

УДК 622.457:519.6

**ЗНИЖЕННЯ РІВНЯ ЗАГАЗОВАНOSTІ ПОВІТРЯНОГО СЕРЕДОВИЩА****<sup>1</sup>Біляєв М.М., <sup>2</sup>Русакова Т.І.**<sup>1</sup>Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна, <sup>2</sup>Дніпровський національний університет імені О. Гончара**СНИЖЕНИЕ УРОВНЯ ЗАГАЗОВАННОСТИ ВОЗДУШНОЙ СРЕДЫ****<sup>1</sup>Беляев Н.Н., <sup>2</sup>Русакова Т.И.**<sup>1</sup>Днепропетровский национальный университет железнодорожного транспорта имени академика В. Лазаряна, <sup>2</sup>Днепропетровский национальный университет имени О. Гончара**REDUCING OF GAS CONCENTRATION IN THE AIR ENVIRONMENT****<sup>1</sup>Biliaiev N.N., <sup>2</sup>Rusakova T.I.**<sup>1</sup>Academician V. Lazaryan Dnipropetrovsk National University of Railway Transport, <sup>2</sup>Oles Honchar Dnipro National University

**Анотація.** Якісний і кількісний склад повітря є однією зі складових мікроклімату. Для зниження рівня загазованості існують різні способи: установка екранів, повітряних завіс. Ефективним способом вирішення цієї задачі може бути застосування локальних усмоктувачів. Для їх практичного використання необхідні спеціальні математичні методи, які б дозволяли оцінювати їх ефективність з урахуванням основних факторів: поля швидкості повітряного потоку, дифузії, геометричних форм та розмірів усмоктувачів.

Предметом дослідження є процес зниження рівня загазованості повітряного середовища. Метою роботи є вдосконалення технології дворівневих усмоктувачів за рахунок використання спеціальних напрямних пластин, а відповідно і вдосконалення методу чисельного розрахунку, що враховує зміну геометрії пристрою та дозволяє провести оцінку ефективності використання усмоктувачів даного типу. Підґрунтям вдосконалення методу розрахунку слугував фізичний експеримент по оцінці ефективності зменшення зони забруднення при наявності антропогенного джерела за рахунок встановлення зверху отворів усмоктувача горизонтальних пластин однакової довжини. Поле швидкості повітряного потоку знаходилося із рівняння Лапласа для потенціалу швидкості газового потоку. Процес розповсюдження домішки в атмосферному повітрі моделювався на базі двовимірного рівняння масопереносу, розв'язання якого знаходилося кінцево-різницею методом. У результаті досліджень було вдосконалено метод розрахунку поля концентрації, який дозволяє враховувати геометрію усмоктувача з урахуванням метеорологічних параметрів середовища. Розроблене програмне забезпечення дозволило провести низку розрахунків концентрації забруднювача та оцінити зони забруднення повітряного середовища оксидом вуглецю. Встановлено залежності відносно зміни ризику хронічної інтоксикації повітряного середовища оксидом вуглецю протягом 10 років. Отримано результати, які необхідні для покращення параметрів мікроклімату в робочих зонах та подальшого вдосконалення процесу відбору газів дворівневими усмоктувачами для зменшення рівня загазованості повітряного середовища та зниження рівня хронічної інтоксикації людей, що перебувають в зоні впливу.

**Ключові слова:** дворівневий усмоктувач, фізичний експеримент, ризик хронічної інтоксикації, концентрація домішки.

**Вступ.** Практично на всіх виробництвах відбувається забруднення повітряного середовища в робочих зонах. Мікроклімат виробничих приміщень характеризується комплексом параметрів, що визначають тепловий стан приміщення і газовий склад повітря в ньому. Параметри мікроклімату формуються під впливом потоків теплоти, вологи, газових домішок.

Для зниження рівня загазованості існують різні способи: установка екранів, повітряних завіс. Ефективним способом вирішення цієї задачі може бути застосування локальних усмоктувачів.

Для їх практичного використання необхідні спеціальні математичні методи, які б дозволяли оцінювати їх ефективність з урахуванням основних факторів: поля швидкості повітряного потоку, дифузії, геометричних форм та розмірів усмоктувачів.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Оцінка параметрів мікроклімату проводиться на основі локального їх заміру за допомогою конкретних приладів, але це є не завжди зручним способом з практичної точки зору, бо потребує наявності приладів, затрат часу. Провести дослідження одночасно на усіх робочих місцях при одних і тих же умовах не представляється можливим. Прогнозування параметрів мікроклімату за допомогою фізичного моделювання [2] є необхідним, але використання математичного моделювання розкриває більш широкі можливості застосування. На сьогодні чисельне моделювання проводиться на базі програмного забезпечення в середовищі SolidWorks, ANSYS, Flow Vision, COMSOL Multiphysics [4, 8–11]. Для практичного використання необхідні методи, які дозволяли б не лише провести обчислювальний експеримент, але і включали можливості самовдосконалення, щоб можна було враховувати зміну геометричних форм об'єктів і вимірювальних приладів, зміну метеорологічних параметрів.

