

УДК 004.9:504:519.6

**ЩОДО РОЗРОБКИ СИСТЕМИ ОПЕРАТИВНОГО ПРОГНОЗУ ТА АНАЛІЗУ
ЗАБРУДНЕННЯ ПОВІТРЯНОГО СЕРЕДОВИЩА УКРАЇНИ ВНАСЛІДОК
КАТАСТРОФ ТЕХНОГЕННОГО ХАРАКТЕРУ**

І.В. Ковалець, І.М. Оксанич, Є.А. Євдін, В.П. Беспалов,

О.І. Удовенко, Т.А. Сорокіна, В.В. Баняй

Інститут проблем математичних машин та систем НАН України

e-mail: io2004@bigmir.net

Вступ. Економічна, суспільно-політична ситуація в Україні та військові дії у регіонах розташування техногенно небезпечних виробництв та транспортної інфраструктури підвищує небезпеку виникнення екологічних катастроф техногенного характеру, результатом яких можуть бути викиди небезпечних речовин у повітряне середовище України. Водночас, в Україні не існує оперативної системи прогнозування забруднення повітряного середовища у масштабах понад 30 км, яке може здійснюватись тільки на підставі використання сучасних систем чисельного прогнозування погоди та моделей атмосферного розповсюдження забруднень. Потенційні атмосферні викиди внаслідок аварій на об'єктах хімічного виробництва, у транспортній інфраструктурі можуть привести до небезпечних наслідків на сотні кілометрів від місця катастрофи. Тому прогнозування наслідків таких аварій неможливе без використання сучасних чисельних методів прогнозування погоди та моделей розповсюдження забруднень, здатних описувати процеси у масштабах від ~1 до ~1000 км. Отже, надзвичайно актуальним для України завданням є розробка автоматизованої системи оперативного прогнозу та аналізу забруднення повітряного середовища України токсичними хімічними речовинами внаслідок аварій на екологічно небезпечних об'єктах або навмисних викидів. Для розв'язання такого завдання у даній роботі пропонується розробка програмної системи оперативного прогнозу та аналізу забруднення повітряного середовища України токсичними хімічними речовинами внаслідок аварій на екологічно небезпечних об'єктах або навмисних викидів (система «Повітря») на підставі адаптації розроблених в ІПММС математичних моделей і програмних засобів, які використовуються у завданнях ядерного аварійного реагування.

Розробки ІПММС у галузі СППР з екологічної безпеки. В ІПММС НАН України із 1996 р. в рамках бюджетних тем НАН України, а також міжнародних проектів Рамкових програм ЄС, наукових програм НАТО та інших, розробляються та впроваджуються математичні моделі прогнозування погоди та розповсюдження забруднень в атмосфері [1]. Широке міжнародне визнання отримало впровадження математичних моделей і інформаційних технологій ІПММС у систему Євросоюзу реагування на радіаційні аварії РОДОС [2]. Практичне застосування створених в ІПММС математичних моделей та прогностичних систем обмежувалось в основному завданнями радіаційної безпеки. Водночас, прогнозування та аналіз наслідків можливих аварій на об'єктах хімічної промисловості, при транспортуванні небезпечних речовин та внаслідок навмисного розповсюдження забруднення також вимагають застосування сучасних моделей прогнозування погоди та розповсюдження забруднень.

Наприклад, у роботі [1] був розрахований розподіл небезпечних речовин внаслідок розповсюдження продуктів горіння жовтого фосфору, утворених у результаті залізничної аварії поблизу с. Ожидів Львівської обл. 16.07.2007. Використання стандартної методики ДСНС для даного сценарію, використане в інших роботах (наприклад, [3]), не дозволяє спрогнозувати розповсюдження небезпечних концентрацій забруднення на відстань далі 30 км, оскільки діюча методика ДСНС не придатна для викидів, що тривають довгий час (декілька годин). Водночас, використання сучасних математичних моделей та програмних

систем у роботі [1], дозволило спрогнозувати небезпечні концентрації речовини поблизу м. Рівне.

