

ЕКОЛОГІЯ ТА ПРОМИСЛОВА БЕЗПЕКА

UDC 504.5:[502.3:625.7:614.8]

M. M. BILIAIEV^{1*}, T. I. RUSAKOVA^{2*}, V. I. SHYNKARENKO³

^{1*}Dep. «Hydraulics and Water Supply», Dnipro National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan, Lazaryan St., 2, Dnipro, Ukraine, 49010, tel. +38 (056) 273 15 09, e-mail water.supply.treatment@gmail.com, ORCID 0000-0002-1531-7882

^{2*}Dep. «Aerohydrodynamics and Energy Mass-transfer», Oles Honchar Dnipro National University, Kazakov St., 18, Dnipro, Ukraine, 49010, tel. +38 (056) 776 82 05, e-mail rusakovati1977@gmail.com, OCID 0000-0001-5526-3578

³Dep. «Computer and Information Technologies», Dnipro National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan, Lazaryan St., 2, Dnipro, Ukraine, 49010, tel. +38 (056) 373 15 35, e-mail shinkarenko_vi@ua.fm, ORCID 0000-0001-8738-7225

MINIMIZATION OF THE CHEMICAL POLLUTION LEVEL AT THE WORKING ZONES IN OPEN AREAS USING SCREENS

Purpose. The scientific work aims to develop a new method for assessing the level of chemical air pollution in working zones located in open areas near highways using screens of different heights. **Methodology.** The analytical method for calculating the airflow velocity field near protective screens is based on the mathematical apparatus of the theory of complex variable functions, which allows obtaining the value of the velocity potential and the flow function, to calculate the velocity value at any point of the plane with a screen of different height. The obtained velocity field is used to calculate the level of carbon monoxide concentration in the numerical solution of the two-dimensional mass transfer equation. **Findings.** The developed program of numerical calculation allows conducting computational experiments on the effectiveness of the use of protective screens, taking into account changes in their geometry and meteorological conditions. The developed method based on the obtained concentration field makes it possible to carry out an assessment of the risk of chronic intoxication for the employees of the take-out trade, who are within the zone of the emission source (highway) for a long time. **Originality.** The regularities of changes in the concentration of carbon monoxide are established depending on the distance to the emission source at a height of 2 m from the ground in the presence of a screen of a certain height and in its absence. A risk assessment of chronic carbon monoxide intoxication has been carried out for take-out trade workers near the highway. It is shown that the presence of the screen reduces the risk of chronic CO intoxication by 10% as compared to its absence. Increasing the screen height to 1.8 m reduces the risk of chronic intoxication by 6% relatively to the situation when the screen height is 1.2 m. **Practical value.** The developed numerical-analytical method for calculating the level of chemical pollution in working zones in open areas and the program «Screen» created on its basis allow us to carry out a prompt forecast of atmospheric air pollution level with carbon monoxide taking into account the effectiveness of the screens. Quantitative results are necessary at the planning stage of trading places near highways, during the architectural-planned reorganization of adjacent developments.

Keywords: highway; complex potential; dispersion of impurities; functional area; risk of disease

Introduction

A large number of studies were conducted on the impact of roads on the state of atmospheric air. These studies have found that near main streets the level of air pollution by chemicals and harmful compounds significantly exceeds the maximum permissible values. The concentration of harmful

impurities in the air of working zones in open areas along highways depends on the characteristics of traffic on the road, the density of traffic flow and environmental parameters, as well as the location of buildings and structures, the presence of green spaces.

The size of the contaminated zone is influenced by a number of factors that can be divided into groups [3–4, 8–10]:

ЕКОЛОГІЯ ТА ПРОМИСЛОВА БЕЗПЕКА

– anthropogenic factors – traffic intensity, traffic flow composition, fuel type and its quality, road condition;

– natural factors – meteorological factors of the natural environment, the direction and speed of air;

– architectural-planned factors – the characteristics of the adjacent buildings.

The highest level of pollution is observed on the roads of citywide value with a regulated traffic and with great intensity. A large contribution to the general air pollution is also made by industrial enterprises, which are located in the vicinity of working zones in open areas near the highway [7, 13]. The most unfavorable sections of the road are places with a forced stop of vehicles – at intersections, in places with low traffic capacity, near public transport stops. In these places, the concentration of pollutants reaches peak values [5]. In this regard, drivers and employees of open trade, whose jobs are located in these areas, receive more pronounced loads on their body. Studies have also shown that the organization of continuous movement of vehicles with the highest possible speed leads to a decrease in pollutant emissions [2]. It has been established that on the places of forced stopping of vehicles the concentration of carbon monoxide is 2.5–4 times higher than in the areas of continuous traffic.

One of the most effective ways to protect working places that are located in open areas or in buildings near highways is the use of protective engineering structures (screens) [12, 14]. The advantages of using screens in comparison with green areas include constant efficiency, which comes from the moment they were installed, regardless of the season and the density of the leaves.

An extremely important task is to minimize the level of chemical pollution at working zones in open areas.



Fig. 1. Placing the screen along the motorway

Creative Commons Attribution 4.0 International
doi: 10.15802/stp2019/164923

One of the effective means is to use screens (Fig. 1). The screens allow changing the trajectory of the pollution particles and reducing locally chemical pollution in the working area.

