ISSN 2307–3489 (Print), ISSN 2307–6666 (Online)
Наука та прогрес транспорту, 2024, № 3 (107)

УДК 656.2.013: [504.6:519.87]

В. В. БІЛЯЄВА[1], І. В. КАЛАШНІКОВ[2], О. В. БЕРЛОВ[3*], О. І. ГУБІН[4], В. А. КОЗАЧИНА[5]

[1]Каф. енергетичних систем та енергоменеджменту, Український державний університет науки і технологій, пр. Науки, 4, Дніпро, Україна, 49010, тел. +38 (056) 374 82 89, ел. пошта water.supply.treatment@gmail.com, ORCID 0000-0003-2399-3124
[2]Харківське відділення філії «Проєктно-вишукувальний інститут залізничного транспорту», акціонерного товариства «Українська залізниця», вул. Котляра, 7, Харків, Україна, 61052, тел. +38 (057) 724 41 25, ел. пошта uzp38@ukr.net, ORCID 0000-0002-2814-380X
[3*]Каф. охорони праці, цивільної та промислової безпеки, Український державний університет науки і технологій, вул. Архітектора Олега Петрова, 24-а, Дніпро, Україна, 49600, тел. +38 (056) 247 16 01, ел. пошта berlov.oleksandr@pdaba.edu.ua, ORCID 0000-0002-7442-0548
[4]Каф. «Аерогідромеханіка та енергомасоперенос», Дніпровський національний університет імені Олеся Гончара, пр. Науки, 72, Дніпро, Україна, 49000, тел. +38 (056) 374 98 22, ел. пошта water.supply.treatment@gmail.com, ORCID 0000-0001-9434-2367
[5]Каф. «Гідравліка, водопостачання та фізика», Український державний університет науки і технологій, вул. Лазаряна, 2, Дніпро, Україна, , 49010, тел. +38 (056) 373 15 09, ел. пошта water.supply.treatment@gmail.com, ORCID 0000-0002-6894-5532

Прогнозування наслідків надзвичайної ситуації на залізничній станції

Мета. Розглянуто задачу визначення розмірів зон ураження у випадку екстремальної ситуації на залізничній станції внаслідок пожежі цистерн. Задачею прогнозування є визначення зон теплового забруднення, а також хімічного та механічного забруднення. **Основна мета** роботи полягає у створенні чисельних моделей для розрахунку зон механічного та теплового забруднення довкілля в разі пожежі на залізничній станції. **Методика.** Для аналізу розмірів та інтенсивності зон теплового, хімічного, механічного забруднення довкілля у випадку виникнення екстремальної ситуації на залізничній станції використано рівняння тепломасопереносу та другий закон Ньютона для моделювання механічного забруднення довкілля. Для розв'язання рівнянь використано чисельні методи – метод Ейлера та скінченнорізницеві схеми. На базі розроблених чисельних моделей створено комп'ютерний код для проведення обчислювального експерименту. **Результати.** Розроблено сучасні комп'ютерні моделі оцінювання зон хімічного, теплового, механічного забруднення в разі виникнення екстремальної ситуації. Наведено результати комп'ютерного моделювання. **Наукова новизна.** Створено комплекс чисельних моделей для комп'ютерного моделювання процесів тепломасопереносу та динаміки руху точки, що дозволяє проводити обчислювальний експеримент із визначення зон забруднення під час пожежі на залізничній станції. **Практична значимість.** На базі створених математичних моделей розроблено комп'ютерний код. Цей код є інструментом розв'язання важливих задач у галузі екологічної безпеки та цивільного захисту. Комп'ютерний код дає можливість оперативно визначати інтенсивність та розміри зон забруднення довкілля у випадку виникнення екстремальної ситуації.

Ключові слова: хімічне забруднення; теплове забруднення; розлітання уламків; чисельне моделювання

Вступ

Прогнозування ризику ураження людини в разі екстремальних ситуацій на промислових об'єктах транспорту має важливе значення, особливо коли такі об'єкти розташовані в селітебних зонах [1, 4, 7, 10]. Екстремальні ситуації можуть призвести до хімічного, теплового і механічного забруднення навколишнього середовища та як наслідок – до токсичного, теплового ураження людини, а також ураження від метальної дії уламків. Тому вкрай важливо для кожного об'єкта енергетики, що розташований у селітебній зоні, визначати зони ураження та створювати карту зон небезпеки в містах, де розміщена велика кількість об'єктів енергетики.

