УДК 614.8

Г. В. Іванець **С. А. Горєлишев** **О. О. Бондаренко**

МОДЕЛЬ ПРОГНОЗУВАННЯ НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЙ ТЕХНОГЕННОГО ХАРАКТЕРУ НА ОСНОВІ ЗВАЖЕНОГО МЕТОДУ НАЙМЕНШИХ КВАДРАТІВ

Для прогнозування виникнення надзвичайних ситуацій техногенного характеру в державі широко застосовують методи регресійного аналізу. Регресійна модель такого процесу, звичайно, має нелінійний характер і подається у вигляді степеневого полінома. Оцінюючи параметри моделі методом найменших квадратів, не завжди можливо забезпечити сталість дисперсії залишків для кожного спостереження або групи спостережень. Це призводить до того, що параметри регресійної моделі не матимуть мінімальну дисперсію, що погіршує точність прогнозу.

У статті удосконалено метод та розроблена модель прогнозування процесу виникнення надзвичайних ситуацій із урахуванням помилок регресійної моделі і уточнення оцінок її параметрів на основі зваженого методу найменших квадратів.

К л ю ч о в і с л о в а: надзвичайна ситуація, модель, зважений метод найменших квадратів, точність прогнозу.

Постановка проблеми. Загальне зростання густоти населення, підвищення антропогенного тиску на навколишнє середовище, величезне регіональне навантаження території України потужними промисловими та енергетичними об’єктами, ускладнення самої техногенної сфери і підвищення її потенційної небезпеки, вплив глобальних кліматичних змін призводять до зростання ризиків виникнення надзвичайних ситуацій (НС) техногенного характеру на території України [1]. Під НС техногенного характеру розуміється порушення умов життя та діяльності людей на окремій території чи об’єкті на ній або на водному об’єкті внаслідок транспортної аварії (катастрофи), пожежі, вибуху, аварії з викиданням (загрозою викидання) небезпечних хімічних, радіоактивних та біологічних речовин, раптового руйнування споруд, аварії в електричних системах, системах життезабезпечення, системах телекомунікацій, на очисних спорудах, у системах нафтогазового промислового комплексу, гідродинамічних аварій тощо.

Кожному регіону України властиві свої рівні техногенної загрози (ризики), які потрібно враховувати для адекватного реагування на НС техногенного характеру. Графік середньостатистичної щорічної кількості НС техногенного характеру у регіонах України показано на рис. 1.

Аналіз графіка показує, що найбільш техногенно небезпечними є: Донецька, Луганська, Дніпропетровська, Запорізька, Харківська області.

Забезпечення безпеки у НС потребує надійного функціонування системи реагування на НС, адекватної рівням і характеру загроз [2]. Реагування на НС та ліквідація їх наслідків полягають в організації робіт з ліквідації наслідків НС; припиненні дії або впливу небезпечних факторів, викликаних нею; рятуванні населення і майна; локалізації зони НС, а також ліквідації або мінімізації її наслідків, які становлять загрозу життю або здоров’ю населення, мінімізації заподіяння шкоди території, навколишньому природному середовищу або майну [3, 4].

Відповідно до Указу Президента [5] головна відповідальність в системі реагування на НС покладена на сили цивільного захисту Державної служби з надзвичайних ситуацій. Інші силові відомства беруть безпосередню участь або відіграють допоміжну роль сприяння у виконанні. Наприклад, Національна гвардія України у рамках покладених на неї функцій [6] здійснює безпосередню участь у підтриманні або відновленні правопорядку в районах виникнення особливо тяжких НС техногенного характеру, що створюють загрозу життю та здоров’ю населення.