The efficiency of the screens is influenced by: meteorological conditions (wind speed and direction), the intensity of emission of pollutants on the highway, the presence of local obstacles and so on.

An extremely important task is to fulfill the forecast of the effectiveness of the screens at the design stage, as well as future plans for the implementation of protective measures. Screen effect is used for specific local conditions. Abroad the Navier-Stokes equation is used to solve this problem, but the implementation of such developments requires a considerable amount of time to obtain results. The calculation time can be several days, so it is very important to have effective scientifically-based methods that allow you to quickly assess the use of screens.

Purpose

The main purpose of this study is to develop a new method for assessing the level of chemical air pollution in working zones located in open areas near highways using screens of different heights.

Methodology

To solve the problem, it is necessary to conduct research in two stages:

– determine the irregular air velocity field in working areas with screens;

– determine the concentration field of the chemical substance, which is formed under the influence of the air flow rate and atmospheric diffusion.

This method allows predicting the level of chemical pollution in working zones in open areas using screens of different heights. A feature of this method is that the irregular velocity field of the air flow in the presence of a screen is determined on the basis of an exact analytical solution of the aerodynamic problem. The mathematical apparatus of the functions of a complex variable is used for solving this problem. This method is used to calculate currents, which are described by the Laplace equation for a potential flow (1):

ЕКОЛОГІЯ ТА ПРОМИСЛОВА БЕЗПЕКА

$$\frac{\partial^2 P}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 P}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 P}{\partial z^2} = 0, \quad (1)$$

The formulation of the boundary problem for airflow around the screen is considered in [6, p. 267-271].

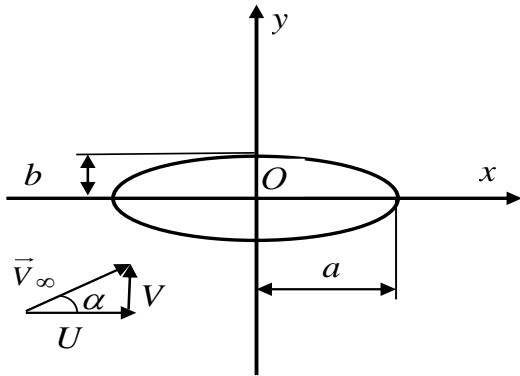


Fig. 2. Airflow around the ellipse

When using the theory of functions of a complex variable, we use the following approach to solve the problem. We consider an ellipse (Fig. 2), which is covered by the flow with speed \vec{V}_∞ . As it is known, the ellipse equation has the form:

$$\frac{x^2}{a^2} + \frac{y^2}{b^2} = 1, \quad a > b, \quad (2)$$

where a , b – larger and smaller axis of the ellipse (Fig. 2). If the velocity at infinity \vec{V}_∞ makes a certain angle α with the longitudinal axis of the ellipse [6], then the vector \vec{V}_∞ can be decomposed into components $\vec{V}_\infty = U + iV$.

We will consider oblique flow as a result of the addition of longitudinal and transverse flow with velocities U and V at infinitely distant points. Then the complex potential of such a resultant flow can be represented as the sum of the corresponding complex potentials (3) and (4):

$$W(z) = \frac{U}{a-b} (az - b\sqrt{z^2 - c^2}), \quad (3)$$

$$W(z) = \frac{Vi}{a-b} (bz - a\sqrt{z^2 - c^2}). \quad (4)$$

As a result of the linearity of the Laplace equation (1), which satisfies the complex potential $W(z) = \varphi + i\psi$, it is possible to obtain the potential of the form:

$$W(z) = \frac{1}{a-b} \left[(az - b\sqrt{z^2 - c^2}) \cdot U + i(bz - a\sqrt{z^2 - c^2}) \cdot V \right], \quad (5)$$

where $W(z) = \varphi + i\psi$ – air velocity potential, $W(z) = \varphi + i\psi$ – current function.

Assuming $c = a$, $U = 0$, $b = 0$, we get the following expression for the complex potential:

$$W(z) = \frac{1}{a} \left[az \cdot U + i(-a)\sqrt{z^2 - a^2} \cdot V \right] = -i\sqrt{z^2 - a^2} \cdot V. \quad (6)$$

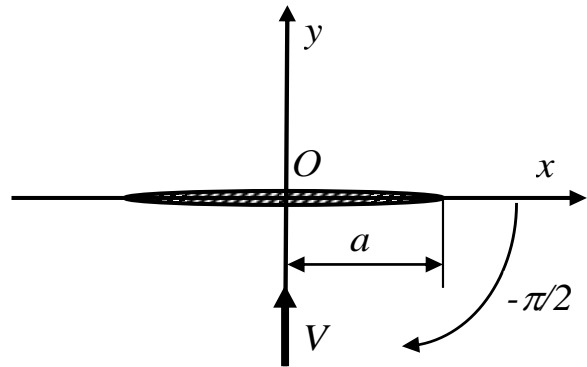


Fig. 3. Airflow around a flat plate

Potential (6) corresponds to the process of wrapping around an infinitely flat strip width $2a$ (Fig. 3).