Визначення зон забруднення у разі екстремальної ситуації на залізничній станції належить до вкрай важливих задач у галузі екологічної безпеки та цивільного захисту. Такий аналіз базується на використанні математичних моделей, серед яких найбільш поширені модель Гауса або аналітичні моделі, що реалізовані вигляді спеціальних комп'ютерних кодів, наприклад «ALOHA», «PHAST» [6, 8], CFD моделі [1, 5, 9].

Creative Commons Attribution 4.0 International
doi: https://doi.org/10.15802/stp2024/312923
© В. В. Біляєва, І. В. Калашніков, О. В. Берлов, О. І. Губін, В. А. Козачина, 2024

ISSN 2307–3489 (Print), ISSN 2307–6666 (Online)
Наука та прогрес транспорту, 2024, № 3 (107)

До недавнього часу, зокрема в підрозділок МНС, використовували емпіричні моделі під час розробці ПЛАСу (план локалізації та ліквідації аварійних ситуацій), але підвищені вимоги до якості прогнозованої інформації суттєво знизили інтерес до емпіричних моделей. Розробка багатофакторних моделей, орієнтованих на розв'язання повсякденних задач, так званих «operational models», триває та є сучасним трендом у галузі екологічної безпеки й охорони праці.

Мета

Робота спрямована на оцінювання зон забруднення в разі ймовірної ситуації – пожежі на залізничній станції – за допомогою розроблених чисельних моделей та створеного на їх базі пакета програм.

Методика

Залізничні станції є об'єктами, де можливі екстремальні ситуації – займання цистерн із нафтопродуктами. Розглядаємо таку ймовірну екстремальну ситуацію на залізничній станції в Дніпропетровській області. Поруч зі станцією селітебна зона (рис. 1), тому вкрай важливо оцінити зону ураження у випадку ймовірної пожежі.

У цій роботі оцінимо зони ризику для таких видів ураження людини:

1) хімічне ураження (уражальний фактор – концентрація хімічно небезпечної речовини);

2) теплове ураження (уражальний фактор підвищена температура повітря);

3) механічне ураження (уражальний фактор – метальна дія уламків).

Модель хімічного забруднення атмосферного повітря. Для оцінювання ризику хімічного ураження використовуємо рівняння перенесення [1, 5]:

$$\frac{\partial S}{\partial t}+\frac{\partial uS}{\partial x}+\frac{\partial vS}{\partial y}=\frac{\partial}{\partial x}\left(\mu_x\frac{\partial S}{\partial x}\right)+$$

$$+\frac{\partial}{\partial y}\left(\mu_y\frac{\partial S}{\partial y}\right)+\sum_{i=1}^{N}Q_i\delta(x-x_i)\delta(y-y_i), \quad (1)$$

де S – середнє (за висотою перенесення) значення концентрації хімічно небезпечної речовини; u, v – компоненти вектора швидкості вітру в проєкції на осі координат x, y, відповідно; x_i, y_i – декартові координати i-ого джерела викиду хімічно небезпечної речовини на об'єкті; t – час, с; μ_x, μ_y – коефіцієнти атмосферної турбулентної дифузії; $\delta(x_i, y_i)$ – дельта функція Дірака, за допомогою якої в моделі задають місце аварійного викиду. Інтенсивність емісії хімічно небезпечної речовини дорівнює Q.

Граничні умови для рівняння (1) наведені в [2].

Модель термічного забруднення атмосферного повітря. Для оцінювання ризику термічного ураження використовують рівняння енергії в наближенні Бусінеска [1]:

$$\frac{\partial T}{\partial t}+\frac{\partial uT}{\partial x}+\frac{\partial vT}{\partial y}=div\left(a\,grad\,T\right), \quad (2)$$

де T – температура атмосферного повітря; $a=\left(a_x, a_y\right)$ – коефіцієнти температуропровідності; x, y – декартові координати місця пожежі; t – час.

У випадку тривимірного процесу рівняння енергії має вигляд:

$$\frac{\partial T}{\partial t}+\frac{\partial uT}{\partial x}+\frac{\partial vT}{\partial y}+\frac{\partial wT}{\partial z}=div\left(a\,grad\,T\right).$$

Граничні умови для рівняння енергії наведені в [1].

Модель механічного забруднення атмосферного повітря. Для прогнозування механічного ураження людини в разі розлітання уламків, що утворюються на місці вибуху, використовуємо такі рівняння руху матеріальної точки:

$$m\frac{du}{dt}=-C_x\frac{\rho_в u^2}{2}\cdot S; \quad (3)$$

$$m\frac{dv}{dt}=-C_x\frac{\rho_в v^2}{2}\cdot S-mg, \quad (4)$$

де m – маса уламка; u, v – проєкції вектора швидкості руху уламка на осі координат; $\rho_в$ – щільність повітря; C_x – коефіцієнт опору уламка; S – площа міделевого перерізу уламка; V – вектор швидкості руху уламка.

