

Г. В. Іванець¹, М. Г. Іванець², В. В. Матухно¹, І. О. Толкунов¹, Є. І. Стецюк¹, І. І. Попов¹

¹ Національний університет цивільного захисту України, Харків, Україна

² Харківський національний університет Повітряних Сил імені Івана Кожедуба, Харків, Україна

ФОРМАЛІЗОВАНА МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ ПРОГНОЗУВАННЯ НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЙ ТА МОЖЛИВИХ ЗАВДАНИХ ЗБИТКІВ ВНАСЛІДОК НИХ

Анотація. **Актуальність.** Попередження надзвичайних ситуацій ґрунтується на аналізі, прогнозуванні загроз виникнення надзвичайних ситуацій та їх можливих наслідків як в державі, так і її регіонах. При цьому прогнозування надзвичайних ситуацій повинне бути спрямованим на регулювання техногенної, природної та соціальної безпеки в країні, оцінку загрози виникнення надзвичайних ситуацій та їх можливих наслідків. **Мета.** Розробка формалізованої математичної моделі прогнозування надзвичайних ситуацій та можливих збитків внаслідок них. **Метод.** Системний підхід до вирішення проблеми прогнозування надзвичайних ситуацій та можливих завданих збитків внаслідок них як в державі, так і її регіонах з метою недопущення їх виникнення або мінімізації можливих наслідків передбачає прогнозування надзвичайних ситуацій в цілому по державі та її регіонах; прогнозування надзвичайних ситуацій природного характеру в цілому, за видами та рівнями в державі; прогнозування надзвичайних ситуацій техногенного характеру; прогнозування надзвичайних ситуацій соціального характеру за видами та рівнями і прогнозування збитків внаслідок надзвичайних ситуацій у державі. **Результати.** Розроблено формалізовану математичну модель прогнозування надзвичайних ситуацій, можливих завданих збитків внаслідок них та керуючий алгоритм, який реалізує розроблену математичну модель. **Висновки.** Формалізована математична модель прогнозування надзвичайних ситуацій та можливих завданих збитків внаслідок них включає математичні моделі прогнозування процесу виникнення надзвичайних ситуацій в державі; прогнозування процесу виникнення надзвичайних ситуацій в регіонах держави, прогнозування надзвичайних ситуацій за характером, видами та рівнями як в державі в цілому, так і її регіонах; прогнозування можливих збитків внаслідок надзвичайних ситуацій. Отримані результати дослідження є фундаментом для обґрунтування організаційно-технічних заходів щодо реагування на надзвичайні ситуації з метою їх попередження і мінімізації можливих наслідків.

Ключові слова: формалізована математична модель, керуючий алгоритм, надзвичайна ситуація, характер, вид, рівень надзвичайної ситуації, збитки від надзвичайних ситуацій.

Номенклатура

НС – надзвичайна ситуація;
 $n_{НС}(t)$ – кількість НС в державі;
 $(r_0, r_1, r_2, \dots, r_k)$ – параметри функції;
 $n_{НС}^i(t)$ – кількість НС в i -му регіоні;
 $P_{НС}^i$ – ймовірність виникнення НС в i -му регіоні в разі виникнення НС в державі;
 $n_{ТХ}(t), n_{ПХ}(t), n_{СХ}(t)$ – кількість НС відповідно техногенного, природного та соціального характеру;
 $P_{ТХ}, P_{ПХ}, P_{СХ}$ – ймовірності виникнення НС відповідно техногенного, природного та соціального характеру в державі;
 $l_i(t), v_i(t), r_i(t)$ – кількість НС за видами відповідно техногенного, природного та соціального характеру в державі;
 $P_{ТХ_i}, P_{ПХ_i}, P_{СХ_i}$ – ймовірності виникнення НС техногенного, природного та соціального характеру i -го виду в державі;
 $n_{ТХ}^i(t), n_{ПХ}^i(t), n_{СХ}^i(t)$ – кількість НС відповідно техногенного, природного та соціального характеру в i -му регіоні;

$P_{ТХ}^i, P_{ПХ}^i, P_{СХ}^i$ – ймовірності виникнення НС відповідно техногенного, природного та соціального характеру в i -му регіоні в разі виникнення НС в державі;

$n_{DP}(t), n_{PP}(t), n_{MP}(t), n_{OP}(t)$ – кількість НС відповідно державного, регіонального, місцевого та об'єктового рівнів;

$P_{DP}, P_{PP}, P_{MP}, P_{OP}$ – ймовірності виникнення НС відповідно державного, регіонального, місцевого та об'єктового рівнів в державі.

