

Biliaiev M.M., Berlov O.V., Kalashnikov I.V., Biliaieva V.V. MODELING OF TOXIC GAS APPLICATION IN DOORS. Development of a mathematical model for assessing the level of air pollution in rooms when polluted air flows into them. To calculate the transfer of a chemically hazardous substance in a room when a chemical agent flows into it, the two-dimensional mass transfer equation for a chemically hazardous substance in the atmosphere is used. This equation takes into account the parameters of the meteorological situation, the concentration of the chemical agent in the air flowing into the room, turbulent diffusion and the presence of obstacles in the room (furniture, etc.). For the numerical integration of the modeling equation, an implicit alternating triangular difference scheme is used. To calculate the airflow velocity field in a room when there are various obstacles, the Navier-Stokes equations, written in Helmholtz variables, are used. To solve the Navier-Stokes equations, implicit difference splitting schemes are used. A mathematical model has been constructed for calculating the movement of polluted air in the respiratory tract of a person who is indoors. To calculate the transfer of a chemically hazardous substance in the respiratory tract, the two-dimensional mass transfer equation for a chemically hazardous substance is used. This

equation takes into account the uneven velocity field of the air flow in the throat, diffusion, capture of the pollutant by the throat walls. To simulate the flow velocity field inside the throat, the model of ideal flow of ideal fluid – a model of potential flow – is applied. For the numerical solution of the equation for the velocity potential, a locally one-dimensional scheme is applied. For the numerical integration of the mass transfer equation, an implicit difference splitting scheme is used. On the basis of the constructed mathematical model, a set of application programs has been developed, which can be used to assess the risk of toxic damage to people on the premises. The mathematical model can be implemented on computers of low and medium power, which allows it to be widely used to solve problems of this class. The results of the conducted computational experiment are presented, which make it possible to evaluate the possibilities of the developed mathematical model. The proposed model for estimating the territorial risk in the event of a release of a hazardous substance under development conditions can be used in the development of PLAS.

Keywords: mathematical modeling, chemical pollution indoors, numerical simulation.

DOI: 10.29295/2311-7257-2019-95-1-233-240
УДК 519.6:504.3.054

Біляєв М. М.,

*Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту ім. академіка В. Лазаряна,
(вул. Лазаряна, 2, Дніпро, 49010; e-mail: water.supply.treatment@gmail.com;
ORCID 0000-0002-1531-7882)*

Русакова Т. І.

*Дніпровський національний університет ім. Олесь Гончара,
(пр-т Гагаріна, 72, Дніпро, Україна; e-mail: rusakovati1977@gmail.com, ORCID 0000-0001-5526-3578)*

ПРОГНОЗУВАННЯ ПАРАМЕТРІВ МІКРОКЛІМАТУ В РОБОЧИХ ЗОНАХ МЕТОДОМ ОБЧИСЛЮВАЛЬНОГО ЕКСПЕРИМЕНТУ

Оцінка параметрів мікроклімату в робочих зонах працівників необхідна для забезпечення комфортних умов праці та збереження здоров'я робітників. Можливе локальне дослідження цих параметрів за допомогою приладів на реальному об'єкті. Розробка чисельних методів розрахунку параметрів мікроклімату дозволяє проводити дослідження віддалено, навіть для об'єктів, що заплановано побудувати за наявності геометричних розмірів та фізичних параметрів середовища, приладів. Метою дослідження є створення методу CFD розрахунку параметрів мікроклімату в робочих зонах на відкритій місцевості для практичного використання при проведенні обчислювальних експериментів. Розроблений метод поєднує два етапи: розв'язання рівнянь, що моделюють розсіювання води, водяної пари, зміну температури під дією вітру та атмосферної дифузії за допомогою кінцево-різницевого методу розв'язання диференціальних рівнянь та розрахунок процесу випарювання крапель води. Для проведення верифікації розробленого методу було виконано експериментальне модельне дослідження вологості на

різних відстанях від джерела емісії. Здійснено порівняльний аналіз результатів експерименту та чисельного розрахунку за розробленим методом, похибка складає 5-7 %. Розроблений метод дозволяє отримувати розподіл поля температури (ізотерм) та поля концентрації крапель води у конкретному перерізі та локально оцінити значення температури, вологості, швидкості на робочих місцях (в точках спостереження). Розроблено комплексний метод оцінки параметрів мікроклімату в робочих зонах на відкритій місцевості, який дозволяє прогнозувати рівень вологості та температури у робочих зонах за наявності використання штучного зволожувача повітря. Метод дозволяє врахувати важливі фактори: геометричні розміри, місце розташування джерел температури, зволоження, зміну поля швидкості повітряного потоку. Отримані результати можуть бути застосовані для забезпечення комфортних умов перебування робітників у робочих зонах.