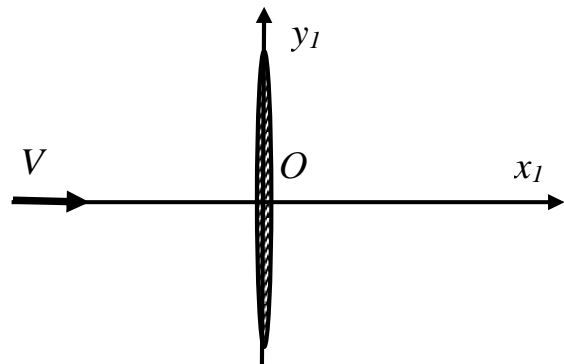


Fig. 4. Airflow in a coordinate system wrap around a flat plate x_1Oy_1

ЕКОЛОГІЯ ТА ПРОМИСЛОВА БЕЗПЕКА

In the complex plane xOy , $z = x + iy$, by making a turn through an angle $-\frac{\pi}{2}$ (Fig. 3), we get the system x_1Oy_1 , where $z_1 = x_1 + iy_1$ (Fig. 4),

$$\begin{aligned} z_1 &= (x + iy)e^{i(-\frac{\pi}{2})} = \\ &= (x + iy) \cdot \left(\cos \frac{\pi}{2} - i \cdot \sin \frac{\pi}{2} \right) = \\ &= (x + iy) \cdot (-i) = -xi + y. \end{aligned} \quad (7)$$

We introduce new notations $x_1 = y$, $y_1 = -x$, then $z_1 = ze^{-i\frac{\pi}{2}}$, $z = z_1e^{i\frac{\pi}{2}} = z_1i$. The complex potential with respect to the variable z_1 takes the following form:

$$\begin{aligned} W(z_1) &= -iV\sqrt{(z_1i)^2 - a^2} = \\ &= -iV\sqrt{-(z_1^2 + a^2)} = \\ &= -iV\sqrt{-1} \cdot \sqrt{z_1^2 + a^2} = V\sqrt{z_1^2 + a^2}. \end{aligned} \quad (8)$$

Since

$$\begin{aligned} W(z_1) &= V\sqrt{z_1^2 + a^2} = \varphi + i\psi = \\ &= V\sqrt{(z_1 - ia)(z_1 + ia)} = \\ &= V\sqrt{\rho_1 e^{i\theta_1} \cdot \rho_2 e^{i\theta_2}} = \\ &= V\sqrt{\rho_1 \rho_2} \cdot e^{\frac{i(\theta_1 + \theta_2)}{2}} = \\ &= V\sqrt{\rho_1 \rho_2} \left(\cos \frac{\theta_1 + \theta_2}{2} + i \sin \frac{\theta_1 + \theta_2}{2} \right). \end{aligned} \quad (9)$$

From relation (9), we obtain the dependences for the potential of velocity φ and the current function ψ :

$$\varphi = V\sqrt{\rho_1 \rho_2} \cos \frac{\theta_1 + \theta_2}{2}, \quad (10)$$

$$\psi = iV\sqrt{\rho_1 \rho_2} \sin \frac{\theta_1 + \theta_2}{2}. \quad (11)$$

In order to get an expression for the coupled speed $\frac{dW}{dz_1} = V_x - iV_y$, take the derivative using expression (9):

$$\begin{aligned} \frac{dW}{dz_1} &= \frac{Vz_1}{\sqrt{z_1^2 + a^2}} = \\ &= \frac{V(x_1 + iy_1)}{\sqrt{\rho_1 \rho_2}} \cdot e^{\frac{-i(\theta_1 - \theta_2)}{2}} = \\ &= \frac{V(x_1 + iy_1)}{\sqrt{\rho_1 \rho_2}} \left(\cos \frac{\theta_1 + \theta_2}{2} - i \sin \frac{\theta_1 + \theta_2}{2} \right) = \\ &= \frac{V}{\sqrt{\rho_1 \rho_2}} \left[\left(x_1 \cos \frac{\theta_1 + \theta_2}{2} + y_1 \sin \frac{\theta_1 + \theta_2}{2} \right) + \right. \\ &\quad \left. + i \left(y_1 \cos \frac{\theta_1 + \theta_2}{2} - x_1 \sin \frac{\theta_1 - \theta_2}{2} \right) \right]. \end{aligned} \quad (12)$$

From relation (12), we obtain the expressions for the components of the airflow velocity vector:

$$\begin{cases} V_x = \frac{V}{\sqrt{\rho_1 \rho_2}} \left(x_1 \cos \frac{\theta_1 + \theta_2}{2} + y_1 \sin \frac{\theta_1 + \theta_2}{2} \right); \\ V_y = \frac{V}{\sqrt{\rho_1 \rho_2}} \left(y_1 \cos \frac{\theta_1 + \theta_2}{2} - x_1 \sin \frac{\theta_1 + \theta_2}{2} \right). \end{cases} \quad (13)$$

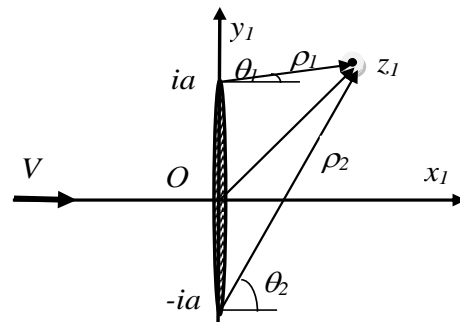


Fig. 5. Determining the parameters of the air flow rate at an arbitrary point

According to Fig. 5 we obtain the following expressions for the modules of the radius vectors and angles that determine the position of a point on the plane.

