

DOI: 10.29295/2311-7257-2019-95-1-227-233

УДК 519.6

Біляєв М.М.

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

Берлов О.В.

*ДВНЗ «Придніпровська державна академія будівництва і архітектури»
(вул. Чернишевського, 24а, Дніпро, 49600; e-mail: berlov@mail.pgasa.dp.ua;
ORCID 0000-0002-7442-0548)*

Калашніков І.В.

*ДП «Проектно-вишукувальний інститут залізничного транспорту України «Укрзалізничпроект»,
(вул. Котляра, 7, Харків, 61052; e-mail: u.z.p@ukr.net;
ORCID 0000-0002-2814-380X)*

Біляєва В.В.

*Дніпровський національний університет ім. О. Гончара
(пр-т Гагаріна, 72, Дніпро, 49000; e-mail: water.supply.treatment@gmail.com;
ORCID 0000-0003-2399-3124)*

МОДЕЛЮВАННЯ ЗАТІКАННЯ ТОКСИЧНОГО ГАЗУ У ПРИМІЩЕННЯ

Розробка математичної моделі для оцінки рівня забруднення повітряного середовища в приміщеннях при затіканні в них забрудненого повітря. Для розрахунку переносу хімічно небезпечної речовини в приміщенні при затіканні в нього хімічного агента використовується двомірне рівняння масопереносу хімічно небезпечної речовини в атмосфері. Дане рівняння враховує параметри метеоситуації, концентрацію хімічного агента в повітрі, що втікає в приміщення, турбулентну дифузію і наявність в приміщенні перешкод (меблі і т.п.). Для чисельного інтегрування моделюючого рівняння використовується неявна попеременно-трикутна різницева схема. Для розрахунку поля швидкості повітряного потоку в приміщенні при наявності різних перешкод використовуються рівняння Нав'є-Стокса, записані в змінних Гельмгольда. Для розв'язання рівнянь Нав'є-Стокса використовуються неявні різницеві схеми розщеплення. Побудовано математичну модель для розрахунку руху забрудненого повітря в дихальних шляхах людини, яка знаходиться всередині приміщення. Для розрахунку переносу хімічно небезпечної речовини в дихальних шляхах використовується двомірне рівняння масопереносу хімічно небезпечної речовини. Дане рівняння враховує нерівномірне поле швидкості повітряного потоку в горлі, дифузію, захоплення стінками горла забруднювача. Для моделювання поля швидкості потоку всередині горла застосовується модель безвихрових течій ідеальної рідини – модель потенційної течії. Для чисельного розв'язання рівняння для потенціалу швидкості застосовується локально-одномірна схема. Для чисельного інтегрування рівняння масопереносу застосовується неявна різницева схема розщеплення. На базі побудованої математичної моделі розроблено комплекс прикладних програм, який може бути використаний для оцінки ризику токсичного ураження людей в приміщеннях. Математична модель може бути реалізована на комп'ютерах малої і середньої потужності, що дозволяє його широко використовувати для вирішення задач даного класу. Представлені результати проведеного обчислювального експерименту, що дозволяють оцінити можливості розробленої математичної моделі. Запропонована модель оцінки територіального ризику в разі викиду небезпечної речовини в умовах забудови може бути використана при розробці ПЛАСу.

Ключові слова: математичне моделювання, хімічне забруднення в приміщеннях, чисельне моделювання.

Вступ. Емісія хімічно небезпечних речовин може привести до небезпечного забруднення атмосферного повітря не тільки люди на відкритій місцевості, а й люди всередині приміщень, куди надходить токсичний газ через систему вентиля-

ції. Така ж небезпека виникає у разі терористичних актів із застосуванням хімічних агентів [1-7, 10, 12-14]. Тому, при розробці ПЛАС (план ліквідації аварійної ситуації) виникає важлива задача – прогнозування рівня забруднення повітряного середо-

вища, як на відкритій місцевості, так і всередині приміщень. Для практики вкрай важливо мати методи прогнозу, які дозволяють розрахувати динаміку забруднення повітряного середовища усередині приміщень і оцінити ризик токсичного ураження людей в цих приміщеннях.