© Г. В. Іванець, С. А. Горєлишев, О. О. Бондаренко, 2019

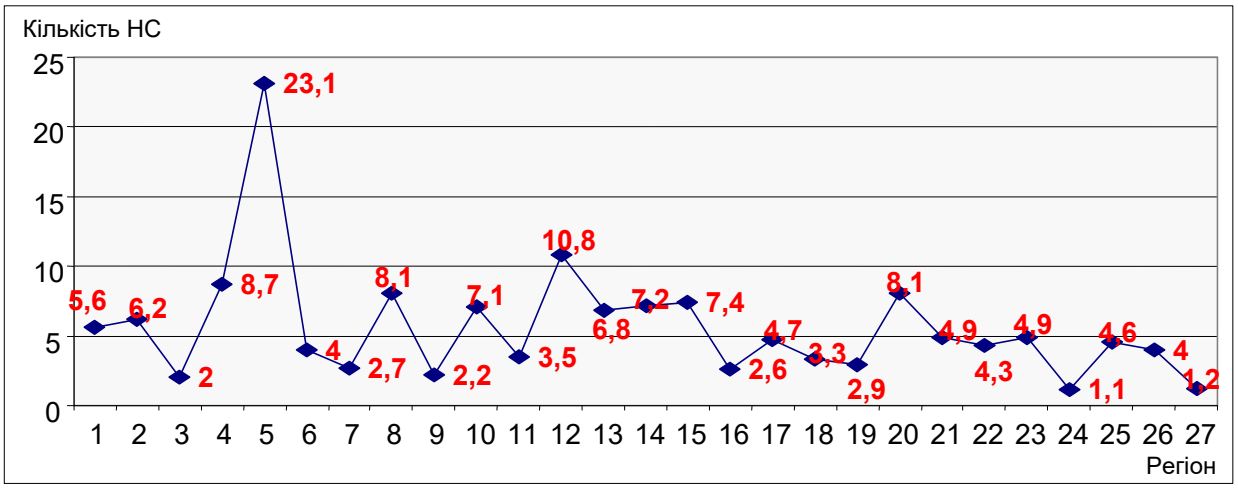

Рис. 1. Середньостатистична щорічна кількість надзвичайних ситуацій техногенного характеру у регіонах України (1 – АРК, 2 – Вінницька, 3 – Волинська, 4 – Дніпропетровська, 5 – Донецька, 6 – Житомирська, 7 – Закарпатська, 8 – Запорізька, 9 – Івано-Франківська, 10 – Київська, 11 – Кіровоградська, 12 – Луганська, 13 – Львівська, 14 – Миколаївська, 15 – Одеська, 16 – Полтавська, 17 – Рівненська, 18 – Сумська, 19 – Тернопільська, 20 – Харківська, 21 – Херсонська, 22 – Хмельницька, 23 – Черкаська, 24 – Чернівецька, 25 – Чернігівська області)

Важливим аспектом запобігання і попередження виникнення НС є своєчасне прогнозування можливості їх виникнення та наслідків [3, 7]. Від точності прогнозування залежить ефективність планування та проведення заходів запобігання виникненню НС або зменшення їх можливих слідків.

Таким чином, актуальність проведення досліджень, спрямованих на підвищення точності прогнозування процесів виникнення НС, зумовлена необхідністю завчасного ефективного реагування на загрози їх виникнення та мінімізації можливих наслідків, а проблема полягає у недостатній точності прогнозної інформації для планування і реалізації заходів попередження та реагування на надзвичайні ситуації.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Сучасний рівень природно-техногенної безпеки України значною мірою зумовлений надмірними техногенними навантаженнями на природне середовище. Поєднання факторів техногенної та природної небезпеки значно збільшує ризики виникнення НС та посилює їх негативні наслідки. Техногенна перенасиченість території України потенційно небезпечними об’єктами (ПНО), близькість її території до ПНО сусідніх держав збільшують уразливість техногенної сфери та суб’єктів господарювання як до дії техногенних факторів, так і внаслідок техногенних аварій, зумовлених природними чинниками.

Все це вимагає розроблення методів та моделей прогнозування процесів виникнення НС з необхідною точністю. Від точності прогнозування в загальному випадку залежать ефективність планування та проведення заходів з попередження виникнення НС і мінімізації їх наслідків. Прогноз можливої загальної кількості НС техногенного характеру згідно з основною гіпотезою про природу передбачення майбутнього має бути на основі вивчення, аналізу і узагальнення попереднього досвіду – історії передбачуваного явища.