$$\theta_2 = \arctg \frac{y_1 + a}{x_1},$$

ЕКОЛОГІЯ ТА ПРОМИСЛОВА БЕЗПЕКА

$$z_1 - ia = x_1 + iy_1 - ia = x_1 + i(y_1 - a), \quad (14)$$

$$\rho_1 = \sqrt{x_1^2 + (y_1 - a)^2}, \quad (15)$$

$$z_1 + ia = x_1 + iy_1 + ia = x_1 + i(y_1 + a), \quad (16)$$

$$\rho_2 = \sqrt{x_1^2 + (y_1 + a)^2}, \quad (17)$$

$$\theta_1 = \arctg \frac{y_1 - a}{x_1}, \quad (18)$$

The obtained dependences (13) – (18) are the basic formulas for calculating the air flow velocity field in the working zones with a screen. Note that in practical use of the obtained analytical dependences for calculating the components of the velocity vector near the screen with height H , it is necessary to take into account that $a=H/2$.

Using the obtained analytical relations (13) – (18), it is possible to calculate the components of the air flow rate u , v , to use this information to model the dispersion of chemical pollution in working zone.

A two-dimensional mass transfer equation is used to predict the level of air pollution in working areas:

$$\frac{\partial[CO]}{\partial t} + \frac{\partial u[CO]}{\partial x} + \frac{\partial v[CO]}{\partial y} = \operatorname{div}(\mu \operatorname{grad}[CO]) + \sum_{i=1}^n Q_i(t) \delta(x - x_i) \delta(y - y_i). \quad (19)$$

where Q_{CO} – emission rate of CO , u , v – wind velocity vector components; $\mu = (\mu_x, \mu_y)$ – turbulent diffusion coefficients; x, y – coordinates of the emission source; $\delta(x - x_0) \delta(y - y_0)$ – Dirac delta function, which simulates the release of pollutant. The values of the diffusion coefficients is calculated by the formulas: $\mu_x = (0,1 \div 1) \cdot U$, $\mu_y = (0,1 \div 1) \cdot U$, where U – wind speed [11].

At the border, where the flow enters the calculated area, the concentration of pollution is known $C_{r_1} = C_s$. If pollution from outside is not taken into account, then $C_{r_1} = 0$. At the border, where the air masses flow out of the computational area,

the diffusive transfer is neglected with respect to the convective one, namely, $\left. \frac{\partial C}{\partial n} \right|_{r_2} = 0$. Everywhere on solid surfaces, a condition of impermeability is set $\frac{\partial C}{\partial n} = 0$.

Initial condition for the equation (19) $C|_{t=0} = 0$ or $C|_{t=0} = C_0$.

Findings

The developed prediction method was used to solve the problem of assessing the level of pollution in working zones in open areas with an emission source, with the presence of a screen of various heights and its absence. A calculation program «Screen» was created. The scheme of the calculated area is shown in Fig. 6. The calculations were performed with the following data: air flow rate 5 m/s, average emission intensity CO – 0.058 g/s, geometrical dimensions – 8 m on axis Ox and 6 m on axis Oy .

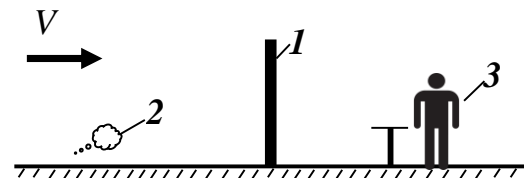


Fig. 6. The computational area:
1 – screen, 2 – emission source of CO ,
3 – employee in working area

Three scenarios were considered: in the absence of a screen (Fig. 7 a), with screen height $H=1.2$ m (Fig. 7 b) and $H=1.8$ m (Fig. 7 c). Below are the zones of pollution that are formed for each scen x_0, y_0 ario.

As can be seen from Fig. 7, the screen causes deformation of the contaminated zone; the greatest concentration gradient is formed at the emission source. The presence of the screen causes a reversal of the pollution zone, which leads to its decrease and decrease in the CO concentration in the working zone.

