

УДК 619.2

М.В. Новожилова, д.ф.-м.н., проф., І.А. Чуб, д.т.н., проф., Тарасенко О.А., д.т.н., с.н.с.

МОДЕЛЮВАННЯ НАДЗВИЧАЙНОЇ СИТУАЦІЇ З ВИКИДОМ НЕБЕЗПЕЧНОЇ ХІМІЧНОЇ РЕЧОВИНИ ЗАСОБАМИ ГЕОІНФОРМАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ

В статті розглядається застосування геоінформаційних систем для підвищення точності оцінки масштабів та наслідків надзвичайної ситуації з викидом небезпечної хімічної речовини до атмосфери. Запропонована методика розрахунку площі зони зараження з урахуванням щільності забудови. Практична реалізація методики виконана у вигляді розрахункового модуля, який інтегрований до геоінформаційної системи. Використання методики дається на прикладі моделювання надзвичайної ситуації з викидом аміаку.

Ключові слова: моделювання, надзвичайна ситуація, небезпечна хімічна речовина, площа зони зараження, геоінформаційна система

We consider how to apply geoinformation systems to improve the accuracy of the assessment of the magnitude and consequences of an emergency situation with possible emission of hazardous chemical substances into the atmosphere. The method to calculate area of contamination zone, taking into account density of city buildings, is proposed. Based on the method we perform a program module which is integrated into geoinformation system. Numerical experiments were carried out by modeling the emergency situation with the ammonia emission.

Keywords: simulation, emergency situation, hazardous chemical substance, area of contamination zone, geoinformation system

Постановка проблеми. Основним завданням системи моніторингу техногенної безпеки регіону є отримання оперативної інформації про стан потенційно небезпечних об'єктів (ПНО) для попередження надзвичайних ситуацій (НС), а також оцінки масштабів і наслідків НС, які виникли [1, 2].

Моделювання хімічної обстановки на потенційно-небезпечному об'єкті після НС з викидом небезпечних хімічних речовин (НХР) є одним з важливих етапів прогнозування її наслідків, необхідність якого обумовлена забезпеченням мер захисту персоналу та населення. Точність прогнозу залежить від урахування багатьох факторів, деякі з котрих мають ймовірнісний характер. В першу чергу – це погодні умови на місті НС, ключовими з яких є стан атмосфери, напрямлення та швидкість вітру, температура повітря, сезон року тощо. Не менше значення мають характеристики НХР, параметри викиду, розміщення ПНО, рельєф місцевості, кількість населення в межах можливої зони зараження. Таким чином, побудова прогнозу – це складний багатокроковий процес, від точності якого залежить час ліквідації НС, кількість необхідних сил та засобів і, загалом, рівень втрат населення та загальні економічні збитки.

Наявні методики прогнозування наслідків НС з викидом НХР використовують для розрахунків усереднені дані, не забезпечують необхідної точності прогнозу, не мають розвиненого графічного інтерфейсу для візуалізації результатів. Все це ускладнює їх використання для оперативного прогнозування розвитку та наслідків НС в режимі реального часу.

Більшість вказаних недоліків може бути успішно усунена за допомогою інтеграції розрахункових методик до будь-якої існуючої геоінформаційної системи (ГІС) [3]. За допомогою ГІС–інструментів можливо підвищити якість обробки даних, а також забезпечити високу точність визначення площі хімічного зараження. Таким чином, моделювання НС з викидом НХР з використанням засобів ГІС є актуальною науковою проблемою, вирішення якої дасть змогу значно підвищити рівень безпеки населення.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Для розрахунку параметрів НС з викидом НХР у атмосферу найбільш широке застосування набули методики [4, 5], які дозволяють визначити глибину, ширину та максимально можливу площу зони зараження. Результати

розрахунків використовуються при розробці планів евакуації населення із зони НС. На основі вказаних методик, як правило, побудовані модулі розрахунку наслідків хімічних НС стандартних ГІС. На жаль, точність прогнозу, отриманого за результатами таких розрахунків не відповідає практичним потребам. В роботах [6, 7] запропоновано розрахункові методики, які мають більшу точність у визначенні параметрів хімічної НС. Вони дозволяють визначити розміри та площу зони зараження як для рівнинної місцевості, так і для місцевості з рельєфом, включаючи міську забудову. Але ці методики поки що не застосовані в ГІС-інструментах. Тому виникла необхідність інтегрування математичного та програмного забезпечення, побудованого на їх основ, до складу сучасних геоінформаційних систем.