Аналіз літературних джерел. Для прогнозування рівня забруднення атмосфери широко використовуються аналітичні моделі, модель Гауса, на базі яких розроблено ряд комерційних програм типу «SLAB», «Токси», «Аммиак». Ці пакети дають можливість розраховувати забруднення атмосфери на відкритій місцевості. Для моделювання хімічного зараження повітря в приміщеннях використовують CFD моделі для розрахунку поля швидкості вітрового потоку в приміщенні з подальшим розрахунком зон забруднення. Але, застосування CFD моделей (комерційні пакети типу ANSYS і т.д.) вимагає використання дуже потужних комп'ютерів і великих витрат комп'ютерного часу. Тому актуальною задачею є розробка швидкорухуючих математичних моделей для оцінки рівня хімічного зараження повітря в приміщеннях та ризику ураження людей в приміщеннях.

Метою даної роботи є розробка чисельної моделі для оцінки рівня хімічного зараження повітря всередині приміщень при затіканні в них хімічного агента.

Постановка задачі. Розглядатиметься формування зон хімічного зараження всередині приміщень, з урахуванням розміщення в них перешкод (меблі і т.п.). Другий етап розв'язання задачі – моделювання масопереносу токсичного газу в дихальних шляхах людини.

Модель №1. Забруднення повітряного середовища в приміщенні. Забруднене атмосферне повітря надходить в приміщення через систему вентиляції або за рахунок інфільтрації повітря через нещільності (рис.1).

Процес моделювання хімічного зараження повітряного середовища усередині приміщень, при затіканні в них забрудненого атмосферного повітря, розбивається на два етапи. На першому етапі здійснюється розрахунок аеродинаміки повітряних

потоків всередині приміщення (при роботі вентиляції).

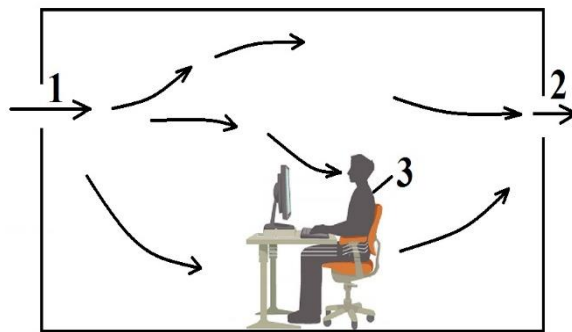


Рис. 1. Схема поширення забрудненого повітря в приміщенні

Для розв'язання задачі використовуються рівняння Нав'є-Стокса, записані в змінних Гельмгольца [9]:

$$\frac{\partial \omega}{\partial t} + \frac{\partial u \omega}{\partial x} + \frac{\partial v \omega}{\partial y} = \frac{1}{Re \left(\frac{\partial^2 \omega}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \omega}{\partial y^2} \right)}, \quad (1)$$

$$\frac{\partial^2 \psi}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \psi}{\partial y^2} = -\omega, \quad (2)$$

де Re – число Рейнольдса; $\omega = \frac{\partial v}{\partial x} - \frac{\partial u}{\partial y}$ – завихореність; $u = \frac{\partial \psi}{\partial y}$, $v = \frac{\partial \psi}{\partial x}$ – компоненти вектора швидкості повітряного потоку; ψ – функція току.

Для чисельного інтегрування рівнянь (1), (2) використовуються неявні різницеві схеми [9,11].

На другому етапі розв'язання задачі, моделюється поширення токсичного газу всередині приміщення при його надходженні через систему вентиляції:

$$\frac{\partial C}{\partial t} + \frac{\partial u C}{\partial x} + \frac{\partial v C}{\partial y} = \text{div}(\mu \text{grad} C), \quad (3)$$

де C – концентрація хімічного агента в повітрі всередині приміщення; u, v – компоненти вектора швидкості повітряного потоку; $\mu = (\mu_x, \mu_y)$ – коефіцієнти атмосферної турбулентної дифузії; x, y – Декартові координати; t – час.

Відзначимо, що на вхідній границі, через яку відбувається затікання зовнішнього забрудненого повітря, задається концентрація хімічного агента. Постановка граничних умов для моделюючих рівнянь розглянуто в [3,9].

При застосуванні моделі (3) вважається, що концентрація забруднювача в приміщенні дорівнює $C = 0$ для моменту часу $t = 0$.

Модель №2. Рух забрудненого повітря всередині горла.

