

Г. В. ІВАНЕЦЬ, М. Г. ІВАНЕЦЬ, С. А. ГОРЕЛИШЕВ, Д. С. БАУЛІН, І. І. СИДОРЕНКО

РОЗРОБКА ОРГАНІЗАЦІЙНО-ТЕХНІЧНОГО МЕТОДУ СУМІСНОГО ПРОГНОЗУВАННЯ ТА ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ГОТОВНОСТІ РЕАГУВАННЯ НА НАДЗВИЧАЙНІ СИТУАЦІЇ

На теперішній час попередження надзвичайних ситуацій слід розглядати як складний сумісний процес прогнозування надзвичайних ситуацій та завчасного реагування на загрози їх виникнення або пом'якшення можливих наслідків. Це реалізує системний підхід до вирішення цієї проблеми з метою недопущення їх виникнення або мінімізації можливих наслідків. Розроблено організаційно-технічний метод сумісного прогнозування та забезпечення готовності реагування на надзвичайні ситуації в реальних умовах. Метод базується на формалізованій математичній моделі сумісного прогнозування та забезпечення готовності реагування підрозділів цивільного захисту на надзвичайні ситуації. Він передбачає прогнозування надзвичайних ситуацій, можливих завданих збитків внаслідок них та всебічного забезпечення готовності реагування підрозділів цивільного захисту на можливі загрози. Розроблено керуючий алгоритм реалізації організаційно-технічного методу сумісного прогнозування та забезпечення готовності реагування підрозділів цивільного захисту на надзвичайні ситуації. Його використання передбачає виконання низки взаємозв'язаних процедур. Спочатку проводиться збір, формалізація та аналіз інформації про надзвичайні ситуації; укомплектованість підрозділів цивільного захисту озброєнням і технікою та їх готовність; укомплектованість підрозділів цивільного захисту особовим складом. Це є підставою для прогнозування процесів виникнення надзвичайних ситуацій та забезпечення готовності реагування на можливі загрози. Отримана інформація враховується при обґрунтуванні та формуванні рішення щодо дій підрозділів цивільного захисту з метою адекватного реагування та ліквідації наслідків надзвичайних ситуацій. На основі аналізу ефективності дій підрозділів реагування здійснюється коригування рішень щодо ліквідації надзвичайних ситуацій.

Ключові слова: формалізована математична модель, організаційно-технічний метод, керуючий алгоритм, надзвичайна ситуація, збитки від надзвичайних ситуацій, рівень готовності

Г.В. ИВАНЕЦ, М.Г. ИВАНЕЦ, С.А. ГОРЕЛЫШЕВ, Д.С. БАУЛИН, И.И. СИДОРЕНКО

РАЗРАБОТКА ОРГАНИЗАЦИОННО-ТЕХНИЧЕСКОГО МЕТОДА СОВМЕСТНОГО ПРОГНОЗИРОВАНИЯ И ОБЕСПЕЧЕНИЯ ГОТОВНОСТИ РЕАГИРОВАНИЯ НА ЧРЕЗВЫЧАЙНЫЕ СИТУАЦИИ

В настоящее время предупреждение чрезвычайных ситуаций следует рассматривать как сложный совместный процесс прогнозирования чрезвычайных ситуаций и своевременного реагирования на угрозы их возникновения или смягчения возможных последствий. Для этого реализуется системный подход к решению поставленной проблемы с целью недопущения их возникновения или минимизации возможных последствий. Разработан организационно-технический метод совместного прогнозирования и обеспечения готовности реагирования на чрезвычайные ситуации в реальных условиях. Метод базируется на формализованной математической модели совместного прогнозирования и обеспечения готовности реагирования подразделений гражданской защиты на чрезвычайные ситуации. Он предполагает прогнозирование чрезвычайных ситуаций, возможных заданных убытков вследствие них и всестороннего обеспечения готовности реагирования подразделений гражданской защиты на возможные угрозы. Разработан управляющий алгоритм реализации организационно-технического метода совместного прогнозирования и обеспечения готовности реагирования подразделений гражданской защиты на чрезвычайные ситуации. Его использование предполагает выполнение нескольких взаимосвязанных процедур. На первом этапе проводится сбор, формализация и анализ информации о чрезвычайных ситуациях; об укомплектованности подразделений гражданской защиты вооружением и техникой и их готовности; об укомплектованности подразделений гражданской защиты личным составом. Это является базой для прогнозирования процессов возникновения чрезвычайных ситуаций и обеспечения готовности реагирования на возможные угрозы. Полученная информация учитывается при обосновании и формировании решений относительно действий подразделений гражданской защиты с целью адекватного реагирования и ликвидации последствий чрезвычайных ситуаций. На основе анализа эффективности действий подразделений реагирования осуществляется корректирование решений по ликвидации чрезвычайных ситуаций.

Ключевые слова: формализованная математическая модель, организационно-технический метод, управляющий алгоритм, чрезвычайная ситуация, убытки от чрезвычайных ситуаций, уровень готовности

H. IVANETS, M. IVANETS, S. HORIELYSHEV, D. BAULIN, I. SYDORENKO

DEVELOPMENT OF ORGANIZATIONAL AND TECHNICAL METHOD OF COMPATIBLE FORECASTING AND ENSURING READINESS TO RESPOND TO EMERGENCIES

Nowadays emergency prevention should be considered as a complex compatible process of predicting emergencies and early response to the threats of their occurrence or mitigation of possible consequences. This implements a systematic approach to this problem solving in order to prevent their occurrence or minimize possible consequences of them. The organizational and technical method of compatible forecasting and ensuring the readiness to respond to emergencies in real conditions has been developed. This method is based on a formalized mathematical model of compatible forecasting and ensuring the readiness of civil protection units to respond to emergencies. It provides for the forecasting of emergencies, possible losses caused as a result of them and the comprehensive provision of readiness of civil protection units respond to possible threats. The control algorithm for the implementation of the organizational and technical method of compatible forecasting and ensuring the readiness of responding of civil protection units to emergencies has been developed. Its use involves the implementation of a number of interconnected procedures. Firstly, the collection, formalization and analysis of information about emergencies are carried out. Then the complexity of civil protection units with armaments and equipment and their readiness, as well as the staffing of civil protection units by personnel, are taken into consideration. These procedures ensure the emergencies prediction and readiness to possible threats respond. The received information is taken into account when justifying and forming a decision on the actions of civil protection units to adequately respond and eliminate the consequences of emergencies. The correction of emergency solutions, based on the analysis of the effectiveness of response units actions, is carried out.

Keywords: formalized mathematical model, organizational and technical method, control algorithm, emergency, losses from emergencies, level of readiness

Вступ. Постановка проблеми. На сьогоднішній день внаслідок підвищення рівня сейсмічної активності земної кори, зміни клімату,

© Г.В. Іванець, М.Г. Іванець, С.А. Горелишев, Д.С. Баулін, І.І. Сидоренко, 2022

зростання розмірів та потужності технічних систем, прогресуючого втручання людини в природу збільшуються ризики виникнення надзвичайних ситуацій (НС) [1]. Наслідки НС негативно впливають на оточуюче навколишнє середовище [2], економіку країн [3], супроводжуються не тільки матеріальними, але й людськими втратами, поширенням епідемій та пандемії [4].

Попередження надзвичайних ситуацій – це комплекс заходів, спрямованих на регулювання природної та техногенної безпеки, оцінку рівнів ризику та завчасне реагування на них із метою недопущення виникнення НС або пом'якшення можливих наслідків [5, 6]. Крім того, попередження НС – це складний системний процес, який пов'язаний з аналізом загроз виникнення НС, їх прогнозуванням та забезпеченням готовності реагування підрозділів цивільного захисту (ЦЗ). Однак відомі методи та моделі володіють обмеженими можливостями щодо сумісного прогнозування загроз виникнення НС та готовності реагування на них. Це породжує протиріччя – з одного боку, це необхідність розглядати попередження НС як складний системний процес, пов'язаний з сумісним прогнозуванням загроз їх виникнення та завчасним реагуванням на них, а з іншого – обмежені можливості для цього наявних методів та моделей.

Виходячи з цього, науково-практична проблема у сфері цивільного захисту країни, а саме розробка організаційно-технічного методу сумісного прогнозування та забезпечення готовності реагування на НС в реальних умовах, є актуальною.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. На сьогоднішній день при вирішенні проблеми попередження надзвичайних ситуацій розглядають окремо задачі прогнозування НС, можливих наслідків від них та забезпечення готовності реагування сил ЦЗ на можливі загрози. Методи прогнозування надзвичайних ситуацій залежать від наявної статистичної інформації про НС та динаміку їх розвитку за деякий попередній період моніторингу, а також причини та фактори, які зумовлюють виникнення НС різного характеру.

Авторами робіт [7, 8] розглянуті та проаналізовані імовірісно-статистичний, імовірісно-детермінований, детерміновано-імовірісний методи прогнозування надзвичайних ситуацій техногенного та природного характеру. Але при застосуванні цих методів виникають складності розробки моделей процесів виникнення НС, що значно знижує якість проведення аналізу розвитку даних процесів в динаміці.

У роботі [9] автори пропонують використовувати для прогнозування НС різні варіації регресійних моделей (лінійні, нелінійні, ступеневі, порядкові, авторегресійні та інші). Недоліками лінійних регресійних моделей є низька адаптивність і відсутність спроможності моделювання нелінійних процесів. Основним недоліком нелінійних регресійних моделей [10] є складність визначення виду функціональної залежності, а також труднощі визначення параметрів

моделі.

