

# Можливий підхід щодо визначення раціонального складу сил та засобів радіаційного, хімічного, біологічного захисту для виконання заходів в умовах радіоактивного та хімічного зараження

## A possible approach to determining the rational composition of forces and means of radiation, chemical, biological protection for performing measures in conditions of radioactive and chemical contamination

**Сергій Поплавець \*1A**

\*Corresponding author: доктор філософії, професор кафедри, e-mail: serg751505@gmail.com, ORCID: 0000-0001-6874-1938

**Сергій Гузченко 2A**

к. військ. н., начальник кафедри, e-mail: guschenko\_13@ukr.net, ORCID: 0000-0002-3562-6172

**Олег Воробйов 3B**

д.т.н., професор, професор кафедри, e-mail: oleg33377@ukr.net, ORCID: 0000-0001-5362-1976

**Олександр Авраменко 4B**

д.т.н., професор кафедри, e-mail: savram1977@gmail.com, ORCID: 0000-0003-1358-1185

**Віктор Шумейко 5C**

к.т.н., старший науковий співробітник відділу, e-mail: shym1983@ukr.net, ORCID: 0000-0002-0285-4566

<sup>A</sup> Харківський національний університет Повітряних Сил імені Івана Кожедуба, м. Харків, Україна

<sup>A</sup> Національний університет оборони України імені Івана Черняховського, м. Київ, Україна

<sup>C</sup> Інститут телекомунікацій і глобального інформаційного простору Національної академії наук України, м. Київ, Україна

**Serhii Poplavetz\*1A**

\*Corresponding author: Philosophy Doctor, Professor of the department, e-mail: serg751505@gmail.com, ORCID: 0000-0001-6874-1938

**Serhii Huzchenko 2A**

Candidate of military sciences, the head of the department, e-mail: guschenko\_13@ukr.net, ORCID: 0000-0002-3562-6172

**Oleh Vorobiov 2B**

Doctor of Technical Sciences, Professor, professor of the department, e-mail: oleg33377@ukr.net, ORCID: 0000-0001-5362-1976

**Oleksandr Avramenko 4B**

Doctor of Technical Sciences, professor of the department, e-mail: savram1977@gmail.com, ORCID: 0000-0003-1358-1185

**Viktor Shumeiko 5C**

candidate of technical sciences, Senior Research Fellow, e-mail: shym1983@ukr.net, ORCID: 0000-0002-0285-4566

<sup>A</sup> Kharkiv National University of the Air Force named after Ivan Kozhedub, Kharkiv, Ukraine

<sup>A</sup> National Defense University of Ukraine named after Ivan Cherniakhovskiy, Kyiv, Ukraine

<sup>C</sup> Institute of Telecommunications and Global Information Space of the National Academy of Sciences of Ukraine, Kyiv, Ukraine

Received: October 10, 2022 | Revised: October 25, 2022 | Accepted: October 31, 2022

DOI: 10.33445/sds.2022.12.5.12

**Мета роботи:** визначення раціонального складу сил та засобів радіаційного, хімічного, біологічного захисту для виконання заходів в умовах радіоактивного та хімічного зараження.

**Метод:** метод мережевого планування, метод комбінаторного програмування.

**Результати дослідження:** розроблено методіку визначення раціонального складу сил та засобів радіаційного, хімічного, біологічного захисту для виконання заходів в умовах радіоактивного та хімічного зараження, яка на відміну від відомих враховує можливі сценарії радіаційної, хімічної, небезпечної обстановки, обсяги виконання заходів, складається з ряду етапів і процедур та ґрунтується на прогнозі обстановки, оптимізації мережевих графіків та комбінаторної оптимізації.

**Теоретична цінність дослідження:** формування та розв'язання оптимізаційної задачі мінімізації часу виконання заходів з обмеженнями на кількість сил та засобів радіаційного, хімічного, біологічного захисту військ з врахуванням можливих сценаріїв радіаційної, хімічної, небезпечної обстановки.

**Тип статті:** описовий та розрахунково-аналітичний.

**Ключові слова:** радіаційне та хімічне зараження, заходи, методіки, радіаційний, хімічний, біологічний захист.

**Purpose:** determination of the rational composition of forces and means of radiation, chemical, biological protection for the implementation of measures in conditions of radioactive and chemical contamination.

**Method:** the method of network planning, method of combinatorial programming.

**Findings:** the developed a methodology for forming a rational structure of forces and means of radiation, chemical, biological protection for the implementation of measures in conditions of radioactive and chemical contamination, which, unlike the known ones, takes into account possible scenarios of radiation, chemical, dangerous situations, the scope of measures, consists of a number of stages and procedures and is based on forecasting the situation, optimization methods of network graphs and combinatorial optimization.

**Theoretical implications:** formation and solution of the optimization task of minimizing the time of implementation of measures with restrictions on the number of forces and means of radiation, chemical, biological protection of troops, taking into account possible scenarios of radiation, chemical, dangerous situation.

**Paper type:** descriptive and calculation-analytical.

**Key words:** radiation and chemical contamination, measures, methods, radiation, chemical, biological protection.

## 1. Вступ

Останнім часом суттєву загрозу для України зокрема та світу в цілому набуває міжнародний і державний тероризм, який перетворює мирне населення в об'єкт силового впливу з метою дестабілізації обстановки, залякування людей, позбавлення їх здатності чинити організований опір [1, 2]. В Україні ситуація ускладнюється тим, що у результаті віроломного вторгнення Росії на територію України, яка порушує правила ведення війни і масово чинить воєнні злочини, можливість виникнення хімічних, біологічних, радіаційних, ядерних (ХБРЯ) інцидентів терористичного характеру суттєво зростає.