Забруднене повітря, що потрапило в приміщення, починає забруднювати робочі зони. Хімічний агент може надходити в організм людини через ніс або рот (рис. 2). Тут обмежимося розглядом руху забрудненого повітря при вдиханні через рот. Горло людини, з аеродинамічної точки зору – це повітропровід складної форми. Стінки цього воздуховода – змінюють свою геометрію при диханні, але поки обмежимося випадком, коли форма повітряного тракту має складну форму, яка не змінюється з часом. Тобто, горло – канал складної форми (рис. 3).

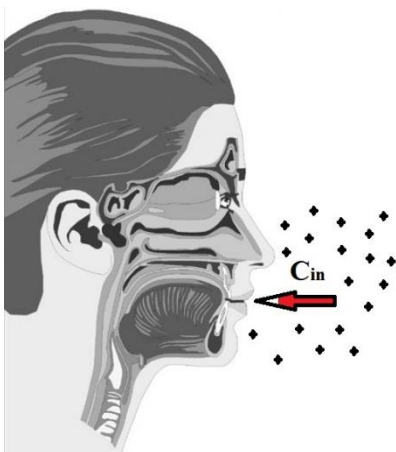


Рис. 2. Схема надходження забрудненого повітря в дихальні шляхи [15]

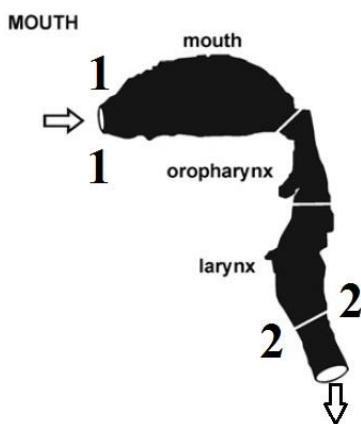


Рис. 3. Схема тракту руху забрудненого повітря всередині горла [15]

Поле швидкості в горлі моделюється на базі рівняння для потенціалу швидкості $\frac{\partial^2 P}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 P}{\partial y^2} = 0$. (4)

Граничні умови для рівняння масопереносу розглянуті в [5,9]. Однак необхідно мати на увазі, що напрямок руху потоку в цьому каналі при вдиху і видиху – різне.

Компоненти вектора швидкості повітряного середовища всередині горла розраховується по залежностях:

$$u = \frac{\partial P}{\partial x}, v = \frac{\partial P}{\partial y}. \quad (5)$$

Рух забруднювача, що міститься у вдихуваному повітрі, всередині горла, моделюється рівнянням [8]:

$$\frac{\partial C}{\partial t} + \frac{\partial uC}{\partial x} + \frac{\partial vC}{\partial y} + \sigma C = \frac{\partial}{\partial x} \left(\mu_x \frac{\partial C}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\mu_y \frac{\partial C}{\partial y} \right). \quad (6)$$

Як вже зазначалося раніше, вважаємо, що стінки горла – тверді і непроникні. Однак, будемо враховувати, що на стінках горла має місце «захоплення» забруднювача, що міститься у вдихуваному повітрі. Для моделювання процесу «захоплення» забруднювача на стінках горла, ставиться така гранична умова

$$\frac{\partial C}{\partial n} = \alpha C. \quad (7)$$

де параметр α визначається експериментальним шляхом.

Гранична умова на вході в горло має вигляд

$$C = C_{in} \text{ для } t = 0.$$

Початкова умова має вигляд

$$C = 0 \text{ для } t = 0.$$

Алгоритм розв'язання задачі про рух забрудненого повітря в горлі розбивається на два кроки:

1. Перший крок: при вдиху, виконується розв'язок рівняння (4), визначається поле потенціалу швидкості і розраховуються компоненти вектора швидкості повітряного середовища в горлі по залежностям (5). При цьому, напрямок руху потоку такий як показано на рис. 3 стрілками, тобто від перетину "mouth" до перетину 2. Далі здійснюється розв'язання рівняння масопереносу (6). Чисельний розв'язок нестационарного рівняння (6) відбувається на часовому проміжку t_{in} , який відповідає

часу вдиху. Відзначимо, що значення концентрації домішки, розраховане в останній різницевій комірці C_n , використовується на другому кроці розрахунку (видих) як «початкова» концентрація, а поле концентрації, відповідне часу t_{in} – є «початковою» умовою для другого кроку – видиху.

