

*Г.В. ІВАНЕЦЬ, М.Г. ІВАНЕЦЬ, С.А. ГОРЕЛИШЕВ, Д.С. БАУЛІН, Є.Г. БАШКАТОВ*

### **ФОРМАЛІЗОВАНА МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ГОТОВНОСТІ РЕАГУВАННЯ НА НАДЗВИЧАЙНІ СИТУАЦІЇ**

Забезпечення захисту населення і територій від надзвичайних ситуацій різного характеру є однією з найважливіших задач цивільного захисту держави, яка гарантує безпечні умови для життєдіяльності своїх громадян шляхом попередження, своєчасного реагування та ліквідації наслідків надзвичайних ситуацій. Це вимагає надійного функціонування системи реагування на надзвичайні ситуації. Надійність та адекватність реагування на надзвичайні ситуації забезпечується готовністю сил і засобів до дій при надзвичайних ситуаціях. В статті розроблена формалізована математична модель, яка реалізує принцип системного підходу до вирішення проблеми забезпечення готовності реагування на надзвичайні ситуації в державі. Математична модель забезпечення готовності реагування на надзвичайні ситуації включає математичні моделі оцінки потенційної технічної спроможності підрозділів цивільного захисту до виконання завдань за призначенням; оцінки готовності підрозділів цивільного захисту до дій у надзвичайних ситуаціях; оптимального розподілу обмежених ресурсів для забезпечення готовності підрозділів цивільного захисту до виконання завдань за призначенням; оптимізації територіальних структур цивільного захисту з урахуванням стану техногенно-природної загрози регіонів держави; прогнозу витрат коштів для ліквідації надзвичайних ситуацій; прогнозу технічного і людського забезпечення для ліквідації надзвичайних ситуацій. Крім того, запропоновано керуючий алгоритм, який реалізує формалізовану математичну модель і передбачає виконання наступних процедур: збір та аналіз інформації про укомплектованість підрозділів технікою та особовим складом; оцінку потенційної технічної спроможності підрозділів до дій при надзвичайних ситуаціях; оцінку готю вності підрозділів щодо реагування та ліквідації наслідків надзвичайних ситуацій, організацію матеріально-технічного, фінансового та людського забезпечення ліквідації надзвичайних ситуацій; оптимізації територіальних структур цивільного захисту з урахуванням стану техногенно-природних загроз регіонів держави; формування рішення щодо реагування на надзвичайні ситуації та ліквідації їх наслідків, оцінки ефективності та корегування рішень на основі аналізу дій підрозділів реагування.

**Ключові слова:** надзвичайна ситуація; цивільний захист; потенційна технічна спроможність; готовність підрозділів до дій при надзвичайних ситуаціях; модель; керуючий алгоритм

*Г.В. ИВАНЕЦ, М.Г. ИВАНЕЦ, С.А. ГОРЕЛЫШЕВ, Д.С. БАУЛИН, Е.Г. БАШКАТОВ*

### **ФОРМАЛИЗОВАННАЯ МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ГОТОВНОСТИ РЕАГИРОВАНИЯ НА ЧРЕЗВЫЧАЙНЫЕ СИТУАЦИИ**

Обеспечение защиты населения и территорий от чрезвычайных ситуаций различного характера является одной из важнейших задач гражданской защиты государства, которая гарантирует безопасные условия для жизнедеятельности своих граждан путем предупреждения, своевременного реагирования и ликвидации последствий чрезвычайных ситуаций. Это требует надежного функционирования системы реагирования на чрезвычайные ситуации. Надежность и адекватность реагирования на чрезвычайные ситуации обеспечивается готовностью сил и средств к действиям при чрезвычайных ситуациях. В статье разработана формализованная математическая модель, которая реализует принцип системного подхода к решению задачи обеспечения готовности реагирования на чрезвычайные ситуации в государстве. Математическая модель обеспечения готовности реагирования на чрезвычайные ситуации включает математические модели оценки потенциальной технической возможности подразделений гражданской защиты к выполнению задач по назначению; оценки готовности подразделений гражданской защиты к действиям в чрезвычайных ситуациях; оптимального распределения ограниченных ресурсов для обеспечения готовности подразделений гражданской защиты к выполнению задач по назначению; оптимизации территориальных структур гражданской защиты с учетом состояния техногенно-природной угрозы регионам страны; прогноза расходов средств для ликвидации чрезвычайных ситуаций; прогноза технических и человеческих ресурсов для ликвидации чрезвычайных ситуаций. Кроме того, предложен управляющий алгоритм, реализующий формализованную математическую модель. Алгоритм предусматривает выполнение следующих процедур: сбор и анализ информации об укомплектованности подразделений техникой и личным составом; оценку потенциальной технической возможности подразделений к действиям при чрезвычайных ситуациях; оценку готовность подразделений для реагирования и ликвидации последствий чрезвычайных ситуаций, организации материально-технического, финансового и человеческого обеспечения ликвидации чрезвычайных ситуаций; оценку оптимизации территориальных структур гражданской защиты с учетом состояния техногенно-природных угроз регионам страны; формирование решения по реагированию на чрезвычайные ситуации и ликвидации их последствий, оценку эффективности и корректировки решений на основе анализа действий подразделений реагирования.

