

# ЧИСЕЛЬНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ЗАБРУДНЕННЯ ДОВКІЛЛЯ ПРИ ЕМІСІЇ НЕБЕЗПЕЧНИХ РЕЧОВИН

*Біляєв М. М., д.т.н., проф. (каф. ГВтаФ УДУНТ ННІ ДІТ);  
Біляєва В. В., д.т.н., проф. (каф. ЕСтаЕ УДУНТ ННІ ШБТ);  
Берлов О. В., к.т.н., доц. (каф. ОПЦтаТБ УДУНТ ННІ ПДАБА)*

**Анотація.** Розглядаються питання CFD моделювання забруднення довкілля, підстильної поверхні при емісії небезпечних речовин на промислових підприємствах, ТЕС, АЕС у випадку виникнення екстремальних ситуацій. Запропоновані 2D та 3D CFD моделі, що базуються на чисельному інтегруванні фундаментальних рівнянь механіки суцільного середовища.

**Ключові слова:** небезпечні речовини, забруднення довкілля, чисельне моделювання, робоча зона.

**Abstract.** The issues of CFD modeling of environmental pollution, subsurface during emission of hazardous substances at industrial enterprises, thermal power plants, nuclear power plants in case of extreme situations are considered. 2D and 3D CFD models based on numerical integration of fundamental equations of continuum mechanics are proposed.

**Keywords:** hazardous substances, environmental pollution, numerical modeling, work area.

**Вступ.** Інтенсивне забруднення довкілля має місце при виникненні екстремальних ситуацій на хімічно-небезпечних підприємствах, АЕС. Наслідком таких екстремальних ситуацій є забруднення повітря в робочих зонах, забруднення атмосферного повітря в селітебних зонах, забруднення підстильної поверхні, що приводить до зниження родючості землі. На території підприємств можуть утворюватися небезпечні зони з підвищеною концентрацією шкідливих речовин, як на промислових майданчиках, так і за їх межами. Актуальною задачею є розробка ефективних математичних моделей для оцінювання наслідків екстремальних ситуацій.

**Аналіз стану питання.** Для прогнозування наслідків забруднення навколишнього середовища при екстремальних ситуаціях широко використовується модель Гауса, аналітичні та емпіричні моделі [5, 6]. Але ці моделі мають певні обмеження, наприклад, не можуть бути використані для аналізу динаміки забруднення повітря в робочих зонах в умовах забудови. Використання CFD моделей, наприклад, реалізованих в комерційному пакеті ANSYS CFX, потребує потужних комп'ютерів, значного часу на проведення розрахунків та наявності ліцензії у користувача на використання пакета. Для практики, коли щоденно потрібно проводити десятки розрахунків бажано мати ефективні CFD моделі, що враховують найбільш важливі фізичні фактори процесу, що моделюється, та, з іншого боку, потребують незначного часу при реалізацію на комп'ютері.

В роботі вивчаються задачі чисельного моделювання забруднення атмосферного повітря та підстильної поверхні небезпечними хімічними речовинами, пилом або радіоактивними речовинами у різних метеорологічних умовах, включаючи конвекцію, штиль та інверсію на базі побудованих CFD моделей.

**Мета роботи:** розробка CFD моделей, на базі фундаментальних рівнянь механіки суцільного середовища для швидкого розрахунку багатофакторного процесу забруднення атмосферного повітря та підстильної поверхні при екстремальних ситуаціях на небезпечних підприємствах та АЕС.

**Методики, матеріали і результати досліджень.** Розроблені 2D і 3D чисельні моделі [1, 2, 4], спрямовані на оцінку інтенсивності забруднення повітря робочих зон на території АЕС, хімічно небезпечних підприємствах.

Для моделювання поширення газоподібних і пилових домішок використовуються рівняння конвективно-дифузійного переносу.

Ці моделюючі рівняння враховують:

1. гравітаційне осадження домішки;
2. геометричну форму джерела забруднення;
3. профіль та напрям вітрового потоку;
4. атмосферну стратифікацію;
5. місце емісії;
6. інтенсивність емісії домішки.

Розташування джерела викиду забруднюючих речовин моделюється із застосуванням дельта-функції Дірака.

Поле швидкості повітряного потоку розраховується на базі моделі потенціального руху. Для моделювання стану штилю та інверсії використовується модель М. Берлянда для розрахунку вертикального коефіцієнту атмосферної дифузії. Чисельне інтегрування рівняння конвективно-дифузійного переносу домішки здійснюється за допомогою різницевих схем та методу розщеплення. Моделююче рівняння масопереносу розщеплюється на три рівняння: перше рівняння описує конвективний перенос домішки, друге рівняння – перенос домішки за рахунок дифузії, третє рівняння описує зміну концентрації домішки внаслідок дії джерела емісії. Далі будуються неявні кінцево-різницеві схеми, що дозволяють розв'язати рівняння розщеплення. Особливістю використаних різницевих схем є те, що на кожному кроці розщеплення розрахунок здійснюється за явною формулою. Це дозволяє створити простий алгоритм розрахунку концентрації домішки в умовах штилю та інверсії. Для виконання обчислень застосовуються стандартні метеорологічні дані регіону.

Розроблені чисельні моделі використовувалися для розрахунків областей хімічного та пилового забруднення на промислових майданчиках Придніпровської ТЕС за умов штилю, інверсії та конвекції, а також при емісії радіоактивних речовин на території ЗАЕС.

Представлені також результати верифікації розроблених моделей та комп'ютерного моделювання забруднення повітря при викидах пилу з

вугільних штабелів і хвостосховищ із застосуванням водяних систем пригнічення пилу та бар'єрів, що зменшують інтенсивність пилоутворення з поверхонь штабелів та внаслідок цього – зменшують рівень пилового забруднення в робочих зонах на території ТЕС.

**Висновки.** Розроблений комплекс 2D і 3D CFD моделей, що дозволяє в режимі реального часу визначати динаміку формування областей забруднення атмосфери, підстильної поверхні при емісії небезпечних речовин на підприємствах, ТЕС, АЕС. Для реалізації розроблених CFD моделей потребується стандартна метеорологічна інформація. Побудовані чисельні моделі можуть бути використані, як для визначення інтенсивності та розмірів областей забруднення, так і для аналізу ефективності використання бар'єрів для зменшення рівня забруднення робочих зон на підприємствах.

### 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 містах. 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. 123p.
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.