

УДК 519.6:504.054:620.9

DOI: 10.30838/J.BPSACEA.2312.261223.16.1002

ОЦІНЮВАННЯ ВПЛИВУ ОБ'ЄКТА ЕНЕРГЕТИКИ НА ЗАБРУДНЕННЯ НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА

БІЛЯЄВА В. В.¹, докт. техн. наук, проф.,

ГУБІН О. І.², канд. техн. наук, доц.,

МАШИХІНА П. Б.^{3*}, канд. техн. наук, доц.,

УСЕНКО А. Ю.⁴, канд. техн. наук, доц.,

ТИМОШЕНКО Л. О.⁵, доц.

¹ Кафедра енергетичних систем та енергоменеджменту, Український державний університет науки і технологій, вул. Лазаряна, 2, 49010, Дніпро, Україна, тел. +38 (056) 374-98-22, e-mail: water.supply.treatment@gmail.com, ORCID ID: 0000-0003-2399-3124

² Кафедра аерогідромеханіки та енергомасопереносу, Дніпровський національний університет імені Олеся Гончара, пр. Гагаріна, 72, 49000, Дніпро, Україна, тел. +38 (056) 374-98-22, e-mail: water.supply.treatment@gmail.com, ORCID ID: 0000-0001-9434-2367

^{3*} Кафедра гідравліки, водопостачання та фізики, Український державний університет науки і технологій, вул. Лазаряна, 2, 49010, Дніпро, Україна, тел. +38 (056) 373-15-09, e-mail: gidro_eko@ukr.net, ORCID ID: 0000-0003-3057-9204

⁴ Кафедра енергетичних систем та енергоменеджменту, Український державний університет науки і технологій, вул. Лазаряна, 2, 49010, Дніпро, Україна, тел. +38 (056) 374-98-22, e-mail: usenkoau@gmail.com, ORCID ID: 0000-0001-7467-6220

⁵ Кафедра архітектури, Придніпровська державна академія будівництва та архітектури, вул. Архітектора Олега Петрова, 24-а, 49005, Дніпро, Україна, тел. +38 (056) 756-33-32, e-mail: tymoshenko.liubov@pdaba.edu.ua, ORCID ID: 0000-0002-8081-5458

Анотація. *Постановка проблеми.* Розглядається задача оцінювання впливу котельної на забруднення атмосферного повітря. Таке оцінювання дуже важливе у разі розташування котельень поблизу селитебних зон. Оскільки метеоумови для кожного регіону характеризуються зміною напрямку вітру, інтенсивністю атмосферної дифузії, появою штилю, важливо мати інформацію про формування зон забруднення в селитебних зонах. Для розв'язання даної задачі дуже важливе використання математичного моделювання, тому що наразі неможливо створити достатню кількість постів спостереження біля об'єктів паливно-енергетичного комплексу. **Мета роботи** – чисельний аналіз впливу котельної на інтенсивність забруднення атмосферного повітря за різних метеоумов. **Методика.** Для оцінювання зон забруднення, що формуються в атмосферному повітрі під час викиду з труби котельні, використовується 3D-рівняння конвективно-дифузійного переносу. Модель враховує атмосферну стратифікацію, інтенсивність емісії домішки, профіль вітру, швидкість вітру. Чисельне інтегрування рівняння конвективно-дифузійного переносу домішки здійснюється за допомогою скінченно різницевих схем. Моделювальне рівняння розщеплюється на рівняння конвективного переносу забруднювальної речовини та рівняння розсіювання забруднювальної речовини шляхом атмосферної дифузії. Окремо розв'язується рівняння, що описує зміну концентрації домішки в атмосферному повітрі внаслідок викиду забруднювальної речовини з труби. На наступному етапі будуються скінченно різницеві схеми, що дозволяють розв'язати рівняння розщеплення. **Наукова новизна.** На базі побудованої чисельної моделі визначені зони забруднення атмосферного повітря під час викиду CO з труби котельні. Запропонована чисельна модель дозволяє прогнозувати забруднення атмосферного повітря для різних метеоумов у рамках одного пакета програм. **Практична значущість.** Розроблено комп'ютерний пакет програм на базі запропонованої чисельної моделі, що дає можливість здійснювати аналіз зон хімічного забруднення атмосферного повітря, які формуються під час викиду домішки з труби котельні за різних метеоумов. **Висновки.** На базі запропонованої чисельної моделі здійснено прогнозування зон хімічного забруднення атмосферного повітря в селитебній зоні, в якій розташовується котельня. Наведено результати обчислювального експерименту.