Аналіз останніх наукових джерел свідчить, що в більшості випадків для вирішення цієї задачі використовують методи регресійного аналізу, які використовують статистичні дані за деякий період моніторингу [8–16]. У працях [16–18] для оцінювання параметрів лінійних регресійних моделей застосовують метод найменших квадратів (МНК). Одною з умов застосування МНК для одержання незміщених самостійних ефективних оцінок параметрів регресійної моделі є постійність дисперсії залишків для кожного спостереження або груп спостережень (гомоскедастичність залишків). Оскільки регресійні моделі процесів виникнення НС техногенного характеру, звичайно, мають нелінійний характер, то ця умова не виконується. Отже, одержані за допомогою МНК оцінки параметрів регресії не будуть мати мінімальну дисперсію, що погіршує точність прогнозу. Тому виникає необхідність пошуку шляхів та методів вирішення цієї проблеми. Одним із способів вирішення є застосування зваженого МНК для оцінювання параметрів регресійної моделі.

Метою статті є розроблення моделі прогнозування НС техногенного характеру для підвищення точності прогнозу на основі регресійних моделей. Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити такі задачі:

– удосконалити регресійну модель для визначення прогнозного значення кількості НС техногенного характеру із урахуванням оцінок параметрів на основі зваженого МНК;

– розробити модель прогнозування НС техногенного характеру на основі зваженого МНК;

– дослідити ефективність застосування зваженого МНК для підвищення точності прогнозування процесу виникнення НС техногенного характеру у разі застосування регресійних моделей.

Виклад основного матеріалу. Для прогнозування загальної кількості НС техногенного характеру за статистичними даними моніторингу застосовують метод регресійного аналізу. Регресійну модель подають у вигляді степеневого полінома

$$y_t = r_0 + r_1 t + r_2 t^2 + r_3 t^3 + \ldots + r_k t^k + \Delta_t, \quad (1)$$

де $r_0, r_1, r_2, \ldots, r_k$ – коефіцієнти полінома; Δ_t – помилка моделі; y_t – значення кількості НС.

Степінь полінома k вибирається так, щоб кількість заданих точок була приблизно в п’ять разів вище степеня полінома, що забезпечує мінімальне значення дисперсії прогнозованих параметрів відносно фактичних [3].

Вектор коефіцієнтів полінома можна знайти на основі МНК таким чином:

$$\overline{R} = \left(T^T \cdot T\right)^{-1} \cdot T^T \cdot \overline{Y}, \quad (2)$$

де $\overline{R} = \left(r_0, r_1, r_2, \ldots, r_k\right)^T$ – вектор коефіцієнтів полінома, розмірність якого $(k \times 1)$;

$\overline{Y} = \left(y_1, y_2, \ldots, y_n\right)^T$ – вектор значень кількості НС техногенного характеру, розмірність якого $(n \times 1)$;

$$T = \begin{bmatrix} 1 & 1 & \ldots & 1 \\ 1 & 2 & \ldots & 2^k \\ \ldots & \ldots & \ldots & \ldots \\ 1 & n & \ldots & n^k \end{bmatrix}$$ – матриця розмірності $(n \times k)$.

Прогнозне значення кількості НС техногенного характеру на момент прогнозу t_i визначається за формулою

$$y_{\text{пр}_{t_i}} = r_0 + r_1 t_i + r_2 t_i^{\,2} + r_3 t_i^{\,3} + \ldots + r_k t_i^{\,k}. \quad (3)$$

Точність прогнозування характеризується ступенем відповідності кількості НС техногенного характеру, одержаної в результаті прогнозу, і фактичної кількості НС техногенного характеру. Точність прогнозу будемо визначати показником, який дорівнює модулю різниці між фактичним значенням кількості НС і значенням кількості НС, одержаним в результаті прогнозу:

$$\varepsilon = \left|\Delta_i\right| = \left|y_{t_i} - y_{\text{пр}_{t_i i}}\right|, \quad (4)$$

де ε – показник точності прогнозу; Δ_i – різниця між фактичним і прогнозним значеннями кількості НС.