**Формулювання мети роботи.** Як відомо, більш широке застосування знайшли однорівневі усмоктувачі, але попередні дослідження [3] показали доцільність використання дворівневих усмоктувачів у робочих зонах на відкритих майданчиках біля автомагістралей. Проведені лабораторні дослідження та чисельні розрахунки за розробленим методом показали зменшення рівня концентрації забруднювача, що призводить до зниження ризику виникнення хронічних захворювань у працівників виносної торгівлі.

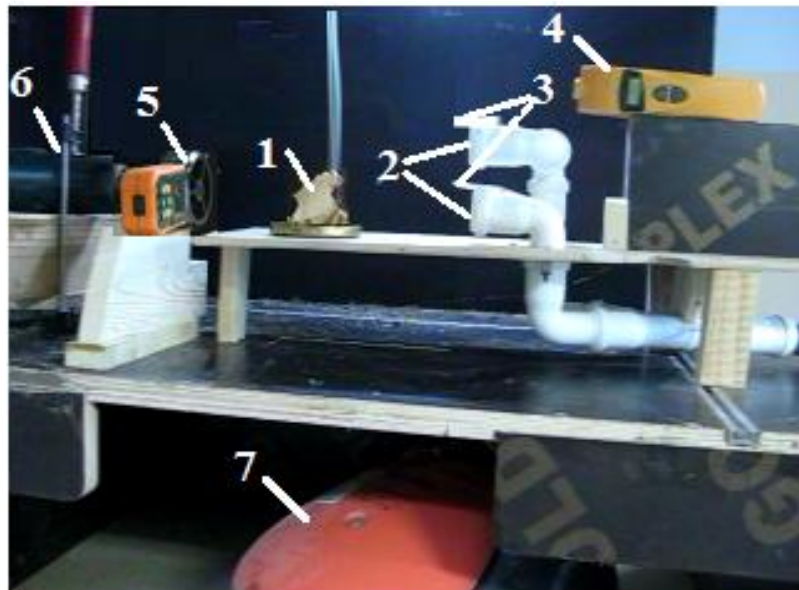
Таким чином, мета дослідження – вдосконалення технології дворівневих усмоктувачів за рахунок використання спеціальних напрямних пластин, а відповідно і вдосконалення методу чисельного розрахунку, що враховує зміну геометрії пристрою та дозволяє провести оцінку ефективності використання усмоктувачів даного типу.

**Викладення основного матеріалу.** На першому етапі дослідження було запропоновано робочу гіпотезу відносно зниження рівня забруднення повітря за рахунок застосування двох отворів відбору газів і двох напрямних пластин.

Було проведено фізичний експеримент по оцінці ефективності зменшення зони забруднення при наявності антропогенного джерела за рахунок встановлення зверху отворів відсмоктувача горизонтальних пластин однакової довжини. На рис. 1 представлено експериментальну установку, яка включала дворівневий усмоктувач із діаметрами отворів  $d=3$  см, напірний та витяжний вентилятори, прилади для вимірювання швидкості вітру та концентрації забруднювача. Отвори напрямлені проти повітряного потоку, який створювався напірним вентилятором.

Швидкість потоку вимірювалася динамометром PM 6252 В Digital Anemometer и складала 1,2-1,5 м/с. Концентрація джерела емісії (оксиду вуглецю  $CO$ ) відповідно дорівнювала  $C=100-357$  ppm і вимірювалася на висоті

$H=18$  см, що відповідає зросту людини (у масштабі 1:10) і складала  $C=70 - 75$  ppm при відсутності роботи витяжного вентилятора. Для експерименту використовувався аналізатор Carbon Monoxide Meter Model: 7701.



1 – джерело емісії; 2 – отвори для відбору газів; 2 – напрямні пластини; 4 – пристрій для вимірювання концентрації CO; 5 – динамометр; 6 – напірний вентилятор, 7 – витяжний вентилятор

Рисунок 1 – Експериментальна установка відбору газів

Зверху отворів відсмоктувача встановлювалися горизонтальні пластини однакової довжини. Довжина пластин дорівнювала діаметру отворів  $l=3$  см (рис. 2).

