

*М.В. Новожилова, д-р фіз.-мат. наук, проф.
(Харківський національний університет міського господарства),
І.А. Чуб, д-р техн. наук, проф., О.А. Тарасенко, д-р техн. наук, с.н.с.
(Національний університет цивільного захисту України)*

МОДЕЛЮВАННЯ НАДЗВИЧАЙНОЇ СИТУАЦІЇ З ВИКИДОМ НЕБЕЗПЕЧНОЇ ХІМІЧНОЇ РЕЧОВИНИ ЗАСОБАМИ ГЕОІНФОРМАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ

Розглядається практичне застосування геоінформаційних систем для підвищення точності оцінки масштабів та наслідків надзвичайної ситуації з викидом в атмосферу небезпечної хімічної речовини. Запропонована методика розрахунку площі зони зараження з урахуванням щільності забудови. Практична реалізація методики виконана у вигляді розрахункового модуля, інтегрованого в геоінформаційну систему. Використання методики дається на прикладі моделювання надзвичайної ситуації з викидом аміаку.

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

M.V. Novozhilova, I.A. Chub, O.A. Tarasenko

MODELING OF THE EXTRAORDINARY SITUATION WITH THE EMISSION OF DANGEROUS CHEMICAL SUBSTANCES USING GEOINFORMATIONAL TECHNOLOGIES

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 запобігання надзвичайним ситуаціям (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 заходів захисту персоналу та населення. Точність прогнозу залежить від урахування багатьох факторів, деякі з котрих мають ймовірнісний характер. В першу чергу – це погодні умови на місці НС, ключовими з яких є стан атмосфери, напрям 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.

У відомих методах прогнозування наслідків НС з викидом НХР використовують для розрахунків усереднені дані. Тому ці методики не забезпечують необхідної точності прогнозу, не мають розвинутого 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 геоінформаційної системи (ГІС) [3]. За допомогою ГІС-інструментів можна 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 закордонна та вітчизняна 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 дають 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 основі, 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. Попри об'єкти хімічної промисловості, це, насамперед, підприємства із зберігання та переробки продуктів харчування, на яких застосовуються промислові аміачні холодильні установки. Як правило, вони розміщуються у густонаселених районах. Маса аміаку в установках сягає десятків тонн, тому при аваріях зона зараження може займати площу у десятки квадратних кілометрів та покривати житлові райони. Така НС може призвести 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 у її створенні є вибір типу об'єкта, що створюється (лінійний, площинний, векторний), вибір шару, у якому буде збереженим об'єкт, умовна назва та код об'єкта, а також зовнішній вигляд об'єкта, який може бути стандартним або визначеним користувачем. Усі об'єкти карти створюються у класифікаторі ГІС (рис. 2).



Рисунок 1 – Топографічний план місцевості

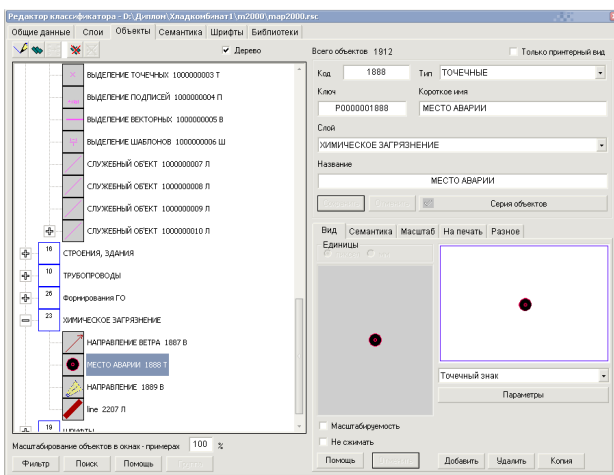


Рисунок 2 – Створення об'єктів у класифікаторі

Для відображення карти місцевості та місця 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).

