря робочих приміщень та основні напрями його вдосконалення / О. І. Запорожец, В. А. Глива, О. В. Сидоров // Вісник Національного авіаційного університету. – 2011. – Т. 46, № 1. – С. 139-143.
7. Запорожец О. І. Принципи моделювання динаміки аероіонного складу повітря у приміщеннях / О. І. Запорожец, В. А. Глива, О. В. Сидоров // Вісник Національного авіаційного університету. – 2011. – Т. 47, № 2. – С. 120-124.
8. Левченко Л. О. Тривимірне моделювання просторових розподілів концентрацій аероіонів у повітрі приміщень / Л. О. Левченко, В. А. Глива, О. В. Сидоров // Управління розвитком складних систем / Київ. нац. ун-т буд-ва і архітектури. – 2012. – Вип. 11. – С. 198-206.
9. Моделирование распределения концентрации ионов вблизи ионизатора / В. Е. Бахрушин, М. А. Игнахина, Д. В. Вертинский, А. Ю. Евсюков // Складні системи та процеси. – 2002. – № 1. – С. 30-36.
10. Толкунов И. А. Біполярна іонізація повітряного середовища приміщень функціональних підрозділів мобільного госпіталю МНС / И. А. Толкунов // Проблеми надзвичайних ситуацій / Ун-т цивіл. захисту України. – Харків, 2011. – Вип. 14. – С. 161-170.

11. Толкунов І. О. Моделювання процесів формування полів концентрації аероіонів у повітряному середовищі приміщень спеціального призначення МНС України / І. О. Толкунов, І. І. Попов // Проблеми надзвичайних ситуацій / Ун-т цивіл. захисту України. – Харків, 2010. – Вип. 12. – С. 175-184.
12. Толкунов И. А. Теоретическое исследование процессов переноса аэроионов в потоках воздуха в помещениях специального назначения МЧС Украины / И. А. Толкунов, И. И. Попов, В. В. Барбашин // Проблеми надзвичайних ситуацій / Ун-т цивіл. захисту України. – Харків, 2010. – Вип. 11. – С. 137-145.
13. Air ion behavior in ventilated rooms / Fletcher L. A., Noakes C. J., Sleigh P. A., Beggs C. B., Shepherd S. J. // Indoor and built environment. – 2008. – Vol. 17, № 2. – P. 173-182.
14. Drexler P. Numerical modeling of accuracy of air ion field measurement / Petr Drexler, Pavel Fiala, Karel Bartusek // Journal of electrical engineering. – 2006. – Vol. 57, № 8/S. – P. 62-65.
15. Murakami S. Computational wind engineering / S. Murakami // Journal of wind engineering and industrial aerodynamics. – 1990. – Vol. 36, part 1. – P. 517-538.
16. Noakes C. J. Modelling the air cleaning performance of negative air ionisers in ventilated rooms / Noakes C. J., Sleigt P. A., Beggs C. // Proceedings of the 10th international conference on air distribution in rooms. Roomvent 2007, 13-15 june 2007, Helsinki, Finland. – Режим доступа: http://eprints.whiterose.ac.uk/7700/1/Noakes_roomvent_07.pdf. – Загл. с экрана. – Проверено 17.09.2015.
17. The impact of the air distribution method in ventilated rooms on the aerosol particle dispersion and removal: The experimental approach / A. Jurelionis, L. Gagytė, T. Prasauskas, D. Čiužas, E. Krugly, L. Šeduikytė, D. Martuzevičius // Energy and Buildings. – 2015. – Vol. 86, january. – P. 305-313.

Prof. B. V. Vinogradov (Ukraine), Dr. Sc. (Tech) and prof. P. P. Yermakov (Ukraine), Dr. Sc. (Tech) recommended this article to be published.

Стаття рекомендована до друку 15.05.2015 р. Рецензент: д-р т. н., проф. В. С. Вахрушева.
Надійшла до редколегії: 07.09.2015 р. Прийнята до друку: 11.09.2015 р.