

*І.А. Чуб, д.т.н., професор, НУЦЗУ,
М.В. Новожилова, д.ф.-м.н., професор, ХНУМГ імені О.М.Бекетова,
Р.С. Мележик, ад'юнкт, НУЦЗУ*

ІМІТАЦІЙНЕ МОДЕЛЮВАННЯ МІСЬКОЇ ІНЖЕНЕРНОЇ ІНФРАСТРУКТУРИ ЯК ДЖЕРЕЛА ТЕХНОГЕННОЇ НАДЗВИЧАЙНОЇ СИТУАЦІЇ

Наведено опис елементів інженерної інфраструктури міста як складної відкритої динамічної системи, що є джерелом можливої надзвичайної ситуації. Ці дані є підґрунтям побудови імітаційної моделі виникнення та розвитку надзвичайної ситуації техногенного характеру, що є інструментальним засобом зниження масштабів та пом'якшення наслідків впливу її небезпечних факторів.

Ключові слова: інженерна інфраструктура міста, імітаційна модель, параметри надзвичайної ситуації.

Постановка проблеми. За оцінками [1] вже через 30 років майже 70% загального населення планети складатиме міське населення, тобто людство проживатиме в мегаполісах – локаціях порядку одного мільйона людей с високою щільністю населення за наявності так званої маятникової міграції жителів. Функціонування у мегаполісі промислових потенційно небезпечних об'єктів (ПНО), пов'язано із додатковими підвищеними ризиками, які генеруються значною щільністю міського населення, критичною наближеністю до них об'єктів із масовим перебуванням людей, високим рівнем старіння основних фондів ПНО та поглиблюється невизначеністю або відсутністю оперативної і повної інформації про міське господарство. У цих умовах одним з головних факторів підвищення рівня техногенної безпеки міста є побудова прогнозу виникнення ТНС. Небезпеки можуть провокуватися усіма компонентами міста як складної відкритої динамічної системи, тому комплексний підхід до прогнозування динаміки надзвичайних ситуацій техногенного характеру (ТНС), що включає розгляд як промислових ПНО, так і елементів інженерної інфраструктури міста, є актуальною проблемою.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Проведений системологічний аналіз вітчизняної та закордонної наукової літератури щодо існуючих методів та інструментальних засобів прогнозування ТНС дозволив виділити в якості основних такі наукові напрями. Методи розв'язання проблеми формалізації просторово розподілених даних розвиваються у межах такої наукової дисципліни як геостатистика [2]. В статті [3], заважаючи на нестационарність процесів, що розглядаються, та

необхідність урахування урбаністичних ризиків розширено можливості аналізу та прогнозування за рахунок застосування дерев подій та методів теорії катастроф. Роботу [4] присвячено оцінці стану ПНО в умовах невизначеності за допомогою елементів теорії ідентифікації та теорії статистичних рішень.

У дослідженні [5] розглядається побудова територіальної системи техногенної безпеки (ТСТБ) із застосуванням теорії та методів проактивного управління, що розвиваються авторами.

У [6] при прогнозуванні НС застосовано теорію черг. Роботу [7] присвячено вивченню потоку відмов обладнання потенційно небезпечних виробничих та інфраструктурних об'єктів на основі теорії надійності. Публікація [8] містить аналіз рядів статистики аварійних ситуацій на об'єктах міського господарства як нестационарних часових рядів.

Статтю [9] присвячено упорядкуванню термінологічної бази предметної галузі і узагальненню відомих на цей час методів прогнозування НС техногенного та природного характеру.

Робота [10] містить аналіз наявних методів економічної оцінки збитків від надзвичайних ситуацій техногенного характеру, що застосовуються у світі й Україні. Досліджено теоретичні засади оцінки збитків, завданих техногенними катастрофами.

Різноманіття підходів до розв'язання поставленої задачі свідчить, з одного боку про складність проблеми, що розглядається, а з іншого боку – про відсутність адекватних засобів аналізу та синтезу прийнятних управлінських рішень.

Постановка завдання та його вирішення. Метою статті є параметрична та структурна ідентифікація імітаційної моделі прогнозу виникнення та розвитку ТНС в умовах міського середовища.

Моделювання виникнення та розвитку ТНС в умовах мегаполісу має враховувати такі основні особливості ТНС, як:

- Розподіленість у часі та просторова розподіленість ТНС.
- Випадковість моментів настання.
- Унікальність умов протікання.
- Високий рівень збитків та впливів на оточення.
- Невизначеність (багатоваріантність) причин реалізації ТНС.
- Недостатній обсяг та зашумленість статистичної інформації про попередні ТНС.

