УДК 004.9:911.52:614.8

ІНТЕРАКТИВНА ГЕОІНФОРМАЦІЙНА ВЕБСИСТЕМА МОДЕЛЮВАННЯ ПОШИРЕННЯ НЕБЕЗПЕЧНИХ ХІМІЧНИХ РЕЧОВИН ЗА НАВЧАЛЬНИМИ СЦЕНАРІЯМИ

Максим РУДИК, Роман ГОЛОВАТИЙ
Львівський державний університет безпеки життєдіяльності

Анотація. Розглянуто розроблення інтерактивної геоінформаційної вебсистеми для навчального моделювання поширення небезпечних хімічних речовин під час техногенних аварій та аналізу їх наслідків. Запропоновано поєднання нормативної методики прогнозування з гаусовою моделлю розсіювання, накладання зон зараження на дані про забудову та сценарний режим навчання з оцінюванням рішень.
Ключові слова: небезпечна хімічна речовина, техногенна аварія, зона хімічного зараження, геоінформаційна система, гаусова модель, навчальний сценарій.

Abstract. The development of an interactive geographic information web system for training simulation of hazardous chemical dispersion during technogenic accidents and consequence analysis is considered. A combination of the regulatory forecasting method with a Gaussian dispersion model, overlay of contamination zones on building data and a scenario-based training mode with decision assessment are proposed.
Keywords: hazardous chemical, technogenic accident, chemical contamination zone, geographic information system, Gaussian model, training scenario.

Аварії на хімічно небезпечних об’єктах і транспорті з викидом хлору, аміаку чи інших небезпечних хімічних речовин (НХР) вимагають швидкого прогнозування зони зараження та ухвалення рішень щодо укриття або евакуації населення. В умовах війни ризик таких аварій зріс через ураження промислових об’єктів. Підготовка фахівців цивільного захисту до розв’язання цих задач традиційно ґрунтується на ручних розрахунках за нормативною методикою [1] з нанесенням зон на паперову карту, що не дає змоги наочно оцінити наслідки для конкретної забудови та швидко відпрацювати багато варіантів умов.

Метою роботи є розроблення архітектури інтерактивної геоінформаційної вебсистеми для моделювання поширення НХР та аналізу наслідків аварій за навчальними сценаріями.

Ядром системи є розрахунковий модуль, що підтримує дві моделі. Перша – нормативна методика [1], за якою визначаються глибина зони хімічного зараження з урахуванням кількості та властивостей речовини, швидкості вітру й ступеня вертикальної стійкості повітря (інверсія, ізотермія, конвекція), а також форма зони: коло за швидкості вітру до 0,5 м/с, півколо – від 0,6 до 1 м/с, сектор 90° – від 1,1 до 2 м/с і сектор 45° – понад 2 м/с. Друга – гаусова модель розсіювання домішки в атмосфері [2] з параметрами розсіювання за класами стійкості Паскуілла [3], яка дає просторовий розподіл концентрації та дозволяє показати, як змінюється небезпека з відстанню від джерела. Порівняння моделей наведено в табл. 1.

Таблиця 1

Моделі прогнозування поширення НХР у системі

Модель	Вхідні дані	Результат	Призначення в системі
Нормативна методика [1]	Речовина, кількість, умови зберігання, швидкість вітру, ступінь вертикальної стійкості	Глибина і площа зони зараження, час підходу хмари	Відпрацювання розрахунків, передбачених нормативними документами

Модель	Вхідні дані	Результат	Призначення в системі
Гаусова модель розсіювання [2, 3]	Інтенсивність викиду, висота джерела, вітер, клас стійкості Паскуілла	Поле концентрацій та ізолінії порогових рівнів	Наочне пояснення фізики процесу, аналіз чутливості до умов

Геоінформаційна складова реалізується на основі картографічної бібліотеки для вебзастосунків і даних OpenStreetMap. Слухач розміщує джерело аварії на карті, обирає речовину з довідника та задає метеоумови або отримує їх зі сценарію. Розрахована зона накладається на шар забудови: для будівель, що потрапили в зону, оцінюється кількість людей, яка може в них перебувати (житлові, освітні, медичні заклади), і час підходу зараженої хмари. Це дає змогу перейти від абстрактної площі зони до конкретних наслідків: які заклади й вулиці потрапляють у зону та скільки часу є на оповіщення.