Ключові слова: параметри мікроклімату, зволоження, температура, чисельний метод, концентрація.

Вступ. Як відомо, мікроклімат у робочих зонах обумовлений метеорологічними умовами середовища, які діють на організм людини за допомогою змін температури, вологості, швидкості руху повітря і теплового випромінювання; комплексом фізичних факторів, що впливають на теплообмін людини з навколишнім середовищем, на тепловий стан людини і визначають самопочуття, працездатність, здоров'я і продуктивність праці.

Прогнозування параметрів мікроклімату – дуже важлива задача. Таке прогнозування зазвичай виконується методом обчислювального експерименту з використанням CFD моделювання, що реалізується у ряді комп'ютерних пакетів SolidWorks, ANSYS, Flow Vision, COMSOL Multiphysics [1-4, 7-13]. Практичне застосування таких пакетів потребує великих затрат комп'ютерного часу, так як розрахунок ведеться на дуже мілкій сітці та із застосуванням моделей турбулентності [14]. Для практичного використання вкрай важливо мати моделі, які швидко виконують обчислення та дозволяють впродовж робочого дня провести серію обчислювальних експериментів. Дослідженню параметрів мікроклімату присвячені роботи багатьох авторів [1-4, 7-12, 15-16]. У роботі [11] представлена мікромасштабна числова модель для дослідження середньої температури, яка є одним із найбільш важливих метеорологічних параметрів, що регулює енергетичний баланс людини. У роботі [12] проведені дослідження, які дозволяють оцінити мікрокліматичний стан в існуючому або проєктованому міському комплексі. Чисельне моделювання умов теплового комфорту лю-

дини проводилося за допомогою моделі міського мікроклімату ENVImet [10]. У роботі [15] представлено метод та розробку прогнозувальної математичної моделі для аналізу і оптимізації енергосистем, що використовуються для контролю мікроклімату навколишнього середовища, розробки виконано в обчислювальному середовищі MATLAB.

Вологість повітря – параметр, що відображує вміст у повітрі водяної пари. Оптимальною є відносна вологість 60–40 %. У повітрі, надмірно насиченому водяною парю, ускладнюється випаровування вологи з поверхні шкіри і легенів, що може різко погіршити стан і знизити працездатність людини. Визначення зміни вологості повітря в приміщенні обумовлене теоретичними та експериментальними дослідженнями стосовно процесів переносу вологи та його взаємодії з іншими процесами і безперервності процесу. Вологість повітря всередині приміщення математично змодельована на базі лінійних диференціальних рівнянь, що враховують процеси: поглинання вологи, конденсацію на поверхні, рух повітря, випаровування в приміщенні [7]. Запропоновано динамічну модель для опису поведінки вологості повітря і визначення його варіацій в багатозонному просторі [8]. На відміну від опадів і температури, вологість не вимірюються широко, що сприяє розробці алгоритмів, які моделюють процес зміни вологості повітря [9]. Представлено тризонну динамічну модель для дослідження поведінки температури і вологості повітря в приміщенні [16]. Виконано аналіз теплового режиму приміщення у залежності від інтенсивності та часу провітрювання

[3]. Надано обґрунтування параметрів нормалізації мікроклімату в приміщеннях великого скупчення людей шляхом експериментальних досліджень [2]. Представлена розробка CFD моделей для прогнозу рівня забруднення робочих зон поблизу транспортного коридору та при використанні захисних екранів [1, 4].

Метою роботи є створення методу CFD розрахунку параметрів мікроклімату в робочих зонах на відкритій місцевості для практичного використання при проведенні обчислювальних експериментів.

Матеріали і методи досліджень. Вологість повітря є однією із складових забезпечення комфортності мікроклімату. Всі зволожувачі повітря можна розділити на побутові і промислові. При цьому, якщо застосування промислових зволожувачів в значній мірі впливає на технологічний процес і якість готової продукції, то побутові необхідні для підтримки комфортних умов для самопочуття людини. На рис. 1 представлено використання зволожувачів для комфортного перебування працівників торгівлі та відвідувачів на відкритій місцевості.