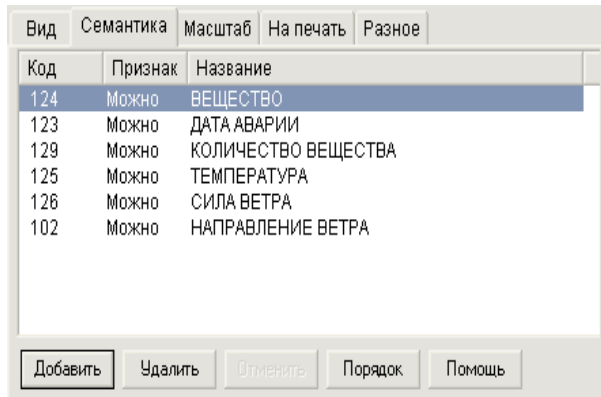


Рисунок 3 – Введення семантики

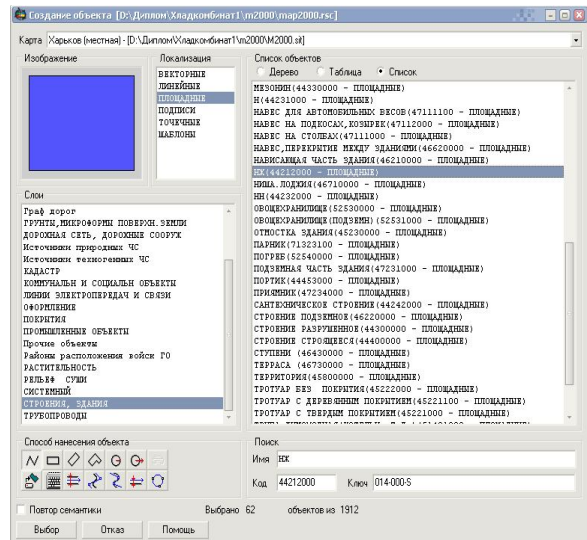


Рисунок 4 – Створення об'єкта карти

При створенні об'єкта 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 являє собою ланцюг лінійних об'єктів, створених по автодорожній частині топографічного плану (рис. 5).

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



Рисунок 5 – Дорожня мережа



Рисунок 6 – Граф доріг

Побудова графа доріг виконується автоматично. Необхідно виділити лінійні об'єкта, по яких буде створений відповідний граф, та виконати побудову графа через модуль «Граф доріг» (рис. 7). Шар доріг необхідний для побудови графа доріг, за допомогою якого враховуються можливі шляхи евакуації.

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

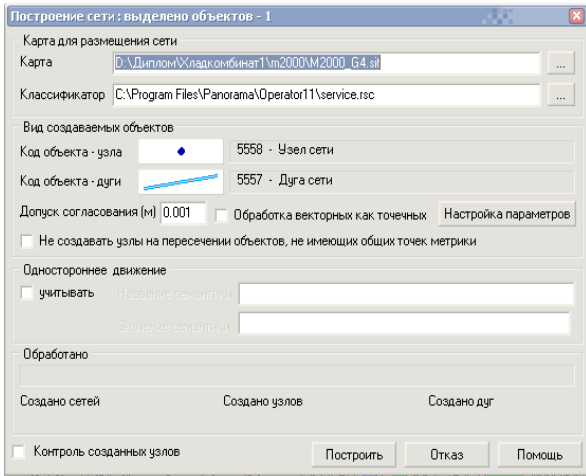


Рисунок 7 – Побудова графа доріг

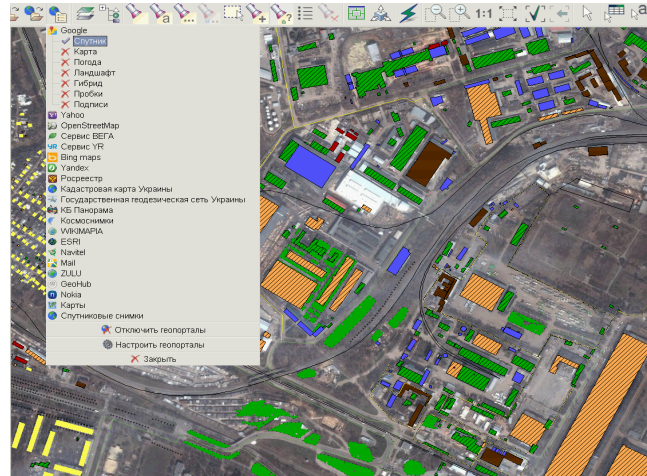


Рисунок 8 – Підключення геопорталу

Якщо при підключенні геопорталу з'ясується, що наявний топографічний план місцевості не відповідає супутниковій карті місцевості, то необхідно виконати корекцію карти (рис. 9).

