

ЧИСЕЛЬНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ПОШИРЕННЯ ЗАБРУДНЮЮЧИХ РЕЧОВИН В ПОВІТРІ

Берлов О.В.¹, Мигур С.О.², Біляєва О.М.³

¹ К.т.н., ¹ доцент, ² студентка, ³ студентка

^{1,2} Український державний університет науки і технологій, ННІ ПДАБА, Україна

³ Дніпровський національний університет імені Олеся Гончара, Україна

Анотація. Розглядаються чисельні моделі поширення хімічно небезпечних речовин в повітрі при їх емісії на промислових підприємствах. Моделюються сценарії неорганізованих викидів на промислових майданчиках або всередині промислових приміщень та організованих викидів з низьких джерел на промисловому майданчику. Відомо, що наслідком неорганізованих викидів токсичних речовин є забруднення повітря в робочих зонах на промислових майданчиках, забруднення атмосферного повітря в селітебних зонах, забруднення підстильної поверхні. При організованих викидах на промислових майданчиках можуть утворюватися також області з підвищеною концентрацією небезпечних речовин. Дуже часто такі ситуації виникають на підприємствах коли є організовані викиди з низьких джерел (викид на даху промислових будівель) та при несприятливих метеоумовах – штиль, інверсія. Запропоновані 2D та 3D CFD моделі, що базуються на чисельному інтегруванні фундаментальних рівнянь механіки суцільного середовища.

Ключові слова: забруднення повітря, небезпечні речовини, аварійні викиди, чисельне моделювання, робоча зона

Для прогнозування впливу забруднення довкілля під час екстремальних ситуацій часто застосовуються модель Гауса, а також аналітичні та емпіричні методи [5, 6]. Проте відомо, що такі моделі мають серйозні обмеження: вони не дозволяють адекватно аналізувати утворення зон забруднення повітря в умовах щільної забудови або наявності виробничого обладнання всередині приміщень. Альтернативою є CFD-моделі, зокрема реалізовані у програмному середовищі ANSYS. Однак їх використання вимагає високопродуктивних комп'ютерів та значного часу на обчислення.

У практичній діяльності особливо важливо мати у розпорядженні спеціалізовані чисельні моделі, які дають змогу виконувати десятки розрахунків протягом одного робочого дня. Водночас такі математичні моделі

повинні враховувати ключові фізичні чинники, що визначають процес формування зон забруднення.

У роботі досліджуються задачі чисельного моделювання забруднення атмосферного повітря хімічними речовинами, пилом та радіоактивними агентами за різних метеорологічних умов – зокрема під час конвекції, штилю та температурної інверсії.

У доповіді представлені розроблені CFD-моделі [1, 2, 4], які призначені для оцінки рівня забруднення повітря в робочих зонах на промислових об'єктах, на територіях атомних електростанцій та хімічно небезпечних підприємств.

Для моделювання конвективно-дифузійного перенесення газоподібних та пилових домішок використовується рівняння масопереносу [3]. Це рівняння враховує низку ключових чинників: геометричні характеристики джерела забруднення, процес гравітаційного осідання часток, стратифікацію атмосфери, координати місця викиду, інтенсивність емісії забруднювачів, а також профіль і напрям повітряного потоку. Для математичного опису розміщення джерела викиду використовується дельта-функція Дірака.

Розрахунок поля швидкостей повітряного потоку на території промислового майданчика виконується на основі моделі потенційного руху. Для моделювання атмосферних умов штилю та інверсії застосовується модель М. Берлянда, яка дозволяє визначити вертикальний коефіцієнт дифузії. Чисельне розв'язання рівняння конвективно-дифузійного переносу забруднюючих речовин здійснюється із використанням кінцево-різницевої схем. Розроблені моделі використовувалися для обчислення зон хімічного та пилового забруднення як на відкритих промислових майданчиках, так і всередині приміщень Придніпровської ТЕС за різних метеоумов – під час штилю, інверсії та конвекції, а також для аналізу наслідків викидів радіоактивних речовин на території Запорізької АЕС.

Висновки

1. Розроблено комплекс дво- та тривимірних CFD-моделей, який забезпечує оперативне визначення динаміки формування зон забруднення

атмосфери та підстильної поверхні у разі викидів небезпечних речовин на підприємствах, тепло- та атомних електростанціях. Для роботи моделей використовується стандартна метеорологічна інформація, що дає змогу здійснювати розрахунки в режимі, наближеному до реального часу.