Рис. 1. Застосування зволожувачів у робочих зонах на відкритій місцевості

Розв'язання задачі про прогнозування параметрів мікроклімату в робочій зоні при використанні зволожувача розбивається на два основні етапи. На першому етапі виконується розв'язання рівнянь, що моделюють розсіювання води, водяної пари, зміну температури під дією вітру та атмосферної дифузії (1–3).

$$\frac{\partial C}{\partial t} + \frac{\partial uC}{\partial x} + \frac{\partial vC}{\partial y} = \mu \Delta C + \sum_{i=1}^n Q_i \delta(x - x_i) \delta(y - y_i), \quad (1)$$

$$\frac{\partial W}{\partial t} + \frac{\partial uW}{\partial x} + \frac{\partial vW}{\partial y} = \mu \Delta W, \quad (2)$$

$$\frac{\partial T}{\partial t} + \frac{\partial uT}{\partial x} + \frac{\partial vT}{\partial y} = \lambda \Delta T, \quad (3)$$

де C – концентрація водяних крапель у повітрі; u, v – компоненти вектору швидкості вітру; $\mu = (\mu_x, \mu_y)$ – коефіцієнт турбулентної дифузії; x_i, y_i – координати джерела потрапляння крапель води; $\delta(x - x_0) \delta(y - y_0)$ – дельта-функція Дірака, за допомогою якої моделюється потрапляння крапель води в атмосферу. Значення коефіцієнтів дифузії розраховуються за формулами: $\mu_x = (0,1 \div 1) \cdot U$, $\mu_y = (0,1 \div 1) \cdot U$, де U – швидкість вітру, W – концентрація водяної пари у повітрі, T – температура повітря, σ враховує швидкість випарювання води, λ – коефіцієнт температуропровідності.

Розробка методу включає на першому етапі розв'язання рівнянь (1) – (3) за допомогою кінцево-різницевого методу, чисельне інтегрування цих рівнянь на прямокутній різницевій сітці за допомогою неявної п'ятикрокової різницевої схеми розщеплення [5–6].

На другому етапі розрахунку виконується моделювання процесу випарювання крапель води. Для цього використовується рівняння (4), де C_n – концентрація насиченого пару в конкретному контрольному об'ємі при конкретній температурі повітря в цьому об'ємі.

$$\frac{\partial C}{\partial t} = -\sigma \cdot (C - C_n), \quad (4)$$

Зміна концентрації C води в кожному контрольному об'ємі моделюється рівнянням першого порядку

$$\frac{\partial C}{\partial t} = -\sigma \cdot C, \quad (5)$$

де σ враховує швидкість випарювання крапель води. Аналітичний розв'язок даного рівняння можна записати у виді $C = C_0 \cdot e^{-\sigma t}$, де C_0 – початкове значення концентрації води в контрольному об'ємі. Використовуючи цю залежність можна приблизно оцінити значення коефіцієнта σ , виходячи із умови $e^{-10} \approx 0$, тоді $\sigma t = 10$, t – час випарювання, який приймається рівним 10^{-2} с для крапель води $d = 1$ мкм, що відповідає такому стану води, як туман. Звідкіля і отримуємо орієнтовне значення коефіцієнта σ .

Надалі в кожному різницевому осередку відбувається перерахунок температури повітря у зв'язку з випаровуванням крапель води. Для проведення експрес-розрахунку даного процесу можна використати наступний підхід.

Нехай тепло, що було використане на випарювання води елементарної маси dm , складає $Q_w = r \cdot dm$, де $r = 2,3 \cdot 10^6$ Дж/кг. Це тепло буде надходити з навколишнього середовища, тобто з повітря, величина цього тепла розраховується наступним чином:

$$Q_{\text{повітря}} = m_{\text{cell}} \cdot c \cdot T^n, \quad (6)$$

де m_{cell} – маса повітря в комірці, c – питома теплоємність, T^n – поточний момент часу.