Авторами роботи [11] розроблено методики прогнозування ризиків, пов'язаних із НС внаслідок лісових пожеж, та збитків від цих надзвичайних ситуацій. Суттєвим недоліком цієї роботи є відсутність математичного апарату, який би описував взаємопов'язаність фізичних процесів на різних стадіях виникнення та протікання НС такого виду.

Ефективність виконання завдань за призначенням підрозділами ЦЗ у першу чергу залежить від рівня їх готовності до дій при НС, який повинен відповідати ступеню та характеру загроз. У [12] рівень готовності підрозділу до виконання завдань за призначенням оцінюється на основі показників з укомплектованості підрозділів особовим складом, технічними засобами, індивідуальними засобами захисту, підготовленості особового складу, наявності матеріально-технічних ресурсів та інших. Як показник рівня готовності розглядається середнє значення цих показників, які взяті з відповідними ваговими коефіцієнтами. Запропонований показник рівня готовності підрозділу не повною мірою відображає готовність підрозділу до виконання поставлених завдань із ліквідації надзвичайних ситуацій та їх наслідків в довільний момент часу та ступінь безвідмовності функціонування його як цілісної системи протягом часу виконання робіт.

Моделі готовності рятувальних підрозділів до дій при НС представлені в роботах [13, 14]. При цьому рятувальні підрозділи розглядаються як система, складовими елементами якої є спеціалісти (рятувальники) та необхідні технічні засоби (експлуатаційний модуль). Запропоновано моделі функціонування експлуатаційного модуля в різних експлуатаційних станах та рятувальників у різних функціональних режимах.

У роботі [15] запропоновано системний підхід для оцінки готовності сил та засобів підрозділів ЦЗ до дій при НС. Під час цього враховувались показники ймовірності безвідмовної роботи технічних засобів, а також рівень професійної підготовки та рівень укомплектованості підрозділу особовим складом.

У [16] запропонована методика аналізу показників оперативного реагування підрозділів ЦЗ, яка полягає у оцінці факторів, які характеризують цей процес, із застосуванням методів теорії графів.

Автори [17] розглядають моделювання розподілу ресурсів для ліквідації пожеж різного характеру походження. Але при цьому оцінка необхідних людських ресурсів не розглядається.

У роботі [18] представлено результати оптимізації підрозділів цивільного захисту по регіонах країни на основі врахування стохастичної природи виникнення та ліквідації НС.

Автори зазначають, що при визначенні чисельності підрозділів ЦЗ для ліквідації наслідків надзвичайних ситуацій у регіонах держави необхідно враховувати: інтенсивність реалізації загроз на території регіону; інтенсивність ліквідації наслідків НС; очікувану кількість залучених сил до

ліквідації наслідків надзвичайних ситуацій.

Таким чином, проведений аналіз джерел показує, що проблема попередження НС на теперішній час не розглядається достатньою мірою як складний системний процес, пов'язаний із сумісним прогнозуванням загрози їх виникнення та забезпеченням готовності реагування підрозділів цивільного захисту.

Це вказує на необхідність розробки організаційно-технічного методу (ОТМ) сумісного прогнозування та забезпечення готовності реагування на НС, який би дав можливість вирішити цю проблему з системної точки зору.

Мета дослідження полягає в розробленні організаційно-технічного методу сумісного прогнозування та забезпечення готовності реагування підрозділів цивільного захисту на надзвичайні ситуації. Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити наступні задачі:

– розробити на основі формалізованої математичної моделі ОТМ сумісного прогнозування та забезпечення готовності реагування на НС;

– розробити керуючий алгоритм реалізації ОТМ сумісного прогнозування та забезпечення готовності реагування на НС;

– перевірити ефективність застосування організаційно-технічного методу сумісного прогнозування та забезпечення готовності реагування на НС.

Матеріали та методи дослідження щодо особливостей організаційно-технічного методу сумісного прогнозування та забезпечення готовності реагування на надзвичайні ситуації. Метод базується на формалізованій математичній моделі сумісного прогнозування та забезпечення готовності реагування на НС, яка є об'єднанням двох взаємозв'язаних моделей: моделі прогнозування надзвичайних ситуацій та наслідків від них; моделі забезпечення готовності реагування підрозділів цивільного захисту на надзвичайні ситуації.

Формалізована математична модель прогнозування надзвичайних ситуацій та наслідків від них має вигляд [19]:

$$\begin{cases} n_{HC}(t) = U_1(r_0, r_1, r_2, \dots, t); n_{HC}^i(t) = U_2\{n_{HC}(t), P_{HC}^i\}; n_{TX}(t) = F_1\{n_{HC}(t), P_{TX}\}; \\ n_{PX}(t) = F_2\{n_{HC}(t), P_{PX}\}; n_{CX}(t) = F_3\{n_{HC}(t), P_{CX}\}; l_i(t) = \Psi_1\{n_{TX}(t), P_{TX_i}\}; \\ v_i(t) = \Psi_2\{n_{PX}(t), P_{PX_i}\}; r_i(t) = \Psi_3\{n_{CX}(t), P_{CX_i}\}; n_{TX}^i(t) = S_1\{n_{TX}(t), P_{TX}^i\}; \\ n_{PX}^i(t) = S_2\{n_{PX}(t), P_{PX}^i\}; n_{CX}^i(t) = S_3\{n_{CX}(t), P_{CX}^i\}; n_{DP}(t) = Q_1\{n_{HC}(t), P_{DP}\}; \\ n_{PP}(t) = Q_2\{n_{HC}(t), P_{PP}\}; n_{MP}(t) = Q_3\{n_{HC}(t), P_{MP}\}; n_{OP}(t) = Q_4\{n_{HC}(t), P_{OP}\}; \\ n_{DP}^i(t) = \Phi_1\{n_{DP}(t), P_{DP}^i\}; n_{PP}^i(t) = \Phi_2\{n_{PP}(t), P_{PP}^i\}; n_{MP}^i(t) = \Phi_3\{n_{MP}(t), P_{MP}^i\}; \\ n_{OP}^i(t) = \Phi_4\{n_{OP}(t), P_{OP}^i\}; 3B(t) = \Theta\{n_{DP}(t), n_{PP}(t), n_{MP}(t), n_{OP}(t)\}; \end{cases} \quad (1)$$

де $n_{HC}(t)$ – кількість надзвичайних ситуацій в державі;

$(r_0, r_1, r_2, \dots, r_k)$ – параметри функції;

$n_{HC}^i(t)$ – кількість НС в i -му регіоні;

P_{HC}^i – ймовірність виникнення НС в i -му регіоні в разі виникнення НС в державі;

$n_{TX}(t)$, $n_{PX}(t)$, $n_{CX}(t)$ – кількість надзвичайних ситуацій відповідно техногенного, природного та соціального характеру;

P_{TX} , P_{PX} , P_{CX} – ймовірності виникнення НС відповідно техногенного, природного та соціального характеру в державі;

$l_i(t)$, $v_i(t)$, $r_i(t)$ – кількість надзвичайних ситуацій за видами відповідно техногенного, природного та соціального характеру в державі;

P_{TX_i} , P_{PX_i} , P_{CX_i} – ймовірності виникнення надзвичайних ситуацій техногенного, природного та соціального характеру i -го виду в державі;

$n_{TX}^i(t)$, $n_{PX}^i(t)$, $n_{CX}^i(t)$ – кількість надзвичайних ситуацій 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 надзвичайних ситуацій в державі;

$n_{DP}(t)$, $n_{PP}(t)$, $n_{MP}(t)$, $n_{OP}(t)$ – кількість надзвичайних ситуацій 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;

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

$3B(t)$ – збитки внаслідок надзвичайних ситуацій в державі.

Таким чином, формалізована математична модель прогнозування надзвичайних ситуацій та наслідків від них є системою аналітичних залежностей, які описують процеси виникнення НС як у державі, так і в її регіонах.

Формалізована математична модель забезпечення готовності реагування на НС має

вигляд [20]:

$$\left. \begin{aligned} P_T &= H(K_{TD}, K_E); \\ K_{TD} &= G(A_i); \\ K_E &= Q(K_{YK}, K_{TG}, K_{PEC}); \\ P(t) &= \Lambda \left\{ R^{nidp}(t), P_{ПП}(t), C_i(t) \right\} \\ S_i^{ЦЗ} &= L \left\{ n_{TX}^i, n_{ПХ}^i, n_{СХ}^i \right\} \\ BT(t) &= \Omega_1 \left\{ n_{TX}(t), n_{ПХ}(t), n_{СХ}(t) \right\}; \\ T(t) &= \Omega_2 \left\{ n(t), n_{TX}(t), n_{ПХ}(t), n_{СХ}(t) \right\}; \\ OC(t) &= \Omega_3 \left\{ n(t), n_{TX}(t), n_{ПХ}(t), n_{СХ}(t) \right\}; \end{aligned} \right\} (2)$$

де K_{TD} – коефіцієнт технічної досконалості зразків озброєння і техніки підрозділу ЦЗ;

K_E – узагальнений експлуатаційний коефіцієнт зразків озброєння та техніки підрозділу ЦЗ;

A_i – тактико-технічні характеристики (ТТХ) озброєння і техніки;

K_{YK} – коефіцієнт укомплектованості підрозділу ЦЗ озброєнням і технікою;

K_{TG} – коефіцієнт технічної готовності підрозділу ЦЗ;

K_{PEC} – коефіцієнт запасу ресурсу зразків озброєння та техніки підрозділу ЦЗ;

$P(t)$ – ймовірність готовності підрозділу цивільного захисту до виконання завдань за призначенням в момент виникнення НС;

$R^{nidp}(t)$ – ймовірність працездатності необхідної кількості зразків озброєння і техніки на момент виникнення надзвичайних ситуацій;

$P_{ПП}(t)$ – ймовірність професійної підготовленості особового складу підрозділу до дій у НС;

$C_i(t)$ – наявність ресурсу i -го виду для ліквідації надзвичайних ситуацій;

$S_i^{ЦЗ}$ – чисельність сертифікованих структур ЦЗ в i -му регіоні держави;

$BT(t_{np})$ – загальні витрати коштів на ліквідацію наслідків надзвичайних ситуацій;

$T(t)$ – кількість одиниць техніки для ліквідації надзвичайних ситуацій;

$OC(t)$ – кількість задіяного особового складу для ліквідації НС.