Вступ

Останнім часом у всьому світі спостерігається стійка тенденція збільшення протиріч між людиною і оточуючим його природним середовищем (катастрофи на атомних станціях, значні повені, цунами, торнадо, землетруси і т.п.). Все це приводить до виникнення НС різного характеру, наслідки яких негативно впливають на економіку країни та життєдіяльність населення.

Так, наприклад, тільки за період з 2014 по 2018 рік в Україні виникло 795 НС, внаслідок яких загинуло 1266 людей, постраждало 5213 людей, нанесено матеріальних збитків державі на 1599 млн. грн. [1, 2].

Попередження НС – це сукупність заходів законотворчого, економічного, адміністративного, технічного та іншого характеру, спрямованих на виявлення та вивчення причин виникнення НС різного характеру, прогнозування їх розвитку, розробку і реалізацію заходів, які забезпечують їх усунення або нейтралізацію [3-5]. Попередження НС ґрунтується на аналізі, прогнозуванні загроз виникнення НС та їх можливих наслідків як в державі, так і її регіонах.

При цьому прогнозування НС повинне бути спрямованим на регулювання техногенної, природної та соціальної безпеки в країні, оцінку загрози виникнення НС та їх можливих наслідків.

Тому, прогнозування загроз виникнення НС та можливих збитків внаслідок них як в державі, так і її регіонах з метою недопущення їх виникнення або мінімізації можливих наслідків є актуальною науково-практичною проблемою в сфері цивільного захисту.

Прогнозування НС різного характеру та наслідків внаслідок них здійснюється на основі аналізу статистичної інформації про НС в державі за деякий попередній період моніторингу. При прогнозуванні НС [6,7] розглядають:

- статистичну інформацію про техногенні і природні джерела НС;
- можливі варіанти виникнення і розвитку НС;
- результати екстраполяції виявлених тенденцій;
- експертні оцінки.

Прогнозування НС різного характеру має свої рівні складності, наприклад природні НС несуть велику складову невизначеності на відміну від техногенних НС, які в основному залежать від стану техніки і людського фактору і піддаються формалізованим розрахункам.

1. Постановка задачі

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити наступні задачі:

- розробити формалізовану математичну модель прогнозування НС та можливих завданих збитків внаслідок них;
- запропонувати керуючий алгоритм, який реалізує розроблену математичну модель.

2. Огляд літератури

Аналіз літературних джерел із зазначеної проблематики показує, що прогнозування процесів виникнення НС базуються на імовірнісно-статистичному, імовірнісно-детермінованому і детерміновано-імовірнісному підходах [8,9,10].

Для прогнозування НС техногенного та природного характеру в більшості випадків застосовують імовірнісний підхід, який найкращим чином забезпечує обґрунтованість оцінок і дозволяє враховувати кумулятивний ефект багатьох джерел невизначеності [11,12]. Основний недолік імовірнісного підходу – складність розробки моделей процесів виникнення НС, що значно ускладнює проведення аналізу розвитку даних процесів в динаміці.

Варіантом подолання цих незручностей може бути використання регресійних методів аналізу, які використовують статистичні дані за деякий попередній період моніторингу. Існує множина варіацій регресії: лінійні, нелінійні, ступеневі, порядкові і так далі [13,14]. До переваг даних моделей відносять простоту, гнучкість, а також однозначність їх аналізу і проектування.

При застосуванні лінійних регресійних моделей результат прогнозу можна одержати значно швидше, чим при застосуванні інших моделей. Крім того, перевагою є прозорість моделювання, тобто доступність для аналізу всіх проміжних розрахунків. Недоліками лінійних регресійних моделей є низька адаптивність і відсутність спроможності моделювання нелінійних процесів. Основним недоліком нелінійних регресійних моделей є складність визначення виду функціональної залежності, а також труднощі визначення параметрів моделі.