Для зменшення помилки прогнозу уточнимо оцінки параметрів формули (3) з урахуванням прогнозу помилок на основі зваженого МНК. Для цього на першому етапі за статистичними даними знайдемо матрицю абсолютних помилок *E*, розмірність якої $(n \times 1)$:

$$E = \begin{pmatrix} |y_1 - y_{\text{пр1}}| \\ |y_2 - y_{\text{пр2}}| \\ \dots \\ |y_n - y_{\text{пр}n}| \end{pmatrix}. \quad (5)$$

Значення модуля помилок має вигляд

$$|\Delta_i| = a_0 + a_1 t + a_2 t^2 + \dots + a_k t^k . \quad (6)$$

Для отримання оцінок a_i застосовують МНК на випадок багатофакторної регресії.

Уточнені оцінки параметрів вибіркової моделі (3) з урахуванням прогнозу модуля помилок визначаються на основі зваженого МНК таким чином:

$$\overline{R^*} = \left(T^{*T} \cdot T^* \right)^{-1} \cdot T^{*T} \cdot \overline{Y^*}, \quad (7)$$

де

$$T^* = \begin{pmatrix} \frac{1}{a_0 + a_1 \cdot 1 + \dots + a_k \cdot 1} & \frac{1}{a_0 + a_1 \cdot 1 + \dots + a_k \cdot 1} & \dots & \frac{1}{a_0 + a_1 \cdot 1 + \dots + a_k \cdot 1} \\ \frac{1}{a_0 + a_1 \cdot 2 + \dots + a_k \cdot 2^k} & \frac{2}{a_0 + a_1 \cdot 2 + \dots + a_k \cdot 2^k} & \dots & \frac{2^k}{a_0 + a_1 \cdot 2 + \dots + a_k \cdot 2^k} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ \frac{1}{a_0 + a_1 \cdot n + \dots + a_k \cdot n^k} & \frac{n}{a_0 + a_1 \cdot n + \dots + a_k \cdot n^k} & \dots & \frac{n^k}{a_0 + a_1 \cdot n + \dots + a_k \cdot n^k} \end{pmatrix};$$

$$Y^* = \begin{pmatrix} \frac{y_1}{a_0 + a_1 \cdot 1 + \dots + a_k \cdot 1} \\ \frac{y_2}{a_0 + a_1 \cdot 2 + \dots + a_k \cdot 2^k} \\ \dots \\ \frac{y_n}{a_0 + a_1 \cdot n + \dots + a_k \cdot n^k} \end{pmatrix}.$$

Прогнозне значення кількості НС на момент t_i в цьому випадку визначається таким чином:

$$y^*_{\text{пр}_{t_i}} = r_0^* + r_1^* t_i + r_2^* t_i^{\,2} + r_3^* t_i^{\,3} + \dots + r_k^* t_i^{\,k} . \quad (8)$$

Модель прогнозування НС техногенного характеру на основі зваженого МНК подана сукупністю формул (1), (4–7). Візуальна інтерпретація моделі, що розроблена, наведена на рис. 2. Модуль 1 є базою даних про НС техногенного характеру за деякий час моніторингу. Модуль 2 призначений для формування регресійної моделі прогнозування НС техногенного характеру в державі згідно з виразом (1) і оцінювання її параметрів на основі МНК (2). Модуль 3 призначений для оцінювання прогнозних значень кількості НС техногенного характеру відповідно до виразу (4). Модуль 4 призначений для формування регресійної моделі абсолютних помилок прогнозу відповідно до виразу (6) та оцінювання її параметрів на основі МНК. Модуль 5 призначений для уточнення параметрів регресійної моделі прогнозування НС техногенного характеру в державі на основі зваженого МНК згідно з виразом (7). Модуль 6 призначений для оцінювання прогнозних значень кількості НС техногенного характеру на основі зваженого МНК згідно з виразом (8). Прогнозні значення кількості НС техногенного характеру зберігаються в базі даних моделювання.