ЕКОЛОГІЯ ТА ПРОМИСЛОВА БЕЗПЕКА

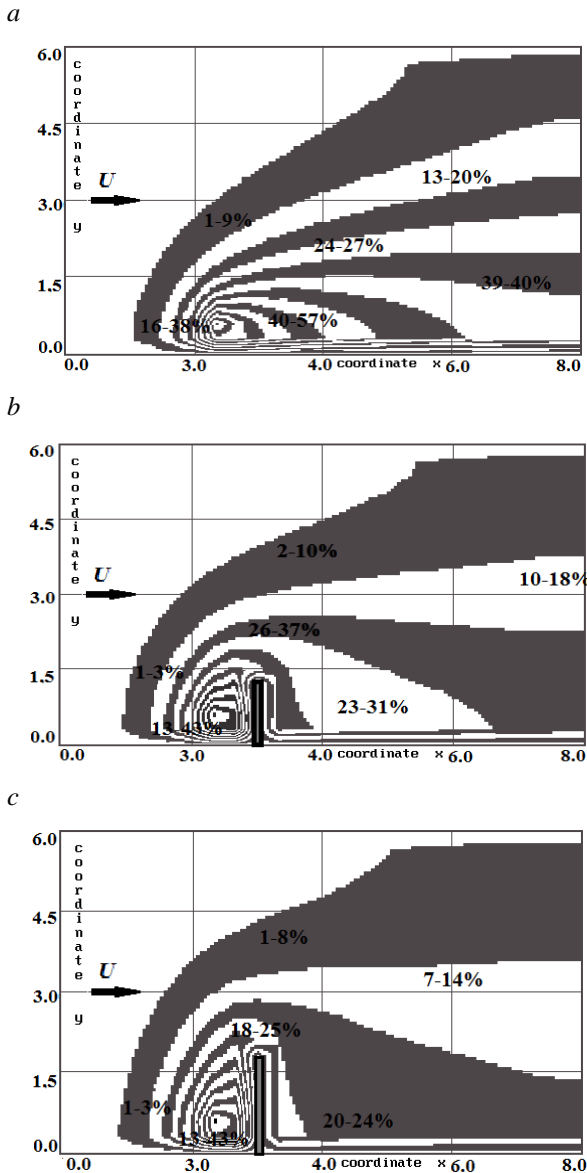


Fig. 7. Concentration field distribution CO $t=9$ s:
a – with no screen; *b* – with screen height $H=1.2$ m;
c – with screen height $H=1.8$ m

In Fig. 8 the distribution of CO concentrations at different distances from the emission source at a height $H=2$ m from the surface of the earth is shown.

At the installation site of the screen, the concentration values increase as the flow decelerates, but behind the screen the concentration value slowly decreases and, compared to the absence of screen, the concentration decreases by 11% at a screen height of 1.2 m and by 15% at a screen height of 1.8 m, i.e. increasing the height of the screen leads to a decrease in the concentration of pollution.

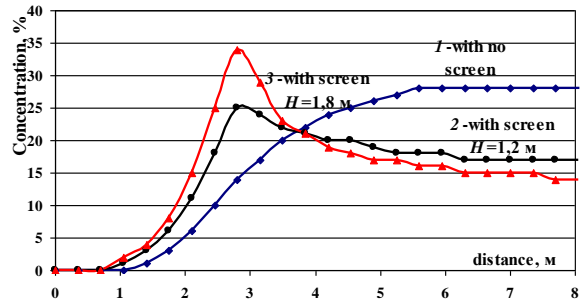


Fig. 8. Concentration distribution of CO at height 2 m:

1 – with no screen; 2 – with screen $H=1.2$ m;
 3 – with screen $H=1.8$ m

Thus, the use of the screen leads to a decrease in the level of air pollution in the working areas, which reduces the risk of chronic diseases among the employees of the take-out trade near the road (Fig. 9).

In Fig. 9 the change in the risk of chronic CO intoxication over 10 years is shown at a distance of 2 m from the source of pollution and at a height from the ground $H=1.2$ m (human respiratory organs) [1, 7].

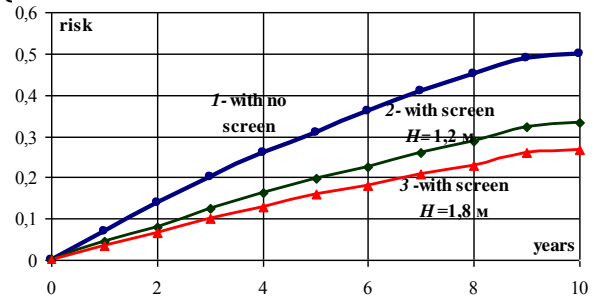


Fig. 9. Changing of the risk of chronic carbon monoxide intoxication:

1 – with no screen; 2 – with screen height $H=1.2$ m;
 3 – with screen height $H=1.8$ m

After five years, the risk of chronic diseases in the absence of a screen is 31 %, in the presence of a screen 1.2 m high, this value is 21 %, with a screen in height of 1.8 m is 15 %. Thus, the presence of the screen reduces the risk of chronic CO intoxication by 10%, increasing the screen height to 1.8 m reduces the risk by 6% relatively to the situation when the screen height is $H = 1.2$ m.

Originality and practical value

1. A numerical-analytical method for evaluating the effectiveness of screen application for reducing the level of chemical air pollution in working areas in open areas is proposed.

ЕКОЛОГІЯ ТА ПРОМИСЛОВА БЕЗПЕКА

2. The authors obtained the distribution of the carbon monoxide concentration field in the working area near the highway for three scenarios: in the absence of a screen, in the presence of a screen in height $H=1.2$ m and $H=1.8$ m.

3. The regularities of changes in the concentration of carbon monoxide are established depending on the distance to the emission source at a height from the surface of the earth $H=2$ m.

4. An assessment of the risk of chronic carbon monoxide intoxication has been carried out for open trade workers near the highway.

The fulfillment of the forecast regarding the level of atmospheric air pollution with carbon monoxide, taking into account the effectiveness of the screens, is a necessary step in the planned organization of trading places near highways.

Conclusions

As a result of research, the following results were obtained:

– an analytical method was proposed for calculating the airflow velocity field near protective

screens based on the theory of functions of a complex variable;

– the method allows to obtain the value of the velocity potential and the current function, to calculate the velocity value at any point of the plane with a screen of different heights;

– the resulting velocity field is necessary to calculate the carbon monoxide concentration level;

– the developed program of numerical calculation allows a number of computational experiments on the effectiveness of the use of protective screens, taking into account changes in their geometry and meteorological conditions;

– the developed method based on the obtained concentration field allows to carry out an assessment of the risk of chronic intoxication for employees of the open trade, who were within the zone of the emission source (highway) for a long time.