Для моделювання нелінійних процесів, таких як процеси виникнення техногенних та природних НС, зручно використовувати нейромережеві моделі [15]. Основною перевагою нейромережевих моделей є не лінійність, тобто властивість встановлювати нелінійні залежності між майбутніми і фактичними значеннями процесів. Недоліками таких моделей є відсутність прозорості моделювання, складність вибору архітектури та алгоритму навчання нейронної мережі.

Для прогнозування НС соціального характеру застосовують методи експертних оцінок та соціологічних досліджень, в меншій мірі досліджені статистико-імовірнісні методи, які використовують дані за деякий попередній період моніторингу [16].

Таким чином, проведений аналіз літературних джерел щодо прогнозування НС та можливих завданих збитків внаслідок них показує, що вони спрямовані в основному на прогнозування окремих видів НС техногенного та природного характеру і не дозволяють реалізувати системний підхід щодо прогнозу НС та збитків внаслідок них, який дозволяє здійснювати прогноз НС в цілому, за видами та рівнями, можливі нанесені збитки як в державі, так і її регіонах.

Це вказує на необхідність розробки формалізованої математичної моделі прогнозування НС та можливих завданих збитків внаслідок них як в державі, так і її регіонах на основі системного підходу до вирішення цієї проблеми.

3. Матеріали і методи

Проведемо розробку формалізованої математичної моделі прогнозування надзвичайних ситуацій та завданих збитків внаслідок них.

Інформація в останні роки стає основою процесу підготовки управлінських рішень на різних рівнях управління і забезпечує адекватне наявним умовам прогнозування, планування та реагування на НС різного характеру. Інформація містить відомості про прогнозовані й такі, що вже виникли НС техногенного, природного й соціального характеру та їх наслідки.

Інформаційно-аналітичне забезпечення органів виконавчої влади для підтримки прийняття рішень як на державному так і регіональному рівнях із метою вживання заходів щодо попередження, адекватного реагування та ліквідації НС різного характеру вимагають аналітичних досліджень щодо прогнозування можливого процесу виникнення НС та наслідків від них.

Прогнозування уявляє собою дослідницький процес, у результаті якого одержують імовірні дані про НС та їх наслідки на основі аналізу їх розвитку з урахуванням цілого ряду факторів, які впливають на динаміку виникнення НС.

Математична модель прогнозування надзвичайної ситуації та наслідків внаслідок них уявляє собою систему співвідношень та рівнянь в математичній формі, які відображають найбільш важливі особливості й властивості даних процесів з метою аналізу та прогнозування їх виникнення, розвитку та наслідків.

Вхідну інформаційну основу для проведення аналізу та прогнозування НС та наслідків внаслідок них складають статистичні дані моніторингу НС за деякий період часу.

Процес виникнення НС в державі описують деякою адекватно вибраною функцією регресії:

$$n_{HC}(t) = U_1(r_0, r_1, r_2, \dots, r_k, t), \quad (1)$$

де $n_{HC}(t)$ - кількість НС в державі; $(r_0, r_1, r_2, \dots, r_k)$ - параметри функції.

Процес виникнення НС в регіонах в разі виникнення НС в державі описується функцією виду:

$$n_{HC}^i(t) = U_2 \{n_{HC}(t), P_{HC}^i\}, \quad (2)$$

де $n_{HC}^i(t)$ - кількість НС в i -му регіоні; P_{HC}^i - ймовірність виникнення НС в i -му регіоні в разі виникнення НС в державі.

При цьому повинна виконуватися умова:

$$\sum P_{HC}^i = 1 \quad \sum P_{HC}^i = 1$$

За характером походження НС розділяються на техногенні, природні та соціальні. Процес їх виникнення описується функціями, які залежать від кількості НС та ймовірностей виникнення НС відповідного характеру в державі:

$$n_{TX}(t) = F_2 \{n_{HC}(t), P_{TX}\} \quad n_{PX}(t) = F_2 \{n_{HC}(t), P_{PX}\} \quad (3)$$

$$n_{CX}(t) = F_3 \{n_{HC}(t), P_{CX}\},$$

де $n_{TX}(t)$, $n_{PX}(t)$, $n_{CX}(t)$ - кількість НС відповідно техногенного, природного та соціального характеру; P_{TX} , P_{PX} , P_{CX} - ймовірності виникнення НС відповідно техногенного, природного та соціального характеру в державі.

