

УДК 614.8

Станіслав ГОРЄЛИШЕВ,
кандидат технічних наук, доцент
Національна академія Національної гвардії України, м. Харків

Грігорій ІВАНЕЦЬ,
кандидат технічних наук, доцент,
Національний університет цивільного захисту України, м. Харків

Михайло ІВАНЕЦЬ,
кандидат технічних наук,
Науковий центр Повітряних Сил Харківського національного
університету Повітряних Сил імені Івана Кожедуба

КОМПЛЕКСНА МОДЕЛЬ ПЕРЕДБАЧЕННЯ ПРОЦЕСУ ВИНИКНЕННЯ НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЙ В ЦІЛОМУ ПО ДЕРЖАВІ ТА ЇЇ РЕГІОНАХ

Фактографічні методи прогнозу базуються на фактичній інформації про об'єкт прогнозування і його минулий розвиток. До них належать методи прогнозної екстраполяції та моделювання. У статті запропонована комплексна модель передбачення процесу виникнення надзвичайних ситуацій у цілому, за видами та рівнями на основі фактографічних методів прогнозу.

Ключові слова: надзвичайна ситуація, види надзвичайних ситуацій, рівні надзвичайних ситуацій, імовірності надзвичайних ситуацій, фактографічна інформація, комплексна модель.

© Горелищев С., Іванець Г., Іванець М.

Постановка проблеми. Практика останніх років наочно показує сильний негативний вплив на економіку країн різноманітних надзвичайних ситуацій (НС), що вимагає адекватного реагування сил цивільного захисту щодо попередження або ліквідації їх наслідків з найменшими втратами. Аналіз фактографічної інформації про НС в Україні [1] показав, що протягом останніх років спостерігається стійка тенденція до зменшення загальної кількості НС та їх складових відповідно за видами, рівнями і регіональним розподілом, але рівень наслідків від них залишається практично незмінним та досить високим для більшості регіонів України. Так, наприклад, тільки за останні 5 років в державі сталося 795 НС, унаслідок яких загинуло 1 266 людей, постраждало 5 213 людей, завдано матеріальних збитків державі майже на 1 599 млн грн. Важливим аспектом щодо попередження процесів виникнення НС є завчасне прогнозування можливості виникнення економічних наслідків, подібних НС [2]. Праці щодо прогнозування НС і небезпечних явищ завжди були актуальними, але не завжди вирішувалися на достатньо високому рівні. Сучасний рівень їх вирішення також недостатньо високий. Тому розробка комплексної моделі передбачення процесу виникнення НС різного характеру може значно поліпшити дану ситуацію

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Прогнозування, оцінка і попередження НС можливі лише на основі аналізу фактографічної інформації про НС в державі за деякий період спостереження. При прогнозуванні НС [3-17] розглядають: фактографічну інформацію про природні і техногенні джерела НС; можливі варіанти виникнення і розвитку НС (сценарії НС); моделі розвитку НС, які відображають розвиток досліджуваних процесів із використанням фактографічних даних; результати екстраполяції виявлених тенденцій; експертні оцінки. Аналіз літературних джерел із зазначеної проблематики довів, що в більшості з них для вирішення цієї задачі застосовуються методи регресійного аналізу, меншою мірою досліджено статистично-імовірнісні методи, які використовують фактографічну інформацію за деякий період спостереження [3; 4; 8; 9]. Регресійний аналіз, модель

регресії є одним із самих популярних методів аналізу фактографічних даних. Використовується множина варіацій регресії: лінійна регресія, нелінійна регресія, логістична регресія, ступенева регресія, порядкова регресія, авторегресія.

Методи передбачення процесу виникнення НС найбільш розвинуті стосовно небезпечних природних подій, оскільки в Україні та інших державах світу функціонують загальнодержавні системи моніторингу стихійних лих і катастроф [2; 9; 17; 18]. При прогнозуванні ймовірності виникнення техногенних НС на основі моделювання складають типові сценарії виникнення цих ситуацій стосовно реалізованих технологічних процесів [3; 4; 8; 9].

Можливості комплексного вирішення задачі всебічного прогнозування не тільки можливості виникнення НС в цілому, але й прогнозування кількості НС за видами та рівнями на основі фактографічної інформації про НС за деякий період спостереження досліджені недостатньо.

Метою статті є розроблення комплексної моделі передбачення процесу виникнення НС в цілому, за видами та рівнями в державі на основі фактографічних методів прогнозу.