The perspective of development of this direction is the creation of a methodology that allows performing risk assessment for workers of the main industrial trade within small architectural buildings.

LIST OF REFERENCE LINKS

1. Алымов, В. Т. Техногенный риск. Анализ и оценка : учеб. пособие для вузов / В. Т. Алымов, Н. П. Тарасова. – Москва : Академкнига, 2004. – 118 с.
2. Безкровна, О. В. Організація моніторингового дослідження забруднення повітря автотранспортом у Деснянському районі м. Києва / О. В. Безкровна, В. П. Скопенко // Гігієна населених місць : зб. наук. пр. – Київ, 2011. – Вип. 57. – С. 72–76.
3. Беляев, Н. Н. Численные модели для прогноза загрязнения атмосферного воздуха выбросами автотранспорта / Н. Н. Беляев, Е. С. Славинская, Р. В. Кириченко // Наука та прогрес транспорту. – 2016. – № 6 (66). – С. 25–32. doi: 10.15802/stp2016/90457
4. Внукова, Н. В. Вибір екологічно значимих параметрів автотранспортних систем для оцінки екологічної небезпеки придорожного простору / Н. В. Внукова, Г. М. Желновач // Екологічна безпека. – 2011. – № 2/2011 (12). – С. 119–123.
5. Вплив транспортних чинників на екологічний стан великих міст / В. Ф. Бабій, В. М. Худова, О. Є. Кондратенко, А. М. Пономаренко // Гігієна населених місць : зб. наук. пр. – Київ, 2011. – Вип. 58. – С. 57–60.
6. Кочин, Н. Е. Теоретическая гидромеханика : учебник : в 2 ч. / Н. Е. Кочин, И. А. Кибель, Н. В. Розе. – Москва : Физматлит, 1963. – Ч. 1. – 583 с.
7. Особливості формування канцерогенного ризику для населення, що проживає в зоні впливу автомагістралі / І. О. Черниченко, Я. В. Першегуба, О. М. Литвиненко, О. В. Швагер // Гігієна населених місць : зб. наук. пр. – Київ, 2010. – Вип. 56. – С. 159–167.
8. Прищепов, О. Ф. Особливості розсіювання шкідливих речовин викидів автотранспорту у повітрі в умовах міста / О. Ф. Прищепов, О. С. Левицька // Наукові праці [Чорноморського державного університету імені Петра Могили комплексу «Києво-Могилянська академія»]. Серія: Техногенна безпека. Радіобіологія. – 2009. – Т. 111, вип. 98. – С. 139–146.
9. Прищепов, О. Ф. Оцінка стану забруднення атмосферного повітря оксидом вуглецю на автомагістралях міста Миколаєва / О. Ф. Прищепов, О. С. Левицька // Наукові праці [Чорноморського державного

ЕКОЛОГІЯ ТА ПРОМИСЛОВА БЕЗПЕКА

- університету імені Петра Могили комплексу «Києво-Могилянська академія»]. Серія: Техногенна безпека. Радіобіологія. – 2008. – Т. 77, вип. 64. – С. 70–74.
10. Русакова, Т. И. Оценка экологической ситуации при авариях на дорогах города / Т. И. Русакова // Наука та прогрес транспорту. – 2015. – № 2 (56). – С. 65–76. doi: 10.15802/stp2015/42171
 11. Численное моделирование распространения загрязнения в окружающей среде / М. З. Згуровский, В. В. Скопецкий, В. К. Хрущ, Н. Н. Беляев. – Киев : Наук. думка, 1997. – 368 с.
 12. Hajrudin Dzafic, Ejub Dzafic (2017). Numerical Simulation of Air-Water Two Phase Flow Over Coanda-Effect Screen Structure. *In book: Advanced Technologies, Systems, and Applications, point 20*, 1-7. doi: DOI: 10.1007/978-3-319-47295-9_20 (in English)
 13. Determination of areas of atmospheric air pollution by sulfur oxide emissions from mining and metallurgical and energy generating enterprises / M. M. Biliaiev, T. I. Rusakova, V. Y. Kolesnik, A. V. Pavlichenko // Науковий вісник НГУ. – 2017. – № 3. – С. 100–106.
 14. Se-Woon Hong, I.-B. Lee, Il-hwan Seo (2015). Modelling and predicting wind velocity patterns for windbreak fence design. *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics*, 142, 53-64. doi: 10.1016/j.jweia.2015.03.007 (in English)

М. М. БІЛЯЄВ^{1*}, Т. І. РУСАКОВА^{2*}, В. І. ШИНКАРЕНКО³

^{1*}Каф. «Гідравліка та водопостачання», Дніпровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна, вул. Лазаряна, 2, Дніпро, Україна, 49010, тел. +38 (056) 273 15 09, ел. пошта water.supply.treatment@gmail.com, ORCID 0000-0002-1531-7882

^{2*}Каф. «Аерогідромеханіка та енергомасоперенос», Дніпровський національний університет імені О. Гончара, вул. Казакова, 18, Дніпро, Україна, 49010, тел. +38 (056) 776 82 05, ел. пошта rusakovati1977@gmail.com, ORCID 0000-0001-5526-3578