При цьому повинна виконуватися умова:

$$P_{TX} + P_{PX} + P_{CX} = 1 \quad P_{TX} + P_{PX} + P_{CX} = 1$$

За видами НС техногенного, природного та соціального характеру в державі є функціями від загальної кількості НС відповідного характеру та ймовірностей виникнення надзвичайної ситуації даного виду:

$$v_i(t) = \Psi_2 \{n_{TX}(t), P_{TX_i}\} \quad v_i(t) = \Psi_2 \{n_{PX}(t), P_{PX_i}\}; \quad (4)$$

$$r_i(t) = \Psi_3 \{n_{CX}(t), P_{CX_i}\},$$

де $l_i(t)$, $v_i(t)$, $r_i(t)$ - кількість НС за видами відповідно техногенного, природного та соціального характеру в державі; P_{TX_i} , P_{PX_i} , P_{CX_i} - ймовірності виникнення НС техногенного, природного та соціального характеру i -го виду в державі.

Необхідні умови:

$$\sum P_{TX_i} = 1; \quad \sum P_{PX_i} = 1; \quad \sum P_{CX_i} = 1.$$

Процес виникнення НС техногенного, природного та соціального характеру в регіонах держави описується функціями:

$$n_{TX}^i(t) = S_2 \{n_{TX}(t), P_{TX}^i\} \quad n_{TX}^i(t) = S_2 \{n_{TX}(t), P_{TX}^i\}; \quad (5)$$

$$n_{CX}^i(t) = S_3 \{n_{CX}(t), P_{CX}^i\},$$

де $n_{TX}^i(t)$, $n_{PX}^i(t)$, $n_{CX}^i(t)$ - кількість НС відповідно техногенного, природного та соціального характеру в i -му регіоні; P_{TX}^i , P_{PX}^i , P_{CX}^i - ймовірності виникнення НС відповідно техногенного, природного та соціального характеру в i -му регіоні в разі виникнення НС в державі.

При цьому повинна виконуватися умова:

$$\sum P_{TX}^i = 1; \quad \sum P_{PX}^i = 1; \quad \sum P_{CX}^i = 1.$$

За рівнями НС розділяються на державного, регіонального, місцевого та об'єктового рівні. Процес виникнення НС відповідного рівня в державі описується функціями:

$$n_{PP}(t) = Q_2 \{n_{HC}(t), P_{PP}\} \quad n_{PP}(t) = Q_2 \{n_{HC}(t), P_{PP}\};$$

$$n_{MP}(t) = Q_3 \{n_{HC}(t), P_{MP}\} \quad n_{MP}(t) = Q_3 \{n_{HC}(t), P_{MP}\}; \quad (6)$$

$$n_{OP}(t) = Q_4 \{n_{HC}(t), P_{OP}\},$$

де $n_{DP}(t)$, $n_{PP}(t)$, $n_{MP}(t)$, $n_{OP}(t)$ - кількість НС відповідно державного, регіонального, місцевого та об'єктового рівнів; P_{DP} , P_{PP} , P_{MP} , P_{OP} - ймовірності виникнення НС відповідно державного, регіонального, місцевого та об'єктового рівнів в державі.

При цьому повинна виконуватися умова:

$$P_{DP} + P_{PP} + P_{MP} + P_{OP} = 1.$$

Функції, що описують процеси виникнення НС за рівнями в регіонах держави мають вид:

$$\begin{aligned} n_{PP}^i(t) &= \Phi_2 \left\{ n_{PP}(t), P_{PP}^i \right\} \\ n_{MP}^i(t) &= \Phi_3 \left\{ n_{MP}(t), P_{MP}^i \right\} \\ n_{OP}^i(t) &= \Phi_4 \left\{ n_{OP}(t), P_{OP}^i \right\}, \end{aligned} \quad (7)$$

де $n_{DP}^i(t)$, $n_{PP}^i(t)$, $n_{MP}^i(t)$, $n_{OP}^i(t)$ - кількість НС відповідно державного, регіонального, місцевого та об'єктового рівнів в i -му регіоні в разі виникнення НС в державі; 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 в державі.