2. Другий крок: при видиху, виконується розв'язок рівняння (4), визначається поле потенціалу швидкості і розраховуються компоненти вектора швидкості повітряного середовища в горлі по залежностям (5). Але при цьому, напрямок руху потоку від перетину «2» до перетину «1». Далі здійснюється розв'язання рівняння масопереносу (6). Відзначимо, що значення концентрації домішки в перетині «2» приймається $C_{in} = C_n$.

Для проведення розрахунків за моделлю (6) необхідно знати значення коефіцієнта α в (7). Для оцінки величини коефіцієнта α скористаємося такою наближеною методологією. Розглянемо різницеву комірку, яка прилягає до стінки горла. Потік домішки до стінки горла описується законом Фіка.

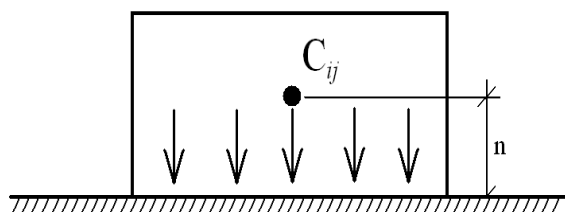


Рис. 4. До розрахунку потоку домішки на твердій стінці мембрани

$$\text{Математично це можна записати так} \\ q = -\mu \frac{\partial C}{\partial n}, \quad (8)$$

де μ – коефіцієнт дифузії, n – нормаль, q – потік забруднювача до стінки (за одиницю часу і на одиницю площі).

При розв'язанні задачі про осіданні домішки на поверхню горла використовується гранична умова 2-го роду (7). Тоді, використовуючи залежність (8), можна знайти значення коефіцієнта α :

$$\alpha = \frac{\partial C}{\partial n}. \quad (9)$$

З іншого боку, використовуючи закон Фіка, маємо

$$\frac{\partial C}{\partial n} = \frac{q}{\mu}. \quad (10)$$

Тоді

$$\alpha = \frac{q}{C}. \quad (11)$$

Для розрахунку коефіцієнта α за формулою (11) треба знати параметр q . Для розрахунку інтенсивності осідання домішки на стінках горла q використовуємо дані експерименту. Наприклад, знаючи вимірне значення концентрації домішки перед вдихом C_{in} , обсяг вдихуваного повітря Q_{in} , час вдиху t_{in} , знаходимо масу домішки, що надійшла всередину людини

$$M_{in} = C_{in} \cdot t_{in} \cdot Q_{in}.$$

Аналогічно, знаючи вимірне значення концентрації на видиху C_{out} обсяг повітря, що видихається Q_{out} , час вдиху t_{out} , можна розрахувати масу виходу домішки при видиху

$$M_{out} = C_{out} \cdot t_{out} \cdot Q_{out}.$$

Можна прийняти: $t_{in} = t_{out} = t$, $Q_{out} = Q_{in}$.

Розраховуємо масу домішки, захоплену організмом (маса осіла на стінках горла)

$$M = M_{in} - M_{out}.$$

Нехай S – площа поверхні, яка контактувала з потоком повітря в горлі. Тоді, значення параметра q розраховується так

$$q = \frac{M}{2S(2t)}.$$

Значення коефіцієнта дифузії можна прийняти $\mu_y = k_0 \cdot u$, k_0 – параметр, u – швидкість потоку.

Для кодування різницевих рівнянь була використана алгоритмічна мова FORTRAN.

Результати. Розроблена чисельна модель була використана для вирішення модельної задачі. Розглядався притік забрудненого повітря у приміщення.

На рис. 5 представлена зона забруднення всередині приміщення при затіканні в нього токсичного газу в момент часу $t=12$ с. Вважалося, що токсичний газ надходить через систему вентиляції, повітрозабірник якої розташований на будівлі. Всередині приміщення знаходиться два об'єкти – шафи, які створюють перешкоду на шляху руху токсичного газу та сходинки.

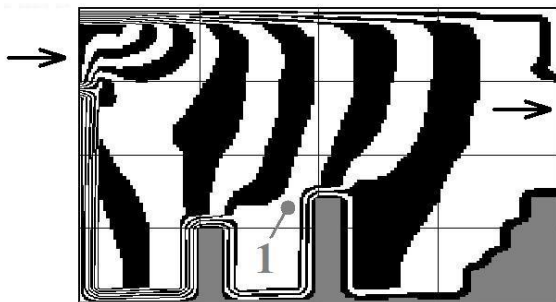


Рис. 5. Зона хімічного зараження в приміщенні ($t=12$ сек)

На рис.6 представлена зона забруднення всередині горла при затікання в нього токсичного газу в момент часу $t=13$ с. Голова людини розташована в точці, показана на рис.5, позиція 1.