Діяльність із створення системи «Повітря». В рамках діяльності із створення системи «Повітря», пропонується розв’язання наступних основних завдань:

- налаштування системи прогнозування метеорологічних умов WRF-Україна [1], розробленої в ІПММС для прогнозування метеорологічних полів у межах України та прикордонних територій із використанням наявних даних метеорологічних вимірювань;
- налаштування ланцюга моделей атмосферного перенесення забруднень для розрахунку розповсюдження забруднення на відстанях від 10 до 1000 км та випадінь найбільш небезпечних хімічних забруднень на території України;
- розробка розрахункового модуля характеристик викидів для використання у моделі атмосферного перенесення на підставі методики оцінки характеристик викидів небезпечних хімічних речовин, розробленої раніше в ІПММС із використанням рекомендацій ДСНС [4];
- створення програмної системи оперативного прогнозу та аналізу забруднення повітряного середовища України внаслідок катастроф техногенного характеру «Повітря» на підставі адаптації програмних компонент системи РОДОС (бази даних, ГІС, інтерфейси), розроблених в ІПММС [2], інтеграції описаних вище розрахункових модулів оцінки викидів та розповсюдження небезпечних хімічних речовин, а також належної візуалізації розрахункових результатів;
- створення Веб-інтерфейсу системи «Повітря», що дозволить зареєстрованим віддаленим користувачам (наприклад, у РНБО та в обласних управліннях з надзвичайних ситуацій) отримати доступ до результатів розрахунків та проводити самостійні розрахунки атмосферного перенесення забруднень внаслідок техногенних аварій, використовуючи дані прогнозу погоди, розрахованих WRF-Україна;
- налаштування створеної таким чином системи «Повітря» для оперативного функціонування у Кризовому центрі ДСНС, включаючи оперативне постачання даних метеорологічних вимірювань у базу даних системи «Повітря» для їх урахування при проведенні розрахунків.

Методика та алгоритм оцінки характеристик викидів небезпечних хімічних речовин. Методика виявлення та оцінки хімічної обстановки при руйнуванні (аварії) об’єктів, що містять сильнодіючі отруйні речовини (СДОР) [5] була надана ІПММС НАНУ Управлінням РХБЗ Міністерства Оборони України. Методика передбачає отримання прогнозованої інформації відносно можливих наслідків аварій на хімічно небезпечних об’єктах та застосовується для обчислення характеристик ураження небезпечними хімічними речовинами, які зберігаються у газоподібному або в стані рідини і які під час аварії переходять у газоподібний стан і створюють первинну або/і вторинну хмару СДОР. Розрахунки виконуються на прогнозний термін 24 години для таких типів аварій: вилив, викид або вибух СДОР. Враховується також характер розливу СДОР на підстильній поверхні: «вільно» або «у піддон». Методика стосується наступних СДОР: аміак, аміл, азотна кислота, акрілонітріл, гептіл, гідразин, дихлоретан, оксид вуглецю, оксид етілену, сірковий ангідрид, сірковуглець, тетраетілсвинець, фосген, фтористий водень, хлор, хлорпікрин, ціаністий водень.

Основними характеристиками викиду СДОР є маси, що викидаються у повітря у первинній та вторинній хмарах, а також час випаровування і час поширення вторинної хмари. Первинна хмара СДОР - це пароподібна частина СДОР, яка є в будь-якій ємності над поверхнею зрідженої СДОР і яка виходить в атмосферу миттєво, безпосередньо при руйнуванні ємності. Для високо киплячих СДОР первинна хмара практично не створюється. Вторинна хмара виникає протягом певного часу внаслідок випаровування СДОР з підстильної поверхні (для речовин з низькою температурою кипіння вторинна

хмара не утворюється, для інших речовин параметри вторинної хмари залежать від властивостей СДОР, стану обвалування та температури повітря). Алгоритм обчислення параметрів викиду СДОР наведений на рис.1.