Необхідні умови:

$$\sum P_{DP}^i = 1; \sum P_{PP}^i = 1; \sum P_{MP}^i = 1; \sum P_{OP}^i = 1.$$

Збитки внаслідок НС визначаються кількістю НС за рівнями в державі:

$$ЗБ(t) = \Theta \{n_{DP}(t), n_{PP}(t), n_{MP}(t), n_{OP}(t)\}. \quad (8)$$

З урахуванням вище викладеного шукана математична модель визначається системою залежностей (1) - (8):

$$\begin{aligned} n_{HC}(t) &= U_1 \{n_0, r_1, r_2, \dots, t\}; \\ n_{HC}^i(t) &= U_2 \{n_{HC}(t), P_{HC}^i\}; \\ n_{TX}(t) &= F_1 \{n_{HC}(t), P_{TX}\}; \\ n_{PX}(t) &= F_2 \{n_{HC}(t), P_{PX}\}; \\ n_{CX}(t) &= F_3 \{n_{HC}(t), P_{CX}\}; \\ l_i(t) &= \Psi_1 \{n_{TX}(t), P_{TX_i}\}; \\ v_i(t) &= \Psi_2 \{n_{PX}(t), P_{PX_i}\}; \\ r_i(t) &= \Psi_3 \{n_{CX}(t), P_{CX_i}\}; \\ n_{TX}^i(t) &= S_1 \{n_{TX}(t), P_{TX}^i\}; \\ n_{PX}^i(t) &= S_2 \{n_{PX}(t), P_{PX}^i\}; \\ n_{CX}^i(t) &= S_3 \{n_{CX}(t), P_{CX}^i\}; \\ n_{DP}(t) &= Q_1 \{n_{HC}(t), P_{DP}\}; \\ n_{PP}(t) &= Q_2 \{n_{HC}(t), P_{PP}\}; \\ n_{MP}(t) &= Q_3 \{n_{HC}(t), P_{MP}\}; \\ n_{OP}(t) &= Q_4 \{n_{HC}(t), P_{OP}\}; \\ n_{DP}^i(t) &= \Phi_1 \{n_{DP}(t), P_{DP}^i\}; \\ n_{PP}^i(t) &= \Phi_2 \{n_{PP}(t), P_{PP}^i\}; \\ n_{MP}^i(t) &= \Phi_3 \{n_{MP}(t), P_{MP}^i\}; \\ n_{OP}^i(t) &= \Phi_4 \{n_{OP}(t), P_{OP}^i\}; \\ ЗБ(t) &= \Theta \{n_{DP}(t), n_{PP}(t), n_{MP}(t), n_{OP}(t)\} \end{aligned} \quad (9)$$

Таким чином, формалізована математична модель процесів виникнення НС та можливих збитків внаслідок них уявляє собою систему з 20 аналітичних залежностей. Перша описує в цілому процес виникнення НС в державі. Друга показує залежність НС в регіонах від НС в державі. Третя, четверта та п'ята дозволяють визначити НС за характером походження в разі виникнення НС в державі. Шоста, сьома та восьма характеризують НС за видами в разі виникнення техногенних, природних та соціальних НС в державі. Дев'ята, десята та одинадцята показують розподіл НС за характером в регіонах в разі виникнення НС відповідно техногенного, природного та соціального характеру в державі. Дванадцята, тринадцята, чотирнадцята та п'ятнадцята характеризують НС за рівнями в разі виникнення НС в державі. Шістнадцята, сімнадцята, вісімнадцята та дев'ятнадцята показують розподіл НС за рівнями в регіонах в разі виникнення НС відповідного рівня в державі. Двадцята характеризує можливі збитки внаслідок НС.

На основі розробленої формалізованої математичної моделі розробляємо керуючий алгоритм реалізації формалізованої математичної моделі прогнозування надзвичайних ситуацій та завданих збитків внаслідок них. Керуючий алгоритм, який реалізує розроблену формалізовану математичну модель процесів виникнення НС та можливих збитків внаслідок них представлений на рис. 1.