2. Створені чисельні моделі можуть застосовуватись як для оцінки інтенсивності та просторових меж зон забруднення, так і для аналізу ефективності впровадження бар'єрних засобів, спрямованих на зниження рівня забруднення у робочих зонах промислових об'єктів.

ЛІТЕРАТУРА

1. Біляєв М. М., Берлов О. В., Кіріченко П. С. Математичне моделювання в задачах промислової безпеки та охорони праці. Кривий Ріг: Вид. Р.А. Козлов, 2017. – 130 с.
2. 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. Дніпро : Журфонд, 2022. – 268 с.
3. Згуровский М. З., Скопецкий В. В., Хрущ В. К., Беляев Н. Н. Численное моделирование распространения загрязнения в окружающей среде. Київ: Наукова думка, 1997. – 368 с.
4. Пшинько А. Н., Беляев Н. Н., Машихина П. Б. Моделирование загрязнения атмосферы при техногенных авариях. Днепропетровск : Нова ідеологія, 2011. – 166 с.
5. Anthony Michael Barret. “Mathematical Modeling and Decision Analysis for Terrorism Defense: Assessing Chlorine Truck Attack Consequence and Countermeasure Cost Effectiveness. Dissertation” (Pittsburg, Pennsylvania, USA), 2009. – 123 p.
6. Ilic P., Ilic S., Stojanovic Bjelic L. Hazard modelling of accidental release chlorine gas using modern tool – ALOHA Software, Quality of Life, 9, 2018. – pp. 38-45.

NUMERICAL MODELING OF THE DISTRIBUTION OF POLLUTANTS IN THE AIR

Oleksandr Berlov, Sofiia Myhur, Olena Biliaieva

Abstract. *Numerical models of the distribution of chemically hazardous substances in the air during their emission at industrial enterprises are considered. Scenarios of unorganized emissions at industrial sites or inside industrial premises and organized emissions from low-level sources at an industrial site are modeled. It is known that the consequence of unorganized emissions of toxic substances is air pollution in working areas at industrial sites, atmospheric air pollution in residential areas, and contamination of the underlying surface. With organized emissions at industrial sites, areas with an increased concentration of hazardous substances can also be formed. Very often such situations arise at enterprises when there are organized emissions from low-level sources (emissions on the roof of industrial buildings) and under adverse weather*

conditions - calm, inversion. 2D and 3D CFD models based on the numerical integration of the fundamental equations of continuum mechanics are proposed.

Keywords: *air pollution, hazardous substances, emergency emissions, numerical modeling, work area*

REFERENCE

1. Biliaiev M. M., Berlov O. V. and Kirichenko P. S. (2017). Matematychno modelyuvannya v zadachax promyslovoyi bezpeky ta oxorony praci [Mathematical modeling in industrial safety and occupational health problems]. Monografiya [Monograph]. Kryvyj Rig: Vydavec R.A. Kozlov. [in Ukrainian].
2. Biliaiev M.M., Biliaieva V.V., Berlov O.V. and Kozachyna V.A. (2022). CFD modelyuvannya v analizi efektyvnosti system zaxystu dovkillya ta pracivnykiv na robochyx miscyax : monografiya [CFD modeling in the analysis of the effectiveness of the environmental protection system and workers at workplaces : monograph]. Dnipro : Zhurfond. [in Ukrainian].
3. Zgurovskii M.Z., Skopetskii V.V., Khrutch V.K. and Biliaiev M.M. (1997). Chislennoe modelirovanie rasprostraneniya zagryazneniya v okruzhayuschey srede [Numerical simulation of the spread of pollution in the environment]. Kyiv : Naukova Dumka Publ., 368 p. [in Russian].
4. Pshinko A.N., Belyayev N.N. and Mashihina P.B. (2011). Modelirovanie zagryazneniya atmosfery pri tekhnogennyh avariayah : monografiya [Modeling of atmospheric pollution during technogenic accidents]. Dnipropetrovsk : Nova ideologiya Publ., 166 p. [in Russian].
5. Anthony Michael Barret. (2009). Mathematical Modeling and Decision Analysis for Terrorism Defense: Assessing Chlorine Truck Attack Consequence and Countermeasure Cost Effectiveness. Dissertation, (Pittsburg, Pennsylvania, USA), 2009. – 123 p. [in English].
6. Ilic P., Ilic S., and Stojanovic Bjelic L. (2018). Hazard modelling of accidental release chlorine gas using modern tool – ALOHA Software, Quality of Life, 9, 2018. – S. 38-45. [in English].