

Метод реалізації прогнозової моделі виникнення надзвичайних ситуацій техногенного характеру на мережах водопостачання мегаполісу

О. І. Чуб¹, М.В. Новожилова^{2*}, Р. С. Мележик³

²Харківський національний університет імені В.Н. Каразіна, м. Харків

²Харківський національний університет міського господарства ім. О.М. Бекетова, м. Харків, Україна ³Національний університет цивільного захисту України, м. Харків

*Corresponding author. E-mail: m.novozhilova04@gmail.com

Paper received 27.01.20; Accepted for publication 14.02.20.

<https://doi.org/10.31174/SEND-NT2020-224VIII27-15>

Анотація. Статтю присвячено побудові методу реалізації імітаційної моделі прогнозування параметрів (моменту виникнення, місця виникнення, рівню тяжкості) надзвичайних ситуацій техногенного характеру на мережах водопостачання мегаполісу. Метод, що пропонується, використовує ідею кластеризації множини ланок мережі за часом прокладання. На цій основі вихідна двовимірною імітаційною моделлю визначення міста локації можливої надзвичайної ситуації зводиться до множини незалежних одновимірних у загальному випадку нестационарних розподілів моментів виникнення надзвичайної ситуації.

Ключові слова: надзвичайна ситуація техногенного характеру, імітаційна модель, розподіл Пуассона, мегаполіс, мережі водопостачання.

Вступ. Розвиток продуктивних сил і виробничих відносин визначає мегаполіс як форму майбутнього співіснування людства. За прогнозами чисельність міського населення на 2050 р. становитиме 70% загального населення планети. При цьому збільшується антропогенне навантаження, що призводить до зростання кількості і тяжкості надзвичайних ситуацій техногенного характеру (ТНС) на системах життєзабезпечення великого міста, у тому числі на мережах водопостачання та водовідведення. Такі події призводять до великих матеріальних збитків та мають критичний соціальний резонанс.

Функціонування потенційно небезпечних промислових об'єктів саме у мегаполісі пов'язано із додатковими підвищеними ризиками, які генеруються значною щільністю міського населення, критичною наближеністю об'єктів із масовим перебуванням людей до потенційно небезпечних об'єктів, високим рівнем старіння основних фондів цих об'єктів, складністю, динамічністю, загалом невизначеністю відносин системоутворюючих компонент міської території, збільшенням кількості промислових комплексів та небезпечних матеріалів у міських районах, що знаходяться під загрозою природної небезпеки.

Виникнення надзвичайних ситуацій техногенного характеру на елементах інженерної інфраструктури мегаполісу може призвести до так званого «ефекту доміно», коли одна надзвичайна ситуація стає причиною іншої і так далі.

Таким чином, прогнозування динаміки ТНС є важливою складовою управління техногенною безпекою мегаполіса в цілому та основою визначення характеристик ресурсного забезпечення функціонування міського господарства в штатному режимі.

Аналіз попередніх досліджень. На сьогодні у фахових наукових публікаціях розглянуто низку підходів до прогнозування ТНС, зокрема інструментальні засоби геостатистики [1] для формалізації просторово розподілених даних, дерева подій та методи теорії катастроф [2] для урахування урбаністичних ризиків, елементи теорії ідентифікації та теорії статистичних рішень [3] для оцінки стану потенційно небезпечних об'єктів в умовах невизначеності тощо.

У дослідженні [4] розглядається побудова територіальної системи техногенної безпеки (ТСТБ) із застосуванням теорії та методів проактивного управління, що розвиваються авторами. Робота [5] 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. В останні роки з'явилась ціла низка публікацій в провідних європейських наукових виданнях, присвячених побудові математичних моделей різного рівню складності щодо прогнозування перебігу надзвичайних ситуацій природного та техногенного характеру. Статтю [6] присвячено упорядкуванню термінологічної бази предметної галузі і узагальненню відомих на цей час методів прогнозування ТНС техногенного та природного характеру.