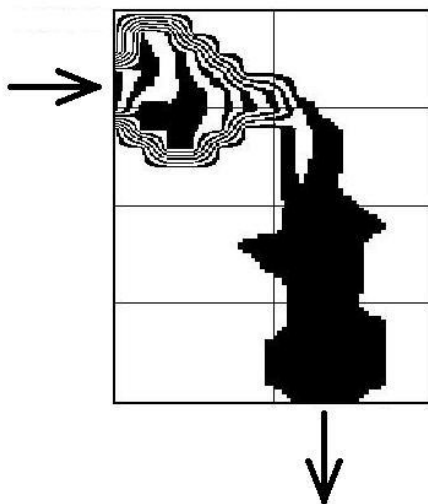


Рис. 6. Зона хімічного зараження в горлі при вдиху людини ($t=13$ сек)

Як видно, з представлених рисунків, всередині приміщення швидко формується зона зараження. Шлейф токсичного газу надходить з системи вентиляції та формує підзону забруднення біля меблів розміщеної всередині приміщення.

Відзначимо, що для вирішення задачі потрібно 15 секунд комп'ютерного часу. Таким чином, розроблену математичну модель можна використовувати для проведення серійних розрахунків при розробці ПЛАС.

Висновки та перспективи подальших досліджень. У статті розглянута математична модель, що дозволяє вирішувати

задачу забруднення повітря всередині приміщення при потраплянні хімічного агенту через вентиляцію. Модель дозволяє розраховувати поширення забрудненого повітря в дихальних шляхах людини.

Подальше вдосконалення обраного наукового напрямку слід проводити в області створення 3D моделі для розрахунку руху забрудненого повітря в горлі.

ЛІТЕРАТУРА:

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. Беляев, Н.Н. Защита зданий от проникновения в них опасных веществ: монография / Н.Н. Беляев, Е.Ю. Гунько, Н.В. Росточило. – Днепропетровск: Акцент ПП, 2014. – 136 с.
3. Беляев Н. Н. Прогнозирование уровня загрязнения воздушной среды в помещениях: монография / Н. Н. Беляев, В. В. Беляева, З. Н. Якубовская. – Днепропетровск: Акцент ПП, 2015. – 123 с.
4. Біляєв, М.М. Математичне моделювання в задачах промислової безпеки та охорони праці: монографія / М.М. Біляєв, О.В. Берлов, П.С. Кіріченко; Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна МОН України. – Кривий Ріг: Вид. Р.А. Козлов, 2017. – 130 с.
5. Беляев, Н.Н. Численное моделирование в задачах оценки риска при эмиссии опасных веществ в атмосферу / Н.Н. Беляев, А.В. Берлов, И.В. Калашников, В.А. Козачина // Научный вестник строительства. – 2018. – Т.94, № 4. – С. 206 – 211. DOI: 10.29295/2311-7257-2018-94-4-206-211
6. Беляев, Н.Н. Моделирование аварийного загрязнения атмосферы при чрезвычайной ситуации в хранилище твердого ракетного топлива / Н.Н. Беляев, А.В. Берлов, А.В. Шевченко // Наука та прогрес транспорту. Екологія на транспорті. Вісн. Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. трансп. ім. академіка В. Лазаряна. – 2014. – Вип. 5 (53). – С. 29 – 38.
7. Беляев, Н.Н. Защита атмосферы от загрязнения при чрезвычайных ситуациях на железнодорожном транспорте / Н.Н. Беляев, А.В. Берлов, П.С. Кириченко // Збірник наукових праць «Научный вестник строительства» – Х.: Харківський національний