³Каф. «Комп'ютерні інформаційні технології», Дніпровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна, вул. Лазаряна, 2, Дніпро, Україна, 49010, тел. +38 (056) 373 15 35, ел. пошта shinkarenko_vi@ua.fm, ORCID 0000-0001-8738-7225

МІНІМІЗАЦІЯ РІВНЯ ХІМІЧНОГО ЗАБРУДНЕННЯ В РОБОЧИХ ЗОНАХ НА ВІДКРИТІЙ МІСЦЕВОСТІ ЗА ДОПОМОГОЮ ЕКРАНІВ

Мета. Наукова робота має на меті розробку нового методу оцінки рівня хімічного забруднення повітря в робочих зонах, розташованих на відкритій місцевості біля автомагістралей, у разі використання екранів різної висоти. **Методика.** Аналітичний метод розрахунку поля швидкості повітряного потоку біля захисних екранів ґрунтується на математичному апараті – теорії функцій комплексної змінної, яка дозволяє отримати значення потенціалу швидкості й функції потоку, обчислити значення швидкості в будь-якій точці площини за наявності екрана різної висоти. Отримане поле швидкості використовують для розрахунку рівня концентрації оксиду вуглецю (CO) під час чисельного розв'язання двовимірного рівняння масопереносу. **Результати.** Запропонована програма чисельного розрахунку дозволяє проводити обчислювальні експерименти з ефективності застосування захисних екранів з урахуванням зміни їх геометрії і метеорологічних умов. Розроблений метод, на основі отриманого поля концентрації, дає можливість виконувати оцінку ризику хронічної інтоксикації для працівників виносної торгівлі, які тривалий час перебувають у зоні дії джерела емісії (автомагістралі). **Наукова новизна.** Установлено закономірності зміни концентрації оксиду вуглецю залежно від відстані до джерела емісії на висоті від поверхні землі 2 м за наявності екрана певної висоти і за його відсутності. Виконано оцінку ризику хронічної інтоксикації оксидом вуглецю для працівників виносної торгівлі біля автомагістралі. Показано, що присутність екрана знижує ризик хронічної інтоксикації CO на 10 % порівняно з його відсутністю. Збільшення висоти екрана до 1,8 м призводить до зменшення ризику хронічної інтоксикації на 6 % відносно ситуації, коли висота екрана складає 1,2 м. **Практична значимість.** Розроблений чисельно-аналітичний метод розрахунку рівня хімічного забруднення в робочих зонах на відкритій місцевості та створена на його основі програма «Screen» дозволяють оперативного виконувати прогнози рівня забруднення атмосферного повітря оксидом вуглецю з урахуванням ефективності дії екранів. Кількісні результати є необхідними на етапі планування місць торгівлі біля автомагістралей, під час архітектурно-планової реорганізації прилеглих забудов.

Ключові слова: автомагістраль; комплексний потенціал; розсіювання домішки; робоча зона; ризик захворювання

Н. Н. БЕЛЯЕВ^{1*}, Т. И. РУСАКОВА^{2*}, В. И. ШИНКАРЕНКО³

^{1*}Каф. «Гидравлика и водоснабжение», Днепропетровский национальный университет железнодорожного транспорта имени академика В. Лазаряна, ул. Лазаряна, 2, Днепро, Украина, 49010, тел. +38 (056) 273 15 09, эл. почта water.supply.treatment@gmail.com, ORCID 0000-0002-1531-7882

^{2*}Каф. «Аэрогидромеханика и энергомассоперенос», Днепропетровский национальный университет имени О. Гончара, ул. Казакова, 18, Днепро, Украина, 49010, тел. +38 (056) 776 82 05, эл. почта gusakovati1977@gmail.com, ORCID 0000-0001-5526-3578

³Каф. «Компьютерные информационные технологии», Днепропетровский национальный университет железнодорожного транспорта имени академика В. Лазаряна, ул. Лазаряна, 2, Днепро, Украина, 49010, тел. +38 (056) 373 15 35, эл. почта shinkarenko_vi@ua.fm, ORCID 0000-0001-8738-7225

МИНИМИЗАЦИЯ УРОВНЯ ХИМИЧЕСКОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ В РАБОЧИХ ЗОНАХ НА ОТКРЫТОЙ МЕСТНОСТИ С ПОМОЩЬЮ ЭКРАНОВ

Цель. Научная работа своей целью имеет разработку нового метода оценки уровня химического загрязнения воздуха в рабочих зонах, расположенных на открытой местности возле автомагистралей, при использовании экранов разной высоты. **Методика.** Аналитический метод расчета поля скорости воздушного потока возле защитных экранов основывается на математическом аппарате – теории функций комплексного переменного, которая позволяет получить значение потенциала скорости и функции потока, вычислить значение скорости в любой точке плоскости при наличии экрана различной высоты. Полученное поле скорости используют для расчета уровня концентрации оксида углерода (СО) при численном решении двумерного уравнения массопереноса. **Результаты.** Предложенная программа численного расчета позволяет проводить вычислительные эксперименты по эффективности применения защитных экранов с учетом изменения их геометрии и метеорологических условий. Разработанный метод, на основе полученного поля концентрации, дает возможность выполнять оценку риска хронической интоксикации для работников выносной торговли, которые длительное время находятся в зоне действия источника эмиссии (автомагистрали). **Научная новизна.** Установлены закономерности изменения концентрации оксида углерода в зависимости от расстояния до источника эмиссии на высоте от поверхности земли 2 м при наличии экрана определенной высоты и при его отсутствии. Выполнена оценка риска хронической интоксикации оксидом углерода для работников выносной торговли возле автомагистрали. Показано, что присутствие экрана снижает риск хронической интоксикации СО на 10 % по сравнению с его отсутствием. Увеличение высоты экрана до 1,8 м приводит к уменьшению риска хронической интоксикации на 6 % по отношению к ситуации, когда высота экрана составляет 1,2 м. **Практическая значимость.** Разработанный численно-аналитический метод расчета уровня химического загрязнения в рабочих зонах на открытой местности и созданная на его основе программа «Screen» позволяют оперативно выполнять прогноз уровня загрязнения атмосферного воздуха оксидом углерода с учетом эффективности действия экранов. Количественные результаты являются необходимыми на этапе планирования мест торговли возле автомагистралей, при архитектурно-плановой реорганизации прилегающих застроек.