Хімічні, біологічні, радіологічні та ядерні (ХБРЯ) загрози змінюються, і в той час як їх використання в конфліктах заборонено, це ніяк не зупиняє виробництво або застосування цієї зброї. Готовність застосувати ХБРЯ засоби у військових діях, раніше розглядалася будь-яким лідером, як щось неприйнятне через страх отримати міжнародне засудження, є дуже тривожною тенденцією. Керівників квазідержав, як показали події останніх років, ніяка критика не зупиняє від подібного роду вчинків [3].

Україна відноситься до держав з високим рівнем розвитку атомної енергетики. У даний час на території України діє чотири атомні електричні станції (АЕС), які використовують 15 атомних енергетичних установок (АЕУ), та ще 4 АЕУ (одна з яких зруйнована) знаходяться в зупиненому стані на Чорнобильській АЕС [4-6].

Крім цього, на території України знаходиться 716 підприємств хімічної промисловості (ПХП) зі сховищами з небезпечними хімічними речовинами (НХР), більше 30 з яких мають запаси НХР від 1 до 120 тисяч тон. Додатково до цього, на територіях в сусідніх державах, поруч з кордонами України, знаходиться біля 20 хімічно небезпечних об'єктів з запасами НХР від 200 тон до 25 тис тон [6, 7, 8].

В умовах сучасної хімізації промисловості виникає небезпека виникнення аварій з НХР, як на об'єктах виробничої діяльності (ОВД), так і на транспорті під час перевезення НХР. Можливі наслідки руйнувань (аварій) хімічно-небезпечних об'єктів (ХНО) змінюють умови будь яких дій в результаті виникнення наземної та повітряної хімічної обстановки [9].

Досвід локальних війн та сучасних збройних конфліктів дає усі підстави стверджувати, що при веденні бойових дій звичайними видами зброї можливе навмисне або випадкове зруйнування підприємств атомної енергетики та хімічної промисловості з запасами НХР, промислових, транспортних та інших об'єктів з різноманітними небезпечними компонентами, що може привести до виникнення радіаційної, хімічної, небезпечної (РХН) обстановки.

В цих умовах під час ведення бойових дій виникає потреба щодо виявлення та оцінювання РХН обстановки, підтримання безпеки військ (сил) в умовах радіоактивного та хімічного (РХ) зараження та ліквідації наслідків РХ зараження, основні зусилля яких будуть покладені на сили та засоби частин та підрозділів радіаційного, хімічного, біологічного (РХБ) захисту військ (сил).

## 2. Теоретичні основи дослідження

Проведений аналіз існуючих підходів щодо побудови системи РХБ захисту військ [10-15] дозволяє зробити висновки, що основою структури даної системи є сили і засоби РХБ захисту, які виконують весь спектр покладених на них завдань. Підвищення ефективності системи можливе за рахунок формування оптимального плану розподілу сил і засобів РХБ захисту за завданнями даного виду забезпечення та визначення доцільної структури сил і засобів РХБ захисту за умови ресурсних обмежень.

На сьогоднішній час існують наукові роботи щодо визначення раціонального складу сил та засобів РХБ захисту оперативних командувань, що ґрунтуються на методах експертного оцінювання [16, 17], оцінки ефективності системи РХБ захисту військ [13, 18], однак, на наш

погляд, дані роботи не містять оптимізаційних постановок, слабким місцем їх є використання методу експертного оцінювання.

У роботах [10, 11, 19, 20] не враховані всі умови і фактори, які впливають на ефективність виконання завдань та заходів РХБ захисту військ, що в подальшому вплине на прогноз РХН обстановки, визначення обсягу завдань та заходів РХБ захисту військ та визначення для цього відповідних сил та засобів. Роботи [10, 11, 21] не враховують часові показники своєчасності виконання визначених обсягів заходів та кількості сил і засобів РХБ захисту, що не дозволяє розв'язати оптимізаційну задачу щодо вибору комплекту сил та засобів РХБ захисту військ та зменшити час виконання заходів.

Ряд наукових робіт щодо оцінки ефективності системи РХБ захисту військ [10, 22] та визначення раціонального складу сил та засобів РХБ захисту [11], можуть враховувати спектр завдань для створення раціональної моделі системи РХБ захисту по виконанню завдань та заходів РХБ захисту з урахуванням ресурсних обмежень та максимізації їх ефективності. У ході побудови такої моделі системи РХБ захисту необхідно не тільки визначити обсяги заходів РХБ захисту [11] за можливими сценаріями розвитку обстановки під час руйнування РХН об'єктів [5, 6, 10], [23-25], а й сформулювати та розв'язати оптимізаційну задачу мінімізації часу виконання заходів з обмеженнями на кількість сил та засобів РХБ захисту.

Аналіз останніх досліджень і публікацій показав, що питанню раціонального розподілу обмеженого ресурсу присвячена велика кількість праць, серед яких є такі як [26-31]. При цьому, в [26-28] більш повно розглянуті градієнтні методи оптимізації. Методи лінійного програмування розглядалися в [29-30]. Але розглянуті в [29-30] підходи не дозволяють в повній мірі врахувати різну пріоритетність об'єктів забезпечення. В цілому ні в одній із праць [26-31] в прямій постановці за мету не ставилось вирішення прикладної задачі раціонального розподілу підрозділів. Тому така задача із врахуванням вищезазначених умов формалізована не була.