Постановка задачі та її розв'язання. *Метою статті* є розробка методики застосування ГІС для підвищення точності моделювання надзвичайної ситуації з викидом небезпечної хімічної речовини.

До об'єктів підвищеної небезпеки, на яких може статися хімічна НС, належать об'єкти з можливим розливом (викидом) аміаку. Якщо не розглядати об'єкти хімічної промисловості, то, насамперед, це підприємства по зберіганню та переробці продуктів харчування, на яких застосовуються промислові аміачні холодильні установки. Як правило, вони розміщуються у густонаселених районах. Маса аміаку в установках досягає десятків тон, тому при аваріях зона зараження може займати площу у десятки квадратних кілометрів та покривати житлові райони. Така НС може привести до значних втрат серед незахищеного населення і стати справжньою екологічною катастрофою. Тому розглянемо застосування ГІС для НС з викидом аміаку, яка сталася у крупному населеному пункті.

Начальним етапом розв'язання поставленої задачі є розробка електронної (цифрової) карти місцевості, без якої не можна здійснити прогнозування аварії та відображення зони зараження. Електронна карта місцевості складається на основі топографічного плану з масштабом 1:200 (рис. 1).

Першим кроком її створення є вибір типу об'єкту, що створюється (лінійний, площадковий, векторний), вибір шару, у якому буде збереженим об'єкт, умовна назва та код об'єкта, а також зовнішній вигляд об'єкту, якій може бути стандартним або визначеним користувачем. Усі об'єкти карти створюються у класифікаторі ГІС (рис. 2).



Рис. 1. Топографічний план місцевості

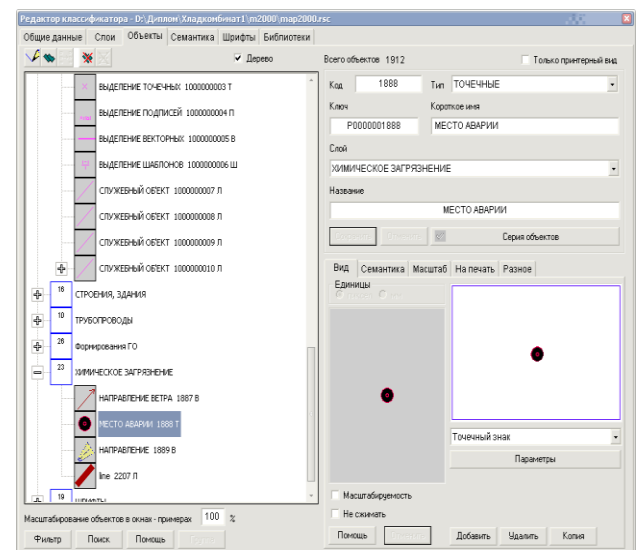


Рис. 2. Створення об'єктів у класифікаторі

Для відображення карти місцевості та міста аварії у редакторі класифікатора ГІС створені додаткові об'єкти та семантика (дата аварії, небезпечна речовина, температура

зовнішнього середовища) (рис. 3). Створення об'єктів будівель та споруд виконується через редактор карти (рис. 4).