Рис. 2. Модель прогнозування техногенних НС на основі зваженого МНК

Покажемо на прикладі можливість підвищення точності прогнозування процесу виникнення НС техногенного характеру на основі статистичних даних із урахуванням помилки прогнозу. Для проведення експериментальних досліджень скористаємося даними моніторингу техногенних НС в Україні за 1997–2013 роки [19]. Динаміка зміни кількості НС техногенного характеру в Україні за 1997 – 2013 роки подана на рис. 3.

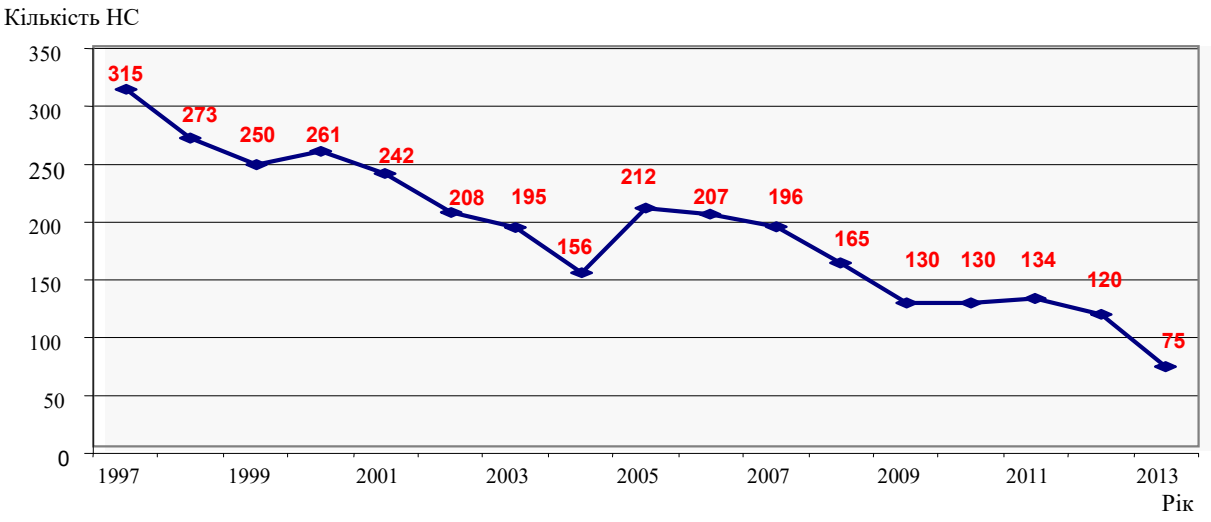

Рис. 3. Динаміка зміни кількості надзвичайних ситуацій техногенного характеру в Україні за 1997–2013 роки

Оскільки довжина вхідної реалізації кількості НС техногенного характеру $n=17$ $\left(t=1,2,3,\ldots,17\right)$, то залежність (1) запишемо у вигляді кубічного полінома

$$y_t = r_0 + r_1 t + r_2 t^2 + r_3 t^3 . \quad (9)$$

У результаті рішення на основі МНК отримано такий вектор оцінок коефіцієнтів полінома:

$$\overline{R} = \begin{pmatrix} 342{,}7991 & -35{,}9884 & 3{,}1384 & -0{,}1134 \end{pmatrix}^T .$$

З урахуванням цього регресійну модель для прогнозування кількості НС техногенного характеру (3) можна записати у вигляді

$$y_{\text{пр}_{t_i}} = 342{,}7991 - 35{,}9884 \cdot t_i + 3{,}1384 \cdot t_i^2 - 0{,}1134 \cdot t_i^3 . \quad (10)$$

Як оцінки точності прогнозу візьмемо середнє значення модулів помилок прогнозу за статистичними даними

$$\Delta_{\text{ср}} = \sum_{i=1}^{17} \left| y_{\text{пр}_{t_i}} - y_{t_i} \right| / 17 = 15 ,$$

де $\Delta_{\text{ср}}$ – середнє значення модулів помилок прогнозу.