Алгоритм складається з 9 блоків, які розміщені на 7 ієрархічних рівнях. Перший рівень складає блок збору та обробки статистичної інформації про НС за деякий період моніторингу. На другому рівні розміщений блок аналізу інформації про НС в цілому, за характером, видами та рівнями в державі. На третьому рівні розміщений блок аналізу інформації про НС в цілому, за характером та рівнями в регіонах держави. На четвертому рівні розміщений блок прогнозування процесів виникнення НС в цілому, за характером, рівнями та видами в державі. На п'ятому рівні розміщений блок прогнозування процесів виникнення НС в цілому, за характером і рівнями в регіонах держави. На шостому рівні розміщений блок прогнозування можливих завданих збитків внаслідок НС. Сьомий рівень складає блок формування рішення щодо дій підрозділів ЦЗ за призначенням та блок оцінки ефективності і корегування рішень на основі аналізу дій підрозділів ЦЗ. Таким чином, керуючий алгоритм реалізує розроблену формалізовану математичну модель та складається з 9 блоків, які розміщені на 7 ієрархічних рівнях і зв'язані прямими та зворотними зв'язками.

4. Обговорення

В результаті проведених досліджень розроблена формалізована математична модель прогнозування надзвичайних ситуацій та завданих збитків внаслідок них. Вона реалізує системний підхід до вирішення проблеми прогнозування надзвичайних ситуацій, який дозволяє здійснювати прогноз надзвичайних ситуацій в цілому, за видами та рівнями, можливі нанесені збитки як в державі так і її регіонах.