Формування та розв'язання оптимізаційної задачі мінімізації часу виконання заходів з обмеженнями на кількість сил та засобів РХБ захисту військ з врахуванням можливих сценаріїв РХН обстановки, вимагає розробки математичних моделей та методики щодо визначення раціонального складу сил та засобів РХБ захисту для виконання заходів в умовах РХ зараження, що обумовлює актуальність даної статті.

### **3. Постановка проблеми**

Аналіз сучасних операцій та досвід локальних війн показує, що можливе застосування противником зброї масового ураження (ЗМУ), а також зруйнування РХН об'єктів вимагають від командирів, штабів, начальників родів військ і спеціальних військ і служб швидкої та об'єктивної оцінки обстановки, проведення в обмежені терміни ліквідації наслідків РХБ зараженням, поновлення боєздатності військ і здійснення широкого маневру збереженими силами і засобами. Сьогодні реально існують загрози, які пов'язані з міжнародним тероризмом та, особливо, з можливим заволодінням і використанням систем ядерної, хімічної й біологічної зброї або окремих її елементів. Зазначені обставини свідчать, що питання РХБ захисту збройних сил і населення у сучасних умовах залишається досить актуальним [32, 33].

Велику увагу надзвичайним ситуаціям, пов'язаним із "хімічним" тероризмом, приділено в роботі [34], де проведено аналіз способів і засобів здійснення терористичних актів. У роботі [35] проведено аналіз радіоактивних матеріалів з точки зору можливості їх використання при виготовленні "брудних бомб" і застосування в терористичних цілях, а також наведено результати досліджень, спрямованих на попередження та виключення можливості виникнення "радіаційного" терору в разі виникнення надзвичайної ситуації, пов'язаної з радіаційним інцидентом терористичного характеру.

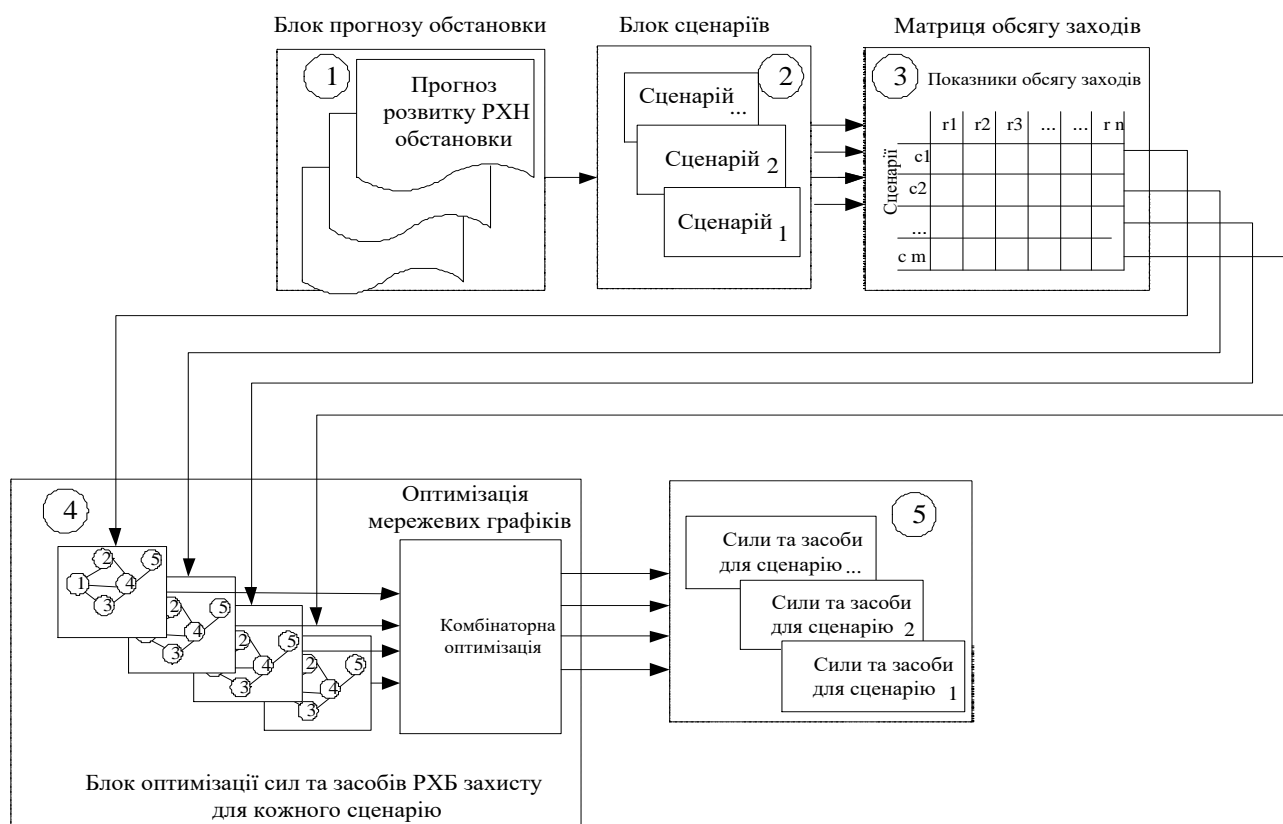
В умовах потужних промислових агломерацій і обмежених можливостях існуючого

складу сил та засобів РХБ захисту щодо виконання необхідних заходів РХБ захисту під час радіаційного, хімічного (РХ) зараження для визначення раціонального складу сил та засобів РХБ захисту військ (сил) необхідно не тільки визначити обсяги заходів за ймовірними сценаріями розвитку обстановки, а й поставити та розв'язати оптимізаційну задачу мінімізації часу виконання заходів з обмеженнями на кількість сил та засобів РХБ захисту військ (сил).