Процес випарювання призведе до зміни кількості тепла в контрольному об'ємі повітря:

$$Q_{\text{повітря}} - Q_w = m_{\text{cell}} \cdot c_{\text{повітря}} \cdot T^n - r \cdot dm. \quad (7)$$

Маса і об'єм повітря в комірці стануть:

$$\begin{aligned} m_{\text{cell}} &= \rho_{\text{повітря}} \cdot W_{\text{комірки}} \\ W_{\text{cell}} &= h_x \cdot h_y = 1. \end{aligned} \quad (8)$$

У результаті температура навколишнього середовища зміниться до T^{n+1} , а в комірці відбудеться зміна кількості теплоти:

$$m_{\text{cell}} \cdot c_{\text{повітря}} \cdot T^{n+1} = m_{\text{cell}} \cdot c_{\text{повітря}} \cdot T^n - r \cdot dm. \quad (9)$$

З останнього співвідношення можна розрахувати температуру на новому часовому кроці $n+1$ за формулою

$$T^{n+1} = T^n - \frac{r \cdot dm}{m_{\text{cell}} \cdot c_{\text{повітря}}}. \quad (10)$$

При розрахунку в кожному контрольному об'ємі враховується значення температури точки роси, яке визначається за допомогою таблиці згідно зі значеннями температури навколишнього середовища і вологості.

Для одночасної оцінки температури і вологості повітря доцільно використовувати ефективну температуру повітря, яка розраховується за формулою

$$T_{\text{app}} = -2,653 + 0,994 \cdot T_{\text{air}} + 0,0153 \cdot T_{\text{dewpt}}^2, \quad (11)$$

де T_{app} – ефективна температура, T_{air} – температура повітря, T_{dewpt} – точка роси, яка

розраховується на базі інформації про відносну вологість за формулою

$$T_{\text{dewpt}} = \frac{b \cdot \gamma(T, RH)}{a - \gamma(T, RH)}, \quad (12)$$

де $\gamma(T, RH)$ обчислюється за формулою

$$\gamma(T, RH) = \frac{a \cdot T}{b + T} + \ln(RH/100), \quad (13)$$

де T – температура повітря, RH – відносна вологість, a, b – константи, $a = 17,271$, $b = 237,7$.

Результати дослідження. На початку дослідження було проведено експеримент по моделюванню робочої зони на вулиці (у відкритому кафе). Елементи меблів були представлені в масштабі 1:10 (рис. 2). Подача дрібнодисперсної води здійснювалася вгору робочої зони, як це відбувається в кафе. На рис. 2 показана експериментальна установка, яка складалася із зволожувача повітря Supra HDS-104 з об'ємною витратою $Q = 300$ мл/год, від якого через допоміжний патрубок подавалася пара на висоті від поверхні установки $H=25$ см. На початковому моменті напірний вентилятор не працював, пара подавалася через отвір $d=3$ см з постійною витратою $Q = 0,083$ мл/с.

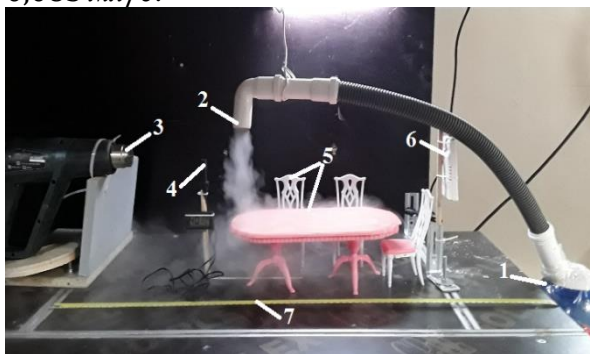


Рис. 2. Схема експериментальної установки $V = 0$ м/с, $Q = 0,083$ мл/с:

1 – зволожувач, 2 – патрубок подачі пари, 3 – напірний вентилятор, 4, 6 – прилади для вимірювання вологості, 5 – меблі та робоча зона, 7 – пристрій для вимірювання відстані

Для вимірювання вологості використовувався прилад Termo Hygrometer DC105. Вимірювання вологості проводилися на висоті 17 см і на різній відстані від джерела емісії. Повітряний потік утворювався каналним вентилятором Домовент 125 ВКО, швидкість повітряного потоку вимірювалася за допомогою анемометра

PM 6252B Digital Anemometer та складала $V = 1,35 - 1,48$ м/с при температурі повітря $T=21^{\circ}\text{C}$. В якості характерного розміру обиралася довжина столу $l = 0,29$ м, в'язкість повітря $\nu = 15,04 \cdot 10^{-6}$ м²/с, критерій подібності – число Рейнольдса $Re = \frac{V \cdot l}{\nu} = 0,3 \cdot 10^5$.