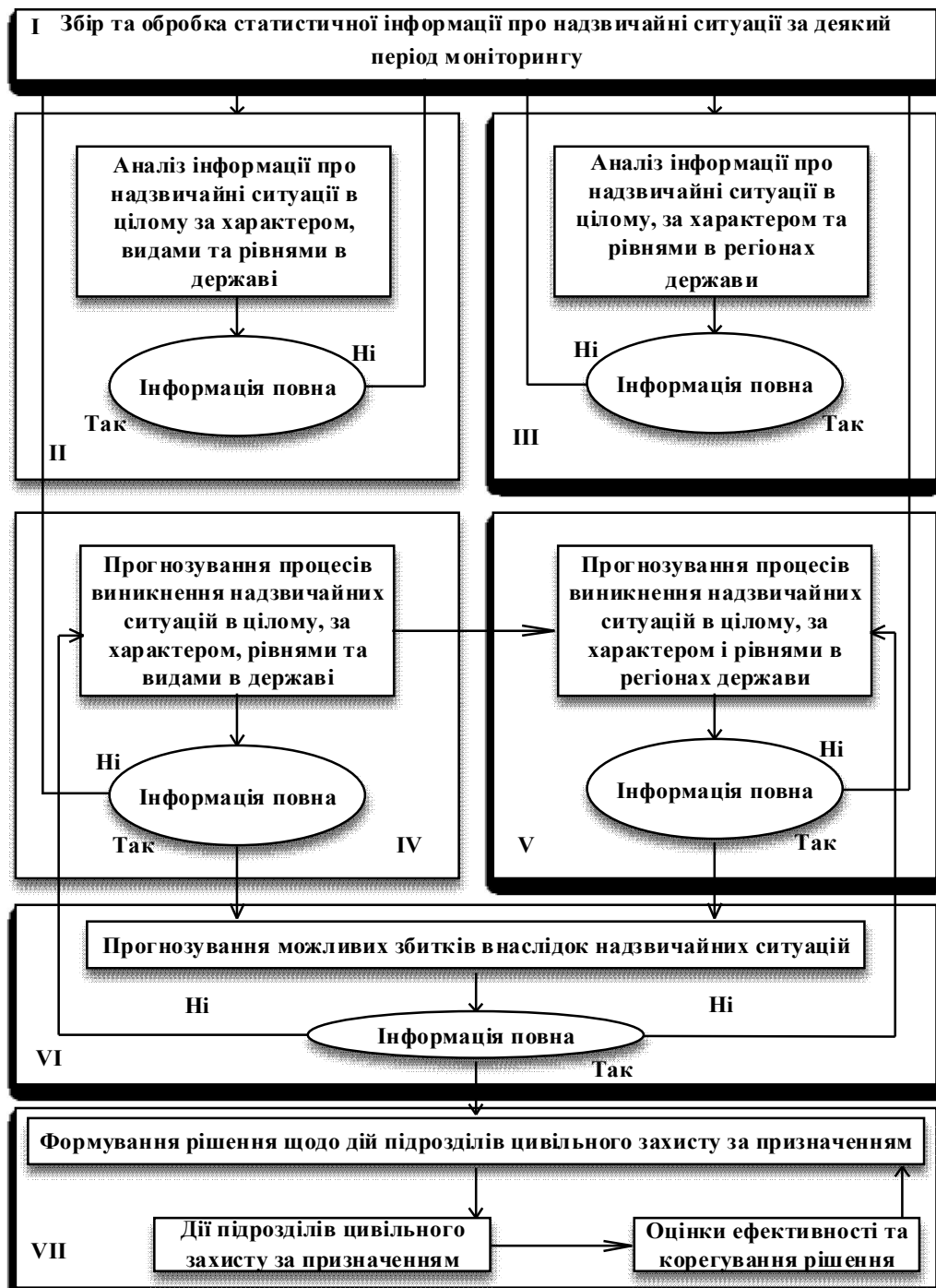


Рис. 1. Керуючий алгоритм реалізації формалізованої математичної моделі

Формалізована математична модель включає математичні моделі прогнозування надзвичайних ситуацій за характером походження видами, рівнями та можливих наслідків внаслідок них як в державі в цілому так і її регіонах.

Подальші дослідження в цьому напрямку повинні бути спрямовані на дослідження взаємозв'язків причин виникнення надзвичайних ситуацій в різних регіонах держави.

Висновки

1. Розроблено формалізовану математичну модель прогнозування НС та можливих завданих збитків внаслідок них, яка включає математичні моделі

прогнозування НС в цілому по державі та її регіонах; прогнозування НС природного характеру в цілому, за видами та рівнями в державі; прогнозування НС техногенного характеру; прогнозування НС соціального характеру за видами та рівнями і прогнозування збитків внаслідок НС у державі. Це реалізує принцип системного підходу до вирішення проблеми прогнозування НС та можливих завданих збитків внаслідок них як в державі, так і її регіонах з метою недопущення їх виникнення або мінімізації можливих наслідків.

2. Розроблено керуючий алгоритм, який реалізує формалізовану математичну модель прогнозування НС та можливих завданих збитків внаслідок

них. Його використання передбачає виконання наступних процедур: збір, обробка та аналіз інформації про НС в державі за деякий попередній період моніторингу; прогнозування процесів виникнення НС в цілому, за характером, рівнями та видами в державі; прогнозування НС в цілому, за характером і рівнями в регіонах держави; прогнозування мож-