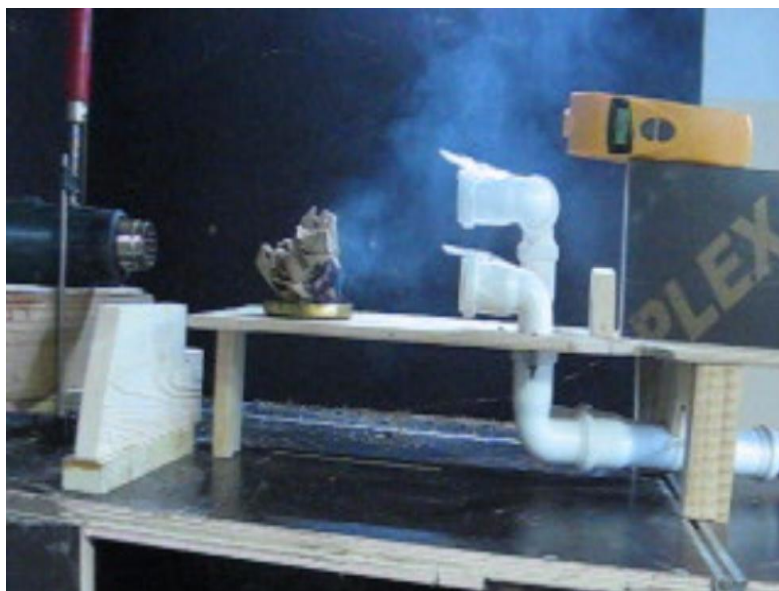


Рисунок 2 – Зона забруднення (до початку роботи витяжного вентилятора)

Надалі починав працювати витяжний вентилятор, швидкості відбору газів нижнього та верхнього отворів склали відповідно:  $V_n=3,3$  м/с,  $V_v=2,25$  м/с

(перший режим). Спостерігався активний відбір забруднення обома отворами, впродовж  $t=4$  с після включення витяжного вентилятора концентрація  $CO$  зменшилася до 38 ppm (рис. 3). Чітко видно, як потік спрямовувався в зону отворів.

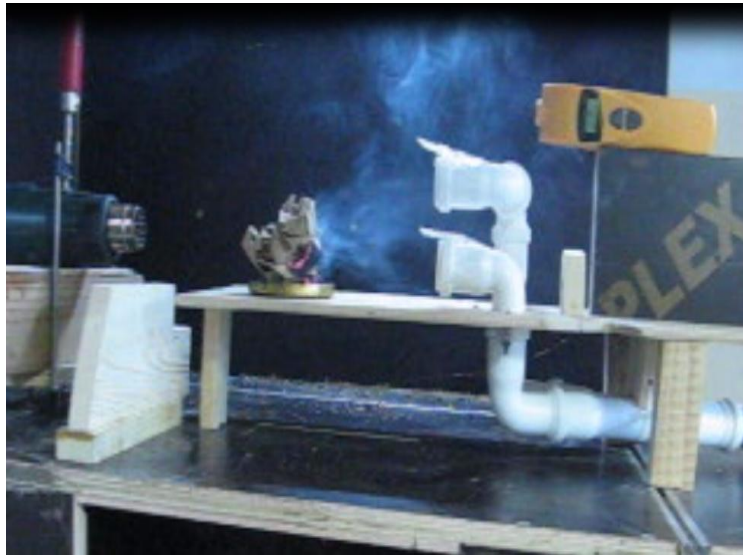


Рисунок 3 – Зона забруднення в моменті часу  $t=4$  с (після початку роботи витяжного вентилятора)

Протягом часу  $t=14$  с забруднення, яке містилося в повітрі вище другого отвору і на рівні органів дихання вже відібрано верхнім отвором. Надалі продовжував найбільш активно відбирати забруднення нижній отвір, концентрація знизилася і стала рівною  $C=14$  ppm, на відміну від випадку, коли вертикальні пластини були відсутні  $C=23$  ppm. Нижній отвір швидше вловлює забруднення, ось чому на його рівні спостерігається більш чиста зона повітря. Пластини гальмують потік, тим самим затримуючи його на рівні відсмоктувачів, що забезпечує краще всмоктування (рис. 4).