Таким чином, формалізована математична модель забезпечення готовності реагування на НС є системою з 8 аналітичних залежностей. Перша описує потенційну технічну спроможність формувань та підрозділів ЦЗ до виконання завдань за призначенням. Друга характеризує ступінь відповідності основних ТТХ сучасним вимогам щодо технічного оснащення підрозділів ЦЗ. Третя характеризує експлуатаційні можливості зразків озброєння та техніки підрозділу ЦЗ. Четверта визначає ймовірність готовності підрозділу ЦЗ до реагування та ліквідації НС у момент виникнення НС. П'ята дає можливість оцінити чисельність

сертифікованих сил ЦЗ в i -му регіоні держави з урахуванням рівня техногенних, природних та соціальних загроз на цій території. Шоста дає можливість визначити витрати коштів на ліквідацію наслідків НС різного характеру НС. Сьома дає можливість оцінити необхідне технічне забезпечення для ліквідації наслідків НС. Восьма дає можливість оцінити необхідну кількість задіяного особового складу для ліквідації наслідків НС.

Отже, формалізована математична модель сумісного прогнозування та забезпечення готовності реагування на НС є об'єднанням моделі прогнозування надзвичайних ситуацій та наслідків від них (1) і моделі забезпечення готовності реагування на НС (2). Вона реалізує принцип системного підходу до вирішення проблеми попередження НС із метою недопущення їх виникнення або мінімізації можливих наслідків.

У відповідності з формалізованою математичною моделлю пропонується ОТМ сумісного прогнозування та забезпечення готовності реагування на НС.

Модель прогнозу загальної кількості НС у державі є степеневим поліномом вигляду:

$$n_{HC}^{np} = a_0 + a_1 t_{np} + a_2 t_{np}^2 + a_3 t_{np}^3 + \dots + a_k t_{np}^k, \quad (3)$$

де $n_{HC}^{np} = n_{HC}(t_{np})$ – прогнозне значення кількості НС у державі на момент прогнозу $t = t_{np}$,

$(a_0, a_1, a_2, \dots, a_k)$ – коефіцієнти поліному.

Коефіцієнти поліному обчислюються на основі зваженого методу найменших квадратів (МНК) [21]. Прогнозна кількість НС в i -му регіоні держави у відповідності з моделлю (1) обчислюється на основі прогнозованої кількості НС в цілому по державі n_{HC}^{np} та ймовірності виникнення НС в i -му регіоні P_{HC}^i наступним чином [22]:

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

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

При цьому повинна виконуватися умова:

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

Прогнозована кількість надзвичайних ситуацій у державі за характером походження обчислюється на основі прогнозованої загальної кількості НС у державі n_{HC}^{np} та ймовірностей виникнення надзвичайних ситуацій P_{TX} , $P_{ПХ}$, $P_{СХ}$ відповідного характеру наступним чином [22]:

$$\begin{aligned} n_{npTX} &= n_{HC}^{np} \cdot P_{TX}; \quad n_{npПр} = n_{HC}^{np} \cdot P_{ПХ}; \\ n_{npСХ} &= n_{HC}^{np} \cdot P_{СХ}, \end{aligned} \quad (5)$$

де $n_{npTX} = n_{TX}(t_{np})$, $n_{npПр} = n_{ПХ}(t_{np})$,

$n_{npCX} = n_{CX}(t_{np})$ – прогнозована кількість НС техногенного, природного та соціального характеру у державі на період прогнозу відповідно.

При цьому повинна виконуватися умова:

$$P_{TX} + P_{ПХ} + P_{CX} = 1.$$

Прогнозна кількість НС у державі за рівнями обчислюється на основі прогнозованої загальної кількості НС в державі $n_{НС}^{np}$ та ймовірностей виникнення надзвичайних ситуацій P_{DP} , P_{PP} , P_{MP} , P_{OP} відповідного рівня наступним чином:

$$\begin{aligned} n_{npDP} &= n_{НС}^{np} \cdot P_{DP}; \quad n_{npPP} = n_{НС}^{np} \cdot P_{PP}; \\ n_{npMP} &= n_{НС}^{np} \cdot P_{MP}; \quad n_{npOP} = n_{НС}^{np} \cdot P_{OP}, \end{aligned} \quad (6)$$

де $n_{npDP} = n_{DP}(t_{np})$, $n_{npPP} = n_{PP}(t_{np})$, $n_{npMP} = n_{MP}(t_{np})$, $n_{npOP} = n_{OP}(t_{np})$ – прогнозна кількість НС відповідно державного, регіонального, місцевого та об'єктового рівнів у державі на момент прогнозу $t = t_{np}$.

При цьому повинна виконуватися умова:

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

Відповідно до моделі (1) прогнозна кількість НС відповідного характеру у регіонах держави обчислюється за формулами:

$$\begin{aligned} n_{npTX}^i &= P_{TX}^i \cdot n_{npTX}; \\ n_{npПХ}^i &= P_{ПХ}^i \cdot n_{npПХ}; \quad n_{npCX}^i = P_{CX}^i \cdot n_{npCX}, \end{aligned} \quad (7)$$

де $n_{npTX}^i = n_{TX_i}(t_{np})$, $n_{npПХ}^i = n_{ПХ_i}(t_{np})$, $n_{npCX}^i = n_{CX_i}(t_{np})$ – прогнозна кількість НС відповідно техногенного, природного та соціального характеру в i -му регіоні держави на період прогнозу.

При цьому повинна виконуватися умова:

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

Прогнозовані кількості надзвичайних ситуацій за видами відповідно техногенного, природного та соціального характеру у державі обчислюється на основі прогнозу загальної кількості техногенних, природних та соціальних НС в країні та ймовірностей виникнення НС відповідного виду наступним чином:

$$\begin{aligned} l_i(t_{np}) &= n_{npTX} \cdot P_{TX_i}; \quad v_i(t_{np}) = n_{npПХ} \cdot P_{ПХ_i}; \\ r_i(t_{np}) &= n_{npCX} \cdot P_{CX_i}. \end{aligned} \quad (8)$$

Необхідні умови:

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

Загальні прогнозовані збитки внаслідок НС у державі є сумою завданих збитків внаслідок НС

техногенного, природного та соціального характеру:

$$ЗБ(t_{np}) = ЗБ_{TX}(t_{np}) + ЗБ_{ПХ}(t_{np}) + ЗБ_{CX}(t_{np}), \quad (9)$$

де $ЗБ(t_{np})$ – загальні прогнозовані збитки внаслідок надзвичайних ситуацій;

$ЗБ_{TX}(t_{np})$ – збитки внаслідок НС техногенного характеру;

$ЗБ_{ПХ}(t_{np})$ – збитки внаслідок надзвичайних ситуацій природного характеру;

$ЗБ_{CX}(t_{np})$ – збитки внаслідок НС соціального характеру.

Модель зміни функції середніх завданих збитків внаслідок надзвичайних ситуацій техногенного характеру за період моніторингу НС подаються у вигляді степеневого поліному:

$$ЗБ_{срТр}(t) = r_0 + r_1 t + r_2 t^2 + \dots + r_k t^k. \quad (10)$$

Коефіцієнти полінома можна знайти методом МНК. Оцінки прогнозованих значень збитків на період прогнозу будуть знаходитися у межах:

$$ЗБ_{npTX}^{ср} - \sigma < ЗБ_{npTX} < ЗБ_{npTX}^{ср} + \sigma, \quad (11)$$

де $ЗБ_{npTX}^{ср} = ЗБ_{срТр}(t_{np})$ – оцінка прогнозованих середніх завданих збитків внаслідок НС техногенного характеру;

$ЗБ_{npTX}$ – оцінка прогнозованих завданих збитків внаслідок надзвичайних ситуацій техногенного характеру;

σ – середньоквадратичне відхилення розрахункових оцінок завданих збитків внаслідок НС техногенного характеру.

Завдані збитки внаслідок надзвичайних ситуацій природного характеру залежать як від кількості НС природного характеру, так і від їх виду і рівнів. Прогнозування можливих збитків внаслідок природних НС ґрунтується на тому, що загальний обсяг збитків від них розраховується як сума збитків внаслідок НС різного виду:

$$ЗБ_{ПХ}(t_{np}) = \sum_{j=1}^n ЗБ_j(t_{np}), \quad (12)$$

де $ЗБ_{ПХ}(t_{np})$ – загальний обсяг прогнозованих збитків внаслідок НС природного характеру;

$ЗБ_j(t_{np})$ – збитки внаслідок НС j -го виду.