Для регресійної моделі (6) прогнозне значення модуля помилок визначається таким чином:

$$\left|\Delta_i\right| = a_0 + a_1 t + a_2 t^2 + a_3 t^3 .$$

Оцінки параметрів a_i регресійної моделі (6) модуля помилок, отримані на основі статистичних даних із застосуванням МНК, подані у табл. 1.

Таблиця 1

a_0	a_1	a_2	a_3
0,0865	4,7789	– 0,2994	0,0023

Уточнені оцінки параметрів r_i^* регресійної моделі (3), отримані на основі статистичних даних із застосуванням зваженого МНК, подані у табл. 2.

Таблиця 2

r_0^*	r_1^*	r_2^*	r_3^*
350,1536	– 40,6062	3,7566	– 0,1358

Використовуючи ці дані, знайдемо прогнозні значення кількості НС для 17 статистичних даних, враховуючи помилку моделі.

Для цього спочатку визначмо оцінку середнього значення модулів помилок прогнозу за статистичними даними:

$$\Delta^*_{\text{ср}} = \sum_{i=1}^{17} \left| y^*_{\text{пр}_{t_i}} - y_{t_i} \right| / 17 = 14{,}4 .$$

Потім обчислимо відносне середнє значення помилки прогнозу у разі застосування МНК і зваженого МНК:

$$\left|\frac{\Delta_{ср} - \Delta_{ср}^{*}}{\Delta_{ср}}\right| \cdot 100\ \% = \left|\frac{15 - 14,4}{15}\right| \cdot 100\ \% = 4\ \% .$$

Отже, відносне середнє значення помилки прогнозу у разі застосування МНК і зваженого МНК для оцінювання параметрів регресії вдалося зменшити на 4 %.

Висновки

1. Удосконалено регресійну модель визначення прогнозного значення кількості НС техногенного характеру із урахуванням прогнозу помилок і уточнення оцінок її параметрів на основі зваженого МНК, що дозволяє підвищити точність прогнозу.

2. Запропонована модель прогнозування НС техногенного характеру на основі зваженого МНК, яка відрізняється тим, що враховує прогноз помилок отриманої регресійної моделі.

3. На основі статистичних даних моніторингу НС техногенного характеру в Україні проведено дослідження ефективності застосування зваженого МНК для підвищення точності прогнозу у разі застосування регресійних моделей. В результаті досліджень встановлено, що запропонована модель дозволяє підвищити точність прогнозу кількості НС техногенного характеру в державі за рахунок передбачення помилок моделі і уточнення оцінок її параметрів за зваженим МНК на 4 %, що дає можливість більш точно прогнозувати кількість НС техногенного характеру на довгостроковий термін. Як показник для порівняльного аналізу вибрано середнє значення модуля помилок прогнозу за статистичними даними моніторингу техногенних НС в Україні за час спостереження. На наш погляд, подальші дослідження мають бути спрямовані на підвищення точності прогнозування НС техногенного характеру за їх видами та рівнями на основі прогнозу можливої загальної кількісті НС.

Список використаних джерел

1. Звіт про основні результати діяльності Державної служби України з надзвичайних ситуацій у 2017 році [Електронний ресурс]. – Режим доступу : http:www.dsns.gov.ua/files/2018/1/26/Zvit%202017(КМУ).pdf. – Назва з екрана.

2. System approach for readiness assessment units of civil defense to actions at emergency situations V. V. Tiutiunyk, H. V. Ivanetz, I. A. Tolkunov, E. I. Stetsyuk // Scientific Bulletin of National Mining University. 2018. Vol. 1. P. 99–105. doi:https://doi.org/10.29202/nvngu/2018-1/7.

3. Development of combined method for predicting the process of the occurrence of emergencies of natural character [Текст] / H. Ivanets, S. Horielyshev, M. Ivanets et. al. // Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. – 2018. Vol. 5, Issue 10 (95). – P. 48–55.