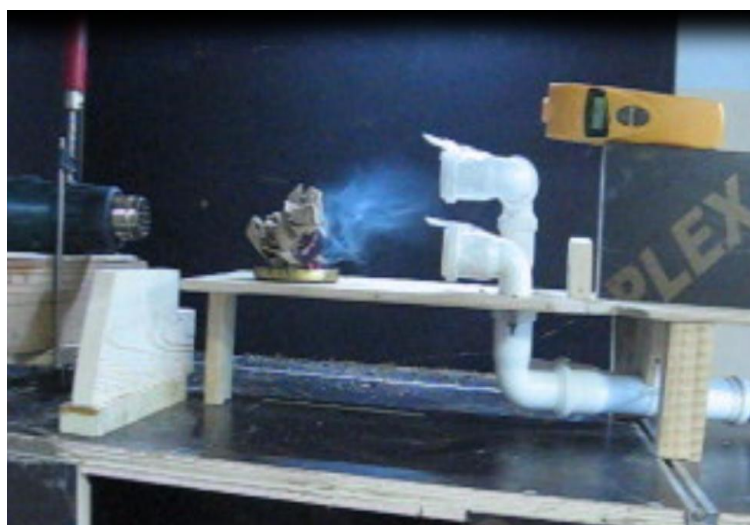


Рисунок 4 – Зона забруднення в моменті часу  $t=14$  с (після початку роботи витяжного вентилятора)

При збільшенні швидкостей відбору газів для нижнього та верхнього отворів вони склали відповідно:  $V_n=3,94$  м/с,  $V_v=3,05$  м/с (другий режим). Концентрація різко знизилася до нуля  $C=2-0$  ppm, що відбувалося при відсутності напрямних пластин для максимальних швидкостей відбору  $V_n=5,94$  м/с,  $V_v=4,52$  м/с (третій режим) (рис. 5).

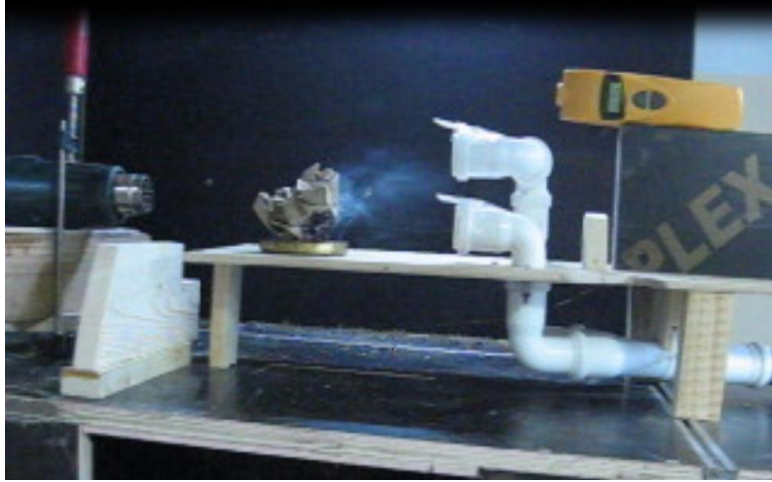


Рисунок 5 – Зона забруднення при роботі витяжного вентилятора (на другому режимі швидкості)

На другому етапі дослідження було вдосконалено метод чисельного розрахунку шляхом врахування наявності напрямних пластин та виконання умов непротікання на їх поверхні.

Обчислення поля швидкості повітряного потоку знаходилося із вирішення рівняння Лапласа для потенціалу швидкості  $P$  газового потоку:

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

Необхідне виконання наступних граничних та початкових умов: на твердих стінках та на поверхні пластин – умова непротікання  $\frac{\partial P}{\partial n} = 0$ , де  $\vec{n}$  – одиничний вектор зовнішньої нормалі до твердої стінки; на границі входу газового потоку в патрубки відбору вихлопних газів (рис. 1, номер 2)  $\frac{\partial P}{\partial n} = -V_n$ , де  $V_n$  – відоме значення швидкості газового потоку, який відбирається вентилятором (рис. 1, номер 7); на границі, де газовий потік виходить із розрахункової області (умова Дірихле). Для чисельного інтегрування рівняння Лапласа (1) використовується метод Лібмана [3, 6].

Процес розповсюдження оксиду вуглецю в атмосферному повітрі моделювався на основі рівняння масопереносу:

$$\frac{\partial [CO]}{\partial t} + \frac{\partial u[CO]}{\partial x} + \frac{\partial v[CO]}{\partial y} = \text{div}(\mu \text{grad}[CO]) + \sum_{i=1}^N Q_i(t) \delta(x - x_i) \delta(y - y_i), \quad (2)$$