На рис. 3 показано формування поля туману, видно, що дрібнодисперсні краплі води зносяться повітряним потоком у верхній частині робочої зони.

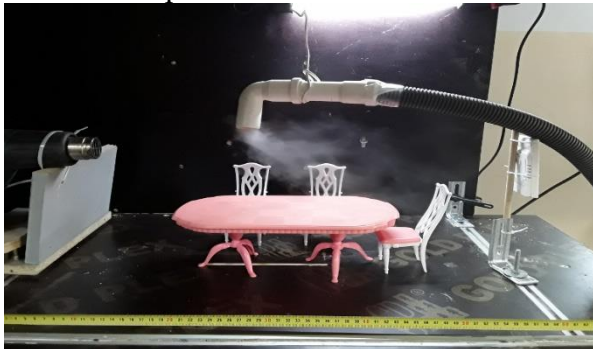


Рис. 3. Поле туману:
 $V = 1,35 - 1,48$ м/с, $Q = 0,083$ мл/с

Результати експериментальних вимірювань та розрахункові дані отримані за допомогою розробленого методу наведено в табл. 1.

Таблиця 1 – Вологість на різних відстанях від джерела емісії

Відстань, см	Вологість, % (експеримент)	Вологість, % (розрахунок за методом)
5	91,5–93,5	90,2
10	82,7–87,3	81,7
15	76,4–79,2	75,9
20	63,6–67,5	62,8
25	51,2–57,4	50,6
30	44,5–46,1	43,3
35	40,5–43,3	40,1
40	38,4–39,7	37,5
45	34,5–36,1	34,1

На рис. 4 показано зміну вологості на висоті 17 см і на різній відстані від джерела емісії. З віддаленням від джерела емісії туману вологість повітря знижується.

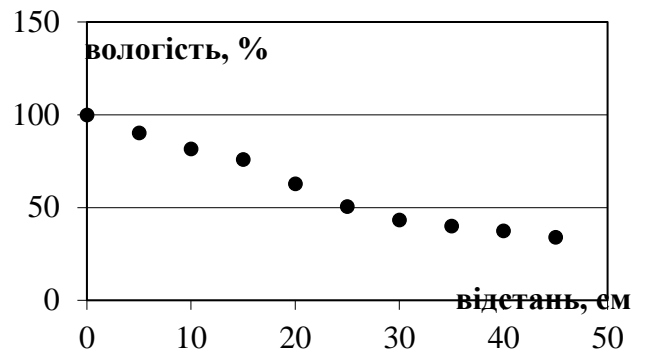


Рис. 4. Зміна вологості при віддаленні від джерела емісії

На другому етапі дослідження проводився обчислювальний експеримент на базі розробленого методу. На рис. 5 показано схему розрахункової області, яка включає: джерело емісії тепла – місце приготування шашлику (піч) $T=200^{\circ}\text{C}$, джерело емісії зволоження – штучний зволожувач $Q=100$ г/м³, розташування робочого місця працівника, швидкість повітряного потоку 2 м/с. На рис. 6 представлено розподіл поля температури (ізотерм) та поля концентрації крапель води у перерізі $y=8$ м.

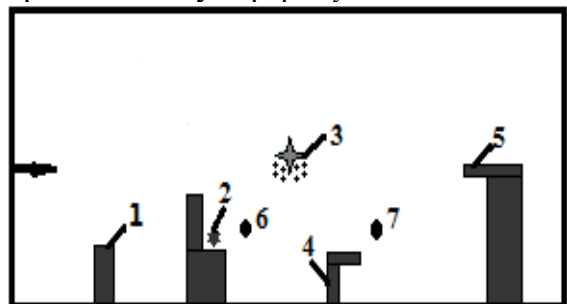


Рис. 5. Розрахункова область:
1 – бар'єр, 2 – джерело тепла (піч для приготування шашлику), 3 – джерело зволоження, 4 – робоче місце, 5 – відкрите кафе (навіс для відвідувачів), 6, 7 – точки спостереження

В табл. 2 для точок спостереження 6 та 7 (рис. 5) наведено значення вологості в залежності від температури (рис. 6) та значення швидкості повітряного потоку, в точці 6 значення швидкості менше, оскільки вертикальна стінка відіграє роль захисного екрану.