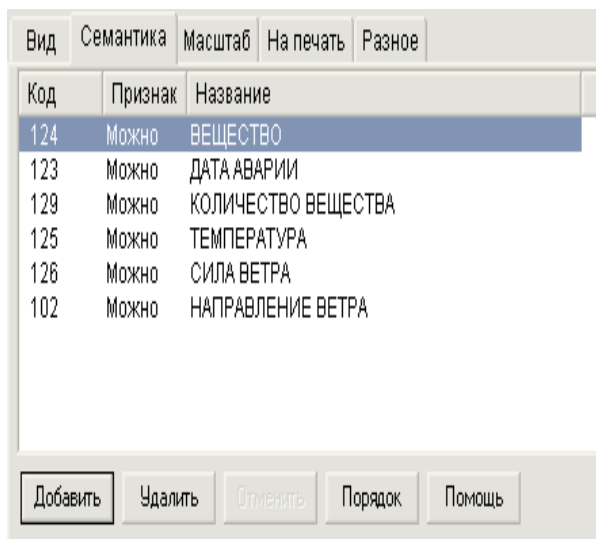


Рис. 3. Введення семантики

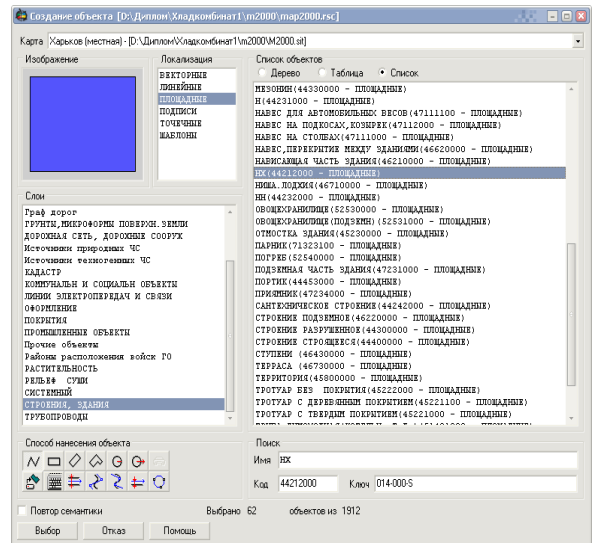


Рис. 4. Створення об'єкта карти

При створенні об'єкту необхідно обрати спосіб нанесення його на карту. Найбільш зручним при створенні об'єктів будівель є “складний прямокутник”, він враховує прямий кут та підтримує пряму лінію при нанесенні об'єкта на карту.

Шар будівель необхідний для побудови моделі зони зараження. Без цього шару зона зараження буде створена як для відкритої місцевості, що неможливо в умовах міста.

Наступним кроком побудови електронної карти є опис графа доріг. Дорожня мережа уявляє собою ланцюг лінійних об'єктів, створених по автодорожньої частині топографічного плану (рис. 5).

Граф доріг уявляє собою топологічно пов'язані дуги та вузли, прокладені по об'єктах дорожньої мережі. Граф доріг створюється окремим шаром та уявляє собою векторну карту шляхової мережі (рис. 6).

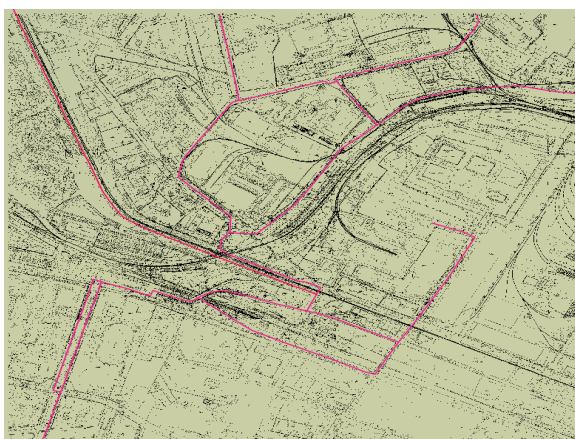


Рис. 5. Дорожня мережа



Рис. 6. Граф доріг

Побудова графа доріг виконується автоматично. Необхідно виділити лінійні об'єкти, по яким буде створений відповідний граф, та виконати побудову графу через модуль «Граф

доріг» (рис. 7). Шар доріг необхідно для побудови графа доріг, за допомогою якого враховуються можливі шляхи евакуації.

Після створення варіанту карти за допомогою функції геопорталів через Google підключається супутникова карта місцевості (рис. 8).

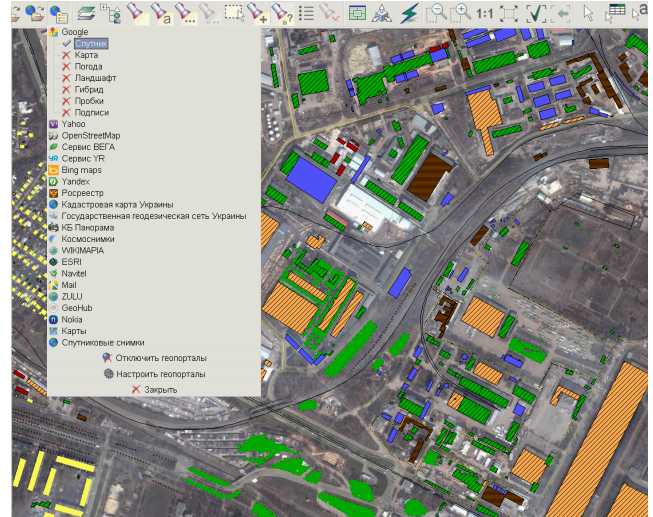
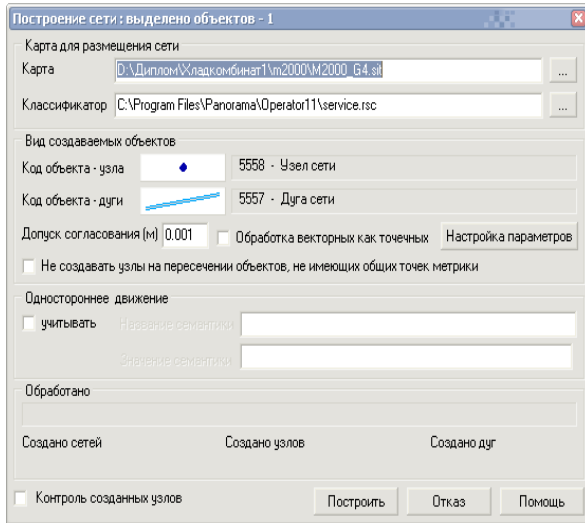