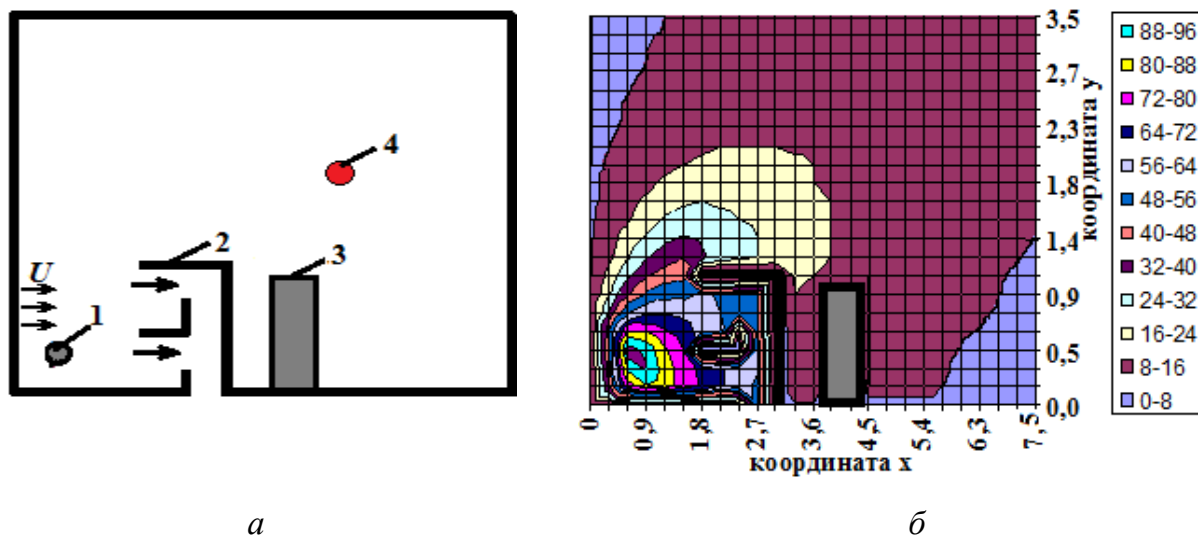


де  $[CO]$  – концентрація оксиду вуглецю;  $u, v$  – компоненти вектору швидкості;  $\mu = (\mu_x, \mu_y)$  – коефіцієнт турбулентної дифузії;  $Q_i$  – інтенсивність емісії оксиду вуглецю;  $\delta(x - x_i)\delta(y - y_i)$  – дельта-функція Дірака;  $(x_i, y_i)$  – координати розташування джерела емісії оксиду вуглецю;  $t$  – час.

Для розв'язання рівняння (2) ставилися наступні граничні умови: на ділянці входу оксиду вуглецю в розрахункову область повинна виконуватися гранична умова виду  $[CO]_{\partial x} = [CO]_{t=0}$ ; в кінці розрахункової області в чисельній моделі повинна виконуватися «м'яка» гранична умова виду  $[CO]_{i+1,j} = [CO]_{i,j}$ ; на твердих стінках реалізовуватися умова непротікання.

Чисельне інтегрування рівняння (2) проводилося на прямокутній різницевій сітці за допомогою п'ятикрокової кінцево-різницевої схеми розщеплення [6].

На базі вдосконаленого методу чисельного розрахунку створено програмний пакет «Gases purifier\_plate», який дозволив провести обчислювальні експерименти. Результати чисельних розрахунків показано на рис. 6.



*a* – схема математичної моделі; 1 – джерело емісії, 2 – отвори для відбору газів з напрямними пластинами, 3 – робоча зона, 4 – розташування органів дихання працівника; *б* – розподіл концентрації оксиду вуглецю в робочій зоні при наявності двох отворів відсмоктувача і двох напрямних пластин однакової довжини,  $C_{\max} = 7,03 \text{ мг/м}^3$

Рисунок 6 – Випадок двох напрямних пластин однакової довжини при відборі газів

Геометричні розміри ділянки по довжині – 7,5 м, по ширині – 3,5 м; коефіцієнт турбулентної дифузії  $\mu_x = \mu_y = 2,01 \text{ м}^2/\text{с}$ ; інтенсивність надходження оксиду вуглецю від автотранспорту  $Q = 0,02 \text{ г/с}$ ; діаметри отворів – 0,3 м, швидкість відбору оксиду вуглецю нижнім патрубком – 20 м/с, верхнім патрубком – 15 м/с; відстань між патрубками – 0,3 м.

У наслідок розглянутої гіпотези, стосовно якої запропоновано вдосконалення технології відбору газів усмоктувачем, засобом встановлення на верхній частині отворів напрямних пластини однакової довжини було проведено числовий експеримент за допомогою програмного пакету «Gases

purifier\_plate». З гідродинамічної точки зору напрямні пластини зменшують швидкість вітрового потоку на рівні отворів, як було показано в роботі [7], до того ж вони допомагають спрямувати потік у сторону отворів, що було якісно доведено фізичним експериментом рис. 4–5. Таким чином, застосування пластин зменшило рівень концентрації  $CO$ .