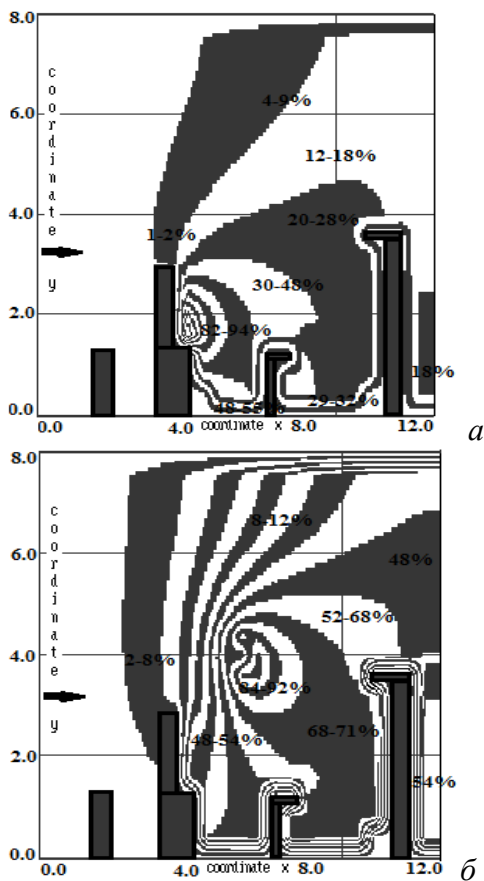


Рис. 6. Розподіл: а – поля температури, б – поля вологості

Таблиця 2 – Значення параметрів мікроклімату на робочих місцях (в точках спостереження)

Точка спостереження №	Температура, °С (чисельно)	Вологість, г/м ³ (чисельно)	Швидкість, м/с (чисельно)
6	42	52,4	0,88
7	24	21,7	1,85

Розроблено комплексний метод оцінки параметрів мікроклімату в робочих зонах на відкритій місцевості, який дозволяє прогнозувати рівень вологості та температури у робочих зонах за наявності використання штучного зволожувача повітря.

Висновки. У результаті виконаного дослідження було отримано наступні результати:

- виконано прогнозування параметрів мікроклімату в робочій зоні методом обчислювального експерименту;
- розроблено математичний метод дослідження параметрів мікроклімату в робочих зонах на відкритій місцевості із засто-

суванням процесу зволоження, який реалізовано у вигляді прикладних програм для розрахунку поля швидкості повітряного потоку, температури та вологості;

- проведено експериментальні та чисельні дослідження, що підтвердили правомірність використання розробленого методу для оцінки параметрів мікроклімату, похибка чисельного розрахунку складає 5 - 7 %.

ЛІТЕРАТУРА:

1. Беляев, Н.Н. Снижение уровня загрязнения угольной пылью рабочих зон путем использования защитных экранов [Текст] / Н.Н. Беляев, А.А. Карпо, З.Н. Якубовская // Науковий вісник будівництва. – 2017. – Т. 87, №1. – С. 218–221.
2. Левашова, Ю.С. Дослідження параметрів мікроклімату приміщень великого скупчення людей [Текст] / Ю.С. Левашова, Н.О. Косенко, О.С. Лебедева // Науковий вісник будівництва. – 2018. – Т. 94, №4. – С. 217–220. DOI: 10.29295/2311-7257-2018-94-4-217-220
3. Макаренко, О.В. Тепловий режим приміщень при провітрюванні [Текст] / О.В. Макаренко, Р.С. Мягкохліб, Б.М. Федяй // Науковий вісник будівництва. – 2017. – Т. 88, №2. – С. 216–219.
4. Олатойе, О.М. Расчет загрязнения рабочих зон возле транспортной магистрали [Текст] / Оладипо Мутиу Олатойе // Науковий вісник будівництва. – 2017. – Т. 87, №1. – С. 221–225.
5. Численное моделирование распространения загрязнения в окружающей среде [Текст] / М.З. Згуровский, В.В. Скопецкий, В.К. Хрущ, Н.Н. Беляев. – К.: Наук. думка, 1997. – 368 с.
6. Biliaiev, M. M. Determination of areas of atmospheric air pollution by sulfur oxide emissions from mining and metallurgical and energy generating enterprises [Text] / M. M. Biliaiev, T. I. Rusakova, V. Ye. Kolesnik, A. V. Pavlichenko // Науковий вісник НГУ. – 2017. – № 3. – С. 100–106.
7. Diasty, R.El. Modelling of indoor air humidity: the dynamic behaviour within an enclosure [Text] / R.El. Diasty, P. Fazio, I. Budaiwi // Energy and Buildings. – 1992. – Vol. 19. – Iss. 1 – P. 61–73.
8. Diasty, R. El. The dynamic modelling of air humidity behaviour in a multi-zone space [Text] / R. El. Diasty, P. Fazio, I. Budaiwi //