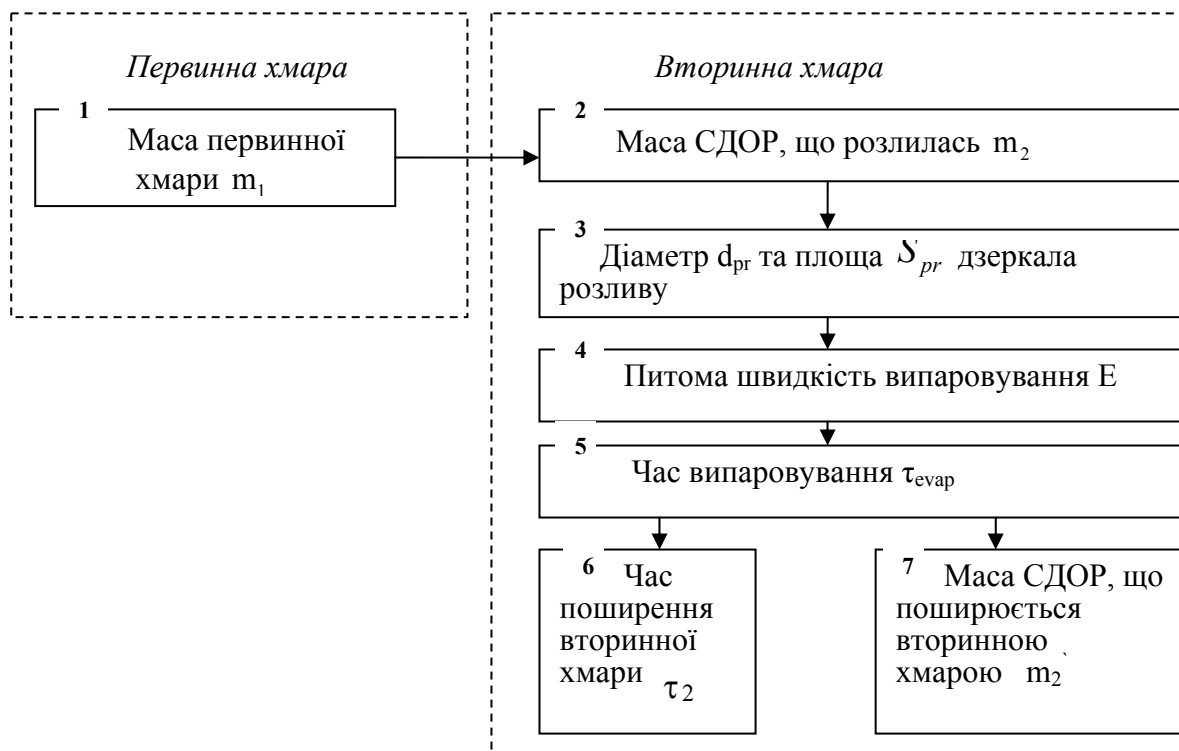


Рис.1. Алгоритм обчислення параметрів викиду СДОР

Послідовність розрахунків:

1. Розрахунок маси первинної хмари: $m_1 = m_0(k'\delta_1 + k''\delta_1)$, кг, де m_0 (кг) - початкова маса СДОР, що знаходиться в ємності. Доля СДОР, що перейшла у пар за рахунок різниці густини насичених парів СДОР в ємності та парціального тиску у повітрі $k'\delta_1 = C_v(t_0 - t_{boil})/\sigma$, або $k'\delta_1 = 0$ при ізотермії і при зберіганні високо киплячих речовин. Тут t_0 (°C) - температура рідких СДОР до аварії, t_{boil} (°C) - температура кипіння, C_v (кДж/кг·K) - питома теплоємність при температурі 20°C, σ (кДж/кг) – питома теплота випаровування при температурі повітря 20°C. Доля СДОР, що перейшла в пар за рахунок зміни теплоутримання рідини і тепла піддону

$$k''\delta_1 = \begin{cases} 0,01 & \text{при } t_a < 10^\circ \text{C}; \\ 0,02 & \text{при } 10^\circ \text{C} \leq t_a \leq 20^\circ \text{C}; \\ 0,03 & \text{при } t_a > 20^\circ \text{C}; \\ 0 & \text{при зберіганні високо киплячих рідин.} \end{cases}$$

Тут t_a - температура повітря.

2. Розрахунок маси СДОР, що розлилась: $m_2 = m_0 - m_1$.