А саме, на висоті органів дихання значення концентрації оксиду вуглецю складало 18 %, а ризик захворювання через рік становив 28 % на відміну від того, коли напрямні пластини були відсутні. У випадку відсутності напрямних пластин концентрація  $CO$  на висоті органів дихання складала 21 %, а ризик захворювання через рік становив 34 %.

Для оцінки ризику неспецифічних хронічних ефектів при забрудненні атмосферного повітря використовувалася наступна залежність [1, 3, 5]:

$$Risk = 1 - \exp(\ln 0,84 \cdot (C_i / ГДК_{с.д.})^b / k_3), \quad (3)$$

де  $C_i$  – концентрація діючої речовини, що робить вплив за заданий період часу;  $ГДК_{с.д.}$  – середньодобова гранично допустима концентрація;  $k_3$  – коефіцієнт запасу (значення змінюються в залежності від класу небезпеки речовини, 4-й клас  $k_3 = 3$ );  $b$  – коефіцієнт, значення якого змінюються в залежності від класу небезпеки речовини, 4-й клас  $b = 0,87$ .

Оцінка ефективності застосування відсмоктувачів виконувалась на основі розрахунку ризику виникнення хронічних захворювань у людей, що знаходяться на відстані  $l=1,6$  м від усмоктувача. Ризик розраховувався на висоті  $z=1,7$  м, що відповідає положенню органів дихання людини. Результати розрахунку очікуваного ризику показано на рис. 7 впродовж 10 років.



Рисунок 7 – Розподіл ризику протягом 10 років при різних випадках відбору забрудненого повітря

Як видно з даного рисунка, застосування двох отворів для відбору забрудненого повітря та двох напрямних пластинок однакової довжини дозволяє зменшити ризик виникнення хронічних захворювань на 20 % у порівнянні з випадком відсутності напрямних пластин.

### Висновки.

У результаті виконання досліджень отримано наступні результати:

- вдосконалено технологію відбору газів дворівневими усмоктувачами за рахунок встановлення на отворах напрямних пластин;
- проведено фізичний експеримент, який дозволив встановити залежності зміни концентрації забруднювача в залежності від геометрії пристрою, а саме наявності напрямних пластин;
- вдосконалено математичний метод розрахунку поля швидкості повітряного потоку та поля концентрації забруднювача з врахуванням геометрії отворів;
- на основі розрахованого поля концентрації оксиду вуглецю проведено оцінку зміни ризику хронічної інтоксикації впродовж 10 років;
- встановлено, що через один рік рівень хронічної інтоксикації зменшується на 20 % в порівнянні з випадком відсутності напрямних пластин.

Отримані результати необхідні для подальшого вдосконалення процесу відбору газів дворівневими усмоктувачами для зменшення рівня загазованості повітряного середовища та зниження рівня хронічної інтоксикації людей, що перебувають в зоні забруднення.

### СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Алымов В.Т., Тарасова Н.П. Техногенный риск, М.: ИКЦ «Академкнига», 2004. 118 с.
2. Беликов А.С., Шаломов В.А., Рагимов С.Ю., Михайлов М.А. Физическое моделирование изменения энергетического влияния на рабочие места с учетом высокотемпературного излучения, Вісник Придніпровської державної академії будівництва та архітектури, 2017, № 4, С. 231–232.
3. Біляєв М.М., Русакова Т.І. Способи зменшення рівня інтоксикації працівників в робочих зонах біля автомагістралі, Сборник научных трудов НГУ, 2019, Вып. 56, С. 333–341.
4. Месхи Б.Ч., Булыгин Ю.И., Легконогих А.Н., Гайдено А.Л. Математическое и компьютерное моделирование формирования параметров производственной среды в целях проектирования и оптимизации систем вентиляции помещений, Вестник Донского государственного технического университета, 2014, Т. 14, № 2 (77), С. 46–55.
5. Оцінка ризику для здоров'я населення від забруднення атмосферного повітря: методичні рекомендації МОЗ: Наказ №184 від 13.04.2007 р., Київ, 2007, 28 с.
6. Згуровский М.З., Скопецкий В.В., Хрущ В.К., Беляев Н.Н. Численное моделирование распространения загрязнения в окружающей среде, Киев: Наук. думка, 1997, 368 с.
7. Biliaiev M. M., Rusakova T.I. Prediction of microclimate near small architectural constructions, Вісн. Дніпропетр. ун-ту. Сер. «Механіка», 2018, вип.22, Т. 26, №6, с. 53-61.
8. Eccel Em. Estimating air humidity from temperature and precipitation measures for modelling applications, Meteorological Applications, 2012, Vol. 19, Iss. 1, pp. 118–128.
9. Lilla Andrea Égerházi, Attila Kovács, János Unger Application of Microclimate Modelling and Onsite Survey in Planning Practice Related to an Urban Micro-Environment, Hindawi Publishing Corporation Advances in Meteorology, 2013, Article ID 251586, 10 p. <http://dx.doi.org/10.1155/2013/251586>
10. Mohamed H. Elnabawi, Hamza Neveen, Dudek Steven, Numerical modelling evaluation for the microclimate of an outdoor urban form in Cairo, Egypt, HBRC Journal, 2015, Vol. 11. – Iss. 2 – P. 246–251. <https://doi.org/10.1016/j.hbrj.2014.03.004>Get rights and content
11. Annarita Viggiano, Lucio Viscido, Giuseppe Sellitto, Vinicio Magi, Numerical simulation of energy systems to control environment microclimate Angela Genco, International journal of heat and technology issn: 0392-8764, 2016, Vol. 34, Iss. 2, pp. 545–552.