Ключові слова: котельня; забруднення атмосфери; математичне моделювання; промислові викиди

ASSESSMENT OF THE ENERGY FACILITY IMPACT ON ENVIRONMENTAL POLLUTION

BILIAIEVA V.V.¹, Dr. Sc. (Tech.), Prof.,

GUBIN O.I.², Cand. Sc. (Tech.), Assoc. Prof.,

MASHYKHINA P.B.^{3*}, *Cand. Sc. (Tech.), Assoc. Prof.*,
USENKO A.Yu.⁴, *Cand. Sc. (Tech.), Assoc. Prof.*,
TYMOSHENKO L.O.⁵, *Assoc. Prof.*

¹ Department of Energy Systems and Energy Management, Ukrainian State University of Science and Technologies, 2, Lazaryana St., Dnipro, 49010, Ukraine, tel. +38 (056) 374-98-22, e-mail: water.supply.treatment@gmail.com, ORCID ID: 0000-0003-2399-3124

² Department of Aerohydrodynamics and Energy Mass-transfer, Oles Honchar Dnipro National University, 72, Haharina Ave., Dnipro, 49000, Ukraine, tel. +38 (056) 374-98-22, e-mail: water.supply.treatment@gmail.com, ORCID ID: 0000-0001-9434-2367

^{3*} Department of Hydraulics, Water Supply and Physics, Ukrainian State University of Science and Technologies, 2, Lazaryana St., Dnipro, 49010, Ukraine, tel. +38 (056) 373-15-09, e-mail: gidro_eko@ukr.net, ORCID ID: 0000-0003-3057-9204

⁴ Department of Energy Systems and Energy Management, Ukrainian State University of Science and Technologies, 2, Lazaryana St., Dnipro, 49010, Ukraine, tel. +38 (056) 374-98-22, e-mail: usenkoau@gmail.com, ORCID ID: 0000-0001-7467-6220

⁵ Department of Architecture, Prydniprovsk State Academy of Civil Engineering and Architecture, 24-a, Architect Oleh Petrov St., Dnipro, 49005, Ukraine, tel. +38 (056) 756-33-32, e-mail: tymoshenko.liubov@pdaba.edu.ua, ORCID ID: 0000-0002-8081-5458

Abstract. Problem statement. The task of assessing the influence of the boiler house on atmospheric air pollution is under consideration. Carrying out such an assessment is very important when locating boiler houses near residential areas. Since the weather conditions for each region are characterized by a change in the direction of the wind, the intensity of atmospheric diffusion, the appearance of a calm, it is important to have information about the formation of pollution zones in sedimentary zones. To solve this important problem, it is very important to use mathematical modeling, since it is currently impossible to create a sufficient number of observation posts near the objects of the fuel and energy complex. **The purpose of the article.** Numerical analysis of the influence of the boiler house on the intensity of atmospheric air pollution under different weather conditions. **Methodology.** The 3D equation of convective-diffusion transport is used to estimate the pollution zones formed in the atmospheric air when it is emitted from the boiler house pipe. The model takes into account atmospheric stratification, impurity emission intensity, wind profile, wind speed. Numerical integration of the equation of convective-diffusion transport of impurities is carried out using finite-difference schemes. The modeling equation is split into an equation for the convective transport of the pollutant and an equation for the dispersion of the pollutant due to atmospheric diffusion. The equation describing the change in the concentration of the impurity in the atmospheric air as a result of the emission of the pollutant from the pipe is solved separately. At the next stage, finite-difference schemes are built that allow solving the splitting equation. **Scientific novelty.** On the basis of the constructed numerical model, the zones of atmospheric air pollution during the emission of CO from the pipe of the boiler house are determined. A numerical model is proposed that allows forecasting atmospheric air pollution for different weather conditions within the framework of one program package. **Practical significance.** On the basis of the proposed numerical model, the forecasting of the zones of chemical pollution of the atmospheric air in the settlement zone in which the boiler house is located was carried out. The results of the computational experiment are presented.

Keywords: boiler house; atmospheric pollution; mathematical modeling; industrial emissions

Постановка проблеми. Функціонування об'єктів паливно-енергетичного комплексу пов'язане із забрудненням довкілля. Потрапляння забруднювальних речовин у повітря може мати місце як при організованих викидах (викид скрізь димові труби), так і за екстремальних ситуацій (аварійні розливи, пожежі тощо). Важливим завданням стали оцінювання впливу діючих об'єктів на інтенсивність забруднення довкілля. Особливо це важливо, якщо об'єкти паливно-енергетичного комплексу розташовані біля селитебних зон.