Дана робота є продовженням дослідження [7] щодо створення імітаційної моделі прогнозування параметрів можливої ТНС на передавальних пристроях (мережах) водопостачання та водовідведення мегаполісу.

За [8] вихідна інформація є відмінною за змістом, формою та вимірністю, тому найбільш прийнятним її поданням у імітаційній моделі, що розглядається, є коротке І вигляду

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

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.

Мета роботи. Побудова методу реалізації імітаційної моделі прогнозування параметрів (моменту виникнення, місця виникнення, рівню тяжкості) надзвичайних ситуацій техногенного характеру на мережах водопостачання мегаполісу.

Результати та їх обговорення. Аналіз імітаційної моделі (1) показує, що її розгляд необхідно розвивати у чотиривимірному просторі: $(x, y, \tau, \mathfrak{R})$.

Проведемо декомпозицію задачі за ендогенними змінними (x, y, τ, \mathfrak{R}) та розглянемо етапи методики реалізації імітаційної моделі (1).

1. Моделювання моментів настання ТНС.

У теорії надійності показано [9], що періоду нормальної експлуатації складних систем відповідає стаціонарний пуассонівський потік числа k випадкових відмов протягом періоду t вигляду

$$P_k(t) = \frac{(\lambda^{\text{вип}} t)^k}{k!} e^{-\lambda t} \quad (2)$$

де $P_k(t)$ – ймовірність настання k випадкових відмов протягом періоду t , $\lambda^{\text{вип}}$ – параметр розподілу Пуассона.

У сучасній практиці господарювання параметри значної частини передавальних пристроїв інженерної інфраструктури як складної технічної системи відпо-

відають періоду старіння. На даному етапі життєвого циклу (рис.1) особливе значення набувають систематичні відмови, обумовлені закономірними і неминучими явищами, що викликають поступове накопичення ушкоджень, втому, зношення обладнання.

Періоду старіння складних систем відповідає нестационарний пуассонівський потік числа k випадкових відмов протягом періоду t вигляду:

$$P_\theta(t, t_n) = \frac{\eta(t, t_n)^\theta}{k!} e^{-\eta(t, t_n)}, \quad (3)$$

де t_n – початок інтервалу спостережень, t_A – початок періоду старіння, θ – кількість відмов в інтервалі $[t_A, t]$, $\eta(t, t_n)$ – параметр нестационарного розподілу Пуассона, що є функцією $\lambda^{\text{сист}}(t)$ (рис.1).

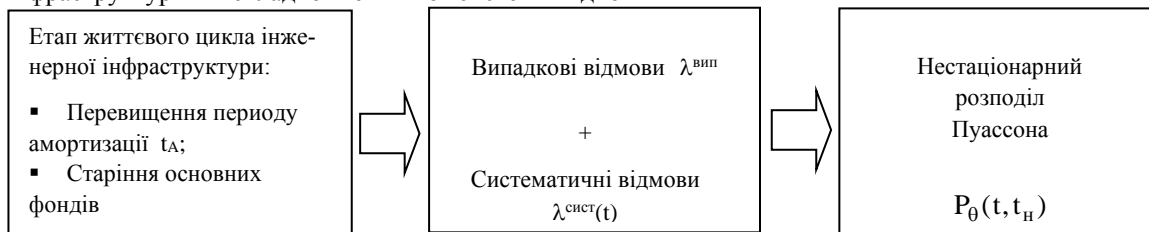


Рис. 1. Етап старіння інженерної інфраструктури

Зауваження 1. В практичних застосуваннях функцію інтенсивності систематичних відмов $\lambda^{\text{сист}}(t)$ на ін-

$$\lambda^{\text{сист}}(t) = \lambda_{c-1}^{\text{сист}}, \text{ якщо } t_{c-1} \leq t < t_c, c=1,2,\dots,C, t_c \in [t_A, t]. \quad (4)$$

2. Моделювання параметрів вектору $v=(x, y)$ виникнення можливої ТНС у межах міської забудови.