Виклад основного матеріалу дослідження. Регресійну модель зміни загальної кількості НС представимо у вигляді степеневого поліному:

$$n_{НС}(t) = r_0 + r_1 t + r_2 t^2 + r_3 t^3 + \dots + r_n t^k. \quad (1)$$

Ступінь поліному k вибирається таким чином, щоб кількість заданих точок була в п'ять разів вище ступеня полінома. Коефіцієнти полінома r_i , $i = \overline{0, k}$ на основі фактографічної інформації про НС за кожний рік спостереження можна знайти методом найменших квадратів (МНК) [19]. Після оцінки вектору коефіцієнтів регресійної моделі (1) $\overline{R} = (r_0, r_1, r_2, \dots, r_k)^T$ прогнозне значення кількості НС в державі на момент t_{np} дорівнює:

$$n_{НС}(t_{np}) = r_0 + r_1 t_{np} + r_2 t_{np}^2 + r_3 t_{np}^3 + \dots + r_k t_{np}^k, \quad (2)$$

де t_{np} – час, на який здійснюється прогноз; $n_{НС}(t_{np})$ – прогнозне значення кількості НС в державі на момент прогнозу t_{np} .

У подальшому для зручності позначимо $n_{HC}(t_{np})$ через n_{HC}^{np} .

Ймовірності виникнення НС в регіонах у разі виникнення НС в державі обчислюються за формулою:

$$P_{HC}^i = \frac{n_{HC}^i}{n_{HC}}, \quad (3)$$

де P_{HC}^i – ймовірність виникнення НС в i -му регіоні в разі виникнення НС в державі; n_{HC} – загальна кількість НС в державі за період спостереження; n_{HC}^i – загальна кількість НС в i -му регіоні держави за період спостереження. Прогнозна кількість НС в i -му регіоні держави обчислюється на основі прогнозованої кількості НС в цілому по державі n_{HC}^{np} та ймовірності виникнення НС в i -му регіоні держави P_{HC}^i таким чином:

$$n_{npHC}^i = n_{HC}^{np} \cdot P_{HC}^i, \quad (4)$$

де n_{npHC}^i – прогнозна кількість НС в i -му регіоні держави на момент прогнозу t_{np} .

Ймовірності виникнення НС за характером походження в державі обчислюються відповідно до формул:

$$P_{TX} = \frac{m_1}{n_{HC}}; P_{ПХ} = \frac{m_2}{n_{HC}}; P_{СХ} = \frac{m_3}{n_{HC}}, \quad (5)$$

де m_1, m_2, m_3 – загальна кількість НС в державі відповідно техногенного, природного та соціального характеру за період спостереження; $P_{TX}, P_{ПХ}, P_{СХ}$ – ймовірності НС відповідно техногенного, природного та соціального характеру при виникненні НС в державі.

Прогнозна кількість НС в державі за характером походження обчислюється на основі прогнозованої загальної кількості НС в державі n_{HC}^{np} та ймовірностей виникнення НС $P_{TX}, P_{ПХ}, P_{СХ}$ відповідного характеру таким чином:

$$n_{npTX} = n_{HC}^{np} \cdot P_{TX}; n_{npПХ} = n_{HC}^{np} \cdot P_{ПХ}; n_{npСХ} = n_{HC}^{np} \cdot P_{СХ}, \quad (6)$$

де n_{npTX} – прогнозна кількість НС техногенного характеру в державі на період прогнозу; $n_{npПХ}$ – прогнозна кількість НС природного характеру в державі на

період прогнозу; n_{npCX} – прогнозна кількість НС соціального характеру в державі на період прогнозу.

Ймовірності виникнення НС техногенного, природного та соціального характеру в регіонах у разі виникнення НС відповідного характеру в державі обчислюються за формулами:

$$P_{TX}^i = \frac{n_{TX}^i}{n_{Держ}^{TX}}; P_{ПХ}^i = \frac{n_{ПХ}^i}{n_{Держ}^{ПХ}}; P_{СХ}^i = \frac{n_{СХ}^i}{n_{Держ}^{СХ}}, \quad (7)$$

де $n_{TX}^{Держ} = m_1$, $n_{ПХ}^{Держ} = m_2$, $n_{СХ}^{Держ} = m_3$ – загальна кількість НС відповідно техногенного, природного та соціального характеру в державі за період спостереження; n_{TX}^i , $n_{ПХ}^i$, $n_{СХ}^i$ – загальна кількість НС відповідно техногенного, природного та соціального характеру в i -му регіоні держави за період спостереження; P_{TX}^i , $P_{ПХ}^i$, $P_{СХ}^i$ – ймовірність виникнення НС відповідно техногенного, природного та соціального характеру в i -му регіоні в разі виникнення НС даного характеру в державі.