Прогнозовані збитки внаслідок природних НС j -го виду можна оцінити з урахуванням їх кількості за рівнями та питомої ваги в нанесених збитках на одну НС:

$$\begin{aligned} ЗБ_j(t_{np}) &= v_{jDP}(t_{np}) \cdot П_{jDP} + v_{jPP}(t_{np}) \cdot П_{jPP} + \\ &+ v_{jMP}(t_{np}) \cdot П_{jMP} + v_{jOP}(t_{np}) \cdot П_{jOP}, \end{aligned} \quad (13)$$

де $П_{jDP}$, $П_{jPP}$, $П_{jMP}$, $П_{jOP}$ – питома вага в нанесених збитках НС j -го виду відповідно державного, регіонального, місцевого та об'єктового

рівнів;

$v_{jDP}(t_{np}), v_{jPP}(t_{np}), v_{jMP}(t_{np}), v_{jOP}(t_{np})$ – прогнозна кількість НС j -го виду відповідно державного, регіонального, місцевого та об'єктового рівнів.

Прогнозування збитків внаслідок надзвичайних ситуацій соціального характеру $ZB_{CX}(t_{np})$ здійснюється на основі середніх збитків на одну НС та прогнозованої кількості НС.

Ефективність реагування на НС та ліквідації їх наслідків визначається рівнем готовності підрозділів цивільного захисту до виконання завдань за призначенням, який залежить від технічного оснащення, готовності техніки до застосування і професійної підготовленості особового складу. Потенційна технічна спроможність підрозділів ЦЗ визначається сукупністю матеріальних факторів, які визначають їх стан та здатність до виконання завдань за призначенням. озброєння та технічна оснащеність складають основу потенційної спроможності формувань та підрозділів ЦЗ до виконання завдань за призначенням та є визначальним фактором для успішного вирішення задач щодо реагування та ліквідації наслідків надзвичайних ситуацій. У відповідності з формалізованою математичною моделлю (2) вона залежить від показників технічної досконалості зразків озброєння та техніки певного підрозділу, а також від експлуатаційних показників цих зразків:

$$P_T = K_{TD} \cdot K_E. \quad (14)$$

Ступінь відповідності основних ТТХ сучасним вимогам щодо технічного оснащення підрозділів цивільного захисту визначається коефіцієнтом технічної досконалості, що характеризує технічну довершеність оцінюваних зразків, з відповідними значеннями показників базових зразків, прийнятих за еталон. Узагальнений коефіцієнт технічної досконалості K_{TD} зразків озброєння і техніки усіх типів певного підрозділу ЦЗ обчислюються через коефіцієнти технічної досконалості K_{TD_i} зразків озброєння і техніки i -го типу наступним чином:

$$K_{TD} = \sum_{i=1}^k N_{НАЯВН_i} \cdot K_{TD_i} / N_{НАЯВН}, \quad (15)$$

де $N_{НАЯВН}$ – наявна кількість озброєння і техніки підрозділу ЦЗ;

$N_{НАЯВН_i}$ – наявна кількість зразків озброєння та техніки i -го типу у даного підрозділу ЦЗ;

K_{TD_i} – коефіцієнт технічної досконалості зразків озброєння та техніки i -го типу;

k – кількість різних типів озброєння і техніки підрозділу цивільного захисту.

Узагальнений експлуатаційний коефіцієнт усіх зразків озброєння та техніки підрозділу ЦЗ визначається укомплектованістю, технічною готовністю та запасом ресурсу озброєння та техніки підрозділу:

$$K_E = K_{YK} \cdot K_{TT} \cdot K_{PEC}. \quad (16)$$

Ймовірність готовності підрозділу ЦЗ до реагування та ліквідації НС в момент часу t визначається ймовірністю працездатності необхідної кількості зразків озброєння і техніки на момент виникнення НС, ймовірністю професійної підготовленості особового складу підрозділу до дій у НС та наявності ресурсу i -го виду для ліквідації НС. У загальному випадку ймовірність готовності підрозділу ЦЗ до виконання завдань за призначенням визначається наступним чином:

$$P(t) = P_T \cdot R^{нидп}(t_p) \cdot P_{OC}(t) \cdot P_{ПП}(t), \quad (17)$$

де P_T – ймовірність укомплектованості підрозділу технікою;

$R^{нидп}(t_p)$ – ймовірність готовності достатньої кількості техніки підрозділу, яка необхідна для ліквідації НС в момент її виникнення, і її безвідмовності протягом часу виконання робіт із ліквідації НС;

t_p – час виконання робіт із ліквідації НС;

$P_{ПП}(t)$ – ймовірність професійної підготовленості особового складу підрозділу до дій у НС на момент її виникнення;

$P_{OC}(t)$ – ймовірність укомплектованості підрозділу особовим складом на момент виникнення надзвичайних ситуацій.

Відповідно до моделі (2) чисельність сертифікованих сил ЦЗ в i -му регіоні держави має відповідати рівню техногенних, природних та соціальних загроз на цій території:

$$S_i^{ЦЗ} = k_{Z_i} \cdot S_{типов.}^{ЦЗ}, \quad (18)$$

де $S_{типов.}^{ЦЗ}$ – чисельність типової територіальної структури ЦЗ;

k_{Z_i} – коефіцієнт інтенсивності НС в i -му регіоні держави.

Загальні прогнози витрати коштів на ліквідацію наслідків НС відповідно до (2) є сумою витрат коштів на ліквідацію НС техногенного, природного та соціального характеру:

$$BT(t_{np}) = BT_{ТХ}(t_{np}) + BT_{ПХ}(t_{np}), \quad (19)$$

де $BT(t_{np})$ – загальні прогнози витрати коштів;

$BT_{ТХ}(t_{np})$ – прогнози витрати коштів на ліквідацію НС техногенного характеру;

$BT_{ПХ}(t_{np})$ – прогнози витрати коштів на ліквідацію НС природного характеру;

$BT_{CX}(t_{np})$ – прогнози витрати коштів на ліквідацію надзвичайних ситуацій соціального характеру.

Витрати коштів на ліквідацію НС соціального характеру зазвичай незначні порівняно з НС техногенного та природного характеру. Тому ними можна знехтувати.

Вибіркова регресійна модель витрат коштів

на ліквідацію НС техногенного характеру має вигляд [21]:

$$BT_{TX}(t_{np}) = \beta_0 \beta_1^{n_{TX}(t_{np})} \beta_2^{Q_1} \beta_3^{Q_2} \beta_4^{Q_3} t_{np}, \quad (20)$$

де Q_1, Q_2, Q_3 – фіктивні змінні (дорівнюють 0 або 1 та визначаються на основі аналізу статистичних даних);

$\beta_0, \beta_1, \beta_2, \beta_3, \beta_4$ – параметри моделі.

Вибіркову регресійну модель витрат коштів на ліквідацію НС природного характеру доцільно вибрати у вигляді степеневі функції вигляду:

$$BT_{PX}(t_{np}) = a \cdot [n_{PX}(t_{np})]^{a_1}, \quad (21)$$

де a і a_1 – параметри моделі.

Ефективність проведення операцій щодо ліквідації наслідків НС залежить як від технічного забезпечення виконання необхідних рятувально-пошукових і інших робіт при ліквідації наслідків НС, так і від кількості задіяного особового складу.

Відповідно до (2) вибіркову регресійну модель щодо прогнозу технічного забезпечення для ліквідації НС доцільно вибрати у вигляді степеневі функції

$$T(t_{np}) = \gamma_0 \cdot [n(t_{np})]^{\gamma_1} \cdot [n_{TX}(t_{np})]^{\gamma_2} \times [n_{PX}(t_{np})]^{\gamma_3} \cdot [n_{CX}(t_{np})]^{\gamma_4}, \quad (22)$$

де $T(t_{np})$ – прогнозна кількість одиниць техніки для ліквідації НС;

$\gamma_0, \gamma_1, \gamma_2, \gamma_3, \gamma_4$ – параметри моделі.

Вибіркова регресійна модель прогнозу необхідної кількості особового складу для ліквідації НС подібна до моделі (22) і має вигляд:

$$OC(t_{np}) = \lambda_0 \cdot [n(t_{np})]^{\lambda_1} \cdot [n_{TX}(t_{np})]^{\lambda_2} \times [n_{PX}(t_{np})]^{\lambda_3} \cdot [n_{CX}(t_{np})]^{\lambda_4}, \quad (23)$$

де $OC(t_{np})$ – прогнозна кількість задіяного особового складу для ліквідації НС;

$\lambda_0, \lambda_1, \lambda_2, \lambda_3, \lambda_4$ – параметри моделі.

Таким чином, запропоновано ОТМ сумісного прогнозування та забезпечення готовності реагування на НС. Метод базується на формалізованій математичній моделі, яка є об'єднанням двох взаємозв'язаних моделей: моделі прогнозування НС та наслідків від них; моделі забезпечення готовності реагування на НС. Запропонований метод реалізує принцип системного підходу до вирішення проблеми попередження НС з метою недопущення їх виникнення або мінімізації можливих наслідків.

Розробка керуючого алгоритму реалізації організаційно-технічного методу сумісного прогнозування та забезпечення готовності реагування на надзвичайні ситуації. Керуючий алгоритм, який реалізує ОТМ сумісного прогнозування та забезпечення готовності реагування на НС, наведений на рис. 1. Даний

алгоритм є системним об'єднанням алгоритму прогнозування надзвичайних ситуацій та їх наслідків [19] та алгоритму забезпечення готовності реагування підрозділів цивільного захисту на надзвичайні ситуації [20]. Розроблений алгоритм складається із 15 блоків, які розміщені на 5 ієрархічних рівнях. Перший рівень складають блок збору та обробки статистичної інформації про НС за деякий період моніторингу; блок збору та обробки інформації про укомплектованість підрозділів ЦЗ озброєнням і технікою, технічний стан, тактико-технічні та експлуатаційні характеристики; блок збору інформації про укомплектованість підрозділів ЦЗ особовим складом та їх рівень професійної підготовки.