3. Розрахунок діаметру та площі дзеркала розливу d_{pr} (м)
 $d_{pr} = 1,22 \sqrt{(m_0 - m_1) / \rho h}$ при наявності піддону, $d_{pr} = 5,04 \sqrt{(m_0 - m_1) / \rho}$ -

при відсутності піддону. Тут 5.04 - розмірний коефіцієнт $1/\text{м}^{0.5}$, ρ ($\text{кг}/\text{м}^3$) - густина газу, $h(\text{м})$ - висота піддону. Площа дзеркала розливу $S_{pr} = 1/4 \cdot \pi d_{pr}^2$.

4. Розрахунок питомої швидкості випаровування СДОР E , $\text{кг}/(\text{м}^2\text{с})$, може бути здійснено з використанням методики [5], або за іншими методиками, що використовуються в Україні та у світі (наприклад, [6]).

5. Розрахунок часу випаровування СДОР $\tau_{evap} = 4m_2 / (\pi d_{pr}^2 E \cdot 3600)$ (у годинах).

6. Розрахунок часу поширення вторинної хмари $\tau_2 = \min(\tau_{evap}, 24)$.

7. Розрахунок маси СДОР, що поширюється вторинною хмарою

$$m_2' = \begin{cases} m_2, & \tau_{evap} \leq 24 \\ 24 \cdot m_2 / \tau_2 & \tau_{evap} > 24 \end{cases}$$

Висновки. У роботі запропоновано практичні кроки щодо адаптації розроблених в ППМС математичних моделей та інформаційних технологій, які використовуються у завданнях ядерного аварійного реагування для розробки програмної системи оперативного прогнозу та аналізу забруднення повітряного середовища України токсичними хімічними речовинами внаслідок аварій на екологічно небезпечних об'єктах або навмисних викидів. У випадку успішної реалізації запропонованих кроків буде: 1) забезпечено можливість оперативного прогнозування наслідків техногенних катастроф, результатом яких є викиди токсичних хімічних речовин у повітряне середовище та їх розповсюдження на відстані від ~ 10 до ~ 1000 км, включаючи транскордонне перенесення; 2) забезпечено можливість сценарного аналізу наслідків техногенних катастроф на екологічну ситуацію в Україні; 3) створено інформаційну технологію, яка відповідає світовим зразкам чисельного метеорологічного прогнозування та аналізу розповсюдження токсичних забруднень у повітрі; 4) створено програмне забезпечення системи оперативного прогнозу та аналізу забруднення повітряного середовища України внаслідок катастроф техногенного характеру.

Список літератури

1. Ковалець І.В., 2011. Технології моделювання метеорологічних процесів із засвоєнням даних вимірювань для систем підтримки прийняття рішень: дис. докт. тех. наук : 05.13.06 / НАН України, Ін-т пробл. мат. машин і систем. - К., 2011. – 291 с.
2. Ievdin Y., Trybushny D., Zheleznyak M. and Raskob W., 2010. RODOS re-engineering: aims and implementation details. Radioprotection Vol. 45 No 5, p. S181-190
3. Варус В.І. Організаційно-медичні проблеми фосфорної аварії у Львівській області / В.І. Варус, С.О. Петрук, О.М. Колінковський // Український медичний часопис. – 2008. – т1, №63. – С. 67-70.
4. Беспалов В.П. Оцінка характеру і наслідків надзвичайної події на хімічно небезпечних об'єктах стаціонарного типу / Беспалов В.П., Білецький Б.О., Коваль Ю.Х., Сивенюк В.В. // Математичні машини і системи. – 2003. – № 3, 4. – С. 124 – 129.
5. МО СССР. Управление химических войск. Методика выявления и оценки химической обстановки при разрушении (аварии) объектов, содержащих сильнодействующие ядовитые вещества, М., 1989.
6. Handbook of Chemical Hazard Analysis Procedures (Appendix B), Federal Emergency Management Agency, U.S. Dept. of Transportation, and U.S. Environmental Protection Agency, 1989. Available online at <http://nepis.epa.gov/Adobe/PDF/10003MK5.PDF>.