Слід зазначити, що організація системи постів спостереження біля об'єктів паливно-енергетичного комплексу потребує значного часу та коштів, тому в найближчий час про

неї говорити немає сенсу. Епізодичне вимірювання рівня забруднення повітря біля об'єктів не може дати надійну інформацію і такі дані вимірювань дуже складно систематизувати, оскільки значення концентрації домішки в повітрі залежить від багатьох факторів. Тому, важливо використовувати математичні моделі для аналізу впливу викидів на об'єктах паливно-енергетичного комплексу на довкілля.

Аналіз останніх досліджень. Математичні моделі дають можливість визначити вплив викидів від різних промислових об'єктів на довкілля, але, як правило, для певних метеорологічних умов [1–3; 8]. Потужні CFD-моделі [5–7; 9] дають можливість отримати систематизовану

інформацію щодо впливу викидів на довкілля, але багато часу потрібно на підготовку вхідних даних, розрахунків на ПЕОМ триває декілька діб. Тому CFD-моделі не можуть бути зараз щоденним інструментом прогнозних розрахунків. Отож актуальним залишається створення гнучких математичних моделей, що дають можливість у рамках одного пакета програм здійснювати розрахунок забруднення повітря за різних метеоумов.

Мета статті – чисельний аналіз впливу котельної на інтенсивність забруднення атмосферного повітря за різних метеоумов.

Методика. Розглядається викид CO від труби котельної, що розташована на пр. Перемоги, м. Дніпро (рис. 1). Ставиться задача визначення зон впливу під час роботи котельні у випадку конвекції та штилю.

Для формалізації метеоумов будемо використовувати підхід проф. М. Берлянда. Згідно з його підходом, виділяються два основні моменти при розв'язанні задач даного класу: розрахунок процесу поширення домішки в атмосферному повітрі та моделювання конкретних метеоумов за допомогою спеціальних функціональних залежностей для вертикального коефіцієнта дифузії та швидкості вітру.

У даній роботі процес поширення домішки моделюється на базі 3D-рівняння масопереносу [3–5]:

$$\frac{\partial C}{\partial t} + \frac{\partial uC}{\partial x} + \frac{\partial vC}{\partial y} + \frac{\partial wC}{\partial z} =$$

$$= \frac{\partial}{\partial x} \left(\mu_x \frac{\partial C}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\mu_y \frac{\partial C}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(\mu_z \frac{\partial C}{\partial z} \right) + (1)$$

$$+ \sum Q_i \delta(x - x_i) \delta(y - y_i) \delta(z - z_i).$$

де C – концентрація забруднювача в атмосферному повітрі; Q – інтенсивність викиду домішки від труби; μ_x, μ_y, μ_z – коефіцієнти атмосферної турбулентної дифузії; t – час.

Положення джерела емісії моделюється за допомогою дельта-функції Дірака: $\delta(x - x_i), \delta(y - y_i), \delta(z - z_i)$, де x_i, y_i, z_i – декартові координати джерела викиду.

Постановка крайових умов для рівняння (1) розглянута в [4; 5].

Якщо розглядаються умови конвекції, використовуються такі залежності, що відповідають за метеоумови [3; 4]:

$$\mu_x \approx \mu_y,$$

$$\mu_y = k_0 \cdot u,$$

$$\mu_z = k_1 \left(\frac{z}{z_1} \right)^m,$$

де $k_0 = 0,1 \div 1 \text{ м}$; $k_1 = 0,1 \div 0,2 \text{ м}^2/\text{с}$, $m \approx 1$ – параметр.

Зміна швидкості вітру, з висотою z , розраховується як:

$$u = u_1 \cdot \left(z/z_1 \right)^n,$$

де u_1 – швидкість вітру на висоті $z_1 = 1 \text{ м/с}$, $n = 0,16$.

Якщо розглядаються умови штилю, використовуються такі формули [3]:

$$\mu_z = \mu_1 \varphi_1(z), \mu_x = u_1 \varphi_2(z),$$

$$\mu_y = ku, \mu_x = ku,$$

де φ_1, φ_2 – спеціальні функції [3]; u_1 – швидкість вітру на висоті 10м; $k = 0,1$; μ_1 – значення коефіцієнта дифузії на висоті 1 м.