На другому рівні розміщені блок аналізу інформації про НС в цілому, за характером, видами, рівнями в державі та її регіонах; блок аналізу інформації про укомплектованість підрозділів ЦЗ озброєнням і технікою, технічний стан, тактико-технічні та експлуатаційні характеристики; блок аналізу інформації про укомплектованість підрозділів ЦЗ особовим складом та їх рівень професійної підготовки.

На третьому рівні розміщені блок прогнозування процесів виникнення НС в цілому, за характером, рівнями, видами в державі та її регіонах; блок оцінки потенційної технічної спроможності підрозділів ЦЗ до дій при НС; блок оцінки укомплектованості та професійної підготовленості особового складу підрозділів ЦЗ.

На четвертому рівні розміщені блок прогнозування можливих збитків внаслідок НС; блок оцінки готовності підрозділів ЦЗ щодо реагування та ліквідації наслідків НС, матеріально-технічного, фінансового та людського забезпечення; блок оптимізації територіальних структур ЦЗ з врахуванням стану техногенно-природної небезпеки регіонів.

П'ятий рівень складають блок формування рішення щодо дій підрозділів ЦЗ за призначенням, блок реалізації дій підрозділів ЦЗ за призначенням та блок оцінки ефективності і коригування рішень на основі аналізу дій підрозділів ЦЗ.

Таким чином, керуючий алгоритм ОТМ сумісного прогнозування та забезпечення готовності реагування на НС реалізує розроблену математичну модель та складається із 15 блоків, які розміщені на 5 ієрархічних рівнях і зв'язані прямими та зворотними зв'язками.

Результати дослідження ефективності застосування організаційно-технічного методу сумісного прогнозування та забезпечення готовності реагування на надзвичайні ситуації та їх обговорення. Особливості застосування ОТМ сумісного прогнозування та забезпечення готовності реагування на НС у різних країнах будуть визначатися наступними чинниками:

- наявністю та достовірністю статистичних даних про НС;
- регіональною структурою держави;
- специфікою класифікації надзвичайних ситуацій за видами та рівнями;
- структурою сил цивільного захисту;

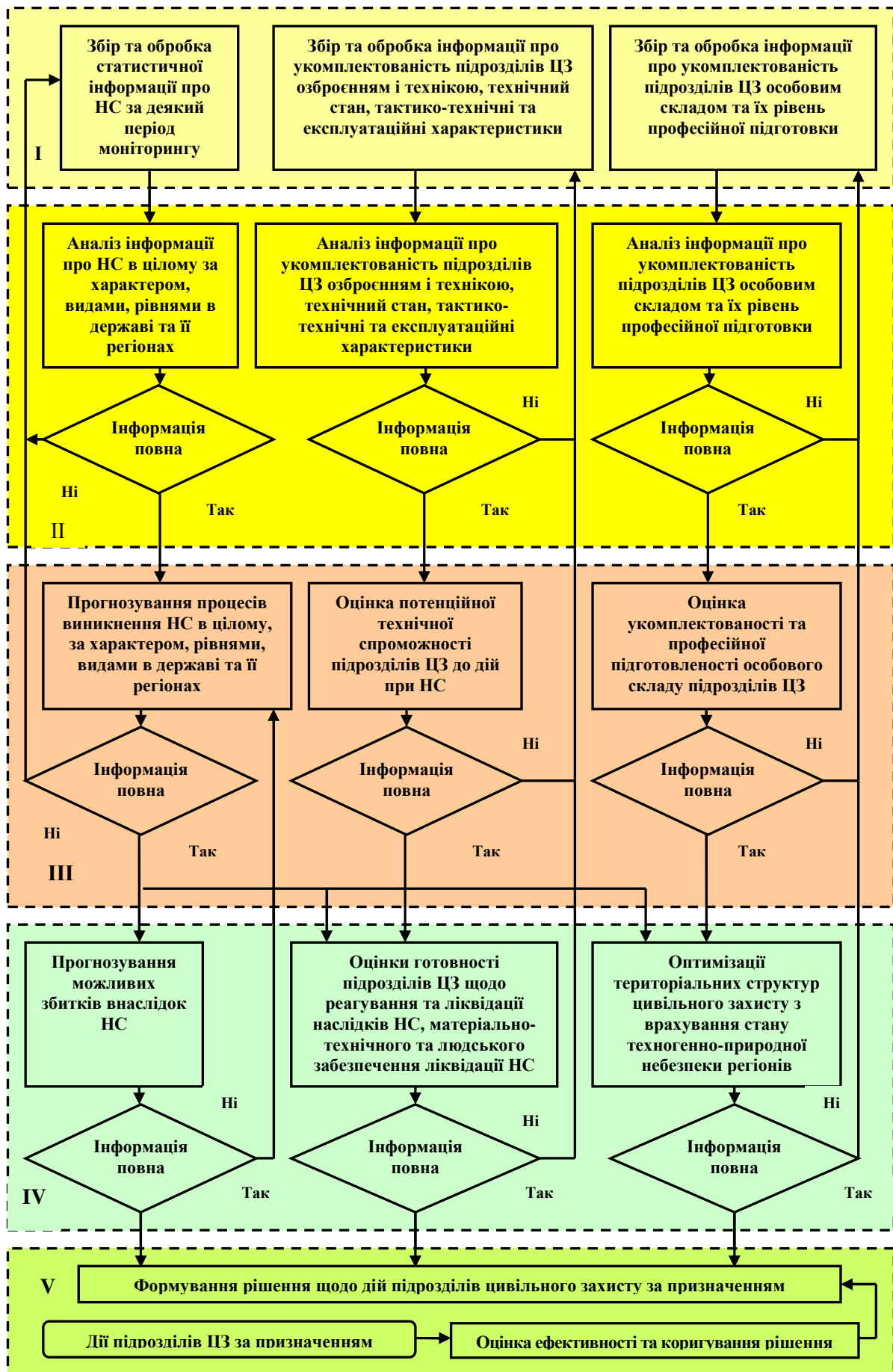


Рисунок 1 – Керуючий алгоритм реалізації ОТМ методу сумісного прогнозування та забезпечення готовності реагування на НС

– наявністю та достовірністю інформації про укомплектованість підрозділів ЦЗ технікою і озброєнням, тактико-технічні та експлуатаційні характеристики;

– наявністю та достовірністю інформації про укомплектованість підрозділів ЦЗ особовим складом та їх рівень професійної підготовки.

На основі статистичних даних про НС [23,24] проведене дослідження ефективності застосування ОТМ на прикладі України, виходячи з наступних причин:

– на відміну від інших країн, для України відомі в повному обсязі узагальнені коректні статистичні дані про НС в цілому, за видами, рівнями та характером походження;

– для надзвичайних ситуацій відомі ознаки класифікації їх за видами та рівнями;

– відома структура, чисельність, технічне

забезпечення сил цивільного захисту, рівень професійної підготовленості особового складу.

Як критерій ефективності оберемо модуль відносної похибки прогнозу, який розраховується на основі попередніх статистичних даних наступним чином:

$$|\Delta| = \left(\sum_{i=1}^n |\Delta_i| \right) / n, \quad (24)$$

де $|\Delta|$ – модуль середньої відносної похибки прогнозу;

$|\Delta_i|$ – модуль відносної похибки i -го кроку прогнозу;

n – кількість статистичних даних.

Порівняльні дані прогнозних та фактичних значень кількості НС та збитків внаслідок них наведені в табл. 1.

Таблиця 1 – Порівняння прогнозних та фактичних значень кількості НС та збитків внаслідок них за період 2013–2020 роки

Параметр		Рік							
		2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
Кількість НС техногенного характеру	Фактична кількість	75	74	63	56	50	48	60	47
	Оптимістичний прогноз	74	67	59	54	49	46	55	47
	Песимістичний прогноз	86	79	67	62	62	50	64	57
Кількість НС природного характеру	Фактична кількість	56	59	77	89	107	77	81	64
	Оптимістичний прогноз	51	48	62	83	97	76	77	64
	Песимістичний прогноз	58	59	78	97	108	81	87	72
Кількість НС соціального характеру	Фактична кількість	12	10	8	4	9	3	5	5
	Оптимістичний прогноз	11	9	7	4	8	3	4	5
	Песимістичний прогноз	15	13	9	6	11	5	5	5
Кількість НС державного рівня	Фактична кількість	1	5	2	1	2	2	2	6
	Оптимістичний прогноз	1	4	1	1	1	1	1	4
	Песимістичний прогноз	2	5	2	2	2	2	2	6
Кількість НС регіонального рівня	Фактична кількість	11	9	9	9	8	6	7	4
	Оптимістичний прогноз	10	8	8	8	7	5	6	4
	Песимістичний прогноз	12	10	9	9	9	7	8	6
Кількість НС місцевого рівня	Фактична кількість	58	59	62	64	70	64	63	50
	Оптимістичний прогноз	55	52	54	56	63	63	63	51
	Песимістичний прогноз	64	62	64	67	72	65	65	57
Кількість НС об'єктового рівня	Фактична кількість	73	70	75	75	86	56	74	56
	Оптимістичний прогноз	70	62	65	66	79	55	68	56
	Песимістичний прогноз	81	74	77	78	89	58	79	60
Збитки внаслідок НС (млн. грн.)	Фактична кількість	396,3	198,7	532,7	265,3	896,8	516,4	1626,7	9916,6
	Оптимістичний прогноз	390	150	450	220	800	452	1529	9200
	Песимістичний прогноз	450	210	536	270	900	518	1725	10600

У результаті експериментальних досліджень встановлено, що ОТМ дає можливість здійснювати прогноз НС в цілому, за видами та рівнями як у державі, так і її регіонах. При цьому середня відносна похибка прогнозу не перевищує 8 %. Середня відносна похибка прогнозу можливих завданих збитків внаслідок НС складає

6,2 %.