Дана задача потребує використання методів аналізу двовимірного статистичного ряду, що взагалі є нетривіальною задачею. В роботі [7] запропоновано 2 підходи до розв’язання цієї задачі.

Проекційний підхід (рис. 2). Передбачає незалежне визначення випадкових параметрів розміщення аварійних ланок інженерної інфраструктури як послідовності двох одновимірних рівномірних розподілів та визначення часового розподілу моментів τ_n виник-

тервалі $[t_A, t]$ доцільно замінити певним наближенням, наприклад кусково-постійною функцією вигляду

нення аварій як нестационарного розподілу Пуассона

Інтегральний підхід. Містить побудову точок-генераторів, потужність яких (характеристика складності аварії) визначається на основі реалізації підходу порівнювальної статистики з так званим накопичувальним ефектом у межах певного часу.

Визначення точок-генераторів проводиться із застосуванням кластерного аналізу із визначенням розміру кластеру як 2%-5% від максимального лінійного розміру контролюваного району.

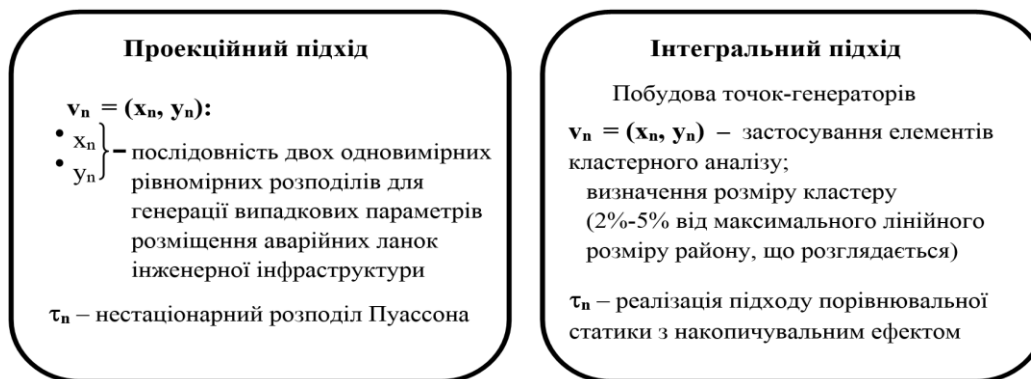


Рис. 2. Порівняння проекційного та інтегрального підходів

В даній роботі розглянемо інший перспективний метод визначення локації виникнення і розвитку надзвичайних ситуацій визначених типів в умовах мегаполісу, а саме

Релаксаційний підхід, що базується на зведенні двовимірної імітаційної моделі визначення міста локації можливої ТНС до множини незалежних однови-

мірних нестационарних (зокрема стаціонарних) розподілів для генерації часу виникнення ТНС.

Узагальнено метод складається з двох етапів.

На першому етапі розглядається мережа водогонів мегаполіса, що представляє собою множину ланок $G=\{g_1, g_2, \dots, g_l\}$. На множині G формуються кластери множини ділянок мереж водопостачання за терміном

введення в експлуатацію. Крок h розбиття покладається 5 років.

В результаті одержуємо множину $K=\{K_1, \dots, K_M\}$ кластерів ділянок мережі, кожен з яких – K_m – в загальному випадку геометрично є незв'язною множиною. Елементи k_m^n певного кластеру $K_m = \{k_m^1, \dots, k_m^n, \dots, k_m^{N_m}\}$ у подальшому вважаються джерелами (генераторами) ТНС однакової тяжкості.

Більш того, для елементів деякого кластеру K_m фіксується параметр розподілу Пуассона $\eta(t, t_n)$, тобто потік моментів настання ТНС на ланках мережі певного кластеру приймається стаціонарним, що узгоджується зі змістом Зауваження 1. На рис. 3 наведений приклад кластеризації мережі водопостачання району м. Харкова, Україна, де елементи кластерів мережі водопостачання виділені різними кольорами. Вибір напрямку координатних осей на рис. 3 узгоджений із географічним центром м. Харкова.