Вказані особливості вимагають розробки методики визначення раціонального складу сил та засобів РХБ захисту під час виникнення небезпечної радіаційної та хімічної обстановки, що і обумовлює актуальність даної статті.

#### 4. Результати

Визначення раціонального складу сил та засобів РХБ захисту для виконання заходів в умовах РХ зараження вирішується шляхом послідовного виконання розрахунків та оптимізаційних постановок на п'ятьох етапах методики, відповідно до схеми дій, що наведена на рисунку 1.



Рисунку 1 – Структура методики визначення раціонального складу сил та засобів радіаційного, хімічного, біологічного захисту для виконання заходів в умовах радіоактивного та хімічного зараження

Розглянемо кожен етап методики більш детально.

На першому етапі генеруються вхідні дані для визначення прогнозу РХН обстановки, сил та засобів для виконання заходів РХБ захисту в умовах РХ зараження. Такими даними визначено:

- наявність РХН об'єктів, руйнування (пошкодження) яких може привести до створення РХН обстановки;
- тактико-технічна характеристика (ТТХ) сил та засобів РХБ захисту частин (підрозділів) військ (сил);
- ТТХ спеціальної техніки РХБ захисту у відповідності до покладених завдань та заходів.

На підставі методик прогнозу РХН обстановки [5, 6, 9], [23-25], у зоні відповідальності військ (сил), складається каталог сценаріїв.

При визначенні можливих сценаріїв наслідків руйнування РХН об'єктів (другий етап) та необхідності оперативного прийняття рішення, щодо обстановки, яка може скластися в умовах РХ зараження побудована інтегрована інформаційна модель генерування можливих сценаріїв оцінки обстановки.

Під час опису сценаріїв і прогнозу радіаційної небезпечної (РН) обстановки розглянуті основні сценарії контакту з радіаційним чинником(рисунком 2).

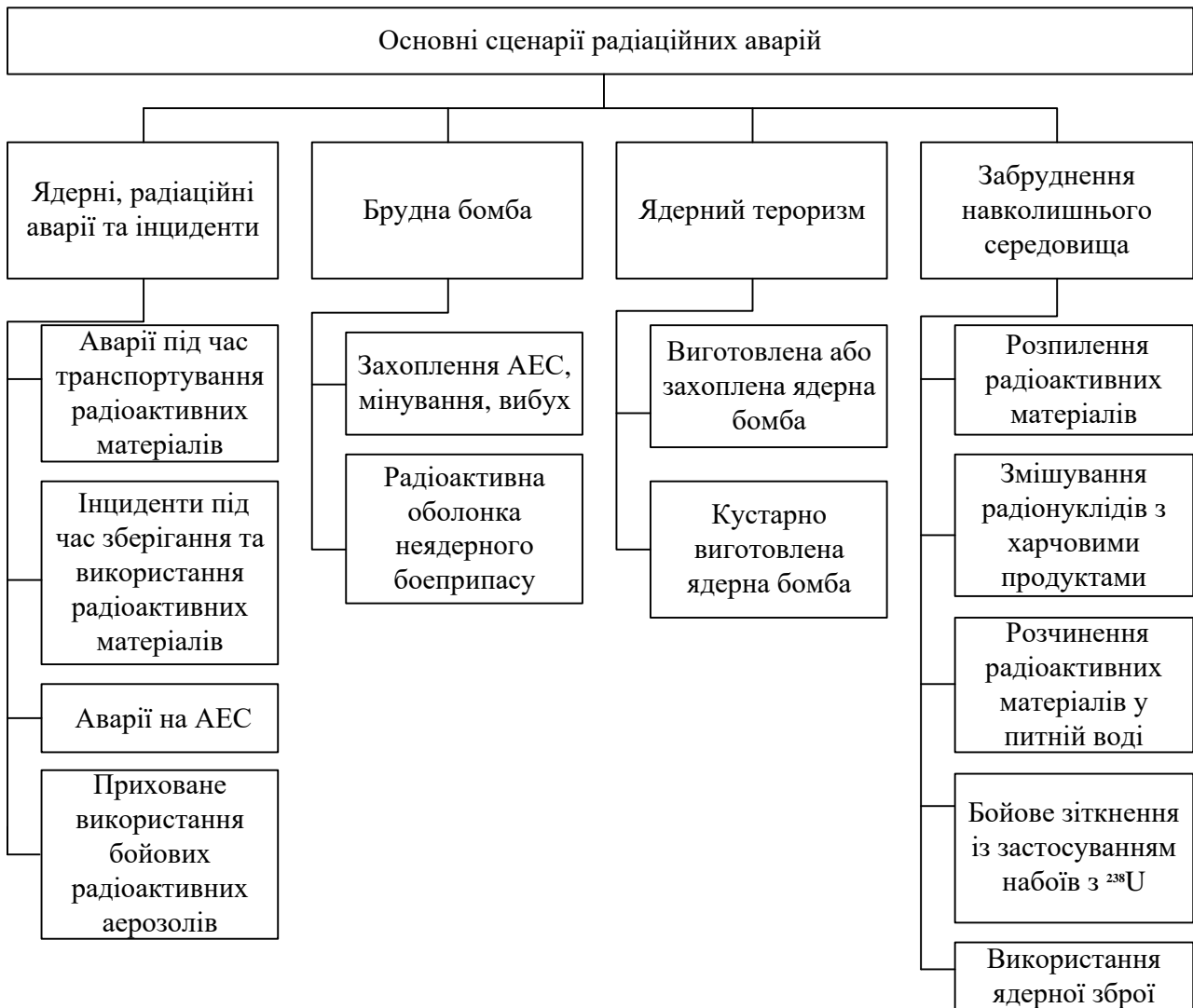


Рисунок 2 – Основні сценарії контакту з радіаційним чинником

Сценарії щодо виникнення хімічної небезпечної обстановки розглянуті з урахуванням руйнування ХНО, що містять НХР. Перелік хімічно-небезпечних об'єктів, де використовують небезпечні хімічні речовини наведений на рисунку 3.