**Ключевые слова:** чрезвычайная ситуация; гражданская защита; потенциальная техническая способность; готовность подразделений к действиям при чрезвычайных ситуациях; модель; управляющий алгоритм

*H.V. IVANETS, M.H. IVANETS, S.A. HORIELYSHEV, D.S. BAULIN, Ye.G. BASHKATOV*

### **FORMALIZED MATHEMATICAL MODEL OF ENSURING THE PREPAREDNESS OF RESPONSE TO EMERGENCY SITUATIONS**

Ensuring the protection of the population and territories from emergencies of various kinds is one of the most important tasks of civil protection of the state. The solution to this problem guarantees safe conditions for the life of its citizens by means of prevention, timely response and elimination of the consequences of emergency situations. This requires a reliable functioning of the emergency response system. Reliability and adequacy of response to emergency situations is ensured by the readiness of forces and means to act in emergency situations. The article has developed a formalized mathematical model that implements the principle of a systematic approach to solving the problem of ensuring readiness to respond to emergency situations in the state. The mathematical model for ensuring preparedness for emergency response includes mathematical models for assessing the potential technical capability of civil protection units to perform tasks as intended; assessing the readiness of civil protection units to act in emergency situations; optimal distribution of limited resources to ensure the readiness of civil protection units to perform tasks as intended; optimization of territorial structures of civil protection, taking into account the state of anthropogenic and natural threats to the regions of the country; forecast of expenditures of funds for liquidation of emergency situations; forecasting technical and human resources for emergency response. In addition, a control algorithm is proposed that implements a formalized mathematical model. The algorithm provides for the following procedures: collection and analysis of information on the staffing of units with equipment and personnel; assessment of the potential technical capability of units to act in emergency situations; assessment of the readiness of units to respond to and eliminate

© Г.В. Іванець, М.Г. Іванець, С.А. Горелишев, Д.С. Баулін, Є.Г. Башкатов, 2020

the consequences of emergencies, organize the material, technical, financial and human support for emergency response; an assessment of the optimization of territorial structures of civil protection, taking into account the state of man-made natural threats to the regions of the country; formation of a solution for responding to emergency situations and eliminating their consequences, evaluating the effectiveness and correcting decisions based on an analysis of the actions of the response units.

**Keywords:** emergency; civil protection; potential technical ability; the readiness of units to act in emergency; model, control algorithm

**Постановка проблеми.** Забезпечення захисту населення і територій від надзвичайних ситуацій (НС) різного характеру є однією з найважливіших задач державної політики в країні та забезпечення стійкого її розвитку. Держава гарантує безпечні умови для життєдіяльності своїх громадян шляхом попередження, своєчасного реагування та ліквідації наслідків НС. Безпека – це такий стан людської діяльності, при якій з визначеною ймовірністю виключається реалізація потенціальної загрози від НС. Забезпечення безпеки при надзвичайних ситуаціях вимагає надійного функціонування системи реагування на НС, адекватної рівням та характеру загроз [1–3].

Своєчасне і ефективне реагування на НС різного характеру, виконання заходів щодо ліквідації їх наслідків покладається на сили цивільного захисту (ЦЗ), які об'єднують відповідні аварійно-рятувальні служби і підрозділи центрального, регіонального і місцевого підпорядкування.

Надійність та адекватність реагування на надзвичайні ситуації різного характеру забезпечується готовністю сил і засобів ЦЗ до дій при НС. Готовність сил і засобів ЦЗ – це такий стан сил і засобів ЦЗ, який визначає їх спроможність виконати покладені на них завдання.