Прогнозна кількість НС відповідного характеру в регіонах держави обчислюється за формулами:

$$n_{npTX}^i = P_{TX}^i \cdot n_{npTX}; n_{npПХ}^i = P_{ПХ}^i \cdot n_{npПХ}; n_{npСХ}^i = P_{СХ}^i \cdot n_{npСХ}, \quad (8)$$

де n_{npTX}^i , $n_{npПХ}^i$, $n_{npСХ}^i$ – прогнозна кількість НС відповідно техногенного, природного та соціального характеру в i -му регіоні держави на період прогнозу.

За рівнями, залежно від обсягів заподіяних наслідків, технічних і матеріальних ресурсів, необхідних для їх ліквідації, НС [17; 20] класифікується як: НС державного, регіонального, місцевого та об'єктового рівнів. Ймовірності виникнення НС державного, регіонального, місцевого та об'єктового рівнів у державі обчислюються таким чином:

$$P_{DP} = \frac{k_1}{n_{НС}}; P_{PP} = \frac{k_2}{n_{НС}}; P_{MP} = \frac{k_3}{n_{НС}}; P_{OP} = \frac{k_4}{n_{НС}}; \quad (9)$$

де k_1 , k_2 , k_3 , k_4 – загальна кількість НС відповідно державного, регіонального, місцевого та об'єктового рівнів у державі за період спостереження; P_{DP} , P_{PP} , P_{MP} , P_{OP} – ймовірності НС відповідно державного, регіонального, місцевого та об'єктового рівнів у державі.

Після оцінки ймовірностей P_{DP} , P_{PP} , P_{MP} , P_{OP} прогнозна кількість НС відповідного рівня в державі обчислюється таким чином:

$$n_{npDP} = n_{HC}^{np} \cdot P_{DP}; n_{npPP} = n_{HC}^{np} \cdot P_{PP}; n_{npMP} = n_{HC}^{np} \cdot P_{MP}; n_{npOP} = n_{HC}^{np} \cdot P_{OP}, \quad (10)$$

де n_{npDP} , n_{npPP} , n_{npMP} , n_{npOP} – прогнозна кількість НС відповідно державного, регіонального, місцевого та об'єктового рівнів у державі на період прогнозу.

Ймовірності виникнення НС різних рівнів у регіонах у разі виникнення НС відповідного рівня в державі обчислюються за формулами:

$$P_D^i = \frac{n_{DP}^i}{n_{Держ}^i}; P_{PP}^i = \frac{n_{PP}^i}{n_{PP}^{Держ}^i}; P_{MP}^i = \frac{n_{MP}^i}{n_{MP}^{Держ}^i}; P_{OP}^i = \frac{n_{OP}^i}{n_{OP}^{Держ}^i}, \quad (11)$$

де $n_{DP}^{Держ} = k_1$; $n_{PP}^{Держ} = k_2$; $n_{MP}^{Держ} = k_3$; $n_{OP}^{Держ} = k_4$ – загальна кількість НС відповідно державного, регіонального, місцевого та об'єктового рівнів у державі за період спостереження; n_{DP}^i , n_{PP}^i , n_{MP}^i , n_{OP}^i – загальна кількість НС відповідно державного, регіонального, місцевого та об'єктового рівнів в i -му регіоні держави за період спостереження; P_{DP}^i , P_{PP}^i , P_{MP}^i , P_{OP}^i – ймовірності виникнення НС відповідно державного, регіонального, місцевого та об'єктового рівнів в i -му регіоні в разі виникнення НС відповідного рівня в державі.