Рис. 7. Побудова графа доріг Рис. 8. Підключення геопорталу

Якщо при підключенні геопорталу було з'ясовано невідповідність існуючого топографічного плану місцевості супутниковій карті місцевості, то необхідно виконати корекція карти (рис. 9).

По закінченню корекції побудовано цифрову карту місцевості.

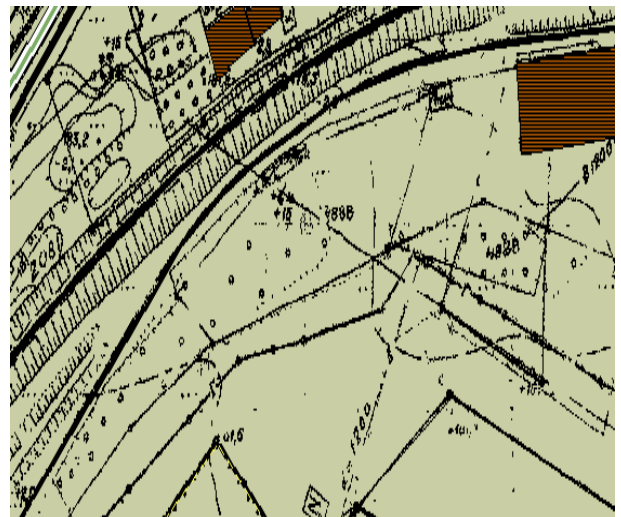


Рис. 9. Корекція карти місцевості

Перелік об'єктів карти: **лінійні** (дорога автомобільна, з/д; лісові насадження; огорожа); **площадкові** (будівлі житлові, нежитлові, виробничі; паркові насадження); **точкові** (місто аварії; вузли графу доріг).

Приклад.

Розглянемо приклад застосування ГІС для моделювання можливої НС з викидом аміаку при аварії в аміачно-компресорному цеху АОЗТ «Холодпром».

Харківське акціонерне об'єднання закритого типу «Холодпром» розташоване у Немишлянському адміністративному районі м. Харкова за адресою вул. Хабарова, 1. На території об'єкту розміщуються: холодильник, виробничий цех, будівля для переробки риби, адміністративний корпус, допоміжні служби. В охолоджувальній системі компресорного цеху холодильника використовується 6 тон аміаку, у лінійних ресиверах знаходяться 2,5 тони, аміаку загальна кількість аміаку у охолоджувальній системі холодильних камер складає 26,5 тон.

Характеристики НС:

• кількість скрапленого аміаку у викиді, т	6
• швидкість вітру, м/с	1
• напрямок вітру	північний
• стан атмосфери	інверсія
• температура повітря, °С	20
• сезон року	червень
• час аварії	ранок

Оцінка хімічної обстановки виконується із розрахунку наступних характеристик:

- глибина розрахункової зони хімічного зараження;
- ширина розрахункової зони хімічного зараження;
- площа розрахункової зони зараження.

Моделювання НС з викидом 6 тон скрапленого аміаку при аварійній розгерметизації охолоджувальній системи компресорного цеху проводилося з використанням засобів геоінформаційної системи «Карта 2011» КБ «Панорама» [3] – стандартного вбудованого модуля «Площа зараження» та модуля розрахунку площі зараження за методиками [6, 7].

На рис. 10 зображена електронна карта району НС, яка побудована згідно рекомендацій, що викладені вище.