Сили ЦЗ в сучасних умовах не повною мірою забезпечують своєчасне і ефективне реагування на НС, ліквідацію їх можливих наслідків у зв'язку з достатньою готовністю до дій за призначенням. Практика останніх років показує, що ефективність та готовність до протидії НС [4] не завжди відповідає вимогам забезпечення необхідного рівня безпеки людини на сучасному етапі розвитку суспільства. Основними причинами виникнення проблеми є:

- низька ефективність планування та виконання заходів щодо попередження, реагування та ліквідації наслідків від НС;

- невідповідність територіальних структур та чисельності формувань та підрозділів ЦЗ, зокрема ДСНС України, на всіх рівнях потенційному рівню техногенно-природних загроз;

- невідповідність матеріально-технічного забезпечення сил цивільного захисту сучасним вимогам (понад 80% одиниць спеціальної техніки експлуатується більше як 30 років та підлягають заміні), застарілий парк авіаційної техніки і відсутність сучасних рятувальних морських суден, відсутній резерв техніки, матеріальних та технічних засобів для створення спеціальних формувань ДСНС України на особливий період;

- некоординованість дій суб'єктів забезпечення ЦЗ при ліквідації надзвичайних ситуацій;

- недостатня професійна підготовка особового складу до дій у НС.

Тому забезпечення готовності підрозділів ЦЗ щодо попередження, реагування та ліквідації

наслідків надзвичайних ситуацій, максимальне зниження масштабів втрат та збитків внаслідок факторів ураження їх джерел є загальнодержавною проблемою і важливими завданнями органів влади і управління всіх рівнів.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Ефективність виконання завдань за призначенням підрозділами цивільного захисту в першу чергу залежить від рівня їх готовності до дій при НС. Аналіз літературних джерел показує, що зміст уявлень про готовність зводиться до поняття про стан органів управління і сил ЦЗ, яке характеризується їх спроможністю до виконання задач з врахуванням взаємозв'язку «рівень готовності – рівень ризику» [5], «рівень готовності – рівень прийнятного збитку» [6, 7], «рівень готовності – рівень загрози» [8, 9], що дозволяє розглядати готовність як категорію, яка відображає необхідність забезпечення безпеки населення при надзвичайних ситуаціях.

Оцінювання ступеню готовності підрозділу [9] проводиться на основі притаманних конкретному підрозділу значень таких характеристик: укомплектованість підрозділу особовим складом; укомплектованість підрозділу технічними засобами; рівень професійної підготовки особового складу підрозділу; наявність запасу матеріально-технічних засобів і т.п. В якості показника рівня готовності вибрано середнє значення оцінок цих характеристик, які взяті з відповідними ваговими коефіцієнтами.

Для забезпечення готовності підрозділів реагування на надзвичайних ситуації в багатьох країнах світу організаційна структура, чисельність і комплектування формувань ЦЗ визначається адміністрацією міста [10]. Недолік такого підходу полягає в тому, що при визначенні штатної чисельності підрозділів, їх технічного оснащення, ресурсів не повною мірою враховуються потенційні загрози на цій території. Це призводить до зниження готовності підрозділів до дій при НС.

У роботі [11] представлено результати оптимізації підрозділів цивільного захисту по регіонах країни на основі врахування стохастичної природи виникнення та ліквідації надзвичайних ситуацій. Автори зазначають, що при визначенні чисельності підрозділів ЦЗ для ліквідації наслідків НС в регіонах держави необхідно враховувати: інтенсивність реалізації загроз на території регіону; інтенсивність ліквідації наслідків надзвичайних ситуацій; очікувану кількість залучених сил до ліквідації наслідків НС.

У відповідності з [12] оцінка стану готовності підрозділів реагування на НС здійснюється при переводі їх з режиму функціонування у мирний час на режим функціонування в умовах особливого періоду, при мобілізації спеціальних формувань для виконання завдань цивільного захисту, при

проведенні контролю стану готовності до дій щодо попередження надзвичайних ситуацій і реагування на них.

Запропонований в [13] показник рівня готовності підрозділу не повною мірою відображає готовність підрозділу до виконання поставлених завдань із ліквідації НС у довільний момент часу та ступінь безвідмовності функціонування його як цілісної системи протягом часу виконання робіт.