Другий етап методу реалізації імітаційної моделі на базі релаксаційного підходу містить кроки створення так званого імітаційного симулятора, що генерує певну кількість випробувань – тобто реалізацій ТНС.

Зауваження 2. Вважаємо, що результат випробування є складною подією: можуть виникнути ТНС на різних кластерах мережі одночасно (наприклад, протягом тижня – одиницю виміру часу обирає особа, що приймає рішення).

$$Q = \left\{ \prod_{m=1}^M A_m, \bar{A}_1 \prod_{m=2}^M A_m, \dots, \bar{A}_M \prod_{m=1}^{M-1} A_m, \bar{A}_1 \bar{A}_2 \prod_{m=3}^M A_m, \dots, A_M \prod_{m=1}^{M-1} \bar{A}_m, \prod_{m=1}^M \bar{A}_m \right\}, \text{card } Q = \Theta. \quad (5)$$

Для кожного елементу множини (5) визначимо ймовірність p_θ реалізації відповідної складної події q_θ , $q_\theta \in Q$, $\theta=1, 2, \dots, \Theta$. Під час практичної реалізації ймовірності p_θ реалізації несумісних подій q_θ (5) відкладаються на одиничному відрізку. Генерується рівномірно розподілене на $[0, 1]$ випадкове число ξ і перевіряється умова

$$\sum_{\theta=1}^{\mu-1} p_\theta \leq \xi \leq \sum_{\theta=1}^{\mu} p_\theta. \quad (6)$$

За виконання умови (6) вважають, що в процесі випробування настала складна подія μ з множини (5). За умови нормування за часом обсягу ресурсів, необхідних для реалізації процесу ліквідації ТНС визначається загальний обсяг ресурсів в даному випробуванні.

Після виконання заданої кількості випробувань визначаються середні (сумарні) характеристики експерименту, що є підґрунтям для прогнозування оцінки го-



Рис. 3. Кластеризація множини ланок мережі водопостачання

Таке припущення щодо урахування кількох джерел настання подій що в цілому порушує вимогу ординарності процесу, тому для подальшого моделювання застосовується наступний підхід.

Позначимо через A_m – подію настання ТНС на кластері K_m у одиницю часу, відповідно \bar{A}_m – подію ненастання ТНС на кластері K_m . На цій основі визначимо повну множину Q несумісних подій вигляду

товності територіальної системи техногенної безпеки до обслуговування прогнозованої множини ТНС на заданому горизонті планування.

Висновки. Проведено побудову методу реалізації імітаційної моделі прогнозування параметрів надзвичайних ситуацій техногенного характеру на мережах водопостачання мегаполісу. Концепція моделювання враховує наявність систематичних відмов міської інженерної інфраструктури, що призводить до нестаціонарності процесу, що розглядається. Реалізовано ідею кластеризації множини ланок мережі за часом прокладання, що дозволяє виключити з розгляду визначення міста локації можливої надзвичайної ситуації в межах міської забудови. У подальшому передбачається реалізація даної моделі як складової територіального інформаційного простору попередження та ліквідації надзвичайних ситуацій техногенного характеру в мегаполісі.

ЛІТЕРАТУРА

1. Демьянов В. В., Савельєва Е. А. Геостатистика. Теория и практика // М.:Наука, 2010. – 327 с.
2. Пепеляев В.А., Кнюпов П.С., Атоев К.Л. Інформаційно-аналітична система для аналізу комплексних ризиків природно-техногенних та соціально-економічних загроз в галузі житлово-комунального господарства України // Наука та інновації. – 2010. – Т. 6. – № 3. – С. 39 - 46.
3. Поспелов Б.Б., Андронов В.А., Рыбка Е.А. Алгоритмы и устройства оптимального прогнозирования и обнаружения чрезвычайных ситуаций в случае неизвестных функций потерь // Проблемы надзвичайних ситуацій. – 2017. – Вип. 25. – С. 85-93.
4. Попов В.М., Чуб І.А., Новожилова М.В. Модель адаптивної системи техногенної безпеки регіону // Системи управління, навігації та зв'язку. – 2013. – вип. 2. – С. 120-123.
5. Комарницький І.М., Бублик М.І. Оцінка техногенних збитків та аналіз підходів до їхнього розрахунку у глобаль-