ливих збитків внаслідок НС; формування рішення щодо дій підрозділів ЦЗ з метою адекватного реагування на НС та ліквідації їх наслідків, оцінки ефективності та корегування рішень на основі аналізу дій підрозділів реагування. Він складається з 9 блоків, які розміщені на 7 ієрархічних рівнях і зв'язані прямими та зворотними логічними зв'язками.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Звіт про основні результати діяльності Державної служби України з надзвичайних ситуацій у 2018 році. [Електрон. ресурс]. – Режим доступу: URL: [http://www.dsns.gov.ua/files/2018/1/26/Zvit%202018\(KM\).pdf](http://www.dsns.gov.ua/files/2018/1/26/Zvit%202018(KM).pdf).
2. Звіт про основні результати діяльності Державної служби України з надзвичайних ситуацій у 2017 році. URL: [http://www.dsns.gov.ua/files/2018/1/26/Zvit%202017\(KMY\).pdf](http://www.dsns.gov.ua/files/2018/1/26/Zvit%202017(KMY).pdf) (дата доступу: 08.08.2018).
3. Tiutiunyk V.V., Ivanets H.V., Tolkunov I.A., Stetsiuk E.I. (2018). System approach for readiness assessment units of civil defense to actions at emergency situations. Scientific Bulletin of National Mining University. Vol. 1. Is. 1 (163). Pp. 99-105.
4. Голован Ю.В., Козырь Т.В. Защита населения в чрезвычайных ситуациях. Организационно-методический комплекс. Издательство «Проспект», Дальневосточный государственный технический университет. 2015. 219 с.
5. Nivolianitou Z., Synodinou B. (2011). A Towards emergency management of natural disasters and critical accidents: The Greek experience. Journal of Environmental Management. Vol. 92. Issue. 10. pp. 2657-2665. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2011.06.003>.
6. Новоселов С.В., Панихидников С.А. Проблемы прогнозирования количества чрезвычайных ситуаций статистическими методами. Горный информационно-аналитический бюллетень. 2017. №10. С. 60-71.
7. Ivanets H., Horielyshev S., Ivanets M., D. Baulin, Tolkunov I., Gleizer N., Nakonechnyi A. (2018). Development of combined method for predicting the process of the occurrence of emergencies of natural character. Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. Vol. 5. Issue 10(95). pp. 48-55. doi:<https://doi.org/10.15587/1729-4061.2018.143045>.
8. Баскин Ю.Г., Горбунов А.А., Савельев Ю.С. Предупреждение чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера. Проблемы управления рисками в техносфере. СПб №3. СПб УГПС МЧС России, 2014.
9. Deng, S.C., Wu, Q., Shi, B., et al. (2014) Prediction of Resource for Responding Waterway Transportation Emergency Based on Case-Based Reasoning. China Safety Science Journal Vol. 24. pp 79-84.
10. Tsurikov A.N. (2013). 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. Publishing House «Science and Innovation Center». St. Louis, Missouri, USA. pp. 226-231.
11. Vasiliev M., Movchan I., Koval O. (2014). Diminishing of ecological risk via optimization of fire-extinguishing system projects in timber-yards. Naukovyi Visnyk Natsionalnoho Hirnychoho Universytetu. Issue 5. pp. 106–113.
12. Mygalenko, K., Nuyanzin, V., Zemlianskiy, A., Dominik, A., Pozdieiev, S. (2018). Development of the technique for restricting the propagation of fire in natural peat ecosystems. Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. Vol. 1 (10(91)). Pp. 31–37. doi: [10.15587/1729-4061.2018.121727](https://doi.org/10.15587/1729-4061.2018.121727).
13. Pradhan R.P., Kumar R. (2010). Forecasting Exchange Rate in India: An Application of Artificial Neural Network Model. Journal of Mathematics Research. Vol. 2. No.4. pp. 111-117.
14. Sun, B.Z., Ma, W.M. and Zhao, H.Y. (2013). A Fuzzy Rough Set Approach to Emergency Material Demand Prediction over Two Universes. Applied Mathematical Modeling Vol. 37. pp. 7062-7070. <http://dx.doi.org/10.1016/j.apm.2013.02.008>.
15. Al-Jumeily D., Ghazali R. (2014). Hussain A. Predicting physical time series using dynamic ridge polynomial neural networks. PLoS ONE. №9: e105766. doi: [10.1371/journal.pone.0105766](https://doi.org/10.1371/journal.pone.0105766).
16. Ямалов И.У. Моделирование процессов управления и принятия решений в условиях чрезвычайных ситуаций. Москва, БИНОМ. Лаборатория знаний. 2015. 291 с.

Received (Надійшла) 12.10.2020

Accepted for publication (Прийнята до друку) 18.11.2020

Formalized mathematical model for forecasting emergency situations and possible damage caused by them

H. Ivanets, M. Ivanets, V. Matukhno, I. Tolkunov, Ye. Stetsiuk, I. Popov

Abstract. Relevance. Prevention of emergencies is based on analysis, forecasting of threats of emergencies and their possible consequences both in the state and in its regions. At the same time, forecasting emergencies should be aimed at regulating man-made, natural and social security in the country, assessing the threat of emergencies and their possible consequences. **Objective.** Development of a formalized mathematical model for predicting emergencies and possible losses because of them. **Method.** A systematic approach to solving the problem of predicting emergency situations and possible losses caused as a result of them both in the state and its regions in order to prevent their occurrence or minimize possible consequences involves forecasting emergency situations in the country as a whole and its regions; forecasting natural emergencies in general, by types and levels in the state; forecasting emergency situations of a technogenic nature; forecasting emergency situations of a social nature by type and level and forecasting losses due to emergency situations in the state. **Results.** A formalized mathematical model for forecasting emergencies, possible losses caused because of them and a control algorithm that implements the developed mathematical model has been developed. **Conclusions.** A formalized mathematical model for predicting emergencies and possible losses caused as a result of them includes mathematical models for predicting the process of emergencies in the state; forecasting the process of emergencies in the regions of the state, forecasting emergencies by nature, types and levels both in the state as a whole and in its regions; forecasting possible losses as a result of emergency situations. The obtained results of the study are the foundation for substantiating organizational and technical measures for responding to emergencies in order to prevent them and minimize possible consequences.

Keywords: formalized mathematical model, control algorithm, emergency, nature, type, level of emergency, losses from emergencies.