Після оцінки ймовірностей P_{DP}^i , P_{PP}^i , P_{MP}^i , P_{OP}^i прогнозна кількість НС різних рівнів у регіонах у разі виникнення НС відповідного рівня в державі обчислюється таким чином:

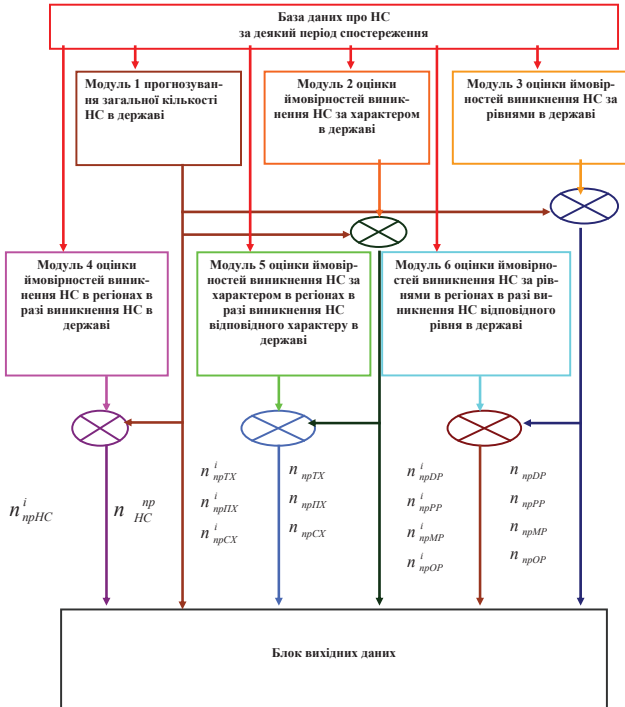
$$n_{npDP}^i = P_{DP}^i \cdot n_{npDP}; n_{npPP}^i = P_{PP}^i \cdot n_{npPP}; n_{npMP}^i = P_{MP}^i \cdot n_{npMP}; n_{npOP}^i = P_{OP}^i \cdot n_{npOP}, \quad (12)$$

де n_{npDP}^i , n_{npPP}^i , n_{npMP}^i , n_{npOP}^i – прогнозна кількість НС відповідно державного, регіонального, місцевого та об'єктового рівнів у регіонах держави на період прогнозу.

Таким чином, модифіковано метод прогнозування НС в цілому по державі та її регіонах, який відрізняється тим, що дозволяє здійснювати прогноз кількості НС в цілому, за характером походження та рівнями як по державі, так і її регіонах.

Комплексна модель передбачення процесу виникнення НС в цілому, за характером і рівнями як по державі в цілому, так і її регіонах наведена на рисунку. Вона включає об'єднані в єдине ціле та ув'язані між

собою вхідними і вихідними даними й іншими параметрами модулі. Вхідними даними для здійснення прогнозу є фактографічна інформація про НС за деякий період спостереження (база даних про НС).



Комплексна модель передбачення процесу виникнення надзвичайних ситуацій у цілому по державі та її регіонах

Модуль 1 призначений для здійснення прогнозу загальної кількості НС n_{HC}^{np} по державі в цілому. Модуль 2 призначений для оцінки ймовірностей виникнення НС відповідно техногенного (P_{TX}), природного (P_{PX}) та соціального (P_{CX}) характеру на території держави. Модуль 3 призначений для оцінки ймовірностей виникнення НС відповідно державного (P_{DP}), регіонального (P_{PP}), місцевого (P_{MP}) та

об'єктового (P_{OP}) рівнів у державі. Модуль 4 призначений для оцінки ймовірностей виникнення НС у регіонах P_{HC}^i в разі виникнення НС в державі. Модуль 5 призначений для оцінки ймовірностей виникнення НС техногенного P_{TX}^i , природного $P_{ПХ}^i$ та соціального P_{CX}^i характеру в регіонах у разі виникнення НС відповідного характеру в державі. Модуль 6 призначений для оцінки ймовірностей виникнення НС державного P_{DP}^i , регіонального P_{PP}^i , місцевого P_{MP}^i та об'єктового P_{OP}^i рівнів у регіонах у разі виникнення НС відповідного рівня в державі.

Вихідними даними (блок вихідних даних) є прогноз загальної кількості НС в державі n_{HC}^{np} , можливої кількості НС відповідно техногенного n_{npTX} , природного $n_{npПХ}$ та соціального n_{npCX} характеру, можливої кількості НС відповідно державного n_{npDP} , регіонального n_{npPP} , місцевого n_{npMP} та об'єктового n_{npOP} рівнів, загальної кількості НС по регіонах держави n_{HC}^i , можливої кількості НС відповідно техногенного n_{npTX}^i , природного $n_{npПХ}^i$ та соціального n_{npCX}^i характеру по регіонах держави, можливої кількості НС відповідно державного n_{npDP}^i , регіонального n_{npPP}^i , місцевого n_{npMP}^i та об'єктового n_{npOP}^i рівнів по регіонах держави.