- Energy and Buildings. – 1993. – Vol. 28. – Iss. 1 – P. 33–51. [https://doi.org/10.1016/0360-1323\(93\)90004-M](https://doi.org/10.1016/0360-1323(93)90004-M)
9. Eccel, Em. Estimating air humidity from temperature and precipitation measures for modelling applications [Text] / Emanuele Eccel // Meteorological Applications. – 2012. – Vol. 19. – Iss. 1 – P. 118–128. DOI: 10.1002/met.258
 10. Égerházi, L. Application of Microclimate Modelling and Onsite Survey in Planning Practice Related to an Urban Micro-Environment [Text] / Lilla Andrea Égerházi, Attila Kovács, and János Unger // Hindawi Publishing Corporation Advances in Meteorology–2013. – Article ID 251586. – 10 p. <http://dx.doi.org/10.1155/2013/251586>
 11. Mohamed, H.E. Numerical modelling evaluation for the microclimate of an outdoor urban form in Cairo, Egypt [Text] / Mohamed H. Elnabawi, Hamza Neveen, Dudek Steven // HBRC Journal. – 2015. – Vol. 11. – Iss. – P. 246–251. <https://doi.org/10.1016/j.hbrcj.2014.03.004>Get rights and content
 12. Klemm, K. Application of numerical simulation in assessment of microclimatic condition in urban areas [Text] / Katarzyna Klemm // Building Simulation. – 2007. – Vol. 11. – Iss. 1– P. 1139–1145.
 13. Mohamed, S. F. CFD Simulation for Wind Comfort and Safety in Urban Area: A Case Study of Coventry University Central Campus [Text] / S. F. Mohamed, J. Karadelis // International Journal of Architecture, Engineering and Construction. – 2013. – Vol 2. – no. 2. – P. 131–143.
 14. Murakami, S. Overview of turbulence models applied in CWE [Text] / S. Murakami // Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics. –1998. – № 74-76. – P. 1–24.
 15. Viggiano, A. Numerical simulation of energy systems to control environment microclimate Angela Genco [Text] / Annarita Viggiano, Lucio Viscido, Giuseppe Sellitto, Vinicio Magi // International journal of heat and technology issn: 0392-8764. – 2016. – Vol. 34. – Iss. 2– P. 545–552. DOI: 10.18280/ijht.34S249
 16. Yao, Ye. A state-space model for dynamic response of indoor air temperature and humidity [Text] / Ye Yao, Kun Yang, Mengwei Huang, Leon Wang // Building and Environment. – 2013. – Vol. 64. – P. 26–37.

Беляев Н. Н., Русакова Т. И. ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ МИКРОКЛИМАТА В РАБОЧИХ ЗОНАХ МЕТОДОМ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНОГО ЭКСПЕРИМЕНТА. Оценка параметров микроклимата в рабочих зонах необходима для обеспечения комфортных условий труда и сохранения здоровья работников. Возможно локальное исследование этих параметров с помощью приборов на реальном объекте. Разработка численных методов расчета параметров микроклимата позволяет проводить исследования удаленно, даже для объектов, которые планируют построить при наличии геометрических размеров и физических параметров среды, приборов. Целью исследования является создание метода CFD расчета параметров микроклимата в рабочих зонах на открытой местности для практического использования при проведении вычислительных экспериментов. Разработанный метод сочетает два этапа: решение уравнений, которые моделируют рассеивания воды, водяного пара, изменение температуры под действием ветра и атмосферной диффузии с помощью конечно-разностного метода решения дифференциальных уравнений и расчет процесса испарения капель воды. Для проведения верификации разработанного метода было выполнено экспериментальное модельное исследование влажности на различных расстояниях от источника эмиссии. Осуществлен сравнительный анализ результатов эксперимента и численного расчета по разработанному методу, погрешность составляет 5-7%. Разработанный метод позволяет получить распределение поля температуры (изотерм) и поля концентрации капель воды в конкретном сечении и локально оценить значение температуры, влажности, скорости на рабочих местах (в точках наблюдения). Разработан комплексный метод оценки параметров микроклимата в рабочих зонах на открытой местности, который позволяет прогнозировать уровень влажности и температуры в рабочих зонах при наличии использования искусственного увлажнителя воздуха. Метод позволяет учесть важные факторы: геометрические размеры, местоположение источников эмиссии температуры, увлажнения, изменение поля скорости воздушного потока. Полученные результаты могут быть использованы для обеспечения комфортных условий пребывания работников в рабочих зонах.