Таким чином, проведений аналіз літературних джерел щодо оцінки та забезпечення готовності підрозділів реагування на НС показує, що єдиного концептуального підходу до оцінки та забезпечення готовності реагування на надзвичайні ситуації не існує. Це вказує на необхідність розробки формалізованої математичної моделі забезпечення готовності реагування на НС, яка би давала можливість вирішити дану проблему системно з урахуванням усіх аспектів, які впливають на готовність реагування на НС.

*Мета дослідження* полягає у розробці формалізованої математичної моделі забезпечення готовності реагування на надзвичайні ситуації. Для досягнення поставленої мети необхідно розв'язати такі задачі:

- розробити формалізовану математичну модель забезпечення готовності реагування на НС;
- запропонувати керуючий алгоритм, який реалізує розроблену математичну модель.

**Виклад основного матеріалу** Формалізована математична модель – це система аналітичних залежностей, які у сукупності дають можливість вирішити поставлену проблему [14].

Рівень готовності підрозділів цивільного захисту до ефективного виконання завдань щодо попередження, реагування та ліквідації наслідків НС різного характеру визначається належно технічною цінністю, рівнем готовності техніки до застосування і професійною здатністю підрозділів до дій при НС. Потенційна технічна спроможність формувань та підрозділів ЦЗ визначається сукупністю матеріальних факторів, які визначають їх стан та здатність до виконання завдань за призначенням. Вона залежить від багатьох факторів, зокрема від наявності і стану необхідної кількості озброєння та техніки, забезпеченості витратними матеріалами, характеристик озброєння тощо. 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 попередження, реагування та ліквідації наслідків надзвичайних ситуацій. Вона залежить від показників технічної досконалості зразків озброєння та техніки певного формування (підрозділу), а також від експлуатаційних показників цих зразків:

$$P_T = F(K_{TD}, K_E), \quad (1)$$

де  $K_{TD}$  – коефіцієнта технічної досконалості зразків озброєння і техніки підрозділу ЦЗ,

$K_E$  – узагальнений експлуатаційний коефіцієнт

зразків озброєння та техніки підрозділу ЦЗ.

Коефіцієнт технічної досконалості характеризує ступінь відповідності основних тактико-технічних характеристик (ТТХ) сучасним вимогам щодо технічного оснащення підрозділів ЦЗ:

$$K_{TD} = G(A_i), \quad (2)$$

де  $A_i$  – ТТХ озброєнням і техніки.

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

$$K_E = Q(K_{YK}, K_{TG}, K_{PEC}), \quad (3)$$

де  $K_{YK}$  – 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.

Ймовірність готовності підрозділу ЦЗ до реагування та ліквідації НС у певний момент часу визначається ймовірністю працездатності необхідної кількості зразків озброєння і техніки на момент виникнення надзвичайних ситуацій, ймовірністю професійної підготовленості особового складу підрозділу до дій у НС та наявності ресурсу  $i$ -го виду для ліквідації НС:

$$P(t) = \Lambda \{ R^{nidp}(t), P_{III}(t), C_i(t) \}, \quad (4)$$

де  $P(t)$  – ймовірність готовності підрозділу ЦЗ до виконання завдань за призначенням у певний момент часу;

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

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

$C_i(t)$  – наявність ресурсу  $i$ -го виду для ліквідації НС.

Чисельність сертифікованих сил ЦЗ ДСНС в  $i$ -й адміністративно-територіальній одиниці (АТО) повинно відповідати рівню техногенних, природних та соціальних загроз на цій території:

$$S_i^{DCHC} = L \{ n_{TX}^i(t), n_{IX}^i(t), n_{CX}^i(t) \}, \quad (5)$$

де  $S_i^{DCHC}$  – чисельність сертифікованих структур ЦЗ ДСНС в  $i$ -й АТО;

$n_{TX}^i(t), n_{IX}^i(t), n_{CX}^i(t)$  – кількість надзвичайних ситуацій відповідно техногенного, природного та соціального характеру на момент  $t$  в  $i$ -й АТО.

Витрати коштів на ліквідацію наслідків

надзвичайних ситуацій різного характеру є функцією, яка визначається процесами виникнення техногенних, природних та соціальних НС:

$$BT(t) = \Omega_1 \{n_{TX}(t), n_{ПХ}(t), n_{СХ}(t)\}, \quad (6)$$

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

$n_{TX}(t), n_{ПХ}(t), n_{СХ}(t)$  – кількість надзвичайних ситуацій відповідно техногенного, природного та соціального характеру на момент  $t$  в державі.