Застосування комплексної моделі дозволить здійснювати прогноз НС в цілому, за характером походження та рівнями як у масштабах держави, так і її регіонах як мінімум на рік уперед.

Висновки. На основі модифікованого методу прогнозу запропонована комплексна модель передбачення процесу виникнення НС в цілому по державі та її регіонах. Вона включає інформаційно об'єднані в єдине ціле та пов'язані між собою вхідними і вихідними даними й іншими параметрами модулі, кожний з яких вирішує конкретні завдання.

Запропонована комплексна модель дозволяє здійснювати прогноз загальної кількості НС, кількості НС за характером походження і рівнями як по державі в цілому, так і її регіонах як мінімум на рік уперед.

Вхідну емпіричну основу для проведення розрахунків може складати фактографічна інформація про НС за деякий період спостереження в державі.

Список використаної літератури

1. Іванець Г. В. Аналіз стану техногенної, природної та соціальної небезпеки адміністративно-територіальних одиниць України на основі даних моніторингу. *Збірник наукових праць Харківського університету Повітряних Сил*. – Харків : Харківський університет Повітряних Сил імені Івана Кожедуба, 2016. Вип. 3 (48). С. 142–145.
2. Андронов В. А., Іванець Г. В., Калугін В. Д., Тютюник В. В. Науково-технічні основи комплексної системи моніторингу зон екологічного забруднення, яка включає автоматизовані пристрої контролю та безпілотні літальні апарати. *Техногенно-екологічна безпека*. Науково-технічний журнал. Х: НУЦЗ України, 2017. Вип. 2. С. 18–26.
3. Родин М. В., Мухин В. И. Фундаментальные проблемы мониторинга и прогнозирования природных и техногенных катастроф. *Научные и образовательные проблемы гражданской защиты*. Химки : ФГБОУ ВПО “АГЗ МЧС России”, 2010. № 1. С. 9–4.
4. Баскин Ю. Г., Горбунов А. А., Савельев Ю. С. Предупреждение чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера. *Проблемы управления рисками в техносфере*. СПб. : СПб УПС МЧС России, 2014. № 3.
5. Morariu N. A neural network model for time series forecasting [Текст] / N. Morariu, E. Iancu, S. Vlad // *Romanian Journal of Economic Forecasting*. – 2009. – No. 4. – P. 213-223.
6. Pradhan R., Pradhan R., Kumar R. Forecasting Exchange Rate in India: An Application of Artificial Neural Network Model. *Journal of Mathematics Research*. 2010. Vol. 2. No.4. P. 111–117.
7. Hinman J. Modeling and forecasting sort term electricity load using regression analysis / J. Hinman, E. Hickey [электронный ресурс]// *Journal of Institute for Regulatory Policy Studies*. –2009. – 51 p. URL: <https://www.irps.ilstu.edu/research/documents/LoadForecastingHinman-HickeyFall2009.pdf>
8. Новоселов С. В., Панихидников С. А. Проблемы прогнозирования количества чрезвычайных ситуаций статистическими методами. *Горный информационно-аналитический бюллетень*. 2017. № 10. – С. 60–71.

9. Горбунов С. В., Макиев Ю. Д., Малышев В. П. Анализ технологий прогнозирования чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера. 2011. Том 1. №1(1).

10. Calvin T., Jennifer L. Design and implementation of automatic deformation monitoring system for the construction of railway tunnel: a case study in West Island line. 2011. 7 p.

11. Tsurikov A. N. Application of artificial neural network for identification of stability of bottom layer of atmosphere. Applied and Fundamental Studies: Proceedings of the 2nd International Academic Conference March 8-10, 2013. Publishing House "Science and Innovation Center". St. Louis, Missouri, USA, 2013. P. 226-231.

12. Gabdulhakova A., Konig-Ries B., Rizvanov D. Rational Resource Allocation in Mass Casualty Incidents. *Adaptivity and Efficiency. Proceedings of the 9th International ISCRAM Conference*. Vancouver Canada, April 2012.

13. Wang W., Liu M. Method of Emergency Resources Demand Forecasting Based on Case-Based Reasoning. *Journal of Safety and Environment*. 2010. №10. P. 217-220.

14. Deng S. C., Wu Q., Shi et al B.. Prediction of Resource for Responding Waterway Transportation Emergency Based on Case-Based Reasoning. *China Safety Science Journal*. 2014. №24. P.79-84.