На третьому етапі, ґрунтуючись на прогнозі РХН обстановки з використанням логіко-аналітичного методу, розроблена методика визначення обсягу заходів РХБ захисту, що складається з комплексу часткових методик, які відповідають заходам РХБ захисту та визначені в науково-дослідній роботі [36].



Рисунок 3 – Перелік хімічно-небезпечних об'єктів, де використовують небезпечні хімічні речовини

Розробка даної методики необхідна для формування матриці оптимізаційної задачі по стовпцям як обсяги заходів. Структура методики приведено на рисунку 4.

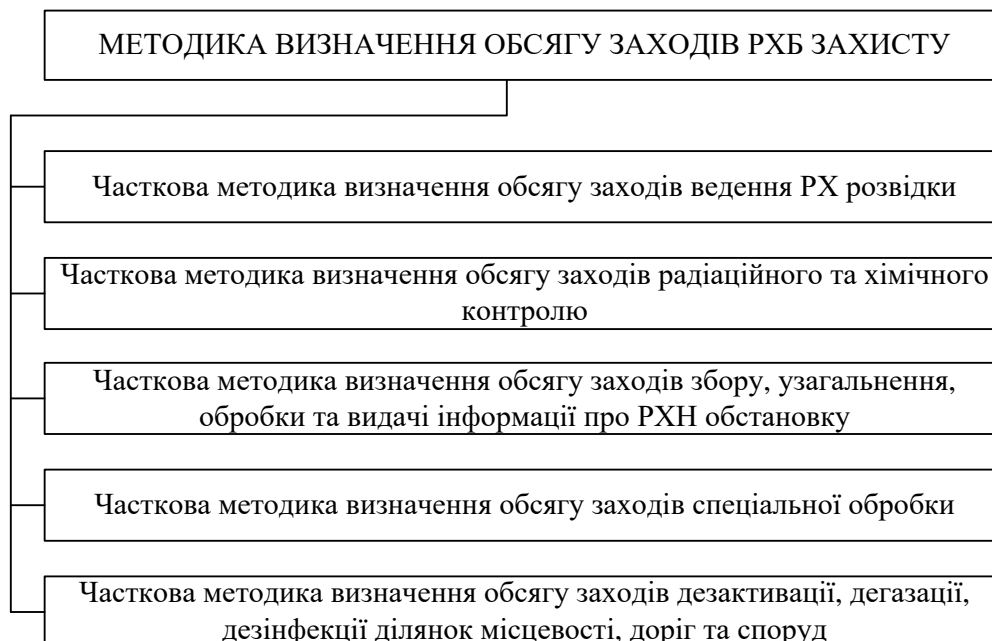


Рисунок 4 – Структура методики визначення обсягу заходів РХБ захисту

На четвертому етапі на підставі ТТХ існуючих та перспективних сил та засобів РХБ захисту формується каталог сил та засобів. Дана методика призначена для подальшої оптимізації визначення раціонального складу сил та засобів РХБ захисту та ґрунтується на методах

мережевого планування, основна мета яких полягає в тому, щоб зменшити до мінімуму тривалість заходів РХБ захисту в умовах РХ зараження.

Методами оптимізації мережевого графіка, для зменшення часу виконання заходу є:

- 1) перерозподіл сил та засобів РХБ захисту від критичних до некритичних робіт (в межах резервів часу);
- 2) зміна логіки зв'язків в послідовності робіт (послідовні роботи замінюються на паралельні);
- 3) уточнення тривалості робіт критичного шляху;
- 4) зміна кількості сил та засобів РХБ захисту для виконання роботи (за допомогою побудови діаграми Ганта).

За умов виникнення РХ зараження важко визначити тривалість кожної роботи заходів РХБ захисту з високою точністю. Окрім того, заходи РХБ захисту здійснюються в умовах невизначеності (можливості реалізації ризикових подій) і тривалістю однотипної роботи може суттєво видозмінюватися.

Введемо три оцінки тривалості роботи заходу:

- оптимальний час виконання роботи ( $a$ );
- найбільш ймовірний час виконання роботи ( $m$ );
- термін виконання роботи за несприятливих умов ( $b$ ).

Очікуваний час виконання  $i$ -ї роботи обчислюється за формулою [37]:

$$\tau_{оч_i} = \frac{a + 4 \cdot m + b}{6} \quad (1)$$

Дисперсія часу на виконання робіт розраховується за формулою [37]:

$$\sigma^2 = \frac{\sum(x - \tau_{оч_i})^2}{n - 1}, \quad (2)$$

- де  $x$  – оціночна тривалість виконання роботи;  
 $\tau_{оч}$  – очікуваний термін завершення заходу РХБ захисту.

Варіація загального часу виконання проекту визначається сумою варіацій робіт критичного шляху мережевого графіку.