### REFERENCES

1. Alymov, V.T. and Tarasova, N.P. (2003), *Tekhnogennyy risk* [Technogenic risk], Akademkniga, Moscow, Russia.



2. Belikov, A.S., Shalomov, V.A., Ragimov, S.Yu. and Mihailov, M.A. (2017), "Physical modeling of changes in the energy impact on workplaces taking into account high-temperature radiation", *Visnik Pridniprovs'koї derzhavnoi akademii budivnitstva ta arkhitekturi* [Bulletin of the Dnieper Academy of Civil Engineering and Architecture]. no. 4, pp. 231-232.
3. Biliaiev, M.M. and Rusakova, T.I. (2019), "Ways to reduce the level of intoxication of workers in the work areas near the highway", *Sbornik nauchnykh trudov NGU* [Collection of scientific papers of the NSU]. no. 56, pp. 333-341.
4. Meskhi, B.Ch., Bulygin, Yu.I., Legkonogikh, A.N. and Gaidenko, A.P. (2014), "Mathematical and computer simulation of the formation of the parameters of the production environment in order to design and optimize ventilation systems for premises", *Vestnik Donskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta*, Vol. 14, no. 2 (77), pp. 46-55.
5. Ministry of health of Ukraine (2007), *Metodychni rekomendatsiyi: Otsinka ryzyku dlya zdorovya naselennya vid zabrudnennya atmosferoho povitrya* [Methodological recommendations: Risk assessment for public health from atmospheric air pollution], Ministry of health of Ukraine, Kyiv, Ukraine.
6. Zgurovskiy, M.Z., Skopetskiy, V.V., Khrushch, V.K. and Belyayev, N.N. (1997), *Chislennoye modelirovaniye rasprostraneniya zagryazneniya v okruzhayushchey srede* [Numerical modelling of pollution in the environment], Naukova Dumka, Kyiv, Ukraine.
7. Biliaiev, M.M. and Rusakova, T.I. (2018), "Prediction of microclimate near small architectural constructions", *Bulletin of Dnipropetrovsk University. Series "Mechanics"*, Vol. 22, no. 6 (26), pp. 53-61.
8. Eccel, Em. (2012), "Estimating air humidity from temperature and precipitation measures for modelling applications", *Meteorological Applications*, Vol. 19, Iss. 1, pp. 118-128.
9. Egerházi, L., Kovács A. and Unger, J. (2013), "Application of Microclimate Modelling and Onsite Survey in Planning Practice Related to an Urban Micro-Environment", *Hindawi Publishing Corporation Advances in Meteorology*, vol. 2013, pp. 1-10, <http://dx.doi.org/10.1155/2013/251586>
10. Mohamed, H.E., Neveen, H. and Steven Dudek (2015), "Numerical modelling evaluation for the microclimate of an outdoor urban form in Cairo, Egypt", *HBRC Journal*, Vol. 11, Iss. 3, pp. 246-251, <https://doi.org/10.1016/j.hbrj.2014.03.004>
11. Viggiano, A., Viscido, L., Sellitto, G. and Magi, V. (2016), "Numerical simulation of energy systems to control environment microclimate Angela Genco", *International journal of heat and technology*, Vol. 34. Iss. 2, pp. 545-552.