15. Wang X., Zhuang Y. Forecasting Model of Unconventional Emergence Incident's Resource Demand Based on Case-Based Reasoning. *Journal of Xidian University (Social Science Edition)*. 2010. № 20. P. 22-26.

16. Liu W. M., Hu G. Y., Li J. F. Emergency Resources Demand Prediction Using Case-Based Reasoning. *Safety Science*. №50. P. 530-534. URL : <http://dx.doi.org/10.1016/j.ssci.2011.11.007>

17. Іванець Г. В., Тютюнник В. В., Горелишев С. А. Методика оцінювання рівня техногенно-природно-соціальної безпеки адміністративно-територіальних одиниць України. *Збірник наукових праць Національної академії Національної гвардії України*. – X . Національна академія Національної гвардії України, 2016. Вип. 1 (27). С. 30-37.

18. Іванець Г. В. Алгоритм прогнозування надзвичайних ситуацій природного характеру в цілому, за видами та рівнями, можливих завданих збитків внаслідок них. *Системи обробки інформації: збірник наукових праць*. – X. : Харківський університет Повітряних Сил імені Івана Кожедуба, 2016. – Вип. 8(145). – С. 175-179.

19. Мхитарян В. С., Астафьева Е. В., Миронкина Ю. Н., Трошин Л. И.; под ред. В. С. Мхитаряна. Теория вероятностей и математическая статистика : учеб. пособие. 2-е изд., перераб. и доп. М.: Московский финансово-промышленный университет “Синергия”, 2013. – 234 с

20. ДК 019:2010. Класифікатор надзвичайних ситуацій. – Київ : Держспоживстандарт України, 2010. 19 с.

*Рецензент - доктор технічних наук
старший науковий співробітник Тютюник В. В.*

Горельшиев С., Иванец Г., Иванец М. Комплексная модель предвидения процесса возникновения чрезвычайных ситуаций в целом по государству и его регионах

Фактографические методы прогноза базируются на фактической информации об объекте прогнозирования и его прошлое развитие. К ним относят методы прогнозной экстраполяции и моделирования. В статье предложена комплексная модель предвидения процесса возникновения чрезвычайных ситуаций в целом, по видам и уровням на основе фактографических методов прогноза.

Ключевые слова: *чрезвычайная ситуация, виды чрезвычайных ситуаций, уровни чрезвычайных ситуаций, вероятности чрезвычайных ситуаций, фактографическая информация, комплексная модель.*

Horielyshev S., Ivanec G., Ivanec M. Integrated model of forecast of the process of emergency situations in general on the state and regions

The analysis of factual information about the emergency situations (ES) in Ukraine has shown that in recent years there has been a steady trend towards a decrease in the total number of ES and their components, according to the types, levels and regional distribution, but the level of their consequences remains virtually unchanged and quite high for most regions of Ukraine. Forecasting, assessment and warning of the ES are possible only on the basis of analysis of factual information about the ES in the state during a certain period of observation.

The factorial methods of forecasting are based on actual information on the prediction object and its past development. These include proxy extrapolation and modeling methods.

The article proposes a comprehensive model of foreseeability of the emergence of emergency situations in general, by types and levels based on the factorial methods of forecasting. The comprehensive model of prediction of the emergence of the ES as a whole, by the nature and levels, both in the state as a whole and in its regions, includes integrated into one unit and interconnected input and output data and other parameters of modules, each of which solves concrete task.

The input data for the implementation of the forecast are factual information about the ES for a certain period of observation (the database on the ES). The initial data are the forecast of the total number of ES in the state, the possible number of ES, respectively, technogenic, natural and social, the possible number of ES, respectively, at the state, regional, local and object levels, the total number of ES according to the regions of the state, the possible number of ES, respectively, , natural and social nature in the regions of the state, the possible number of ES, respectively, at the state, regional, local and object levels in the regions of the state.

The application of a comprehensive model will allow to carry out the forecast of the ES as a whole, according to the nature of origin and levels both on the scale of the state and its regions, at least a year ahead.

In addition, the method of forecasting the ES in general for the state and its regions has been modified, which differs in that it allows to carry out a forecast of the total number of ES, by nature of origin and levels both in the state and its regions.

Keywords: *emergency situation, types of emergency situations, levels of emergencies, probability of emergency situations, factual information, integrated model.*