Інформація щодо параметрів можливої НС є відмінною за змістом, формою та вимірністю, тому найбільш прийнятним її поданням у імітаційній моделі, що розглядається, є кортеж I вигляду

$$I = \langle v, \{\lambda(t), \beta(x,y)\}, \tau, \mathfrak{I}, \mathfrak{R} \rangle, \quad (1)$$

де $v=(x,y)$ – вектор параметрів локації можливої ТНС у межах міської

забудови; $\lambda(t)$, $\beta(x,y)$, – параметри законів розподілу моментів та локації виникнення ТНС відповідно; τ – моменти виникнення ТНС; \mathfrak{Z} – тип можливої ТНС; \mathfrak{R} – рівень тяжкості ТНС, що теж є випадковою величиною.

Очевидно, що параметри $\{\lambda(t), \beta(x,y)\}$, τ , \mathfrak{Z} , \mathfrak{R} залежать від типу інфраструктурного об'єкту, що розглядається.

Етапи побудови імітаційної моделі. I

1. Визначення джерел можливої ТНС.

Припущення 1. У якості об'єктів просторово-часового моделювання події виникнення та рівня складності ТНС розглядаються два типи інфраструктурних об'єктів: мережі водопостачання та водовідведення; мережі електропостачання. Причиною НС виступають технічні відмови обладнання.

Припущення 2. На виділених типах інфраструктурних об'єктів вихідні дані для моделювання НС однакові.

2. Аналіз вихідних даних для моделювання НС.

Припущення 3. Потік моментів виникнення ТНС моделюється як послідовність заявок на обслуговування територіальною системою техногенної безпеки.

2.1. Обробка просторових даних.

Припущення 4. Для визначення координат можливої аварії проводиться розбиття контрольованої території сіткою вимірів на осередки. У геостатиці застосовують різні засоби побудови сітки вимірів: триангуляція, діаграми Вороного, а також стандартна прямокутна (регулярна) сітка, яка використовується у подальшому.

При цьому виникає ефект просторової роздільної здатності, тобто визначення адекватного розміру осередку (Δx , Δy).

На даній сітці здається N -вимірна випадкова функція $Z(v)$ функцією розподілу

$$F(v_1, v_2, \dots, v_N, z_1, z_2, \dots, z_N) = P\{Z(v_1) \leq z_1, Z(v_2) \leq z_2, \dots, Z(v_N) \leq z_N\}, \quad (2)$$

яка характеризує просторову ймовірність виникнення ТНС та визначається як набір випадкових змінних $Z(v_i)$, по одній для кожної локації v_i , $i=1,2,\dots, N$, території міста.

Задача ідентифікації функції розподілу (2) вирішується на основі застосування статистичної інформації двох типів:

Статистична інформація типу 1: кількість, характер, координати розташування ТНС на мережах життєзабезпечення, типи небезпечних факторів, стан інфраструктурних об'єктів, статистичні дані по моментах настання відмов, Важкість ТНС оцінюється за часом розвитку та часом ліквідації ТНС.

Статистична інформація типу 2: інформація про відомі ТНС на подібних потенційно-небезпечних об'єктах (за браком інформації першого типу).

Суттєвим фактором моделювання є типи відмов обладнання, що розглядаються: випадкові, поступові, або їх комбінація.

У першому випадку функцію $Z(v)$ можна вважати такою, що володіє властивістю стаціонарності другого порядку [2], тобто математичне сподівання $m(v)$ функції $Z(v)$ існує і не залежить від локації v

$$\forall v; m(v) = E\{Z(v)\} = \text{const.}$$

У другому і третьому випадках врахування наявності поступових відмов, що залежать від стану основних фондів обладнання, означає, що математичне сподівання $m(v)$ є функцією районів міста (географічних локацій) та є відбиттям того факту, що аварії частіше виникають в тих місцях, де основні фонди старіші.

2.2. Обробка часових рядів даних.

Стан основних фондів інженерної інфраструктури міст України є таким, що необхідно передбачає при моделюванні врахування акту наявності поступових відмов обладнання. Таким чином, теоретична інтенсивність λ потоку відмов є функцією часу, тобто потік заявок на обслуговування не є стаціонарним.

Отже, в якості базового теоретичного розподілу моментів настання відмови приймається нестационарний розподіл Пуассона (розподіл рідких подій) у часі.

3. Завдання функції результатів можливої ТНС.

Припущення 5. У якості оціночної функції результатів для водопровідних мереж приймаються прямі збитки, тобто приведені витрати на заходи для ліквідації наслідків ТНС, включаючи забруднення оточення, так звані пофакторні та пореципієнтні збитки. Для електричних мереж оціночна функція результатів також враховує непрямі збитки.

4. Реалізація складових процесу імітаційного моделювання. Даний етап містить моделювання місця, часу і рівня тяжкості НС.