Навчальний сценарій описує аварію (об’єкт, речовину, кількість, час доби, метеоумови) і містить контрольні точки, на яких слухач має ухвалити рішення: визначити зону зараження, обрати населені пункти для першочергового оповіщення, вирішити, що доцільніше для кожного району – укриття в приміщеннях чи евакуацію, і визначити маршрути евакуації поза зоною. Інструктор може змінювати умови під час сценарію (зміна напрямку вітру, повторний викид), а система порівнює рішення слухача з еталонними та формує звіт. Такий підхід ґрунтується на моделях управління безпекою об’єктів з масовим перебуванням людей [4] і моделюванні систем підтримки прийняття рішень експертом [5].

Технічно система реалізується в клієнт-серверній архітектурі. Розрахункові моделі виконуються на сервері, а їх результат – зона зараження та ізолінії концентрацій – передається клієнту у форматі GeoJSON і відображається поверх карти окремими шарами, які можна вмикати й вимикати. Просторові дані про будівлі, заклади освіти й охорони здоров’я зберігаються в базі даних PostgreSQL з розширенням PostGIS, що дає змогу визначати об’єкти в межах зони за допомогою просторових запитів перетину. Кількість людей у будівлях оцінюється за типом і площею забудови з використанням усереднених коефіцієнтів, які задаються в налаштуваннях сценарію, а для закладів освіти та лікарень – за їх проєктною місткістю. Щоб слухачі бачили динаміку, система відображає поширення хмари в часі з кроком, що задається користувачем.

Важливо, що система має навчальне призначення: результати розрахунків є оцінними, а її інтерфейс повинен явно показувати припущення кожної моделі, щоб слухачі розуміли межі їх застосовності. Крім того, кожен розрахунок зберігається разом із вхідними даними, що дає змогу відтворити й обговорити результати під час розбору сценарію.

Висновки. Запропонована геоінформаційна вебсистема поєднує нормативну методику прогнозування наслідків викиду НХР із гаусовою моделлю розсіювання, накладання зон зараження на дані про забудову та сценарний режим навчання з контрольними точками й оцінюванням рішень. Це підвищує наочність підготовки фахівців цивільного захисту та дає змогу відпрацьовувати багато варіантів аварій за короткий час. Подальша робота передбачає наповнення довідника речовин і розроблення сценаріїв для хімічно небезпечних об’єктів Львівської області.

Література

1. Про затвердження Методики прогнозування наслідків виливу (викиду) небезпечних хімічних речовин при аваріях на промислових об’єктах і транспорті : наказ МНС України, Мінагрополітики України, Мінекономіки України, Мінекоресурсів України від 27.03.2001 № 73/82/64/122. URL: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0326-01 (дата звернення: 13.11.2026).

2. Turner D. B. Workbook of Atmospheric Dispersion Estimates: An Introduction to Dispersion Modeling. 2nd ed. Boca Raton : Lewis Publishers, 1994.

3. Pasquill F. The estimation of the dispersion of windborne material. *The Meteorological Magazine*. 1961. Vol. 90. P. 33–49.

4. Зачко О. Б., Головатий Р. Р. Мультиагентна модель управління безпекою при плануванні проектів створення об’єктів з масовим перебуванням людей. *Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Стратегічне управління, управління портфелями, програмами та проектами*. 2017. № 2(1224). С. 46–51.

5. Kordunova Y., Prydatko O., Smotr O., Golovatyi R. Expert Decision Support System Modeling in Lifecycle Management of Specialized Software. *Lecture Notes on Data Engineering and Communications Technologies*. Vol. 149. Cham : Springer, 2023. P. 367–383. DOI: 10.1007/978-3-031-16203-9_22.