Creative Commons Attribution 4.0 International
doi: https://doi.org/10.15802/stp2024/312923
© В. В. Біляєва, І. В. Калашніков, О. В. Берлов, О. І. Губін, В. А. Козачина, 2024

Початкова умова для рівнянь (3), (4) така: задаємо початкову швидкість уламка та ухил його «вильоту» від місця аварії.

У рівняннях (3) і (4) вісь *Y* направлена вертикально вгору, а вісь *X* – у напрямку горизонтального руху уламка.

Чисельні моделі. Для чисельного інтегрування рівняння перенесення (1) здійснюємо його розщеплення таким чином [2]:

$$\frac{\partial S}{\partial t}+\frac{\partial uS}{\partial x}=0;$$
$$\frac{\partial S}{\partial t}+\frac{\partial vS}{\partial y}=0; \qquad (5)$$

$$\frac{\partial S}{\partial t}=\frac{\partial}{\partial x}\left(\mu_x\frac{\partial S}{\partial x}\right)+\frac{\partial}{\partial y}\left(\mu_y\frac{\partial S}{\partial y}\right)+$$
$$\frac{\partial S}{\partial t}=\sum_{i=1}^{N}Q_i\delta(x-x_i)\delta(\mathrm{y}-y_i).$$

Для чисельного інтегрування системи (5) використовуємо неявні різницеві схеми [2].

Для розв'язку рівняння енергії здійснюємо його розщеплення таким чином:

$$\frac{\partial T}{\partial t}+\frac{\partial uT}{\partial x}+\frac{\partial vT}{\partial y}=0; \qquad (6)$$

$$\frac{\partial T}{\partial t}=\frac{\partial}{\partial x}\left(a_x\frac{\partial T}{\partial x}\right)+\frac{\partial}{\partial y}\left(a_y\frac{\partial T}{\partial y}\right). \qquad (7)$$

Далі здійснюємо такі перетворення [1]:

$$\frac{\partial uT}{\partial x}=\frac{\partial u^{+}T}{\partial x}+\frac{\partial u^{-}T}{\partial x};$$

$$\frac{\partial vT}{\partial y}=\frac{\partial v^{+}T}{\partial y}+\frac{\partial v^{-}T}{\partial y};$$

$$u^{+}=\frac{u+|u|}{2},\ u^{-}=\frac{u-|u|}{2};$$

$$v^{+}=\frac{v+|v|}{2},\ v^{-}=\frac{v-|v|}{2};$$

$$\frac{\partial u^{+}T}{\partial x}\approx\frac{u^{+}_{i+1,j}T^{n+1}_{i,j}-u^{+}_{i,j}T^{n+1}_{i-1,j}}{\Delta x}=L^{+}_{x}T^{n+1};$$

$$\frac{\partial u^{-}T}{\partial x}\approx\frac{u^{-}_{i+1,j}T^{n+1}_{i+1,j}-u^{-}_{i,j}T^{n+1}_{i,j}}{\Delta x}=L^{-}_{x}T^{n+1};$$

$$\frac{\partial v^{+}T}{\partial y}\approx\frac{v^{+}_{i,j+1}T_{i,j}-v^{+}_{i,j}T_{i,j-1}}{\Delta y}=L^{+}_{y}T^{n+1};$$

$$\frac{\partial v^{-}T}{\partial y}\approx\frac{v^{-}_{i,j+1}T_{i,j+1}-v^{-}_{i,j}T_{i,j}}{\Delta y}=L^{-}_{y}T^{n+1}.$$

Після цього використовуємо таку схему розщеплення для чисельного інтегрування рівняння (7):

– на першому кроці різницеве рівняння має вигляд:

$$\frac{T^{k}_{i,j}-T^{n}_{i,j}}{\Delta t}+L^{+}{}_{x}T^{k}+L^{+}{}_{y}T^{k}=0;$$

– на другому кроці розщеплення різницеве рівняння має вигляд:

$$\frac{T^{n+1}_{i,j}-T^{k}_{i,j}}{\Delta t}+L^{-}{}_{x}T^{n+1}+L^{-}{}_{y}T^{n+1}=0.$$

Невідоме значення температури *T* в кожному рівнянні визначаємо за формулою біжного підрахунку.