По завершенні корекції побудуємо цифрову карту місцевості.

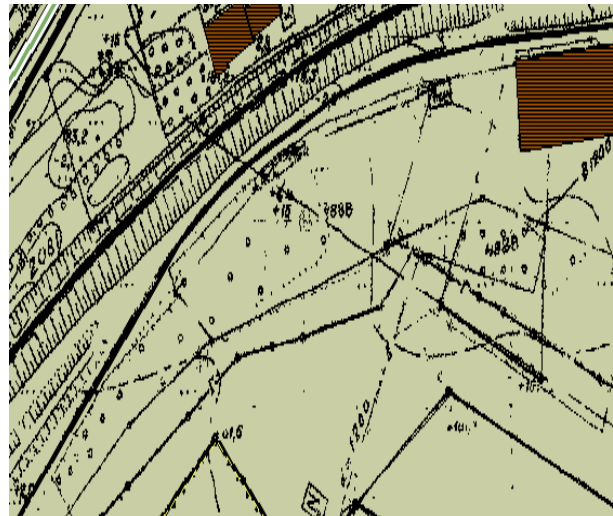


Рисунок 9 – Корекція карти місцевості

Перелік об'єктів карти: **лінійні** (дорога автомобільна, залізниця; лісові насадження; огорожа); **площадкові** (будівлі житлові, нежитлові, виробничі; паркові насадження); **точкові** (місце аварії; вузли графа доріг).

Приклад.

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

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

Характеристики НС:

- кількість скрапленого аміаку у викиді, т 6
- швидкість вітру, м/с 1
- напрямок вітру північний

- стан атмосфери інверсія
- температура повітря, °C 20
- сезон року червень
- час аварії ранок

Оцінка хімічної обстановки виконується із розрахунку таких характеристик:

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

Моделювання НС з викидом 6 тон скрапленого аміаку при аварійній розгерметизації охолоджувальної 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 з рекомендаціями, що викладені вище.

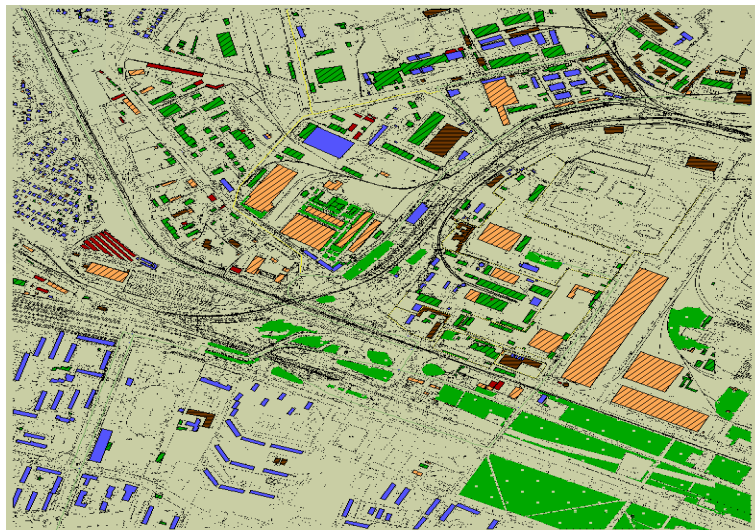


Рисунок 10 – Цифрова карта району НС

Площу зони зараження визначали в три етапи:

- 1) за допомогою стандартного вбудованого модуля «Площа зараження»;
- 2) згідно з методикою [6, 7] без врахування територіальних особливостей (для випадку відкритої місцевості);
- 3) згідно з методикою [6, 7] з урахуванням об'єктів території (щільності забудови).