Відповідно до виразу (13) проведено порівняльний аналіз потенційних можливостей двох реальних підрозділів Державної служби надзвичайних ситуацій (ДСНС) України, зокрема 6 державна пожежно-рятувальна частина (ДПРЧ) Холодногірського району м. Харкова та 32 ДПРЧ

Шевченківського району м. Харкова Головного Управління ДСНС України в Харківській області.

Укомплектованість підрозділів озброєнням і технікою наведена у табл. 2.

Результати досліджень потенційної технічної спроможності підрозділів, які наведені вище, наведені у табл. 3. Аналіз отриманих результатів досліджень (див. табл. 3) показало що відносна

перевага потенціальних можливостях 32 ДПРЧ над 6 ДПРЧ складає 18,3% та визначається як комплектацією та станом озброєння (техніки), так і їх експлуатаційними та тактико-технічними характеристиками.

Це визначає відносну перевагу потенційних можливостей одного підрозділу порівняно з іншим.

Таблиця 2 – Укомплектованість підрозділів озброєнням і технікою

Підрозділ	Тип озброєння та техніки	Кількість		Рік випуску
		штатна	фактична	
6-ДПРЧ Холодногірського району м. Харків ГУ ДСНС України в Харківській області	Пожежний автомобіль АЦ-40(131)-137	1	1	1987
	Пожежний автомобіль АЦ-4-60-(5309)-505М	1	1	2017
	Пожежний автомобіль АЦ-40(130)-63Б	2	2	1995
	Пожежна авто драбина АД-30(131)-Л21	2	2	1993, 1995
	Спеціальна аварійно-рятувальна машина САРМ-Л	1	1	2018
32-ДПРЧ Шевченківського району м. Харків ГУ ДСНС України в Харківській області	Пожежний автомобіль АЦ-40(131)-137	1	1	1999
	Пожежний автомобіль АЦ-4-60-(5309)-505М	1	1	2017
	Пожежний автомобіль АЦ-40(130)-63Б	2	2	1995
	Пожежна авто драбина АД-30(131)-Л21	2	2	1995
	Спеціальна аварійно-рятувальна машина САРМ-Л	1	1	2018
	Димосос ДП-7Е	1	1	2010
Пожежний авто підймач АКП -30	1	1	2012	

Таблиця 3 – Результати досліджень потенційної технічної спроможності підрозділів

№ з/п	Підрозділ	Потенціальна технічна спроможність
1	6-ДПРЧ ГУ ДСНС України в Харківській області м. Харків Холодногірський район	0,543901
2	32-ДПРЧ ГУ ДСНС України в Харківській області м. Харків Шевченківський район	0,643423

На основі прогнозних даних про НС у відповідності з розробленим ОТМ здійснюється прогноз витрат коштів на ліквідацію надзвичайних ситуацій, кількості задіяної техніки та особового складу для ліквідації НС, а також оптимізація територіальних структур цивільного захисту в кожному регіоні держави.

Відносні похибки прогнозу матеріально-технічного забезпечення та кількості задіяного особового складу для ліквідації НС наведені в табл. 4. Аналіз одержаних результатів (див. табл. 4) показує, що середня відносна похибка прогнозу (23) витрат коштів на ліквідацію НС складає 4,2%, задіяної техніки для ліквідації НС – 4,7%, кількості задіяного особового складу для ліквідації НС – 3,7%.

Відповідно до виразу (17) проведемо розрахунки щодо оптимізації територіальних структур ЦЗ, зокрема, ДСНС України з урахуванням потенційних загроз на цій території.

Результати розрахунків чисельність сертифікованих структур ДСНС в *i*-му регіоні країни по відношенню до загальної чисельності підрозділів ДСНС України наведені в табл. 5.

Аналіз отриманих результатів (табл. 5), показав що чисельність сертифікованих структур ДСНС в кожному регіоні визначається потенційним станом техногенно-природної загрози на цих територіях.

Таким чином, отримані результати підтверджують перспективність застосування системного підходу до вирішення проблеми попередження НС шляхом сумісного прогнозування та забезпечення готовності реагування на НС.

Розроблений ОТМ дає можливість обґрунтовано підходити до планування та проведення організаційно-технічних заходів щодо запобігання НС із урахуванням потенційних загроз територіям та населенню регіонів держави.

Деякі складності і обмеження дослідження ефективності застосування ОТМ можуть бути викликані недостатнім обсягом або некоректністю достовірних статистичних даних про НС в державі та її регіонах, недостатнім обсягом інформації про організаційну структуру сил ЦЗ, укомплектованість підрозділів ЦЗ технікою і озброєнням та особовим складом.

Подальший розвиток запропонованого ОТМ має бути спрямованим на дослідження впливу різноманітних дестабілізуючих факторів як окремо, так і в їх сукупності, на процеси виникнення та розвитку НС у різних регіонах держави, а також взаємодію та координацію дій різних підрозділів ЦЗ при реагуванні та ліквідації наслідків НС.

Таблиця 4 – Відносні похибки прогнозу матеріально-технічного забезпечення та кількості особового складу для ліквідації НС

Параметр	Рік							
	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
Відносна похибка прогнозу витрат коштів на ліквідацію НС (%)	3	4	4	5	3	4	6	4
Відносна похибка прогнозу задіяної техніки на ліквідацію НС (%)	4	5	5	6	4	5	3	5
Відносна похибка прогнозу кількості задіяного особового складу на ліквідацію НС (%)	2	3	4	4	3	5	4	4

Таблиця 5 – Результати розрахунків чисельності сертифікованих структур ДСНС

№ з/п	Регіон України	Чисельність сертифікованих сил ДСНС в <i>i</i> -му регіоні
1	АРК	$0,05 \cdot S_{\text{Загал}}^{\text{ДСНС}}$
2	Вінницька область	$0,03 \cdot S_{\text{Загал}}^{\text{ДСНС}}$
3	Волинська область	$0,01 \cdot S_{\text{Загал}}^{\text{ДСНС}}$
4	Дніпропетровська область	$0,07 \cdot S_{\text{Загал}}^{\text{ДСНС}}$
5	Донецька область	$0,24 \cdot S_{\text{Загал}}^{\text{ДСНС}}$
6	Житомирська область	$0,02 \cdot S_{\text{Загал}}^{\text{ДСНС}}$
7	Закарпатська область	$0,03 \cdot S_{\text{Загал}}^{\text{ДСНС}}$
8	Запорізька область	$0,04 \cdot S_{\text{Загал}}^{\text{ДСНС}}$
9	Івано-Франківська область	$0,04 \cdot S_{\text{Загал}}^{\text{ДСНС}}$
10	Київська область	$0,06 \cdot S_{\text{Загал}}^{\text{ДСНС}}$
11	Кіровоградська область	$0,01 \cdot S_{\text{Загал}}^{\text{ДСНС}}$
12	Луганська область	$0,07 \cdot S_{\text{Загал}}^{\text{ДСНС}}$
13	Львівська область	$0,08 \cdot S_{\text{Загал}}^{\text{ДСНС}}$
14	Миколаївська область	$0,03 \cdot S_{\text{Загал}}^{\text{ДСНС}}$
15	Одеська область	$0,04 \cdot S_{\text{Загал}}^{\text{ДСНС}}$
16	Полтавська область	$0,01 \cdot S_{\text{Загал}}^{\text{ДСНС}}$
17	Рівненська область	$0,02 \cdot S_{\text{Загал}}^{\text{ДСНС}}$
18	Сумська область	$0,01 \cdot S_{\text{Загал}}^{\text{ДСНС}}$
19	Тернопільська область	$0,02 \cdot S_{\text{Загал}}^{\text{ДСНС}}$
20	Харківська область	$0,05 \cdot S_{\text{Загал}}^{\text{ДСНС}}$
21	Херсонська область	$0,02 \cdot S_{\text{Загал}}^{\text{ДСНС}}$
22	Хмельницька область	$0,02 \cdot S_{\text{Загал}}^{\text{ДСНС}}$
23	Черкаська область	$0,02 \cdot S_{\text{Загал}}^{\text{ДСНС}}$
24	Чернівецька область	$0,03 \cdot S_{\text{Загал}}^{\text{ДСНС}}$
25	Чернігівська область	$0,02 \cdot S_{\text{Загал}}^{\text{ДСНС}}$

Висновки

1. Розроблено ОТМ сумісного прогнозування та забезпечення готовності реагування на НС. Метод базується на формалізованій математичній моделі

сумісного прогнозування та забезпечення готовності реагування на НС, яка об'єднує моделі прогнозування НС та наслідків внаслідок них і моделі забезпечення готовності реагування на НС. Це дає можливість здійснювати прогнозування НС у цілому, за видами, рівнями та можливих збитків внаслідок них як у масштабах держави, так і кожного регіону. Ці дані є основою для прогнозування технічного, матеріального та людського забезпечення для ліквідації наслідків НС. Метод реалізує принцип системного підходу до вирішення проблеми попередження, всебічного прогнозування процесів виникнення надзвичайних ситуацій як у державі, так і її регіонах.