Для чисельного інтегрування рівняння (7) використовуємо таку залежність:

$$T^{n+1}_{i,j}=T^{n}_{i,j}+\Delta t\frac{T^{n}_{i+1,j}-2T^{n}_{i,j}+T^{n}_{i,j}}{\Delta x^{2}}a_x+$$
$$+\Delta t\frac{T^{n}_{i,j+1}-2T^{n}_{i,j}+T^{n}_{i,j-1}}{\Delta y^{2}}a_y.$$

Якщо в зоні досліджень розташовані перешкоди (будівлі тощо), то для визначення поля швидкості повітряного потоку використовуємо модель потенціального руху. У цьому випадку для двовимірних задач аеродинаміки використовуємо таке рівняння :

$$\frac{\partial^2 P}{\partial x^2}+\frac{\partial^2 P}{\partial y^2}=0, \qquad (8)$$

де *P* – потенціал швидкості.

Компоненти вектора швидкості вітру визначаємо так :

$$u=\frac{\partial P}{\partial x};\quad v=\frac{\partial P}{\partial y}.$$

Рівняння тривимірної задачі аеродинаміки матиме вигляд:

Creative Commons Attribution 4.0 International
doi: https://doi.org/10.15802/stp2024/312923
© В. В. Біляєва, І. В. Калашніков, О. В. Берлов, О. І. Губін, В. А. Козачина, 2024

ISSN 2307–3489 (Print), ISSN 2307–6666 (Online)
Наука та прогрес транспорту, 2024, № 3 (107)

$$\frac{\partial^2 P}{\partial x^2}+\frac{\partial^2 P}{\partial y^2}+\frac{\partial^2 P}{\partial z^2}=0. \qquad (9)$$

Компоненти вектора швидкості вітру для тривимірного процесу руху визначаємо так :

$$u=\frac{\partial P}{\partial x};\quad v=\frac{\partial P}{\partial y};\quad w=\frac{\partial P}{\partial z}.$$

Граничні умови для рівняння Лапласа розглянуто в [3].

Для розв'язання рівняння (8) використовуємо явну різницеву схему. Попереднє рівняння Лапласа зводимо до рівняння еволюційного вигляду, а далі використовуємо таку різницеву схему:

$$P_{ij}^{n+1}=P_{ij}^{n}+\Delta t\frac{P_{i+1,j}^{n}-2P_{ij}^{n}+P_{i-1,j}^{n}}{\Delta x^2}+$$

$$+\Delta t\frac{P_{i,j+1}^{n}-2P_{ij}^{n}+P_{i,j-1}^{n}}{\Delta y^2}.$$

Розрахунок закінчуємо, коли виконано умови:

$$\left|P_{i,j}^{n+1}-P_{i,j}^{n}\right|\le\varepsilon,$$

де $P_{i,j}^{n+1}$ – значення потенціалу швидкості на новій ітерації; $P_{i,j}^{n}$ – значення потенціалу швидкості на попередній ітерації; ε – мале число.

Значення компонент швидкості розраховуємо на сторонах комірок так:

$$u_{ij}=\frac{P_{i,j}-P_{i-1,j}}{\Delta x};\quad v_{ij}=\frac{P_{i,j}-P_{i,j-1}}{\Delta y}.$$

Для чисельного інтегрування рівняння (9) використовуємо метод А. А. Самарського.

Чисельне інтегрування рівнянь (3) і (4) здійснюємо за методом Ейлера [3]. За допомогою цього методу визначаємо значення компонент швидкості руху уламка *u, v* на новому часовому шарі «*n*+1», а далі розраховуємо дальність відльоту уламка $x(t)$. Розрахункові залежності мають вигляд :

$$u^{n+1}=u^{n}-dt*C_x\frac{\rho_в V^2}{2m}\cdot S; \qquad (10)$$

$$v^{n+1}=v^{n}-dt*C_x\frac{\rho_в V^2}{2m}\cdot S-dt*g; \qquad (11)$$

$$x(t)=x_0+dt\cdot V,$$

де x_0 – координата місця відльоту уламка.

Для проведення розрахунку на базі залежностей (3) і (4) потрібно задати кут α вильоту уламка. Значення цього параметра визначають на базі експертних оцінок. Здійснено програмування побудованих чисельних моделей та розроблено спеціальний пакет програм, що дозволяє комплексно розв'язувати задачі теплового, хімічного та механічного забруднення довкілля.

Результати

На першому етапі досліджень здійснено верифікацію чисельної моделі для прогнозування рівня температурного забруднення повітря. Для цього розглянуто процес руху нагрітого повітря від теплонагрівача. Перед ним розташовано модель будівлі (рис. 1). Ставимо задачу виміряти температуру повітря уздовж моделі будівлі та порівняти результати експерименту з розрахунком на базі чисельних моделей аеродинаміки та теплопереносу. Швидкість повітряного потоку визначаємо за допомогою анемометра GM 8908 (1,82–2,12 м/с). Розміри моделі будинку: 14*7*5см. Довжина від моделі до вентилятора 12 см. Температуру виміряно за допомогою приладу FY–12 (рис. 2).