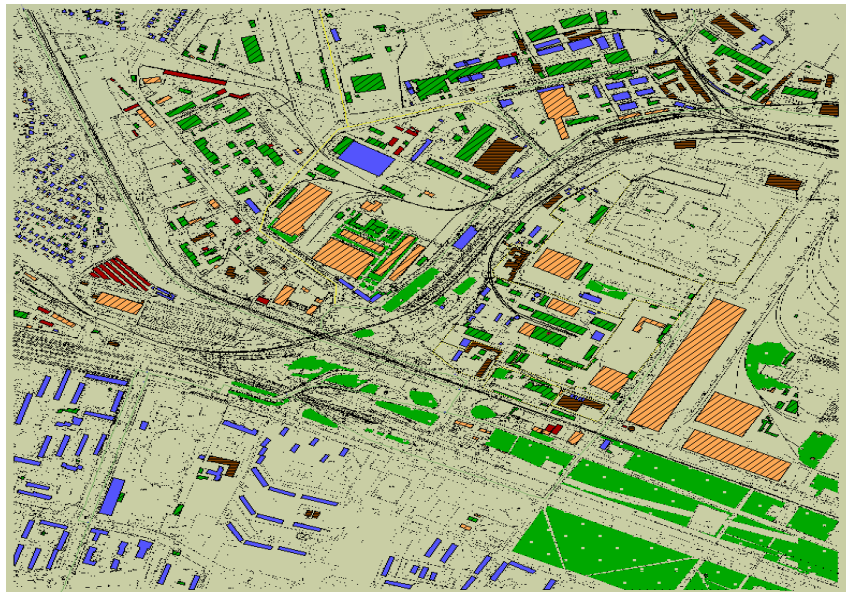


Рис. 10. Цифрова карта району НС

Визначення площі зони зараження виконувалися в три етапи:

- 1) за допомогою стандартного вбудованого модуля «Площа зараження»;

2) згідно методики [6, 7] без врахування територіальних особливостей (для випадку відкритої місцевості);

3) згідно методики [6, 7] з урахуванням об'єктів території (щільності забудови).

Були отримані наступні результати:

1) площа зони зараження, побудована з використанням стандартного модуля ГІС складає 2.96 км².

2) площа зони зараження без врахування територіальних особливостей визначалася наступним чином:

- розрахункова глибина $g_{розр}$ зони зараження знаходиться за формулою

$$g_{розр} = \frac{g}{K_{зменш}} - \Delta g_{зменш}, \quad (1)$$

де g – таблична глибина зони зараження без урахування рельєфу місцевості та щільності забудови, км; $K_{зменш}$ – коефіцієнт зменшення зони зараження на 1 км забудови, за допомогою якого враховується рельєф та забудова в зоні НС, $\Delta g_{зменш}$ – зменшення глибини зони зараження на закритій місцевості, км.

Для відкритої місцевості (без врахування територіальних особливостей) величини $K_{зменш} = 1$, а $\Delta g_{зменш} = 0$. Тому для цього випадку $g_{розр} = g$.

Таблична глибина зони зараження без урахування рельєфу місцевості та щільності забудови дорівнює довжині сліду хмари хімічної рідини за напрямом вітру. Ця величина є табличним значенням та для 6 т аміаку, з урахуванням збільшення довжини на 5% при температурі 20°C, дорівнює $g = g_{розр} = 1.33$ км.

- розрахункова ширина $h_{розр}$ зони зараження залежить від ступеню вертикальної стійкості атмосфери. При інверсії розрахунок виконується наступним чином:

$$h_{розр} = 0.2 g_{розр} = 0.27 \text{ км}. \quad (2)$$

- розрахункова площа $S_{розр}$ зони зараження розраховується за формулою:

$$S_{розр} = 8.72 \cdot 10^{-3} \cdot (g_{розр})^2 \cdot \varphi, \quad (3)$$

де φ – кутові розміри розрахункової зони зараження, град. У нашому випадку $\varphi = 90$.