Нормоване відхилення виконання заходу складає:

$$i \in [1 \dots n], \quad (3)$$

Враховуючи, що розподіл часу завершення проекту є нормальним, і маючи цей розподіл, можемо обчислити імовірність завершення проекту у запланований час  $T_{пл}$  за формулою:

$$P = P(t) = \Phi\left(\frac{T_{пл} - \tau_{оч}}{\sigma}\right), \quad (4)$$

де  $T_{пл}$  – запланований термін завершення заходу РХБ захисту.

Таким чином, послідовне застосування методу критичного шляху з урахуванням стохастичності термінів виконання робіт дозволяє отримати матрицю виду:

$$E = \begin{matrix} & \begin{matrix} r_1 & r_2 & \dots & r_n \end{matrix} \\ \begin{matrix} s_1 \\ s_2 \\ \dots \\ s_m \end{matrix} & \begin{matrix} t_{11} & t_{12} & \dots & t_{1n} \\ t_{21} & t_{22} & \dots & t_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ t_{s1} & t_{s2} & \dots & t_{mn} \end{matrix} \end{matrix}, \quad (5)$$

де  $r_i, i \in [1 \dots n]$  – обсяги заходів РХБ захисту;  
 $s_j, j \in [1 \dots m]$  – сили (засоби, підрозділи) РХБ захисту, що можуть виконувати дані заходи.

Елементи матриці  $t_{ij}, i \in [1 \dots n], j \in [1 \dots m]$  – ймовірний час на виконання  $i$ -го обсягу заходів,  $j$ -м структурним елементом, отриманих шляхом побудови та оптимізації відповідних мережевих графіків.

Матриця (5) приводить до постановки задачі комбінаторного програмування [12, 38, 39], що мінімізує час на виконання заходів РХБ захисту шляхом оптимального закріплення структурних одиниць за обсягами заходів. Відома множина  $R = \{r_1, \dots, r_i, \dots, r_n\}$ , що відповідає множині робіт, які необхідні для виконання всього циклу РХБ захисту військ (сил). Між рядом робіт існує відношення слідування  $r_1 \rightarrow r_k$ . Тобто обсяг робіт  $r_k$  може бути виконано лише після того, як виконаний обсяг робіт  $r_i$  (наприклад, обробка і доведення інформації про РХ зараження після проведення РХ розвідки). Дане обмеження можна задати у вигляді орієнтованого графа  $G = (V, D)$ , де кожній вершині з множини  $V = \{1, \dots, n\}$  буде відповідати одна робота з множини  $R$ , а множина ребер графа  $G: D = \{(i, k) | i, k \in V; i \rightarrow k\}$  відповідає обмеженню слідування. Таким чином, отриманий граф є ациклічним.

Відома множина  $S = \{s_1, \dots, s_j, \dots, s_m\}$  – множина сил та засобів (структурних одиниць) РХБ захисту, де  $s_j$  – конкретний підрозділ, що зданий виконати  $i$ -й обсяг заходів за час  $t_{ij} > 0$ . Формально,  $t_{ij} \in (0, +\infty)$ , оскільки структурна одиниця засобів РХБ захисту може і не виконувати дану роботу.

Постановка задачі комбінаторного програмування полягає у оптимальному закріпленні сил та засобів РХБ захисту (структурних елементів) за роботами, щоб час виконання робіт був мінімальним, не порушувалося відношення слідування та враховувалося обмеження на ресурси (максимальну кількість сил та засобів РХБ захисту  $j$ -го типу).

Вирішення оптимізаційної задачі про закріплення сил та засобів РХБ захисту за заходами зводиться до пошуку такої функції  $f(i, j)$ , коли значення виразу (5) буде мінімальним за умов, що  $\forall i \in [1, \dots, n] \exists j \in [1, \dots, m] | f(i, j) = 1$ .

$$T_{min} = \sum_{j=1}^m \sum_{i=1}^n t_{ij} \cdot f(i, j) \rightarrow min. \quad (6)$$

Для того, щоб знайти таку функцію, розкладемо вираз (6) на 2 доданки:

$$T_{min} = \sum_{j=1}^m \sum_{i=1}^n t_{ij} \cdot f(i, j) + \sum_{j=1}^m t_{nj} \cdot f(n, j). \quad (7)$$

Вочевидь, що сума буде мінімальна, якщо обидва доданка мінімальні. При цьому мінімум другого доданка досягається у тому випадку, якщо знайдено таке  $j$ , при якому значення  $t_{nj}$

мінімальне та  $f(n, j) = 1$ . Іншими словами, знайдено структурний елемент з індексом  $j$ , який виконає останню роботу  $r_n$  за найменший час.

Продовживши подібне міркування для першого доданка, отримуємо, що для пошуку усіх значень  $j$ , де функція  $f(n, j) = 1$ , необхідно знайти  $\min(t_{ij})$  для кожної роботи  $r_i$ , що в загальному вигляді має лінійну трудомісткість.

Тоді оптимізаційна задача зводиться до пошуку такої функції  $f(i, j)$ , коли значення виразу буде мінімальним при тих самих умовах, що і  $\forall i \in [1, \dots, n] \exists j \in [1, \dots, m] \mid f(i, j) = 1$ .

$$T_{min} = 1 \leq j^{max} \leq s \left( \sum_{i=1}^n t_{ij} \cdot f(i, j) \right) \rightarrow min. \quad (8)$$

Побудуємо математичні моделі для вирішення багатокритеріальної задачі прийняття рішень.

Нехай є  $m$  видів сил та засобів, відомо, що кожний варіант структури  $i \in N$  вимагає ресурси  $R_j$ ,  $j \in M = \{1, 2, \dots, m\}$  - множина видів ресурсів.