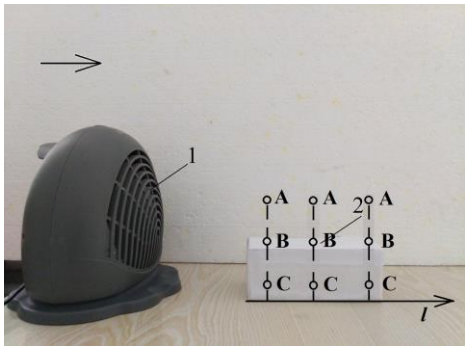

Рис. 1. Точки заміру температури:
1 – тепловентилятор; *2* – модель будинку

Fig. 1. Temperature measurement points:
1 – fan heater; *2* – house model

Creative Commons Attribution 4.0 International
doi: https://doi.org/10.15802/stp2024/312923
© В. В. Біляєва, І. В. Калашніков, О. В. Берлов, О. І. Губін, В. А. Козачина, 2024

ISSN 2307–3489 (Print), ISSN 2307–6666 (Online)
Наука та прогрес транспорту, 2024, № 3 (107)

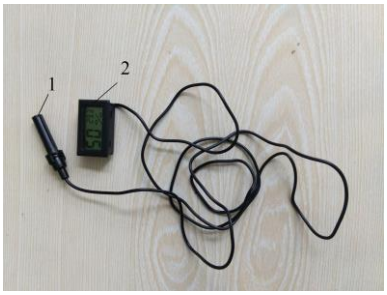

Рис. 2. Обладнання:
1 – датчик; *2* – вимірювач температури

Fig. 2. Equipment:
1 – sensor; *2* – a temperature meter

Оскільки для математичного моделювання використовують двовимірну математичну модель, то для порівняння експериментальних даних, отриманих на тривимірній фізичній моделі, з розрахунковими необхідно провести осереднення результатів вимірювання. Тому було застосовано методологію осереднення даних вимірювання за висотою. Для цього обрано 3 перерізи вздовж моделі будинку. Перший переріз знаходився за 2см від кутової точки моделі, другий – за 6 см, а третій – за 10 см. У кожному перерізі l^m (m =1 – 3) проведено вимірювання температури на різній висоті: h_1 = 2 см – точка C (t_1); h_2 = 6 см – точка B (t_2); h_3 = 10 см – точка A (t_3). Вимірювання температури проведено на відстані 1 см від стінки моделі будівлі. Далі розраховано осереднене значення температури з висотою в кожному перерізі :

$$t_i^m = \frac{t_1 + t_2 + t_3}{8см},$$

i = 1 – 3; m = 1 – 3.

Розрахунок здійснено за допомогою розроблених чисельних моделей.

Під час розрахунку взято, що швидкість повітряного потоку становить1,85 м/с. Порівняння розрахункових та експериментальних даних наведено нижче в таблиці 1.

Аналізуючи дані з табл. 1, бачимо задовільне узгодження між експериментальними даними та даними розрахунку.

Далі проведено обчислювальний експеримент на базі розроблених чисельних моделей. Узято, що на момент виникнення екстремальної ситуації на залізничній станції швидкість вітру становила 5 м/с; температура повітря на місці пожежі – 1 100 ˚С; початкова швидкість стального уламка 70 м/с; коефіцієнт опору уламка 0,4; висота викиду уламка 5 м; зведений діаметр уламка 0,004 м; кут вильоту уламку $\alpha = 15^\circ$.

Таблиця 1

Температура вздовж моделі будівлі

Table 1

Temperature along the building model

Відстань *x*, см	Експеримент	Розрахунок
2	60,5 ˚С	58,2 ˚С
6	59,5 ˚С	56,7 ˚С
10	58,6 ˚С	55,2 ˚С

Результати моделювання показано на рис. 3–7.

Рис. 3. Зона ураження під час розлітання уламків

Fig. 3. The damage zone when fragments fly

Як можемо бачити з рис. 3, у випадку екстремальної ситуації виникає ризик ураження людини біля залізниці.

На рис. 4–5 показано зону теплового забруднення повітря під час пожежі цистерн на залізниці.