Таким чином, для аналізу впливу викидів CO з труби котельні потрібно розв'язати рівняння (1) з урахуванням залежностей (2)–(4) залежно від конкретної метеоумови (конвекція, штиль).

Для чисельного розв'язання рівняння (1) здійснюється наступне його розщеплення [4; 5]:

$$\frac{\partial C}{\partial t} + \frac{\partial uC}{\partial x} + \frac{\partial vC}{\partial y} + \frac{\partial wC}{\partial z} = 0,$$

$$\frac{\partial C}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial x} \left(\mu_x \frac{\partial C}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\mu_y \frac{\partial C}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(\mu_z \frac{\partial C}{\partial z} \right),$$

$$\frac{\partial C}{\partial t} = \sum Q_i \delta(x - x_i) \delta(y - y_i) \delta(z - z_i).$$

Далі для чисельного інтегрування першого рівняння цієї системи використовувалася така різницева схема розщеплення [4]:

– на першому кроці ($k=1/2$) різницеве рівняння має вигляд:

$$\frac{C_{i,j,k}^k - C_{i,j,k}^n}{\Delta t} + L_x^+ C^k + L_y^+ C^k + L_z^+ C^k = 0;$$

– на другому кроці розщеплення різницеве рівняння має вигляд:

$$\frac{C_{i,j,k}^{n+1} - C_{i,j,k}^k}{\Delta t} + L_x^- C^{n+1} + L_y^- C^{n+1} + L_z^- C^{n+1} = 0.$$

Значення різницевих операторів L_x^+ , L_x^- , L_y^+ наведені в [4]. Значення концентрації домішки в кожному рівнянні визначається за формулою «рахунку, що біжить».

Для чисельного інтегрування другого рівняння системи використовується двоетапна різницева схема розщеплення (схема сумарної апроксимації) [6]:

$$\begin{aligned} \frac{C_{i,j,k}^{n+\frac{1}{2}} - C_{i,j,k}^n}{\Delta t} &= \left[\mu_x \frac{-C_{i,j,k}^{n+\frac{1}{2}} + C_{i-1,j,k}^{n+\frac{1}{2}}}{\Delta x^2} \right] + \\ &+ \left[\mu_y \frac{-C_{i,j,k}^{n+\frac{1}{2}} + C_{i,j-1,k}^{n+\frac{1}{2}}}{\Delta y^2} \right] + \left[\mu_z \frac{-C_{i,j,k}^{n+\frac{1}{2}} + C_{i,j,k-1}^{n+\frac{1}{2}}}{\Delta z^2} \right], \\ \frac{C_{i,j,k}^{n+1} - C_{i,j,k}^{n+\frac{1}{2}}}{\Delta t} &= \left[\mu_x \frac{C_{i+1,j,k}^{n+1} - C_{i,j,k}^{n+1}}{\Delta x^2} \right] + \\ &+ \left[\mu_y \frac{C_{i,j+1,k}^{n+1} - C_{i,j,k}^{n+1}}{\Delta y^2} \right] + \left[\mu_z \frac{C_{i,j,k+1}^{n+1} - C_{i,j,k}^{n+1}}{\Delta z^2} \right]. \end{aligned}$$

Невідоме значення концентрації домішки визначається із цих залежностей за явною формулою.

Для чисельного інтегрування останнього рівняння системи використовується метод Ейлера. Дана залежність має вигляд [6]:

$$C_{ijk}^{n+1} = C_{ijk}^n + \Delta t \sum Q_i \delta(x - x_i) \delta(y - y_i) \delta(z - z_i).$$

Таким чином, для розрахунку концентраційних полів домішки послідовно розв'язуються наведені різницеві рівняння.

На базі розглянутої чисельної моделі розроблено комп'ютерний код «CALM-3М». До складу коду входять:

– CaM.DAT – файл початкових даних (формування даних про метеоумови, розташування джерела емісії тощо);

– CA2M – підпрограма типу «SUBROUTINE» для розрахунку концентраційного поля домішки в області дослідження при конвективному русі повітряних мас;

– CA4M – підпрограма типу «SUBROUTINE» для розрахунку концентраційного поля домішки внаслідок дії процесу атмосферної дифузії;

– CA6M – підпрограма типу «SUBROUTINE» для визначення параметрів моделі при штилі;

– CA7M – підпрограма типу «SUBROUTINE» для визначення параметрів моделі при конвекції;

– CA5M – підпрограма типу «SUBROUTINE» для визначення зміни значення концентрації домішки за дії джерела забруднення.