- університет будівництва та архітектури, 2016 – №1(83). – С.203 – 207.
8. Марчук, Г.И. Математическое моделирование в проблеме окружающей среды / Г.И. Марчук. – М.: Наука. Главное издательство физико-математической литературы, 1982. – 320 с.
 9. Численное моделирование распространения загрязнения в окружающей среде / М.З. Згуровский, В.В. Скопецкий, В.К. Хрущ, Н.Н. Беляев. – К.: Наук. думка, 1997. – 368 с.
 10. Barret, A.M. Mathematical Modeling and Decision Analysis for Terrorism Defense: Assessing Chlorine Truck Attack Consequence and Countermeasure Cost Effectiveness: Degree of Doctor of Philosophy / Anthony Michael Barret. – Carnegie Mellon University. – Pittsburg, Pennsylvania, 2009. – 123 p.
 11. Biliaiev, M.M. Numerical Simulation of Indoor Air Pollution and Atmosphere Pollution for Regions Having Complex Topography / M.M. Biliaiev, M.M. Kharytonov // NATO Science for Peace and Security. Series C: Environmental Security. – Dordrecht, 2012. – P. 87–91.
 12. Chan W.R., Nazaroff W.W., Price P.N., Gadgil A.J. Effectiveness of Urban Shelter-in-Place. II: Residential Districts, 2008. 31 p. Available at: <http://www.osti.gov/scitech/servlets/purl/928232> (Accessed 29 March 2014). doi: 10.1016/j.atmosenv.2007.04.059.
 13. Effect of barriers on the status of atmospheric pollution by mathematical modeling / Zahra Naserzadeh, Farideh Atabi, Faramarz Moattar and Naser Moharram Nejad // Biosci. Biotech. Res. Comm. – Vol. 10(1). – 2017. – P. 192 – 204.
 14. Effectiveness of Urban Shelter-in-Place. II / Chan W. R., Nazaroff W. W., Price P. N., Gadgil A. J. / Residential Districts, 2008. 31 p. Available at: <http://www.osti.gov/scitech/servlets/purl/928232>; doi: 10.1016/j.atmosenv.2007.04.059.
 15. Sturm R. (2012). Modeling the deposition of bioaerosols with variable size and shape in the human respiratory tract – A review / Journal of Advanced Research, Cairo University, Salzburg, Austria. – 2012, (3), 295–304 pp.

Беляев Н.Н., Берлов А.В., Калашников И.В., Беляева В.В. МОДЕЛИРОВАНИЕ ЗАТЕКАНИЯ ТОКСИЧНОГО ГАЗА В ПОМЕЩЕНИЕ. Разработка математической модели для оценки уровня загрязнения воздушной среды в

помещениях при затекании в них загрязненного воздуха. Для расчета переноса химически опасного вещества в помещении при затекании в него химического агента используется двухмерное уравнение массопереноса химически опасного вещества в атмосфере. Данное уравнение учитывает параметры метеоситуации, концентрацию химического агента во втекающем в помещение воздухе, турбулентную диффузию и наличие в помещении преград (мебель и т.п.). Для численного интегрирования моделирующего уравнения используется неявная попеременно-треугольная разностная схема. Для расчета поля скорости воздушного потока в помещении при наличии различных преград используются уравнения Навье-Стокса, записанные в переменных Гельмгольда. Для решения уравнений Навье-Стокса используются неявные разностные схемы расщепления. Построена математическая модель для расчета движения загрязненного воздуха в дыхательных путях человека, находящегося внутри помещения. Для расчета переноса химически опасного вещества в дыхательных путях используется двухмерное уравнение массопереноса химически опасного вещества. Данное уравнение учитывает неравномерное поле скорости воздушного потока в горле, диффузию, захват стенками горла загрязнителя. Для моделирования поля скорости потока внутри горла применяется модель безвихревых течений идеальной жидкости – модель потенциального течения. Для численного решения уравнения для потенциала скорости применяется локально-одномерная схема. Для численного интегрирования уравнения массопереноса применяется неявная разностная схема расщепления. На базе построенной математической модели разработан комплекс прикладных программ, который может быть использован для оценки риска токсичного поражения людей в помещениях. Математическая модель может быть реализована на компьютерах малой и средней мощности, что позволяет его широко использовать для решения задач рассматриваемого класса. Представлены результаты проведенного вычислительного эксперимента, позволяющие оценить возможности разработанной математической модели. Предложенная модель оценки территориального риска в случае выброса опасного вещества в условиях застройки может быть использована при разработке ПЛАСа.

Ключевые слова: математическое моделирование, химическое загрязнение в помещениях, численное моделирование.

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