- ному та регіональному аспектах // Електронний ресурс. – Режим доступу: vlp.com.ua/files/21_31.pdf (дата звертання: 07.10.2019).
6. Altay N., Green W. G. OR/MS research in disaster operations management // European Journal of Operational Research. – 2006. – № 175. – P. 475–493.
 7. Чуб О.І., Новожилова М.В., Мележик Р.С. Модель функціонування логістичної інфраструктури мегаполіса в умовах надзвичайної ситуації техногенного характеру // Радіоелектроніка і інформатика, 2019, № 1, с.64-70.
 8. Чуб І.А., Мележик Р.С., Новожилова М.В. Імітаційне моделювання міської інженерної інфраструктури як джерела техногенної надзвичайної ситуації // Проблеми надзвичайних ситуацій. – 2018. – № 27. – с.169-174.
 9. Калявін В.П. Надежность и диагностика – СПб: «Элмор». – 1998. – 230с.

REFERENCES

1. Demyanov V.V., Savelyeva E.A. Geostatistics. Theory and practice // M.: Nauka, 2010, 327 p.
2. Pepeljaev V.A., Knopov P.S., Atoyev K.L. Information-analytical system for complex environmental-technogenic and social-economic risks analyses in the field of housing and communal services of Ukraine // Science and Innovation, 2010, Vol. 6, № 3, p. 39 - 46.
3. Pospelov B.B., Andronov V.A., Rybka E.A. Algorithms and devices for optimal forecasting and detection of emergencies in the case of unknown loss functions // Problems of Emergencies, 2017, Vol. 25, p. 85-93.
4. Popov V.M., Chub I.A., Novozhylova M.V. The model of the adaptive system of technological security in the region // Control, Navigation and Communication Systems, 2013, Vol. 2, p. 120-123.
5. Komarnitsky I.M., Bublik M.I. Technogenic losses assessment and analysis of approaches to their calculation in global and regional aspects // Electronic resource. - Access mode: vlp.com.ua/files/21_31.pdf (accessed: 07/10/2019).
6. Altay N., Green W. G. OR/MS research in disaster operations management // European Journal of Operational Research. – 2006. – № 175. – P. 475–493.
7. Chub O.I., Novozhylova M.V., Melezhek R.S. Model of metropolis logistics infrastructure in an manmade emergency situation // Radio Electronics and Informatics, 2018, N 4, p. 26-31.
8. Chub I.A., Novozhylova M.V., Melezhek R.S. Simulation modeling of urban engineering infrastructure as a source of anthropogenic emergency // Problems of Emergencies, 2018, № 27, p. 169-174.
9. Kalyavin V.P. Reliability and diagnostics // St. Petersburg: Elmore, 1998, 230 p.

Method realizing predictive model of technogenic emergency occurrences on water supply networks in metropolis

O. I. Chub, M. V. Novozhylova, R. S. Melezhek

Abstract. The paper is devoted to the constructing a method of realization of simulation model predicting parameters of man-made emergencies on metropolitan water supply networks (moments of occurrence, place of occurrence, severity level). The method implements the idea of clustering whole set of network links by the time of laying. On this basis, the original two-dimensional simulation model for determining the location of a possible emergency situation is reduced to a set of independent one-dimensional, in the general case, non-stationary distributions of the moments of an emergency.

Keywords: man-made emergency, simulation model, Poisson distribution, metropolis, water supply networks.