Моделювання проводиться в рамках парадигми дискретно-подієвого моделювання протягом деякого періоду модельного часу як ітераційний процес, на кожній ітерації якого підраховуються сумарні витрати, тобто визначається інтегральна оціночна функція результатів.

Висновки. Проведено аналіз множини вхідних даних та побудови імітаційної моделі міської інженерної інфраструктури як джерела техногенної надзвичайної ситуації.

Визначено, що моменти надходження відмов обладнання як причини ТНС (настання подій) є дискретною випадковою величиною; мають місце поступові та випадкові відмови обладнання; випадковий

потік подій є розподіленим як у часі, так і у просторі; урахування кількох джерел настання подій, що в цілому порушує вимогу ординарності процесу.

Алгоритмічна та програмна реалізація імітаційної моделі, що розглядається, забезпечить інформаційне середовище зниження масштабів та пом'якшення наслідків впливу небезпечних факторів ТНС, а також раціонального використання обмежених ресурсів територіальної системи техногенної безпеки в рамках короткострокового (оперативне прогнозування) як довгострокового (стратегічне прогнозування) горизонту прогнозування.

ЛІТЕРАТУРА

1. International Federation of Red Cross and Crescent Societies / Режим доступу: <https://media.ifrc.org/ifrc/ifrc-homepage-v-2-1/> (дата звертання: 07.03.2018).
2. Демьянов В.В. Геоestatистика. Теория и практика / В.В. Демьянов, Савельева Е.А. // М.: Наука, 2010. – 327 с.
3. Пепеляев В.А. Інформаційно-аналітична система для аналізу комплексних ризиків природно-техногенних та соціально-економічних загроз в галузі житлово-комунального господарства України / В.А. Пепеляев, П.С. Кнопов, К.Л. Атоєв // Наука та інновації. – 2010. – Т. 6. – № 3. – С. 39-46.
4. Поспелов Б.Б. Алгоритмы и устройства оптимального прогнозирования и обнаружения чрезвычайных ситуаций в случае неизвестных функций потерь / Б.Б. Поспелов, В.А. Андронов, Е.А. Рыбка // Проблемы надзвичайних ситуацій. – 2017. – Вип. 25. – С. 85-93.
5. Попов В.М. Модель адаптивной системы техногенной безопасности региона / В.М. Попов, И.А. Чуб, М.В. Новожилова // Системи управління, навігації та зв'язку. – 2013. – вип. 2. – С. 120-123.
6. Dudin A.N. Optimal hysteresis control for a BMAP/SM/1/N queue with two operation modes / A.N. Dudin, S. Nishimura // Mathematical Problems in the Engineering. – 2000. – № 5. – 397-420.
7. Schller J.C.H. Methods for determining and processing probabilities «Red Book» / J.C.H. Schller, J.L. Brinkman, P.J. Van Gestel, R.W. van Otterloo // The Netherlands: Committee for Prevention of Disasters, 1997. – 604 p.
8. Попов В.М. Моделирование характеристик потока отказов основных производственных фондов объектов повышенной опасности / Попов В.М, Чуб И.А, Новожилова М.В. // Проблемы надзвичайних ситуацій. – 2015. – Вип. 21. – С. 93-98.
9. Комарницький І.М. Оцінка техногенних збитків та аналіз підходів до їхнього розрахунку у глобальному та регіональному аспектах/ І.М. Комарницький, М.І. Бублик // Режим доступу: vlp.com.ua/files/21_31.pdf (дата звертання: 07.03.2018).

10. Altay N. OR/MS research in disaster operations management / N. Altay, W. G. Green // European Journal of Operational Research. – 2006. – № 175. – P. 475-493.

Отримано редколегією 12.03.2018

И.А. Чуб, М.В. Новожилова, Р.С. Мележик

Имитационное моделирование городской инженерной инфраструктуры как источника техногенной чрезвычайной ситуации

Приведено описание элементов инженерной инфраструктуры города как сложной открытой динамической системы, которая является источником возможной чрезвычайной ситуации. Эти данные являются основой построения имитационной модели возникновения и развития чрезвычайной ситуации техногенного характера, является инструментальным средством снижения масштабов и смягчения последствий воздействия его опасных факторов.

Ключевые слова: инженерная инфраструктура города, имитационная модель, параметры чрезвычайной ситуации.

I.A. Chub, M.V. Nvozhlyova, R.C.Melegk

Simulation modeling of urban engineering infrastructure as a source of anthropogenic emergency

The description of the engineering infrastructure of the city as a complex open dynamic system that is the source of a possible emergency situation is given. These data form the basis for constructing an imitation model for the emergence and development of an emergency situation of anthropogenic nature, is an instrumental tool for reducing the scale and mitigating the consequences of exposure to its hazardous factors

Keywords: city engineering infrastructure, simulation model, emergency parameters.