Необхідне технічне забезпечення та необхідна кількість задіяного особового складу для ліквідації наслідків надзвичайних ситуацій в даний момент часу визначається кількістю і характером НС:

$$T(t) = \Omega_2 \{n(t), n_{TX}(t), n_{ПХ}(t), n_{СХ}(t)\}, \quad (7)$$

$$OC(t) = \Omega_3 \{n(t), n_{TX}(t), n_{ПХ}(t), n_{СХ}(t)\}, \quad (8)$$

де  $T(t)$  – кількість одиниць техніки для ліквідації НС;

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

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

$$\left. \begin{aligned} P_T &= F(K_{TD}, K_E); \\ K_{TD} &= G(A_i); \\ K_E &= Q(K_{YK}, K_{TG}, K_{PEC}); \\ P(t) &= \Lambda \{R^{nidp}(t), P_{ПХ}(t), C_i(t)\}; \\ S_i^{DCHC} &= L \{n_{TX}^i, n_{ПХ}^i, n_{СХ}^i\}; \\ BT(t) &= \Omega_1 \{n_{TX}(t), n_{ПХ}(t), n_{СХ}(t)\}; \\ T(t) &= \Omega_2 \{n(t), n_{TX}(t), n_{ПХ}(t), n_{СХ}(t)\}; \\ OC(t) &= \Omega_3 \{n(t), n_{TX}(t), n_{ПХ}(t), n_{СХ}(t)\}. \end{aligned} \right\} \quad (9)$$

Таким чином, формалізована математична модель забезпечення готовності реагування на НС уявляє собою систему з 8 аналітичних залежностей.

Перша описує потенційну технічну спроможність формувань та підрозділів цивільного захисту до виконання завдань за призначенням.

Друга характеризує ступінь відповідності основних ТТХ сучасним вимогам щодо технічного оснащення підрозділів ЦЗ.

Третя характеризує експлуатаційний

можливості зразків озброєння та техніки підрозділу цивільного захисту.

Четверта визначає ймовірність готовності підрозділу ЦЗ до реагування та ліквідації надзвичайних ситуацій у певний момент часу.

П'ята дає можливість оцінити чисельність сертифікованих сил ЦЗ ДСНС в  $i$ -й АТО з урахуванням рівня техногенних, природних та соціальних загроз на цій території.

Шоста дає можливість визначити витрати коштів на ліквідацію наслідків різного характеру надзвичайних ситуацій.

Сьома дає можливість оцінити необхідне технічне забезпечення для ліквідації наслідків НС у певний момент часу.

Восьма дає можливість оцінити необхідну кількість задіяного особового складу для ліквідації наслідків НС у певний момент часу.

Керуючий алгоритм, який реалізує розроблену формалізовану математичну модель забезпечення готовності реагування на НС, представлений на рис. 1.

Алгоритм складається з 11 блоків, які розміщені на 7 ієрархічних рівнях.

Перший рівень складають:

– блок збору та обробки інформації про укомплектованість підрозділів ЦЗ озброєнням і технікою, технічний стан, тактико-технічні та експлуатаційні характеристики;

– блок збору та обробки інформації про укомплектованість підрозділів цивільного захисту особовим складом та їх рівень професійної підготовки.

На другому рівні розміщені:

– 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 розміщений блок оцінки потенціальної технічної спроможності підрозділів цивільного захисту до дій при НС.

На четвертому рівні розміщений блок оцінки укомплектованості та професійної підготовленості особового складу підрозділів ЦЗ.

На п'ятому рівні розміщений блок оцінки готовності підрозділів ЦЗ щодо реагування та ліквідації наслідків надзвичайних ситуацій, матеріально-технічного, фінансового та людського забезпечення ліквідації НС.

На шостому рівні розміщений блок оптимізації територіальних структур ЦЗ з врахуванням стану техногенно-природних загроз регіонів держави.

Сьомий рівень складає блок формування рішення щодо реагування на НС та ліквідації їх наслідків і блок оцінки ефективності та коригування рішень на основі аналізу дій підрозділів реагування ЦЗ.