Ключевые слова: параметры микроклимата, увлажнение, температура, численный метод, концентрация.

Biliaiev M. M., Rusakova T. I. PREDICTION OF MICROCLIMATE PARAMETERS IN WORKING AREAS BY THE COMPUTATIONAL EXPERIMENT METHOD.

Estimation of microclimate parameters in working areas is necessary for ensuring comfortable working conditions and preserving the health of employees. A local study of these parameters with the help of instruments on a real object is available. The development of numerical methods for calculating the parameters of the microclimate makes it possible to carry out studies remotely, even for objects that are planned to be constructed in the presence of geometric dimensions and physical parameters of the environment and instruments. The aim of the study is to create a CFD method for calculating the parameters of the microclimate in working areas for practical use in computational experiments. The developed method combines two stages: solving equations that model the dispersion of water, water vapor, temperature variation under the action of wind and atmospheric diffusion using a finite-difference method for solving differential equations, and calculating the evaporation of water droplets. To verify the developed method, an experimental

model study of humidity was performed at various distances from the emission source. A comparative analysis of the results from this experiment and numerical calculation using the developed method was carried out, the error is 5-7%. The developed method allows us to obtain the distribution of the temperature field (isotherms) and the concentration field of water droplets in a particular section and locally estimate the value of temperature, humidity, velocity at work sites (at the observation points). A comprehensive method for assessing the microclimate parameters in open areas has been developed, which allows us to predict the level of humidity and temperature in working areas with the use of an artificial air humidifier. The method allows to take into account important factors: the geometric dimensions, the location of the sources of temperature emissions, humidification, the change in the air flow velocity field. The obtained results can be used to provide comfortable conditions for employees in working areas.

Keywords: microclimate parameters, moisturizing, temperature, numerical method, concentration.

DOI: 10.29295/2311-7257-2019-95-1-240-245

УДК 628.16; 630.

Нестеренко О.В., Клевцова Л.Г., Чернишенко Г.О.

Харківський національний університет будівництва та архітектури
(вул. Сумська, 40, м. Харків, 61002, Україна; e-mail: helennester1972@gmail.com,
klevsova1909@gmail.com, anna.pavl.cher@gmail.com; <http://orcid.org/0000-0002-5113-20099>,
<http://orcid.org/0000-0003-0408-9287>, <http://orcid.org/org/0000-0002-0685-925X>)

ВПЛИВ СТЕПОВИХ ТА ЛІСОВИХ ПОЖЕЖ НА НАВКОЛИШНЄ СЕРЕДОВИЩЕ В УКРАЇНІ

У статті розглядається оцінка впливу від пожеж, як з екологічних, економічних та антропогенних наслідків в Україні.

Актуальність теми обумовлена тим, що степові та лісові пожежі завдають великої шкоди екосистемі, його наслідки негативні для біоти, атмосфери, гідросфери, літосфери. А економічний збиток від природних пожеж обчислюється мільярдами грн. на рік. Також пожежі можуть призвести і до загибелі людей, особливо якщо вогонь підходить до населеного пункту. Задимлення від пожежі негативно впливає на здоров'я людей. Для вирішення цих питань повинні бути запропоновані різні засоби для їх подолання.

Ключові слова: шкідливі та небезпечні фактори, причини пожеж, екологічна безпека, лісові та степові пожежі, дим.

Вступ. Ліси та степи займають понад 10 млн. га території України, тому лісові й торфяні пожежі є найбільш поширеними.

31 % лісів розташовано в північному регіоні, 17 – у східному, 10 – у південному, 8 – в південно-західному і 32 % – в західному регіоні.

НАУКОВИЙ ВІСНИК БУДІВНИЦТВА, Т. 95, №1, 2019