Були отримані такі результати:

- 1) площа зони зараження, побудована з використанням стандартного модуля ГІС становить 2.96 км².
- 2) площа зони зараження без врахування територіальних особливостей визначалася таким чином:

- розрахункову глибину $g_{розр}$ зони зараження знаходимо 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 $g = g_{\text{розр}} = 1.33$ км.

• розрахункова ширина $h_{\text{розр}}$ зони зараження залежить від ступеня вертикальної стійкості атмосфери. При інверсії розрахунок виконується таким чином:

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

• розрахункова площа $S_{\text{розр}}$ зони зараження розраховується за формулою:

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

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

Тоді

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

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

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

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

З урахуванням цього

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

• 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).

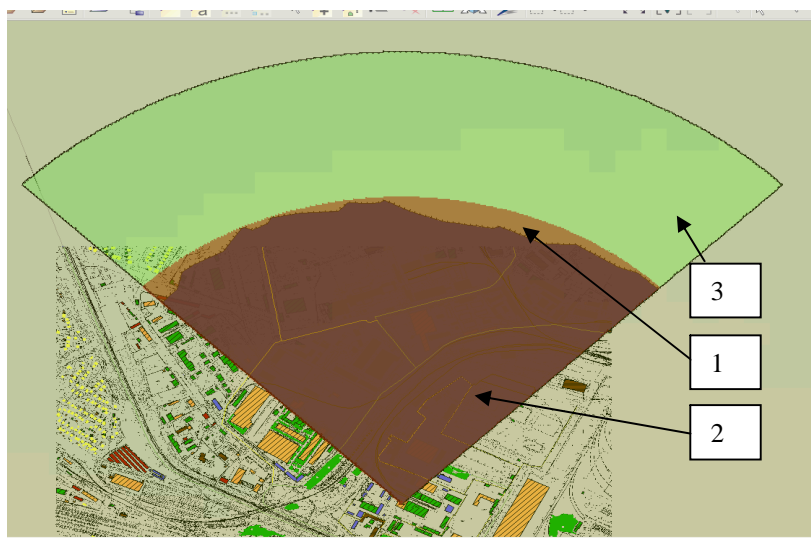


Рисунок 11 – Порівняння розрахункових площ зон зараження:
1 – без врахування територіальних особливостей; 2 – з урахуванням об'єктів території;
3 – з використанням стандартного модуля ГІС.

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

Список литературы:

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 управления, навигации 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. Наказ МНС України від 27.03.2001 № 73 «Про затвердження Методики прогнозування наслідків вилу (викиду) небезпечних хімічних речовин при аваріях на промислових об'єктах і транспорті».
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.

References:

1. Popov V.M. Indicators of efficiency of the regional system of technogenic safety / V.M. Popov, I.A. Chub, M.V. Novozhilova // Bulletin of the Command-Engineering Institute of the Ministry of Emergencies of the Republic of Belarus. – 2014 – No. 2 (20). – P. 32-41.
2. Popov V.M. Model of Adaptive System of Technogenic Safety of the Region / V.M. Popov, I.A. Chub, M.V. Novozhilova // Control, navigation and communication systems. – 2013. – Issue 2 (26). – P. 120-123.
3. Geoinformation system "Map 2011". Connected Application Tasks, User Manual, - Noginsk: KB Panorama, 2012. – 135 p.
4. Method of forecasting the extent of infection with potent poisonous substances in accidents (breakdowns) on chemically hazardous objects and transport. - M. ZAO STC PB, 2003. – 76 p.
5. Order of the Ministry of Emergencies of Ukraine dated 27.03.2001 No. 73 "On Approval of the Methodology for Forecasting the Consequences of Pumping (Emission) of Hazardous Chemical Substances in Accidents at Industrial Facilities and Transport".
6. Popov V.M. Forecasting the consequences of possible emergencies in the development of a program for the development of territorial systems of technogenic safety / V.M. Popov, I.A. Chub // Problems of Emergency Situations. – 2015. – № 22. – P.99-105.
7. Popov V.M. An assessment of the possible emergencies during the formation of the mission of the development of territorial systems of technogenic safety / V.M. Popov, I.A. Chub // Scientific herald of NLTU of Ukraine. – 2015. – №. 25.8 – P. 244-249.