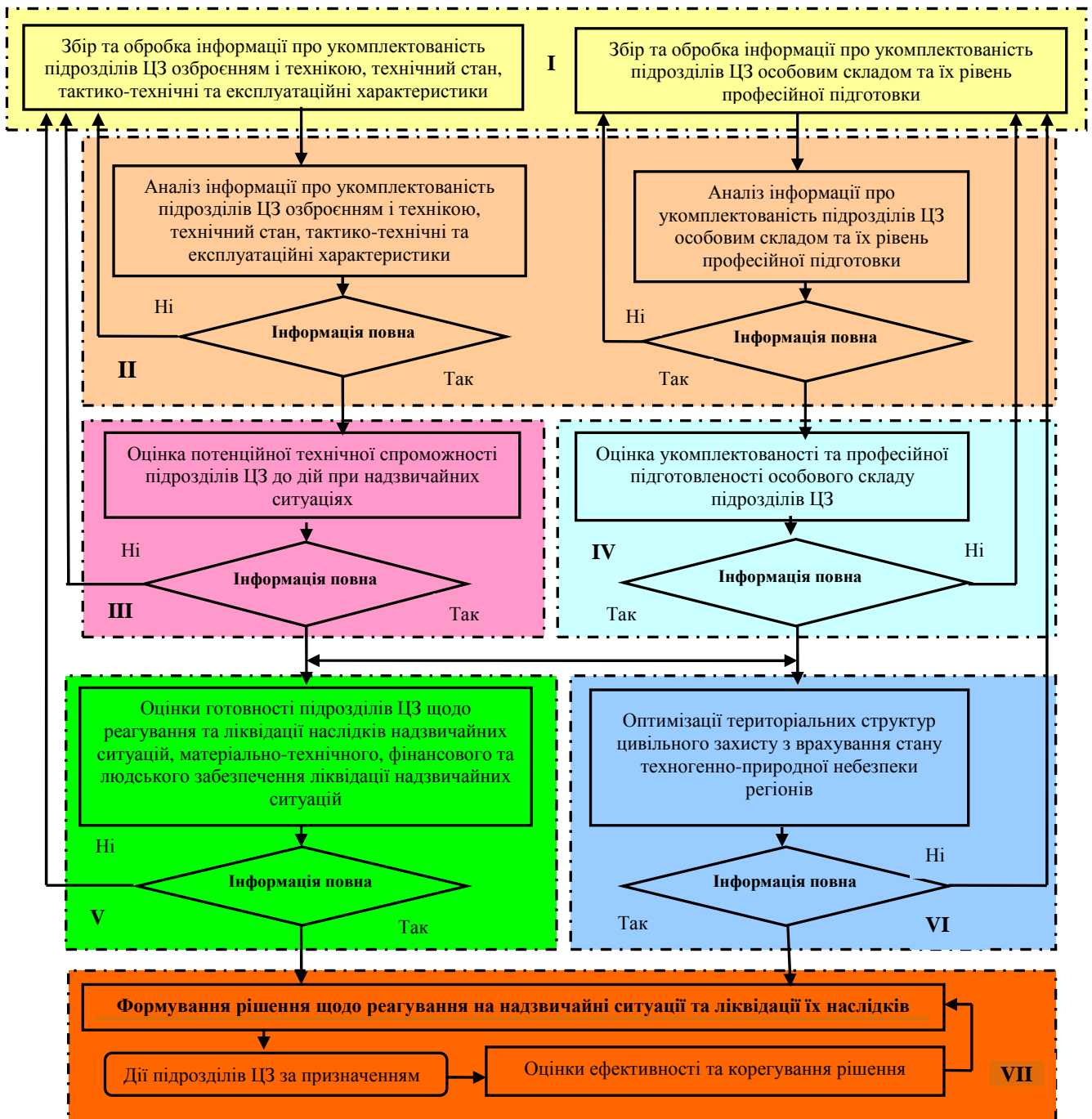


Рисунок 1 – Керуючий алгоритм реалізації формалізованої математичної моделі

### Висновки

1. Розроблено формалізовану математичну модель забезпечення готовності реагування на НС, яка включає математичні моделі

- оцінки потенційної технічної спроможності підрозділів цивільного захисту до виконання завдань за призначенням;
- оцінки готовності підрозділів цивільного захисту до дій у надзвичайних ситуаціях;
- оптимального розподілу обмежених ресурсів для забезпечення готовності підрозділів цивільного захисту до виконання завдань за

призначенням;

- оптимізації територіальних структур цивільного захисту з урахуванням стану техногенно-природної загрози регіонів держави;
- прогнозу витрат коштів для ліквідації надзвичайних ситуацій;
- прогнозу технічного і людського забезпечення для ліквідації надзвичайних ситуацій.