Ключевые слова: автомагистраль; комплексный потенциал; рассеивание примеси; рабочая зона; риск заболевания

REFERENCES

1. Alymov, V. T., & Tarasova, N. P. (2004). *Tekhnogennyy risk. Analiz i otsenka: uchebnoye posobie dlya vuzov*. Moscow: Akademkniga. (in Russian)
2. Beskrovnaya, E. V., & Skopenko, V. P. (2011). Monitoring study of atmosphere pollution by vehicles in desnyanskiy region Kyiv city. *Hihiiena naselenykh mist, 57*, 72-76. (in Ukrainian)
3. Biliaiev, M. M., Slavinska, O. S., & Kyrychenko, R. V. (2016). Numerical prediction models for air pollution by motor vehicle emissions. *Science and Transport Progress, 6(66)*, 25-32. doi: 10.15802/stp2016/90457 (in Russian)
4. Vnukova, N. V., & Zhelnovach, G. M. (2011). Selection of autotransport systems environmentally significant parameters to assess environmental hazard of roadside area. *Ecological Safety, 2/2011(12)*, 119-123. (in Ukrainian)

ЕКОЛОГІЯ ТА ПРОМИСЛОВА БЕЗПЕКА

5. Babii, V. F., Khudova, V. N., Kondratenko, Y. Y., & Ponomarenko, A. N. (2011). Impact of transport factors on the ecological state in large cities. *Hihiiena naselenykh mist, 58*, 57-60. (in Ukrainian)
6. Kochin, N. Y., Kibel, I. A., & Roze, N. V. (1963). *Teoreticheskaya Gidromekhanika* (Vol. 1-2). Moscow: Fizmatlit. (in Russian)
7. Chernychenko, I. O., Pershehuba, Y. V., Lytvynenko, O. M., & Shvaher, O. V. (2010). Osoblyvosti formuvannya kantserohennoho ryzyku dlia naselennia, shcho prozhyvaie v zoni vplyvu avtomahistrali. *Hihiiena naselenykh mist, 56*, 159-167. (in Ukrainian)
8. Pryshchepov, O. F., & Levytska, O. S. (2009). Osoblyvosti rozsiuvannya shkidlyvykh rehovyn vykydiv avtotransportu u povitri v umovakh mista. *Naukovi pratsi [Chornomorskoho derzhavnoho universytetu imeni Petra Mohyly kompleksu «Kyievo-Mohylianska akademiia»]. Serii: Tekhnohenna bezpeka. Radiobiolohiia, 111(98)*, 139-146. (in Ukrainian)
9. Pryshchepov, O. F., & Levytska, O. S. (2008). Otsinka stanu zabrudnennia atmosfernoho povitria oksydom vuhletsiu na avtomahistraliakh mista Mykolaieva. *Naukovi pratsi [Chornomorskoho derzhavnoho universytetu imeni Petra Mohyly kompleksu «Kyievo-Mohylianska akademiia»]. Serii: Tekhnohenna bezpeka. Radiobiolohiia, 77(64)*, 70-74. (in Ukrainian)
10. Rusakova, T. I. (2015). Evaluation of ecological situation in case of accidents on township roads. *Science and Transport Progress, 2(56)*, 65-76. doi: 10.15802/stp2015/421 (in Russian)
11. Zgurovskiy, M. Z., Skopetskiy, V. V., Khrushch, V. K., & Belyaev, N. N. (1997). *Chislennoe modelirovanie rasprostraneniya zagryazneniya v okruzhayushchey srede*. Kyiv: Naukova dumka. (in Russian)
12. Biliaiev, M. M., Rusakova, T. I., Kolesnik, V. Y., & Pavlichenko, A. V. (2017). Determination of areas of atmospheric air pollution by sulfur oxide emissions from mining and metallurgical and energy generating enterprises. *Scientific Bulletin of National Mining University, 3*, 100-106. (in English)
13. Bruno, L., Fransos, D., & Lo Giudice, A. (2018). Solid barriers for windblown sand mitigation: Aerodynamic behavior and conceptual design guidelines. *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics, 173*, 79-90. doi: 10.1016/j.jweia.2017.12.005 (in English)
14. Li, B., & Sherman, D. J. (2015). Aerodynamics and morphodynamics of sand fences: A review. *Aeolian Research, 17*, 33-48. doi: 10.1016/j.aeolia.2014.11.005 (in English)

Received: Nov. 06, 2018

Accepted: March 15, 2019