Рис. 4. Зона теплового забруднення, t = 4,5 хв:
1 – T = 223 °С; *2* – T = 117 °С; *3* – T = 93 °С

Fig. 4. Area of thermal pollution, t = 4,5 min:
1 – T = 223 °С; *2* – T = 117 °С; *3* – T = 93 °С

Creative Commons Attribution 4.0 International
doi: https://doi.org/10.15802/stp2024/312923
© В. В. Біляєва, І. В. Калашніков, О. В. Берлов,
О. І. Губін, В. А. Козачина, 2024

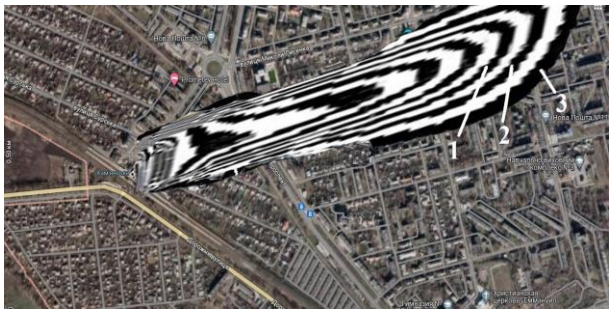

Рис. 5. Зона теплового забруднення, t = 8,2 хв:
1 – T = 114 °С; *2* – T = 82 °С; *3* – T = 57 °С

Fig. 5. Area of thermal pollution, t=8,2min.:
1 – T = 114 °С; *2* – T = 82 °С; *3* – T = 57 °С

Як можемо бачити з рис. 4 і 5, у разі виникнення екстремальної ситуації буде мати місце інтенсивне теплове забруднення повітря в зоні забудови. Температура в зоні забудови буде перевищувати 100 °С. Таким чином, це спричинить термічне ураження людини.

На рис. 6 і 7 показано динаміку формування зон хімічного забруднення (продукт горіння – *CO*).

Аналіз результатів моделювання (рис. 6, 7) показує, що в разі екстремальної ситуації на залізниці виникає ризик токсичного ураження людей (ГДК *CO* дорівнює 20 мг/м^3).

Рис. 6. Зона хімічного забруднення, t = 9 хв:
1 – C = 77 мг/м^3; *2* – C = 58 мг/м^3;
3 – C = 24 мг/м^3

Fig. 6. Area of chemical pollution, t = 9 min:
1 – C = 77 мг/м^3; *2* – C = 58 мг/м^3;
3 – C = 24 мг/м^3

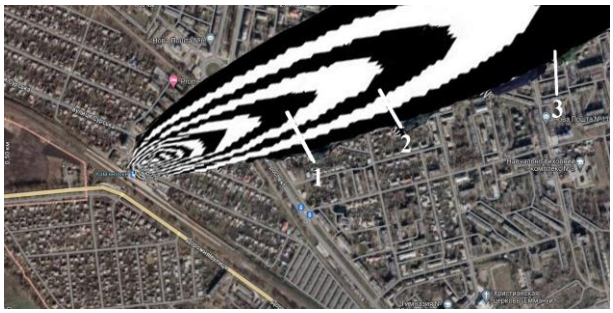

Рис. 7. зона хімічного забруднення, t = 21 хв:
1 – C = 74 мг/м^3; *2* – C = 53 мг/м^3;
3 – C = 23 мг/м^3

Fig. 7. Area of chemical pollution, t = 21 min:
1 – C = 74 мг/м^3; *2* – C = 53 мг/м^3;
3 – C = 23 мг/м^3

Наукова новизна та практична значимість

На базі створених математичних моделей розроблено пакет комп'ютерних програм для комплексного оцінювання рівня забруднення атмосфери в селітебних зонах в разі надзвичайній ситуації на залізниці.

Розроблені математичні моделі належать до класу «diagnostic models», тобто орієнтовані на швидке отримання прогнозованих даних для оцінювання рівня небезпеки під час екстремальної ситуації.

Висновки

1. Розроблено пакет програм, що дає можливість комплексно оцінювати різні типи забруднення довкілля в разі надзвичайної ситуації на залізниці.

2. Прогнозування інтенсивності хімічного, теплового, механічного забруднення довкілля за екстремальних ситуацій здійснено за допомогою відомих математичних моделей механіки суцільного середовища, що дозволяє отримати науково обґрунтовані дані моделювання.

3. Результати обчислювального експерименту показують, що потрібно розробляти заходи для населення, що мешкає біля залізниці.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Біляєв М. М., Біляєва В. В., Берлов О. В., Козачина В. А. *CFD-моделювання в аналізі ефективності систем захисту довкілля та працівників на робочих місцях*: монографія. Дніпро : Журфонд, 2022. 268 с.
2. Згуровский М. З., Скопецкий В. В., Хрущ В. К., Беляев Н. Н. *Численное моделирование распространения загрязнения в окружающей среде.* Киев : Наукова думка, 1997. 368 с.
3. Самарский А. А. *Теория разностных схем*. Москва : Наука, 1983. 616 с.