Будемо вважати, що кожен варіант структури сил та засобів РХБ захисту  $i \in N$  оцінюється по  $k$  показникам, оцінки за якими приймають значення з множин  $A_s \in N = \{1, 2, \dots, k\}$  - множини показників оцінки варіантів побудови структури сил та засобів РХБ захисту військ.

Структура сил та засобів РХБ захисту  $Q \subseteq N$  характеризується векторною оцінкою:

$$a_q = a_{q_1}, a_{q_2}, \dots, a_{q_k}, \quad (9)$$

де  $a_{q_k} = \sum_{i \in Q} a_{i_s}$ ,  $s \in K$ .

Та вектором потрібних ресурсів:

$$C_q = C_{q_1}, C_{q_2}, \dots, C_{q_m}, \quad (10)$$

де  $C_{q_m} = \sum_{m \in Q} C_j$ ,  $s \in M$ .

Під ресурсним обмеженням (обмеженням сил та засобів) розуміється наступне. Нехай відомими є ресурси (сили та засоби) кожного виду, які можуть бути залучені до формування структури сил та засобів РХБ захисту військ:  $R = \{R_1, R_2, \dots, R_m\}$ . Варіант структури  $Q$  буде відповідати ресурсним обмеженням, якщо виконується нерівність:

$$C_{q_j} \leq R_j, j \in M. \quad (11)$$

Задача формування структури сил та засобів РХБ захисту військ під час виникнення РХ зараження буде формуватися наступним чином:

- знайти всі допустимі (що задовольняють ресурсному обмеженню (11)) оптимальні по Парето варіанти та дати можливість людині, що приймає рішення обрати варіант з цієї множини;
- задати функцію агрегування оцінок варіантів  $F(a_q)$ , знайти раціональний (допустимий та найкращий з множини варіантів) варіант структури.

Для вирішення даного завдання запропонуємо відповідний алгоритм.

Побудуємо на площині наступну мережу: з початкової точки  $(0, 0)$  відкладемо дві дуги, які відповідають включенню або не включенню першого елемента в варіант структури сил та засобів РХБ захисту військ. Горизонтальна дуга (не включення елемента) не потребує ресурсів та не дає жодного ефекту. Похилій дуги (включення елемента до варіанту структури) поставимо у

відповідність два вектора – вектор ресурсів  $R_i$  та вектор ефекту  $A_i$ . Далі, продовжуємо аналогічно (сумуючи ресурси та ефекти по всім елементам структури, включеним в різні варіанти залучення сил та засобів РХБ захисту військ), для другого, третього тощо елементів отримає в загальному випадку  $2^n$  варіантів.

Якщо в деякій точці перетинаються два шляхи, тобто два набори елементів структури характеризується однаковими затратами ресурсів (що робить метод динамічного програмування більш ефективним, ніж простий перебір), то, якщо один набір Парето домінує - інший по критеріальним оцінкам, то необхідно залишити домінуючі оцінки, якщо домінування немає, то необхідно в подальшому (додаючи нові елементи), розглядати обидві комбінації оцінок. Отримуємо два вектора: вектор витрат ресурсів та вектор ефектів.

Для вирішення задач багатокритеріальної оптимізації розроблено значну кількість методів [35, 37-38]. Математичну модель формування варіанта структури сил та засобів РХБ захисту військ, в якій як ресурси, так і оцінки були чіткими, можна розширити на нечіткі оцінки ефекту, які не можуть бути отримані нормативно. Дані оцінки можуть бути отримані з залученням експертів.

Нехай елемент структури  $i \in N$  по показнику  $s \in K$  характеризується нечіткою оцінкою  $\overline{a}_{1s}$ , що визначається функцією приналежності:

$$\mu_{\overline{a}_{1s}}(a_{i_s}): A_s \rightarrow [0; 1]. \quad (12)$$

Із-за адитивності оцінок результату, варіант структури сил та засобів  $Q \subseteq N$  характеризується векторною оцінкою:

$$\overline{a}_q = (\overline{a}_{q_1}, \overline{a}_{q_2}, \dots, \overline{a}_{q_s}) \quad (13)$$

де  $\overline{a}_{q_s}$  – нечітка оцінка з функцією приналежності  $\mu_{\overline{a}_{q_s}}(a_{q_s}): A_s \rightarrow [0; 1]$ , що обчислюється по принципу відповідності:

$$\mu_{\overline{a}_{q_s}}(a_{q_s}) = \sup_{(a_{i_s})_{s \in Q} | i \in Q, a_{i_s} = a_{q_s}} \min_{i \in Q} \left\{ \mu_{\overline{a}_{1s}}(a_{i_s}) \right\}, s \in K \quad (14)$$

Вектор ресурсів для варіанта структури обчислюється у відповідності до математичної моделі з чіткими ресурсами. Відмітимо адитивність процедури (14) обчислення значення функції приналежності.

Визначимо чітку множину (критеріальний простір)  $A' = \prod_{s \in K} A_s$  та припустимо, що мета виконання заходів РХБ захисту в умовах радіоактивного та хімічного зараження описується декількома цілями в даному просторі с різними функціями належності. Функцію належності цілі позначимо як  $\mu_{\overline{G}}(a)$ ,  $a = (a_1, a_2, \dots, a_k) \in A$ .