Результати. Далі наведені результати розв'язання задачі на базі розробленої чисельної моделі та створеного пакета прикладних програм. Розглядається викид CO з труби котельні, що розташована в м. Дніпро (рис. 1).

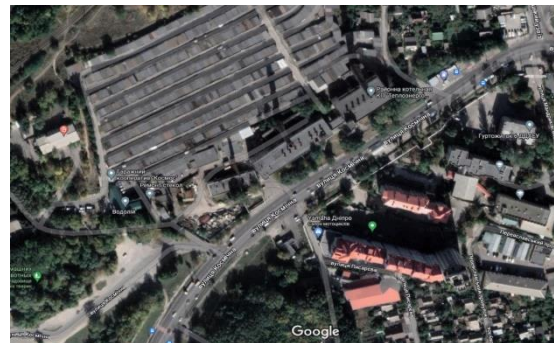


Рис. 1. Схема розрахункової області (Google Image, 2023)

Перший варіант – визначення зони забруднення атмосферного повітря в умовах конвекції. Дані для моделювання: швидкість вітру $V_1 = 2,2$ м/с, напрям вітру – в бік селитебної зони (четвертий Масив). Інтенсивність викиду CO приймається 2 г/с. Зона забруднення атмосферного повітря при конвекції показана на рисунку 2 (рівень $z = 15$ м). Ізолінії на рисунку 2 показують, у

скільки разів концентрація CO перевищує ГДК для селитебної зони.

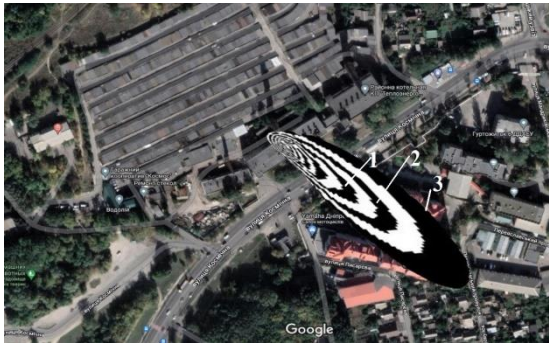


Рис. 2. Область забруднення атмосферного повітря при конвекції: 1 – 61 ГДК; 2 – 35 ГДК; 3 – 11 ГДК (Google Image, 2023)

Ізолінії на рисунку 3 також показують перевищення концентрації CO в атмосферному повітрі над ГДК для селитебної зони (рівень $z = 15$ м). Це результати моделювання для поширення домішки від труби котельні для умов штилю, другий варіант задачі ($u_1 = 0,5$ м/с, $\mu_1 = 0,5$ м²/с).



Рис. 3. Область забруднення при штилі, сценарій № 2: 1 – 214 ГДК; 2 – 123 ГДК; 3 – 87 ГДК (Google Image, 2023)

Як можна бачити з рисунка 2, при штилі область забруднення близька до форми

«кола» та покриває значну частину промислового майданчика.

Зазначимо, що час розрахунку кожного варіанта задачі складає 5 с. Таким чином, побудована математична модель дозволяє в рамках одного комп'ютерного коду швидко розраховувати форму та інтенсивність зон хімічного забруднення, що формуються в атмосферному повітрі для різних метеоумов.

Наукова новизна та практична цінність. Побудовано математичну модель для оцінювання рівня забруднення атмосферного повітря в разі емісії забруднювальних речовин із труби котельні. Створено комп'ютерний код, що дозволяє здійснювати прогнозування рівня забруднення атмосферного повітря для різних метеоумов. Це дає можливість отримувати комплексну оцінку забруднення повітря для типових метеоумов, що реалізуються в різних регіонах.

Висновки

1. Побудовано математичну модель, що дозволяє визначати рівень хімічного забруднення атмосферного повітря для різних метеоумов у випадку емісії забруднювальних речовин із труби котельні.

2. Побудована модель враховує найбільш важливі параметри, що впливають на формування зон забруднення в атмосферному повітрі. Особливість моделі – малі затрати часу на отримання прогнозних даних.