Запропонований метод реалізує принцип системного підходу до вирішення проблеми попередження надзвичайних ситуацій із метою недопущення їх виникнення або мінімізації можливих наслідків.

Це дає можливість обґрунтовано підходити до планування та проведення організаційно-технічних заходів щодо запобігання НС з урахуванням потенційних загроз територіям та населенню регіонів держави.

2. Розроблено керуючий алгоритм, який реалізує ОТМ сумісного прогнозування та забезпечення готовності реагування на НС. Його використання передбачає виконання низки взаємозв'язаних процедур. На першому етапі проводиться збір, обробка та аналіз інформації про НС в державі за деякий період моніторингу; збір, обробка та аналіз інформації про укомплектованість підрозділів ЦЗ озброєнням і технікою, технічний стан, ТТХ та експлуатаційні характеристики; збір, обробка та аналіз інформації про укомплектованість підрозділів ЦЗ особовим складом та їх рівень професійної підготовки. Це є підставою для прогнозування процесів виникнення НС та забезпечення готовності реагування підрозділів ЦЗ на можливі загрози. Отримана інформація враховується при обґрунтуванні та формуванні рішення щодо дій підрозділів ЦЗ із метою адекватного реагування на НС та ліквідації їх наслідків. На основі аналізу ефективності дій підрозділів реагування здійснюється корегування рішень щодо ліквідації НС.

Алгоритм складається з 15 блоків, які розміщені на 5 ієрархічних рівнях і зв'язані прямими та зворотними логічними зв'язками.

3. Результати експериментальних досліджень засвідчили, що застосування ОТМ дає можливість

здійснювати прогноз НС у цілому, за видами та рівнями як у державі, так і її регіонах. При цьому середня відносна похибка прогнозу не перевищує 8 %. Середня відносна похибка прогнозу можливих завданих збитків внаслідок надзвичайних ситуацій складає 6,2 %.

Потенційна технічна спроможність підрозділів ЦЗ до дій при НС визначається як комплектацією та станом озброєння (техніки), так і їх експлуатаційними та тактико-технічними характеристиками.

Результати дослідження показали, що середня відносна похибка прогнозу витрат коштів на ліквідацію НС складає 4,2%, задіяної техніки для ліквідації НС – 4,7%, кількості задіяного особового складу для ліквідації НС – 3,7%.

У результаті досліджень встановлено, що чисельність сертифікованих структур ДСНС у кожному регіоні визначається потенційним станом техногенно-природної загрози на цих територіях.

Список літератури

- Wang-Kun, Chen. Managing emergency response of air pollution by the expert system. *Air pollution – a comprehensive perspective*. 2012. P. 319–336. Available at: <https://doi.org/10.5772/50080>
- Guskova, N. D., Neretina, E. A. Threats of natural character, factors affecting sustainable development of territories and their prevention. *Journal of the Geographical Institute "Jovan Cvijic", SASA*. 2013. № 63(3). P. 227–237. Available at: <https://doi.org/10.2298/ijgi1303227g>
- Rybalova, O., Artemiev, S., Sarapina, M., Tsymbal, B., Bakhareva, A., Shestopalov, O., Filenko, O. (). Development of methods for estimating the environmental risk of degradation of the surface water state. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 2018. № 2(10 (92)). P. 4–17. Available at: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2018.127829>
- Ministry of health care Singapore Pandemic Influenza Pandemic response plan project. 2019. URL: http://www.fao.org/docs/eims/upload/221490/national_plan_ai_sin_en.pdf. (дата звернення: 01.10.2021).
- Nivolianitou Z., Synodinou B. A Towards emergency management of natural disasters and critical accidents: The Greek experience. *Journal of Environmental Management*. 2011. №. 92, Issue. 10. P. 2657–2665. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2011.06.003>.
- Новоселов С.В., Панихидников С.А. Проблемы прогнозирования количества чрезвычайных ситуаций статистическими методами. *Горный информационно-аналитический бюллетень*. 2017. № 10. С. 60–71.
- Deng, S. C., Wu, Q., Shi, B., Chen, X. Q., Chu, X. M. Prediction of Resource for Responding Waterway Transportation Emergency Based on Case-Based Reasoning. *China Safety Science Journal*. 2014. № 24(3). P. 79–84.
- Vasiliev, M. I., Movchan, I. O., Koval, O. M. Diminishing of ecological risk via optimization of fire-extinguishing system projects in timber-yards. *Scientific Bulletin of National mining university*. 2014. № 5. P. 106–113. URL: <http://www.nvngu.in.ua/index.php/en/home/985-engcat/archive/2014/contents-no-5-2014/environmental-safety-labour-protection/2797-diminishing-of-ecological-risk-via-optimization-of-fire-extinguishing-system-projects-in-timber-yards>. (дата звернення: 21.10.2021).
- Sun, B. Z., Ma, W. M., Zhao, H. Y. (). A Fuzzy Rough Set Approach to Emergency Material Demand Prediction over Two Universes. *Applied Mathematical Modelling*. 2013. № 37. P. 7062–7070. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.apm.2013.02.008>
- 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. № 173. P. 3–14. URL: <https://doi.org/10.1051/epjconf/201817303014>. (дата звернення: 15.12.2021).
- Evangeliou, N., Balkanski, Y., Cozic, A. et al. Fire evolution in the radioactive forests of Ukraine and Belarus: future risks for the population and the environment. *Ecological Monographs*. 2015. № 85(1). P. 49–72. URL: <https://esajournals.onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1890/14-1227.1>. (дата звернення: 29.10.2021).
- Неклонський І.М., Самарін В.О., Харламов В.В. Спектральний підхід до оцінювання готовності аварійно-рятувальних підрозділів до дій за призначенням. *Проблеми надзвичайних ситуацій*. Харків: НУЦЗУ. 2016. № 23. С. 113–120.
- Самарин В.А., Сокол Я.С. Модель готовности спасательных систем, использующих техническое оснащение для проведения аварийно-спасательных работ. *Проблеми надзвичайних ситуацій*. Харків: НУЦЗУ. 2015. № 21. С. 76–82.
- Самарин В.О., Неклонський І.М., Соколов Д.Л. Модель готовности складових рятувальних сил до дій за призначенням. *Проблеми надзвичайних ситуацій*. Харків: НУЦЗУ. 2015. № 22. С. 113–118.
- Tiutiunyk V.V., Ivanets H.V., Tolkunov I.A., Stetsyuk E.I. System approach for readiness assessment units of civil defense to actions at emergency situations. *Scientific Bulletin of National Mining University*. 2018. №. 1, Issue 1 (163). P. 99–105.
- Власов К.С., Денисов А.Н. Методика анализа показателей оперативного реагирования пожарно-спасательных подразделений. *Технология техногенной безопасности*. 2016. № 3(67). С. 207–213.
- Lee, Yohan, Byungdo Lee, and Kyung Ha Kim. Optimal spatial allocation of initial attack resources for firefighting in the republic of Korea using a scenario optimization model. *Journal of Mountain Science*. 2014. № 11.2. P. 323–335.
- Рогозин А.С., Пирогов О.В., Яровий С.А. Оптимізація розподілу сил цивільного захисту по регіонах України. *Проблеми надзвичайних ситуацій*. Харків: НУЦЗУ. 2016. № 23. С. 134–140.
- Hryhorii Ivanets, Stanislav Horielyshev, Martin Sagradian, Mykhailo Ivanets and etc. Development of organizational and technical methods for predicting emergency situations and possible losses as their results. *EUREKA: Physics and Engineering*, 2021. № 5(36), С. 121–132, <https://doi.org/10.21303/2461-4262.2021.002007>.
- Іванець Г.В., Іванець М.Г., Горелишев С.А., Баулін Д.С., Башкатов Є.Г. Формалізована математична модель забезпечення готовності реагування на надзвичайні ситуації. *Вісник Національного технічного університету «ХПІ». Серія: Машинознавство та САІР*, 2020. №2. С. 50–57. <https://doi.org/10.20998/2079-0775.2020.2.06>.
- Іванець Г.В., Іванець М.Г. Алгоритм підвищення точності прогнозування процесу виникнення надзвичайних ситуацій на основі регресійних моделей. *Наука і техніка Повітряних Сил Збройних Сил України*. 2019. № 1 (34). С. 117–122. Available at: <https://doi.org/10.30748/ntps.2019.34.16>.
- Ivanets, H., Horielyshev, S., Ivanets, M., Baulin, D., Tolkunov, I., Gleizer, N., Nakonechnyi, A. Development of combined method for predicting the process of the occurrence of emergencies of natural character. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 2018. № 5(10(95)). P. 48–55. Available at: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2018.143045>.
- Звіт про основні результати діяльності Державної служби України з надзвичайних ситуацій у 2019 році*. URL: [http://www.dsns.gov.ua/files/2020/1/26/Zvit%202019\(KMY\).pdf](http://www.dsns.gov.ua/files/2020/1/26/Zvit%202019(KMY).pdf) (дата звернення: 27.11.2021).
- Звіт про основні результати діяльності Державної служби України з надзвичайних ситуацій у 2020 році*. URL: [http://www.dsns.gov.ua/files/2021/1/26/Zvit%202020\(KMY\).pdf](http://www.dsns.gov.ua/files/2021/1/26/Zvit%202020(KMY).pdf) (дата звернення: 03.12.2021).