4. Голован, Ю. В. Защита населения в чрезвычайных ситуациях. Организационно-методический комплекс [Текст] / Ю. В. Голован, Т. В. Козырь. – Владивосток : Проспект, 2015. – 219 с.

5. Про рішення Ради національної безпеки і оборони України від 4 березня 2016 р. "Про Концепцію розвитку сектора безпеки і оборони" [Текст] : Указ Президента України від 14.03.2016 р. № 92/2016 // Урядовий кур'єр. – 2016. – 18 берез.

6. Про Національну гвардію України [Текст] : Закон України від 13.03.2014 р. № 876-VII // Відомості Верховної Ради України. – 2014. – № 17. – Ст. 594.

7. Іванець, Г. В. Аналіз стану техногенної, природної та соціальної небезпеки адміністративно-територіальних одиниць України на основі даних моніторингу [Текст] / Г. В. Іванець // Збірник наукових праць Харківського університету Повітряних Сил. – Харків : ХУПС ім. Івана Кожедуба, 2016. – Вип. 3 (48). – С. 142–145.

8. Neisser F., Runkel S. The future is now! Extrapolated riskscapes, anticipatory action and the management of potential emergencies // Geoforum, 2017. Vol. 82. P. 170–179. doi: https://doi.org/10.1016/j.geoforum.2017.04.008.

9. Kryanev A., Ivanov V., Romanova A., Sevastianov L., Udumyan D. Extrapolation of Functions of Many Variables by Means of Metric Analysis // EPJ Web of Conferences. 2018. Vol. 173:03014. doi: https://doi.org/10.1051/epjconf/201817303014.

10. Migalenko K., Nuianzin V., Zemlianskyi A., Dominik A., Pozdieiev S. Development of the technique for restricting the propagation of fire in natural peat ecosystems. // Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. 2018. Vol. 1, Issue 10(90). P.31–37. doi:https://doi.org//10.15587/1729–4061.2018.121727.

11. Junk C., Delle Monache L., Alessandrini S., Cervone G., von Bremen L. Predictor-weighting strategies for probabilistic wind power forecasting with an analog ensemble // Meteorologische Zeitschrift. 2015. Vol. 24, Issue 4. P. 361–379. doi: https://doi.org/10.1127/metz/2015/0659.

12. Morariu N., Iancu E., Vlad S. A neural network model for time series forecasting // Romanian Journal of Economic Forecasting. 2009. Issue 4. P. 213–223.

13. Pradhan R.P., Kumar R. Forecasting Exchange Rate in India: An Application of Artificial Neural Network Model // Journal of Mathematics Research. 2010. Vol. 2. Issue 4. P. 111–117. doi:https://doi.org/10.5539/jmr.v2n4p111.

14. Al-Jumeily D., Ghazali R., Hussain A. Predicting Physical Time Series Using Dynamic Ridge Polynomial Neural Networks // PLoS ONE. 2014. Vol 9. Issue 8. P. e105766. doi:https://doi.org/10.1371/journal.pone.0105766.

15. Szoplik J. Forecasting of natural gas consumption with artificial neural networks // Energy. 2015. Vol. 85. P. 208–220. doi:https:// doi.org/10.1016/j.energy.2015.03.084.

16. Баласянян, С. Ш. Сравнительный анализ методов регрессии и метода группового учета аргументов при моделировании процессов переработки полезных ископаемых [Текст] / С. Ш. Баласянян, Э. М. Геворгян // Известия Томского политехнического университета. Инжиринг георесурсов. – Томск : ТПУ, 2016. – Т. 327. – № 4. – С. 23–34.

17. Nivolianitou Z., Synodinou B. A Towards emergency management of natural disasters and critical accidents: The Greek experience. // Journal of Environmental Management. 2011. Vol. 92. Issue 10. P. 2657–2665. doi:https//doi.org/10.1016/j.jenvman.2011.06.003.

18. Новоселов, С. В. Проблемы прогнозирования количества чрезвычайных ситуаций статистическими методами [Текст] / С. В. Новоселов, С. А. Панихидников // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2017. – № 10. – С. 60–71.