Тоді

$$S_{розр} = 8.72 \cdot 10^{-3} \cdot (g_{розр})^2 \cdot \varphi = 8.72 \cdot 10^{-3} \cdot (1.33)^2 \cdot 90 = 1.38 \text{ км}^2.$$

3) площа зони зараження з урахуванням об'єктів території визначається за формулами (1)-(3) наступним чином:

- розрахункова глибина $g_{розр}$ зони зараження знаходиться за формулою (1), де параметри $K_{зменш}$ та $\Delta g_{зменш}$ для нашого випадку мають вигляд: $K_{зменш} = 1.02$, а

$$\Delta g_{зменш} = g - \frac{g}{K_{зменш}} = 1.33 - \frac{1.33}{1.02} = 0.03.$$

З урахуванням цього

$$g_{розр} = \frac{g}{K_{зменш}} - \Delta g_{зменш} = \frac{1.33}{1.02} - 0.03 = 1.28 \text{ км}.$$

- розрахункова ширина $h_{\text{розр}}$ зони зараження має вигляд:

$$h_{\text{розр}} = 0.2 g_{\text{розр}} = 0.26 \text{ км.}$$

- розрахункова площа $S_{\text{розр}}$ зони зараження має вигляд

$$S_{\text{розр}} = 8.72 \cdot 10^{-3} \cdot (1.28)^2 \cdot 90 = 1.27 \text{ км}^2.$$

Для порівняння площин зон зараження виконано накладення полігонів (рис. 11).

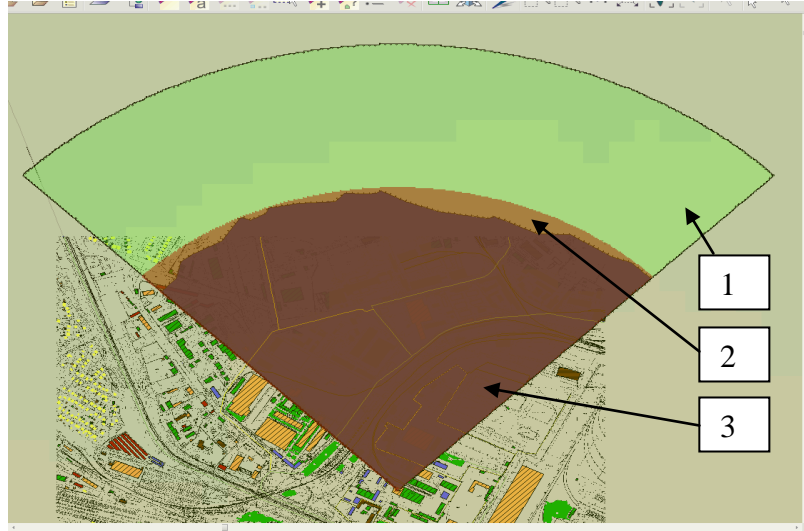


Рис. 11. Порівняння розрахункових площ зон зараження:

- 1 – без врахування територіальних особливостей; 2 – з урахуванням об'єктів території;
3 – з використанням стандартного модуля ГІС.

Висновки. Наведені результати застосування ГІС для підвищення точності прогнозу наслідків НС з викидом небезпечної хімічної речовини на прикладі розрахунку площі зони зараження аміаком.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Попов В.М. Показатели эффективности региональной системы техногенной безопасности / В.М. Попов, И.А. Чуб, М.В. Новожилова // Вестник Командно-инженерного института МЧС Республики Беларусь. – 2014. – № 2(20). – С. 32-41.
2. Попов В.М. Модель адаптивной системы техногенной безопасности региона / В.М. Попов, И.А. Чуб, М.В. Новожилова // Системы управління, навігації та зв'язку. – 2013. – Вип. 2(26). – С. 120-123.
3. Геоинформационная система «Карта 2011». Подключаемые прикладные задачи, Руководство пользователя, – Ногинск: КБ «Панорама», 2012. – 135 с.
4. Методика прогнозирования масштабов заражения сильнодействующими ядовитыми веществами при авариях (разрушениях) на химически опасных объектах и транспорте. – М. ЗАО НТЦ ПБ, 2003. – 76 с.
5. Методика оценки последствий химических аварий. – М.: ЗАО НТЦ ПБ, 2005. – 57 с.
6. Попов В.М. Прогнозування наслідків можливої надзвичайної ситуації при формуванні програми розвитку територіальних систем техногенної безпеки / В.М. Попов, И.А. Чуб // Проблеми надзвичайних ситуацій. – 2015. – Вип. 22. – С.99-105.
7. Попов В.М. Оцінка впливів можливої надзвичайної ситуації на етапі формування місії програми розвитку територіальних систем техногенної безпеки / В.М. Попов, И.А. Чуб // Науковий вісник НЛТУ України. – 2015. – Вип. 25.8. – С. 244-249.