Це реалізує принцип системного підходу до вирішення проблеми готовності реагування на НС різного характеру у державі.

2. Розроблено керуючий алгоритм, який реалізує формалізовану математичну модель забезпечення готовності реагування на НС. Його використання передбачає виконання наступних процедур:

- збір, обробка та аналіз інформації про укомплектованість підрозділів цивільного захисту технікою та особовим складом;
- оцінка потенційної технічної спроможності підрозділів цивільного захисту до дій при НС; оцінки готовності підрозділів цивільного захисту щодо реагування та ліквідації наслідків НС, матеріально-технічного, фінансового та людського забезпечення ліквідації НС;
- оптимізації територіальних структур цивільного захисту з врахуванням стану техногенно-природних загроз регіонів держави;
- формування рішення щодо реагування на НС та ліквідації їх наслідків, оцінки ефективності та корегування рішень на основі аналізу дій підрозділів реагування цивільного захисту.

Він складається з 11 блоків, які розміщені на 7 ієрархічних рівнях і зв'язані прямими та зворотними логічними зв'язками.

#### Список літератури

1. Голован Ю.В., Козырь Т.В. *Защита населения в чрезвычайных ситуациях. Организационно-методический комплекс*. Хабаровск: Дальневосточный государственный технический университет. Изд-во «Проспект», 2015. 219 с.
2. Nivolianitou Z., Synodinou B. A Towards emergency management of natural disasters and critical accidents: The Greek experience. *Journal of Environmental Management*. 2011. Vol. 92. Issue. 10. P. 2657-2665. doi: org/10.1016/j.jenvman.2011.06.003.
3. Tiutiunyk V.V., Ivanetz 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. Issue 1. P. 99-105. doi: org/10.29202/nvngu/2018-1/7.
4. 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\(KMU\).pdf](http://www.dsns.gov.ua/files/2018/1/26/Zvit%202018(KMU).pdf).
5. Xu X.Y., Qi Y.Q., Hua Z.S. Forecasting Demand of Commodities after Natural Disasters. *Expert Systems with Applications*. 2010. № 37. P. 4313-4317. <http://dx.doi.org/10.1016/j.eswa.2009.11.069>.
6. Liu W.M., Hu G.Y. Li J.F. Emergency Resources Demand Prediction Using Case-Based Reasoning. *Safety Science*. 2012. № 50, P. 530-534. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ssci.2011.11.007>.
7. Deng S.C., Wu Q., Shi B., et al. Prediction of Resource for Responding Waterway Transportation Emergency Based on Case-Based Reasoning. *China Safety Science Journal*. 2014. № 24. P. 79-84.
8. 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.
9. Sheu J.B. Dynamic Relief-Demand Management for Emergency Logistics Operations under Large-Scale Disasters. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Reviews*. 2010. № 46. P. 1-17. <http://dx.doi.org/10.1016/j.tre.2009.07.005>.
10. West Virginia State Fire Commission. Requirements for West Virginia Fire Departments [Electronic resource]. Access mode: <http://www.firemarshal.wv.gov/Documents/Multimedia>.
11. Рогозін 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.
12. Грибенюк А.Г., Тарасенко А.В. Оцінка готовності формувань до відмобілізування: критерії та засади. *Системи обробки інформації: збірник наукових праць*. Харків: ХНУПС імені Івана Кожедуба. 2014. № 2(118). С. 269-272.
13. 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.
14. Шевченко Р.І. Формування математичної моделі організаційно-технічного методу скорочення негативних наслідків надзвичайних ситуацій медико-біологічного характеру регіонального рівня поширення небезпеки. *Науково-технічний збірник «Комунальне господарство міст»*. Серія: Технічні науки та архітектура. Харків: ХНАМГ. 2018. №142. С. 124-131.