Creative Commons Attribution 4.0 International
doi: https://doi.org/10.15802/stp2024/312923
© В. В. Біляєва, І. В. Калашніков, О. В. Берлов, О. І. Губін, В. А. Козачина, 2024

4. Abbaslou H., Karimi A. Modeling of ammonia emission in the petrochemical industry. *Jundishapur Journal of Health Sciences.* 2019. Vol. 11. Iss. 3. P. 1–7. DOI: https://doi.org/10.5812/jjhs.94101
5. Biliaiev M., Rusakova T., Dziuba S., Lapshin Ye., Koval N. Assessment of Radioactive Contamination Level of Environment in Case of Accident at Nuclear Power Plant. *IOP Conference. Series: Earth and Environmental Science*. 2023. Vol. 1156. Iss. 1. P. 1–7. DOI: https://doi.org/10.4103/2045-9912.310056
6. Khorram R. Modeling the consequences release of cyanogen agents in bushehr nuclear power plant neighborhood using PHAST, ALOHA and WISER software. *Iran Occupational Health.* 2020. Vol. 17. Iss. 1. P. 1–13.
7. Liu Y., Wang J. Numerical simulation analysis of fire hazard from leakage and diffusion of vinyl chloride in different atmospheric environments. *Fire.* 2022. Vol. 5. Iss. 2. P. 1–12. DOI: https://doi.org/10.3390/fire5020036
8. Sharifi S. R., Razavian F. Hazard Identification and Consequences Analysis of Possible Accidents in the Tank Farm & Flare of the ILAM Gas Refinery by ETBA and PHAST Soft wear. *Journal of Environmental Sciences and Technology.* 2020. Vol. 22. Iss. P. 309–322.
9. Ustolin F., Tolias I. C., Giannissi S. G., Venetsanos A. G., Paltrinieri N. A CFD analysis of liquefied gas vessel explosions Process. *Process Safety and Environmental Protection.* 2022. Vol. 159. P. 61–75. DOI: https://doi.org/10.1016/j.psep.2021.12.048
10. Yarandi M. S., Mahdinia M., Barazandeh J., Soltanzadeh A. Evaluation of the toxic effects of ammonia dispersion: consequence analysis of ammonia leakage in an industrial slaughterhouse. *Medical Gas Research.* 2021.Vol. 11. Iss. 1. P. 24–29. DOI: https://doi.org/10.4103/2045-9912.310056

V. V. BILIAIEVA[1], I. V. KALASHNIKOV[2], O. V. BERLOV[3*], O. I. GUBIN[4], V. A. KOZACHYNA[5]

[1]Dep. of Energy Systems and Energy Management, Ukrainian State University of Science and Technologies, Nauky Ave., 4, Dnipro, Ukraine, 49010, tel. +38 (056) 374 82 89, e-mail water.supply.treatment@gmail.com, ORCID 0000-0003-2399-3124
[2]Kharkiv Branch Office «Design and Research Institute of Railway Transport» of the Public Joint Stock Company «Ukrainian Railway», Kotliar St., 7, Kharkiv, Ukraine, 61052, tel. +38 (057) 724 41 25, e-mail uzp38@ukr.net, ORCID 0000-0002-2814-380X
[3*]Dep. of Labor Protection, Civil and Technogenic Safety, Ukrainian State University of Science and Technologies, Architect Oleg Petrov St., 24-a, Dnipro, Ukraine, 49600, tel. +38 (056) 756 34 57, e-mail berlov.oleksandr@pdaba.edu.ua, ORCID 0000-0002-7442-0548
[4]Dep. «Aerohydrodynamics and Energy Mass-transfer», Oles Honchar Dnipro National University, Nauky Ave., 72, Dnipro, Ukraine, 49000, tel. +38 (056) 374 98 22, e-mail water.supply.treatment@gmail.com, ORCID ID 0000-0001-9434-2367
[5]Dep. «Hydraulics, Water Supply and Physics», Ukrainian State University of Science and Technologies, Lazaryana St., 2, Dnipro, Ukraine, 49010, tel. +38 (056) 373 15 09, e-mail water.supply.treatment@gmail.com, ORCID 0000-0002-6894-5532