References (transliterated)

- Wang-Kun, Chen. Managing emergency response of air pollution by the expert system. *Air pollution – a comprehensive perspective*. 2012, pp. 319–336. Available at: <https://doi.org/10.5772/50080>
- Guskova, N. D., Neretina, E. A. Threats of natural character, factors affecting sustainable development of territories and their prevention. *Journal of the Geographical Institute «Jovan Cvijic», SASA*. 2013, no. 63(3), pp. 227–237. Available at: <https://doi.org/10.2298/ijgi1303227g>
- Rybalova, O., Artemiev, S., Sarapina, M., Tsymbal, B., Bakhareva, A., Shestopalov, O., Filenko, O. (). Development of methods for estimating the environmental risk of degradation of the surface water state. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 2018, no. 2(10 (92)), pp. 4–17. Available at: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2018.127829>
- Ministry of health care Singapore Pandemic Influenza Pandemic response plan project. 2019. [Electronic resource]. – Access mode: http://www.fao.org/docs/eims/upload/221490/national_

- plan_ai_sin_en.pdf.
5. Nivolianitou Z., Synodinou B. A Towards emergency management of natural disasters and critical accidents: The Greek experience. *Journal of Environmental Management*. 2011, no. 92, iss. 10, pp. 2657–2665. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2011.06.003>.
 6. Novoselov S.V., Panikhidnikov S.A. Problemy prognozirovaniya kolichestva chrezvychaynykh situatsiy statisticheskimi metodami. *Gornyy informatsionno-analiticheskyy byulleten'*. 2017, no. 10, pp. 60–71.
 7. Deng, S. C., Wu, Q., Shi, B., Chen, X. Q., Chu, X. M. Prediction of Resource for Responding Waterway Transportation Emergency Based on Case-Based Reasoning. *China Safety Science Journal*. 2014, no. 24(3), pp. 79–84.
 8. Vasiliev, M. I., Movchan, I. O., Koval, O. M. Diminishing of ecological risk via optimization of fire-extinguishing system projects in timber-yards. *Scientific Bulletin of National mining university*. 2014, no. 5, pp. 106–113. [Electronic resource]. – Access mode: <http://www.nvngu.in.ua/index.php/en/home/985-engcat/archive/2014/contents-no-5-2014/environmental-safety-labour-protection/2797-diminishing-of-ecological-risk-via-optimization-of-fire-extinguishing-system-projects-in-timber-yards>.
 9. Sun, B. Z., Ma, W. M., Zhao, H. Y. () A Fuzzy Rough Set Approach to Emergency Material Demand Prediction over Two Universes. *Applied Mathematical Modelling*. 2013, no. 37, pp. 7062–7070. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.apm.2013.02.008>
 10. 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, no. 173, pp. 3–14. Available at: <https://doi.org/10.1051/epjconf/201817303014>.
 11. Evangeliou, N., Balkanski, Y., Cozic, A. et al. Fire evolution in the radioactive forests of Ukraine and Belarus: future risks for the population and the environment. *Ecological Monographs*. 2015, no. 85(1), pp. 49–72. [Electronic resource]. – Access mode: URL: <https://esajournals.onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1890/14-1227.1>
 12. Neklons'kyi I.M., Samarin V.O., Kharlamov V.V. Spektral'nyy pidkhdid do otsinyuvannya hotovnosti avariyno-ryatuval'nykh pidrozdiliv do diy za pryznachennyam. *Problemy nadzvychaynykh sytuatsiy*. Kharkiv: NUTSZU, 2016, no. 23, pp. 113–120.
 13. Samarin V.A., Sokol Y.A.S. Model' gotovnosti spasatel'nykh sistem, ispol'zuyushchikh tekhnicheskoye osnashcheniye dlya provedeniya avariyno-spasatel'nykh rabot. *Problemy nadzvichaynykh situatsiy* Kharkiv: NUTSZU, 2015, no. 21, pp. 76–82.
 14. Samarin V.O., Neklons'kyi I.M., Sokolov D.L. Model' hotovnosti skladovykh ryatuval'nykh syl do diy za pryznachennyam. *Problemy nadzvychaynykh sytuatsiy*. Kharkiv: NUTSZU, 2015, no. 22, pp. 113–118.
 15. Tiutiunyk V.V., Ivanets H.V., Tolkunov I.A., Stetsyuk E.I. System approach for readiness assessment units of civil defense to actions at emergency situations. *Scientific Bulletin of National Mining University*. 2018, no. 1, iss. 1 (163), pp. 99–105.
 16. Vlasov K.S., Denisov A.N. Metodika analiza pokazatelye operativnogo reagirovaniya pozhamo-spasatel'nykh podrazdeleniy. *Tekhnologiya tekhnogennoy bezopasnosti*. 2016, no. 3(67), pp. 207–213.
 17. Lee, Yohan, Byungdoo Lee, and Kyung Ha Kim. Optimal spatial allocation of initial attack resources for firefighting in the republic of Korea using a scenario optimization model. *Journal of Mountain Science*. 2014, no. 11.2, pp. 323–335.
 18. Rohozin A.S., Pyrohov O.V., Yarovyv YE.A. Optyimizatsiya rozpodilu syl tsyvil'noho zakhystu po rehionakh Ukrainy. *Problemy nadzvychaynykh sytuatsiy*. Kharkiv: NUTSZU. 2016, no. 23, pp. 134–140.
 19. Hryhorii Ivanets, Stanislav Horielyshev, Martin Sagradian, Mykhailo Ivanets and etc. Development of organizational and technical methods for predicting emergency situations and possible losses as their results. *EUREKA: Physics and Engineering*, 2021, no. 5(36), pp. 121–132. Available at: <https://doi.org/10.21303/2461-4262.2021.002007>.
 20. Ivanets' H.V., Ivanets' M.H., Horyelyshev S.A., Baulin D.S., Bashkatov YE.H. Formalizovana matematychna model' zabezpechennya hotovnosti reahuvannya na nadzvychayni sytuatsiyi. *Visnyk Natsional'noho tekhnichnoho universytetu «KHPI». Seriya: Mashynoznavstvo ta SAPR*, 2020, no. 2, pp. 50–57. Available at: <https://doi.org/10.20998/2079-0775.2020.2.06>.
 21. Ivanets' H. V., Ivanets' M. H. Alhorytm pidvyshchennya tochnosti prohnozuvannya protsesu vynyknennya nadzvychaynykh sytuatsiy na osnovi rehresiynykh modeley. *Nauka i tekhnika Povitryanykh Syl Zbroynykh Syl Ukrainy*. 2019, no. 1 (34), pp. 117–122. Available at: <https://doi.org/10.30748/nitps.2019.34.16>.
 22. Ivanets, H., Horielyshev, S., Ivanets, M., Baulin, D., Tolkunov, I., Gleizer, N., Nakonechnyi, A. Development of combined method for predicting the process of the occurrence of emergencies of natural character. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 2018, no. 5(10(95)), pp. 48–55. Available at: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2018.143045>.
 23. *Zvit pro osnovni rezultaty diyalnosti Derzhavnoyi sluzhby Ukrainy z nadzvychaynykh sytuatsiy u 2019 rotsi*. [Elektron. resurs]. Rezhym dostupu: URL: [http://www.dsns.gov.ua/files/2020/1/26/Zvit%202019\(KMY\).pdf](http://www.dsns.gov.ua/files/2020/1/26/Zvit%202019(KMY).pdf)
 24. *Zvit pro osnovni rezultaty diyalnosti Derzhavnoyi sluzhby Ukrainy z nadzvychaynykh sytuatsiy u 2020 rotsi*. [Elektron. resurs]. Rezhym dostupu: URL: [http://www.dsns.gov.ua/files/2021/1/26/Zvit%202020\(KMY\).pdf](http://www.dsns.gov.ua/files/2021/1/26/Zvit%202020(KMY).pdf)

Надійшло (received) 11.01.2022

Відомості про авторів /Сведения об авторах /About the Authors

Іванець Григорій Володимирович (Іванець Григорій Владимирович, Ivanets Hryhorii V.) – кандидат технічних наук, доцент, Національний університет цивільного захисту України, доцент кафедри піротехнічної та спеціальної підготовки; м. Харків, Україна; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4906-5265>; e-mail: iwa.gri@nuczu.edu.ua.

Іванець Михайло Григорович (Іванець Михаил Григорьевич, Ivanets Mykhailo H.) – кандидат технічних наук, Харківський національний університет Повітряних Сил ім. І. Кожедуба, старший науковий співробітник науково-дослідного центру; м. Харків, Україна; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3106-7633>; e-mail: miwgan@meta.ua

Горелішев Станіслав Анатолійович (Горелышев Станислав Анатольевич, Horielyshev Stanislav) – кандидат технічних наук, доцент, Національна академія Національної гвардії України, старший науковий співробітник науково-дослідного центру; м. Харків, Україна; ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1689-0901>; e-mail: port_6633@ukr.net.

Баулін Дмитро Станіславович (Баулин Дмитрий Станиславович, Baulin Dmiro) – кандидат технічних наук, старший науковий співробітник, Національна академія Національної гвардії України, старший науковий співробітник науково-дослідного центру; м. Харків, Україна; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7082-6954>; e-mail: baulinds1966@ukr.net.

Сидоренко Ірина Ігорівна (Сидоренко Ирина Игоревна, Sydorenko Iryna) – кандидат педагогічних наук, доцент, Національна академія Національної гвардії України, доцент кафедри фундаментальних дисциплін; м. Харків, Україна; ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7434-682X>; e-mail: sept22@ukr.net