19. Національна доповідь про стан техногенної та природної безпеки в Україні у 2013 році [Текст]. – Київ: УНДІ ЦЗ ДСНС України, 2014. – 542 с.

Стаття надійшла до редакції 19.04.2019 р.

УДК 614.8

Г. В. Іванец, С. А. Горелышев, А. А. Бондаренко

МОДЕЛЬ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ЧРЕЗВЫЧАЙНЫХ СИТУАЦИЙ ТЕХНОГЕННОГО ХАРАКТЕРА НА ОСНОВЕ ВЗВЕШЕННОГО МЕТОДА НАИМЕНЬШИХ КВАДРАТОВ

Для прогнозирования возникновения чрезвычайных ситуаций техногенного характера в государстве широко применяют методы регрессионного анализа. Регрессионная модель такого процесса, как правило, имеет нелинейный характер и представляется в виде степенного полинома. При оценке параметров модели методом наименьших квадратов не всегда обеспечивается постоянство дисперсии остатков для каждого наблюдения или группы наблюдений. Это приводит к тому, что параметры регрессионной модели не будут иметь минимальную дисперсию, что ухудшает точность прогноза.

В статье усовершенствован метод и разработана модель прогнозирования процесса возникновения чрезвычайных ситуаций с учетом ошибок регрессионной модели и уточнения оценок ее параметров на основе взвешенного метода наименьших квадратов.

К л ю ч е в ы е с л о в а: чрезвычайная ситуация, модель, взвешенный метод наименьших квадратов, точность прогноза.

UDC 614.8

H. V. Ivanets, S. A. Horielyshev, O. O. Bondarenko

MODEL OF PREDICTING THE PROCESS OF THE OCCURRENCE OF EMERGENCIES BASED ON THE WEIGHED METHOD OF LEAST SQUARES

To predict the occurrence of emergencies of man-made character in the state widely used methods of regression analysis. The regression model of such a process is usually non-linear. It is substantiated that the regression model of the occurrence of emergencies of man-made character should be presented in the form of a power polynomial. At the same time, the degree of polynomial should be about five times less than the number of statistical data.

When estimating the parameters of a model using the least squares method, the dispersion of residuals for each observation or group of observations is not always ensured. This leads to the fact that the parameters of the regression model will not have a minimum dispersion, which degrades the forcast accuracy.

The article improves the method of determining the predictive value of the number of man-made emergency situations taking into account the forecast of errors in the regression model and refining the estimates of its parameters on the basis of the weighted method of least squares, which allows to improve the accuracy of the forecast.

The model of predicting of emergencies of man-made character on the basis of the weighted method of least squares is proposed, which differs in that it takes into account the error forecast of the sample regression model

On the basis of the statistical data of the monitoring of emergencies of man-made character in Ukraine, experimental studies have been carried out on the effectiveness of applying the weighted method of least squares to improve the accuracy of the forecast using regression models. As a result of the research it has been established that the method allows increasing the accuracy of the forecast of emergencies of man-made character in the state due to the prediction of model errors and the refinement of its parameters by a weighted method of least squares by 4%

As a benchmark for the comparative analysis, the average value of the forecast error module has been selected for the statistical data of the monitoring of emergencies of man-made character in Ukraine during the observation period.

K e y w o r d s: emergency, model, weighted method of least squares, forecast accuracy.

Іванець Григорій Володимирович – кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри піротехнічної та спеціальної підготовки Національного університету цивільного захисту України.

http:// orcid.org/ 0000-0002-4906-5265

Горєлишев Станіслав Анатолійович – кандидат технічних наук, доцент, старший науковий співробітник науково-дослідного центру службово-бойової діяльності НГУ Національної академії Національної гвардії України.

https://orcid.org/0000-0003-1689-0901

Бондаренко Олександр Олексійович – викладач кафедри піротехнічної та спеціальної підготовки Національного університету цивільного захисту України.

http:// orcid.org/ 0000-0002-7544-3442