Predicting the Consequences of an Emergency at a Railway Station

Purpose. The paper considers the problem of determining the size of the damage zones in the event of an emergency at a railway station due to a tanker fire. The task of forecasting is to determine the zones of thermal pollution, as well as chemical and mechanical pollution. The main objective of the study is to create numerical models for calculating the zones of mechanical and thermal pollution in the event of a fire at a railway station. **Methodology.** To analyze the size and intensity of zones of thermal, chemical, and mechanical environmental pollution in the event of an extreme situation at a railway station, we used the equations of heat and mass transfer and Newton's second law for modeling mechanical environmental pollution. To solve the equations, numerical methods such as Euler's method and finite difference schemes were used. On the basis of the developed numerical models, a computer code was created to conduct a computational experiment. **Findings.** Modern computer models for assessing the zones of chemical, thermal, and mechanical pollution in the event of an extreme situation have been developed. The results of computer modeling are presented. **Originality.** A set of numerical models for computer simulation of heat and mass transfer processes and dynamics of point motion has been created, which allows conducting a computational experiment to determine the contamination zones during a fire at a railway station. **Practical value.** A computer code was developed on the basis of the created mathematical models. This code is a tool for solving important problems in the field of environmental safety and civil protection. The computer code makes it possible to quickly determine the intensity and size of environmental pollution zones in the event of an extreme situation.

Key words: chemical contamination; thermal contamination; flying debris; numerical modeling

Creative Commons Attribution 4.0 International
© В. В. Біляєва, І. В. Калашніков, О. В. Берлов, О. І. Губін, В. А. Козачина, 2024
doi: https://doi.org/10.15802/stp2024/312923

REFERENCES

1. Biliaiev, M. M., Biliaieva, V. V., Berlov, O. V. & Kozachyna, V. A. (2022). *CFD-modeliuvannia v analizi efektyvnosti system zakhystu dovkillia ta pratsivnykiv na robochykh mistsiakh*: monografiya. Dnipro: Zhurfond. (in Ukrainian)
2. Zgurovskii, M. Z., Skopetskii, V. V., Khrutch, V. K. & Biliaiev, M. M. (1997). *Chyslennoe modelyrovanye rasprostranenyia zahriaznenyia v okruzhaiushchei srede*. Kyiv: Naukova dumka. (in Russian)
3. Samarskiy, A. A. (1983). *Teoriya raznostnykh skhem*. Moscow: Nauka. (in Russian)
4. Abbaslou, H., & Karimi, A. (2019). Modeling of Ammonia Emission in the Petrochemical Industry. *Jundishapur Journal of Health Sciences, 11*(3), 1-7. DOI: https://doi.org/10.5812/jjhs.94101 (in English)
5. Biliaiev, M., Rusakova, T., Dziuba, S., Lapshin, Ye. & Koval, N. (2023) Assessment of Radioactive Contamination Level of Environment in Case of Accident at Nuclear Power Plant. In *IOP Conference. Series: Earth and Environmental Science* (Vol. 1156, Iss. 1, pp 1-7). DOI: https://doi.org/10.4103/2045-9912.310056 (in English)
6. Khorram, R. (2020). Modeling the consequences release of cyanogen agents in bushehr nuclear power plant neighborhood using PHAST, ALOHA and WISER software. *Iran Occupational Health, 17*(4), 1-13. (in English)
7. Liu, Y., & Wang, J. (2022). Numerical Simulation Analysis of Fire Hazard from Leakage and Diffusion of Vinyl Chloride in Different Atmospheric Environments. *Fire, 5*(2), 1-12. DOI: https://doi.org/10.3390/fire5020036 (in English)
8. Sharifi, S. R., & Razavian, F. (2020). Hazard Identification and Consequences Analysis of Possible Accidents in the Tank Farm & Flare of the ILAM Gas Refinery by ETBA and PHAST Soft wear. *Journal of Environmental Sciences and Technology, 22*(8), 309-322. (in English)
9. Ustolin, F., Tolias, I. C., Giannissi, S. G., Venetsanos, A. G., & Paltrinieri, N. (2022). A CFD analysis of liquefied gas vessel explosions. *Process Safety and Environmental Protection, 159*, 61-75. DOI: https://doi.org/10.1016/j.psep.2021.12.048 (in English)
10. Yarandi, M. S., Mahdinia, M., Barazandeh, J., & Soltanzadeh, A. (2021). Evaluation of the toxic effects of ammonia dispersion. *Medical Gas Research, 11*(1), 24-29. DOI: https://doi.org/10.4103/2045-9912.310056 (in English)

Надійшла до редколегії: 10.05.2024
Прийнята до друку: 16.09.2024

Creative Commons Attribution 4.0 International
doi: https://doi.org/10.15802/stp2024/312923
© В. В. Біляєва, І. В. Калашніков, О. В. Берлов, О. І. Губін, В. А. Козачина, 2024