3. Розроблена математична модель може бути корисна для розв'язання задач оцінювання впливу на довкілля (ОВНС – оцінки впливу на навколишнє середовище) під час викиду домішок на енергетичних об'єктах.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Басманов А. Е., Говаленков С. С. Оценка концентрации опасных химических веществ в воздухе при непрерывной активности источника. *Проблеми надзвичайних ситуацій*. 2010. Вип. 12. С. 21–27.
2. Пляцук Л. Д., Бойко В. В. Аналіз методів математичного моделювання розповсюдження забруднюючих речовин в атмосфері. *Вісник КНУ ім. Михайла Остроградського*. 2010. Вип. 6. С. 1–4.
3. Берлянд М. Е. *Прогноз и регулирование загрязнения атмосферы*. 1985. 273 с.
4. Згуровский М. З., Скопецкий В. В., Хруц В. К., Беляев Н. Н. Численное моделирование распространения загрязнения в окружающей среде. Київ : Наукова думка, 1997. 368 с.
5. Пшинько А. Н., Беляев Н. Н., Машихина П. Б. Моделирование загрязнения атмосферы при техногенных авариях. Днепропетровск : Нова ідеологія, 2011. 166 с.
6. Самарский А. А. Теория разностных схем. 1983. 616 с.

7. Biliaiev M. Numerical Simulation of Indoor Air Pollution and Atmosphere Pollution for Regions Having Complex Topograph. *Air Pollution Modelling and its Application XXI (Springer)*. 2012. Pp. 87–91.

8. Ilic P., Ilic S., Stojanovic Bjelic L. Hazard modelling of accidental release chlorine gas using modern tool. ALOHA Software. *Quality of Life*. Vol. 9. 2018. Pp. 38–45.

9. Lacombe J.-M., Truchot D., Duplantier S. Application of an innovative risk dedicated procedure for both conventional and 3D atmospheric dispersion models evaluation. *18th International Conference on Harmonisation within Atmospheric Dispersion Modelling for Regulatory Purposes*. 2017. Pp. 1–5.

REFERENCES

1. Basmanov A.Ye. and Govalenkov S.S. *Otsenka kontsentratsii opasnykh khimicheskikh veshchestv v vozdukh pri nepreryvnoy aktivnosti istochnika* [Assessment of the concentration of hazardous chemicals in the air with continuous activity of the source]. *Problemi nadzvichaynykh situatsiy* [Problems of Superficial Situations]. 2010, vol. 12, pp. 21–27. (in Russian).

2. Plyaczuk L.D. and Bojko V.V. *Analiz metodiv matematychnoho modelyuvannya rozpovsyudzhennya zabrudnyuyuchykh rehovyn v atmosferi* [Analysis of methods of mathematical modeling of pollutant distribution in the atmosphere]. *Visnyk KNU im. Mykhayla Ostrohrads'koho* [Bulletin of the Mykhailo Ostrogradsky Kyiv National University]. 2010, vol. 6, pp. 1–4. (in Ukrainian).

3. Berlyand M.Ye. *Prognoz i regulirovanie zagryazneniya atmosfery* [Forecasting and regulation of atmospheric pollution]. 1985, 273 p. (in Russian).

4. Zgurovskiy M.Z., Skopetskiy V.V., Khrushch V.K. and Belyaev N.N. *Chislennoye modelirovaniye rasprostraneniya zagryazneniya v okruzhayushchey srede* [Numerical modeling of pollution spreading in the environment]. Kyiv: Naukova Dumka Publ., 1997, 368 p. (in Russian).

5. Pshinko A.N., Belyayev N.N. and Mashihina P.B. *Modelirovanie zagryazneniya atmosfery pri tekhnogennykh avariayah* [Modeling of atmospheric pollution during technogenic accidents: monograph]. Dnepropetrovsk: “Nova Ideologiya”, 2011, 166 p. (in Russian).

6. Samarskiy A.A. *Teoriya raznostnykh skhem* [The theory of difference schemes]. 1983, 616 p. (in Russian).

7. Biliaiev M. Numerical Simulation of Indoor Air Pollution and Atmosphere Pollution for Regions Having Complex Topography. *Air Pollution Modeling and its Application XXI (Springer)*. 2012, pp. 87–91.

8. Ilic P., Ilic S. and Stojanovic Bjelic L. Hazard modelling of accidental release chlorine gas using modern tool – ALOHA Software. *Quality of Life*. 2018, vol. 9, pp. 38–45.

9. Lacombe J.M., Truchot D. and Duplantier S. Application of an innovative risk dedicated procedure for both conventional and 3D atmospheric dispersion models evaluation. *18th International Conference on Harmonisation within Atmospheric Dispersion Modelling for Regulatory Purposes*. 2017, pp. 1–5.

Надійшла до редакції: 01.10.2023.