
МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ НАСЛІДКІВ ЕКСТРЕМАЛЬНИХ СИТУАЦІЙ НА ПРОМИСЛОВИХ ОБ'ЄКТАХ

Біляєв М.М., д.т.н., проф.¹, Біляєва В. В., к.т.н., доц.², Берлов О. В., к.т.н., доц.³

*¹Дніпровський національний університет залізничного транспорту
імені академіка В. Лазаряна, Україна*

²Дніпровський національний університет імені О. Гончара, Україна

³Придніпровська державна академія будівництва та архітектури, Україна

Екстремальні ситуації на промислових об'єктах, при перевезенні небезпечних вантажів створюють загрозу життю працівників, які перебувають поблизу джерела небезпеки [1-3, 5] У доповіді розглянуті чисельні моделі, розроблені для прогнозування наслідків надзвичайних ситуацій на промислових об'єктах, транспорті. Моделі орієнтовані на вирішення прикладних завдань, характерних при аваріях, теракти: пожежі, вибухи, емісія хімічно небезпечних речовин.

Перший клас комп'ютерних 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 математичні 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 різницевоїх 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 завдань.

Другий клас 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, 5]. Розроблені моделі дозволяють оцінювати ризик термічного ураження людей і загоряння сусідніх об'єктів.

Розроблені математичні 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, 5]. Кожна група схем відноситься до класу явних схем.

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

Третій клас 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 – щільності газу, компонент вектора швидкості, тиску перебував 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. пожежа на АЗС;

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

Час розрахунку одного варіанта завдання, на базі розроблених моделей, становить 5-15 секунд.

Розроблені чисельні моделі дають можливість швидко проводити серійні розрахунки за оцінкою розмірів зон ураження. Створені пакети прикладних програм дозволяють проводити прогностичні розрахунки на комп'ютерах малої і середньої потужності.

Література

1. Беляев Н. Н. Математическое моделирование в задачах экологической безопасности и мониторинга чрезвычайных ситуаций: монография [Текст] / Н. Н. Беляев, Е. Ю. Гулько, П. Б. Машихина. – Д. : Акцент ПП, 2013. – 159 с.
2. Беляев, Н. Н. Прогнозирование загрязнения приземного слоя атмосферы при горении твердого ракетного топлива в хранилище / Н. Н. Беляев, А. В. Берлов // Зб. наук. пр. НГУ. – Дніпропетровськ, 2013. – № 42. – С. 160–167.
3. Беляев Н.Н., Берлов А.В., Козачина В.А., Калашников И.В., Шевченко А.В. Оценка риска термического поражения людей на промышленном объекте в случае аварийного горения твердого ракетного топлива. Наука та прогрес транспорту. 2020. № 1 (85). С. 7–16. DOI: <https://doi.org/10.15802/stp2020/200752>
3. 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.
4. Berlov O. V. Atmosphere protection in case of emergency during transportation of dangerous cargo / O. V. Berlov // Наука та прогрес транспорту. Вісн. Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. – Дніпропетровськ : Дніпропетр. нац. ун-т залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна, 2016. – Вип. 1 (61). – С. 48–54.