#### Об авторах

**Біляєв Микола Миколайович**, доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри Гідравліки та водопостачання, Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна, Дніпро, Україна, [gidravlika2013@mail.ru](mailto:gidravlika2013@mail.ru)

**Русакова Тетяна Іванівна**, кандидат технічних наук, доцент кафедри аерогідромеханіки та енергомасопереносу, Дніпровський національний університет імені О. Гончара, Дніпро, Україна, [rusakovati1977@gmail.com](mailto:rusakovati1977@gmail.com)

#### About the authors

**Biliaiev Nikolay Nikolaevich**, Doctor of Technical Sciences, Professor, Head of the Department Hydraulics and water supply, Academician V. Lazaryan Dnipropetrovsk National University of Railway Transport, Dnepr, Ukraine, [gidravlika2013@mail.ru](mailto:gidravlika2013@mail.ru)

**Rusakova Tatiana Ivanovna**, Candidate of Technical Sciences (Ph. D), Associate Professor of the Department Aerohydrodynamics and Energy Mass Transfer, Oles Honchar Dnipro National University, Dnepr, Ukraine, [rusakovati1977@gmail.com](mailto:rusakovati1977@gmail.com)

**Аннотация.** Качественный и количественный состав воздуха является одной из составляющих микроклимата. Для снижения уровня загазованности существуют разные способы: установка экранов, воздушных завес. Эффективным способом решения этой задачи может быть применение локальных отсосов. Для их практического использования необходимы специальные математические методы, позволяющие оценивать их эффективность с учетом основных факторов: поля скоростей воздушного потока, диффузии, геометрической формы и размеров отсосов.

Предмет исследования – процесс снижения уровня загазованности воздушной среды. Цель работы – усовершенствование технологии двухуровневых отсосов за счет использования специальных направляющих пластин, а соответственно и усовершенствование метода численного расчета, учитывающего изменение геометрии устройства и позволяющего провести оценку эффективности использования отсосов данного типа. Основой усовершенствования метода расчета служил физический эксперимент по оценке эффективности уменьшения зоны загрязнения при наличии антропогенного источника за счет установки сверху отверстий отсоса горизонтальных пластин одинаковой длины. Поле скорости воздушного потока вычислялось из уравнения Лапласа для потенциала скорости газового потока. Процесс распространения примеси в атмосферном воздухе моделировался на базе двумерного уравнения массопереноса, решение которого находилось конечно-разностным методом. В результате исследований был усовершенствован метод расчета поля концентрации, который позволяет учитывать геометрию отсоса с учетом метеорологических параметров среды. Разработанное программное обеспечение позволило провести ряд расчетов концентрации загрязнителя и оценить зоны загрязнения воздушной среды оксидом углерода. Установлены зависимости относительно изменения риска хронической интоксикации воздушной среды оксидом углерода в течение 10 лет. Полученные результаты

являются необходимыми для улучшения параметров микроклимата в рабочих зонах и дальнейшего совершенствования процесса отбора газов двухуровневыми отсосами с целью уменьшения уровня загазованности воздушной среды и снижения хронической интоксикации людей, находящихся в зоне влияния.

**Ключевые слова:** двухуровневый отсос, физический эксперимент, риск хронической интоксикации, концентрация примеси.

**Annotation.** The qualitative and quantitative composition of air is one of the microclimate components. For the decline of gassed level there are different methods: setting of screens, air curtains. Application of the local suctions can be the effective method of decision of this task. For their practical use the special mathematical methods allowing to estimate their efficiency taking into account basic factors are needed: field of speeds of current of air, diffusion, geometrical form and sizes of suctions.

Subject of the study was process of reducing level of air pollution. Objective of the work was to improve technology of two-level suction through the use of special guide plates, and, accordingly, to improve method of numerical calculation with taking into account change of the device geometry and to assess effectiveness of this type of suction. Basis for the calculation method improvement was physical experiment on assessing effectiveness of contaminated area reduction in the presence of anthropogenic source by the way of installing horizontal plates of the same length on the top of the suction holes. The airflow velocity field was calculated by the Laplace equation for the gas velocity potential. Process of impurity propagation in atmospheric air was modeled on the basis of two-dimensional mass transfer equation, solution of which was found by a finite-difference method. As a result of this research, method for calculating the field of concentration is improved by taking into account suction geometry and meteorological parameters of the environment. The developed software made it possible to carry out a number of calculations of pollutant concentration and to estimate areas of air polluted with carbon monoxide. Dependencies are established regarding the changing risk of chronic air intoxication with carbon monoxide over the period of 10 years. The obtained results are necessary for improving microclimate parameters in the working areas and further improving the process of gas extraction with two-level suction in order to reduce level of gas pollution of the air environment and reduce chronic intoxication of people in the zone of influence.

**Keywords:** two-level suction, physical experiment, risk of chronic intoxication, impurity concentration.

*Стаття надійшла до редакції 16.04.2018.*

*Рекомендовано до друку д-ром техн. наук Т.В. Бунько.*