

DOI: 10.34185/1991-7848.itmm.2023.01.029

АНАЛІЗ НАСЛІДКІВ ЕКСТРЕМАЛЬНИХ СИТУАЦІЙ НА БАЗІ ЧИСЕЛЬНИХ МОДЕЛЕЙ

Біляєв М.М.¹, Берлов О. В.², Біляєва В.В.³

¹Український державний університет науки і технологій, Україна

²Придніпровська державна академія будівництва та архітектури, Україна

³Дніпровський національний університет імені О. Гончара, Україна

Екстремальні ситуації на промислових об'єктах, транспорті приводять до появи різних вражаючих факторів (ударна хвиля, підвищена температура тощо), що створюють загрозу життю працівників, які перебувають поблизу джерела небезпеки [1-3]. В роботі розглядаються CFD (чисельні) моделі, розроблені для прогнозування наслідків надзвичайних ситуацій на промислових об'єктах та при перевезенні небезпечних вантажів. Моделі орієнтовані на вирішення прикладних задач, характерних для аварій: вибухи, пожежі, викид хімічно небезпечних речовин, шкідливих та сильнодіючих отруйних речовин.

Перший клас CFD моделей розроблений для прогнозування хімічного забруднення повітряного середовища при аварійних викидах в транспортному коридорі або на території хімічно небезпечного об'єкта. Моделювання проводиться на базі фундаментальних рівнянь аеродинаміки і масопереносу [1, 4].

Розроблені CFD моделі дозволяють враховувати наступні фактори:

1. будівлі на території промислового об'єкта;
2. метеоумови;
3. рельєф;
4. рух джерела емісії;
5. режим викиду хімічно небезпечної речовини;
6. стратифікацію атмосфери;
7. емісію хімічно небезпечної речовини від рухомого джерела.

Для чисельного інтегрування моделюючих рівнянь використовуються неявні різницеві схеми розщеплення.

Особливістю застосовуваних різницевих схем є уявлення розрахункових залежностей у вигляді явних формул. Це дозволяє:

1. здійснити просту реалізацію граничних умов;
2. проста програмна реалізація розрахункових залежностей;
3. проста реалізація «внутрішніх» граничних умов;

4. проста «настройка» моделі на рішення нових задач.

Другий клас CFD моделей розроблений для оцінки ризику термічного ураження людей при тепловому забрудненні повітряного середовища (пожежа на АЗС, горіння вантажу в цистерні, пожежа на території промислового об'єкта). Чисельне моделювання проводиться на базі рівнянь аеродинаміки і теплопереносу [1]. Розроблені моделі дозволяють оцінювати ризик термічного ураження людей і загоряння сусідніх об'єктів.

Розроблені CFD моделі дозволяють врахувати наступні фактори:

1. режим теплової емісії;
2. наявність будівель на шляху руху теплового фронту;
3. рух джерела теплової емісії;
4. метеоумови;
5. ймовірність різних аварійних сценаріїв на об'єкті.

Для чисельного інтегрування рівняння теплопереносу застосовуються дві групи різницевих схем [1, 2, 4]. Кожна група схем відноситься до класу явних схем.

Для чисельного інтегрування рівняння Лапласа (модель потенційної течії) використовуються явні і неявні різницеві схеми.

Третій клас CFD моделей розроблений для прогнозування наслідків надзвичайних ситуацій, при яких з'являється ударна хвиля (промисловий вибух, теракт на промисловому об'єкті, транспорті). Для моделювання процесу поширення ударної хвилі використовується рівняння Ейлера (модель нев'язкої надзвукової течії). Для чисельного інтегрування рівнянь Ейлера застосовується неявна різницева схема розщеплення. Розщеплення базових рівнянь проводиться так, щоб на кожному дробовому кроці розрахунок невідомих значень – густини газу, компонент вектора швидкості, тиску проводився за явною формулою біжучого рахунку.

Представлені результати обчислювальних експериментів, проведені на базі розроблених моделей. Виконано розрахунки за оцінкою ризику ураження людей в разі наступних екстремальних ситуацій:

1. вибух на АЗС;
2. пожежа на АЗС;
3. пожежа на залізничній станції;
4. вибух на хімічному заводі;
5. вибух на залізничній станції;
6. хімічне забруднення атмосфери при аварійній емісії небезпечних речовин на хімічному об'єкті.

Час розрахунку одного варіанта завдання, на базі розроблених моделей, становить біля 15 секунд.

Розроблені CFD моделі дають можливість швидко проводити серійні розрахунки за оцінкою розмірів зон ураження. Створені комп'ютерні програми дозволяють проводити прогнози розрахунки на комп'ютерах малої і середньої потужності.

Представлені результати проведених комп'ютерних експериментів по оцінюванню динаміки забруднення повітря при різних екстремальних ситуаціях на потенційно небезпечних об'єктах, а також при експертній оцінці різних засобів захисту працівників від шкідливих факторів.

Література

1. Біляєв М. М., Біляєва В. В., Берлов О. В., Калашніков І. В. Математичне моделювання затікання токсичного газу у приміщення при аварії на промисловому майданчику. *Математичне моделювання*. Кам'янське : Дніпровський державний технічний університет, 2018. № 2 (39). С. 95–101.
2. Пшинько А. Н., Беляев Н. Н., Машихина П. Б. Моделирование загрязнения атмосферы при техногенных авариях. Днепропетровск : Нова ідеологія, 2011. 166 с.
3. CFD моделювання в аналізі ефективності систем захисту довкілля та працівників на робочих місцях: монографія / М.М. Біляєв, В.В. Біляєва, О.В. Берлов, В.А. Козачина – Дніпро : Журфонд, 2022. – 268 с.
4. Численное моделирование распространения загрязнения в окружающей среде [Текст] / М. З. Згуровский, В. В. Скопецкий, В. К. Хрущ, Н. Н. Беляев. – К. : Наук. думка, 1997. – 368 с.

ANALYSIS OF THE CONSEQUENCES OF EXTREME SITUATIONS ON THE BASE OF NUMERICAL MODELS

Biliaiev Mykola, Berlov Oleksandr, Biliaieva Viktoriia

Abstract. The report considers some classes of numerical models that were built to predict the consequences of emergencies at industrial enterprises. The first class of models has been developed to predict chemical air pollution in case of accidental emissions of toxic substances. Modeling is carried out on the basis of the fundamental equations of aerodynamics and mass transfer. Difference splitting schemes are used for the numerical solution of the modeling equations. The second class of CFD models is designed to assess the risk of thermal damage to people in the event of thermal pollution of the air environment. The third class of models was developed to assess the risk of injury to people when a shock wave moves. To solve this problem Euler equations were used. Computer codes were developed on the base of proposed numerical models.

Keywords: numerical simulation, mathematical models, labor protection, extreme situations, environmental pollution.

References

1. Biliaiev M. M., Biliaieva V. V., Berlov O. V. & Kalashnikov I. V. (2018). Mathematical modeling of toxic gas leakage into the premises during an accident on an industrial site. *Mathematical modeling*, 2 (39). P. 95–101.
2. 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.
3. 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.
4. 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.