#### References (transliterated)

1. Golovan YU.V., Kozyr' T.V. *Zashchita naseleniya v chrezvychaynykh situatsiyakh. Organizatsionno-metodicheskiy kompleks*. Khabarovsk: Dal'nevostochnyy gosudarstvennyy tekhnicheskiy universitet. Izdatel'stvo «Prospekt». 2015. 219 p.
2. Nivolianitou Z., Synodinou B. A Towards emergency management of natural disasters and critical accidents: The Greek experience. *Journal of Environmental Management*. 2011, vol. 92, iss. 10, pp. 2657-2665. doi: org/10.1016/j.jenvman.2011.06.003.
3. Tiutiunyk V.V., Ivanetz 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, iss 1, pp. 99-105. doi: org/10.29202/nvngu/2018-1/7.
4. *Zvit pro osnovni rezultaty diyalnosti Derzhavnoyi sluzhby Ukrainy z nadzvychaynykh sytuatsiy u 2018 rotsi*. [Elektron. resurs]. Rezhym dostupu: URL: [http://www.dsns.gov.ua/files/2018/1/26/Zvit%202018\(KMU\).pdf](http://www.dsns.gov.ua/files/2018/1/26/Zvit%202018(KMU).pdf).
5. Xu X.Y., Qi Y.Q., Hua Z.S. Forecasting Demand of Commodities after Natural Disasters. *Expert Systems with Applications*. 2010, no. 37, pp. 4313-4317. <http://dx.doi.org/10.1016/j.eswa.2009.11.069>.
6. Liu W.M., Hu G.Y. Li J.F. Emergency Resources Demand Prediction Using Case-Based Reasoning. *Safety Science*. 2012, no. 50, pp. 530-534. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ssci.2011.11.007>.
7. Deng S.C., Wu Q., Shi B., et al. Prediction of Resource for Responding Waterway Transportation Emergency Based on Case-Based Reasoning. *China Safety Science Journal*. 2014, no. 24, pp. 79-84.
8. Wang X. Zhuang Y. Forecasting Model Demand Based on Case-Based Reasoning. *Journal of Xidian University (Social Science Edition)*. 2010, no. 20, pp. 22-26.
9. Sheu J.B. Dynamic Relief-Demand Management for Emergency Logistics Operations under Large-Scale Disasters. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Reviews*. 2010, no. 46, pp. 1-17. <http://dx.doi.org/10.1016/j.tre.2009.07.005>.
10. West Virginia State Fire Commission. Requirements for West Virginia Fire Departments [Electronic resource]. – Access mode: <http://www.firemarshal.wv.gov/Documents/Multimedia>.
11. Rohozin A.S., Pyrohov O.V., Yarovy Y.E.A. Optymizatsiya rozpodilu syl tsyvilnoho zakhystu po rehionakh Ukrainy. *Problemy nadzvychaynykh sytuatsiy*. Kharkiv: NUTSZU. 2016, no. 23, pp. 134-140.
12. Hrybenyuk A.H., Tarasenko A.V. Otsinka hotovnosti formuvan do vidmobilizuvannya: kryteriyi ta zasady. *Systemy obrobky informatsiyi: zbirnyk naukovykh prats*. Kharkiv: KHNUPS

- imeni Ivana Kozheduba. 2014, no. 2(118), pp. 269–272.
13. Neklonsky I.M., Samarin V.O., Kharlamov V.V. Spektralnyy pidkhdid do otsinyuvannya hotovnosti avariyno-ryatuvalnykh pidrozdiliv do diy za pryznachennyam. *Problemy nadzvychaynykh sytuatsiy*. Kharkiv: NUTSZU. 2016, no. 23, pp. 113–120.
14. Shevchenko R.I. Formuvannya matematychnoyi modeli orhanizatsiyno-tekhnichnoho metodu skorochennya

nehatyvnykh naslidkiv nadzvychaynykh sytuatsiy medyko-biologichnoho kharakteru rehionalnoho rivnya poshyrennya nebezpeky. *Naukovo-tekhnichnyy zbirnyk «Komunalne hospodarstvo mist». Seriya: Tekhnichni nauky ta arkhitektura*. Kharkiv: KHNAMH. 2018, no. 142, pp. 124–131.

Надійшла (received) 11.09.2020

*Відомості про авторів /Сведения об авторах /About the Authors*

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

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

**Горелишев Станіслав Анатолійович (Горельшев Станислав Анатольевич, Horielyshev Stanislav)** – кандидат технічних наук, доцент, Національна академія Національної гвардії України, старший науковий співробітник науково-дослідного центру; м. Харків, Україна; ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-1689-0901>; e-mail: [port\\_6633@ukr.net](mailto:port_6633@ukr.net).

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

**Башкатов Євген Геннадійович (Башкатов Евгений Геннадиевич, Bashkatov Yevhen)** – кандидат військових наук, доцент, Національна академія Національної гвардії, начальник кафедри тактики; м. Харків, Україна; ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-6078-886X>; e-mail: [SPU5884@ukr.net](mailto:SPU5884@ukr.net).