Функцію приналежності векторної нечіткої оцінки  $\overline{a}_q$  варіанта структури сил та засобів РХБ захисту  $Q$  в просторі  $A'$  визначимо як:

$$\mu_{\overline{a}_q}(a) = \min_{s \in K} \left\{ \mu_{\overline{a}_{q_s}}(a_{q_s}) \right\}. \quad (15)$$

Ступінь відповідності варіанта структури сил та засобів РХБ захисту  $Q$  меті виконання заходів РХБ захисту в умовах РХ зараження  $\mu_{\overline{G}}(a)$  визначимо за формулою:

$$F(Q) = \max_{a \in A'} \min \left[ \mu_{\overline{a}_q}, \mu_{\overline{G}}(a) \right], Q \subseteq N. \quad (16)$$

Число  $F(Q)$ , що приймає значення в інтервалі від нуля до одиниці, можна вважати ступенем відповідності варіанта структури сил та засобів РХБ захисту військ згідно з метою виконання заходів РХБ захисту в умовах РХ зараження.

Дану характеристику можна обчислювати на всіх етапах алгоритму, що зводить нечітку математичну модель задачі до чіткої.

На п'ятому етапі результати застосування методики дозволяють розв'язати оптимізаційну задачу обґрунтування комплексу сил та засобів РХБ захисту військ та зменшити час виконання заходів РХБ захисту.

## 5. Висновки

Таким чином, в статті розроблено методику визначення раціонального складу сил та засобів РХБ захисту для виконання заходів в умовах РХ зараження, яка на відміну від відомих враховує можливі сценарії РХН обстановки, обсяги виконання заходів, складається з ряду етапів і процедур та ґрунтується на прогнозі РХН обстановки, оптимізації мережевих графіків та комбінаторної оптимізації. Результати застосування методики дозволяють розв'язати оптимізаційну задачу обґрунтування комплексу сил та засобів РХБ захисту військ та зменшити час виконання заходів РХБ захисту, що дозволить підвищити ефективність виконання практичних заходів РХБ захисту та зменшити втрати військ в умовах РХ зараження.

Напрямок подальших досліджень є визначення раціонального складу сил і засобів РХБ захисту з врахуванням дифузійних процесів розповсюдження радіонуклідів і небезпечних хімічних речовин в атмосфері при моделюванні атмосферної дисперсії в наслідок руйнування РХН об'єктів з використанням комп'ютерних програм і алгоритмів, що імітують дисперсію забруднювачів.

## 6. Фінансування

Це дослідження не отримало конкретної фінансової підтримки.

## 7. Конкуруючі інтереси

Автори заявляють, що у них немає конкуруючих інтересів.

### Список використаних джерел

### References

1. Тарадуда Д. В. Підхід до розробки стратегії безпеки від ХБРЯ інцидентів терористичного характеру в Україні. Вісник Національного університету цивільного захисту України. Серія : Державне управління. 2017. Вип. 1. – С. 329-335.
2. Тарадуда Д. В., Демент М.О. Підхід до кількісної оцінки небезпеки виникнення надзвичайних ситуацій, пов'язаних з терористичними актами на радіаційно небезпечних об'єктах. Збірка наукових праць «Проблеми надзвичайних ситуацій». – Х. 2016. Випуск 24. – С. 126-132.
1. Taraduda D.V. (2017). Approach to the development of a security strategy against CBRN incidents of a terrorist nature in Ukraine. *Bulletin of the National University of Civil Defense of Ukraine. Series: Public administration*. Issue 1. – P. 329-335.
2. Taraduda, D.V., Dement, M.O. (2016). An approach to the quantitative assessment of the danger of emergency situations associated with terrorist acts at radiation-hazardous facilities. *Collection of scientific works "Problems of emergency situations"*. Kharkov. Issue 24. P. 126-132.
3. Poplavets, S. I., Kolmogorov, O. V., Lyaskovskiy, V. I. etc. Analysis of the system of

3. Поплавець С. І., Колмогоров О. В., Лясковський В. І., та ін. Аналіз системи хімічного, біологічного, радіологічного та ядерного захисту країн Організації Північноатлантичного альянсу. Scientific Collection "InterConf", (57): with the Proceedings of the 4th International Scientific and Practical Conference "Scientific Community: Interdisciplinary Research" (May 18-19, 2021). Hamburg, Germany: Busse Verlag GmbH, 2021. – P. 633-642.
4. Куракин А. С. О состоянии влияния атомной энергетики Украины и ее влияние на безопасность в Европе / А. С. Куракин, А. А. Селиванов, Н. И. Свеколкин, М. В. Ворон, М. Л. Санашкина // Науч. теорет. журн. "Век глобализации" – М.: 2017. – №1(21). – С. 120-131.
5. Поплавець С. І. Формування інформаційної моделі радіаційної обстановки для генерування сценаріїв наслідків руйнування радіаційно-небезпечних об'єктів / С. І. Поплавець, Г. Б. Гишко, О. В. Овчаров та ін.] // Scientific Collection "Inter Conf", (41): with the Proceedings of the 7th International Scientific and Practical Conference "Scientific Horizon in the Context of Social Crises" (February 6-8, 2021). Tokyo, Japan: Otsuki Press, 2021. –P. 1206-1212.
6. Поплавець С. І. Інтегрування дифузійних процесів розповсюдження радіонуклідів та небезпечних хімічних речовин до інформаційних моделей хімічної та радіаційної обстановки / С. І. Поплавець, Г. Б. Гишко, О. В. Овчаров та ін.] // Scientific Collection "Inter Conf", (42): with the Proceedings of the 1st International Scientific and Practical Conference "Theory and Practice of Science: Key Aspects" (February 19-20, 2021). Rome, Italy: Dana, 2021. – P. 1115-1126.
7. Борисова А. С. Аналітичний огляд стану техногенної та природної безпеки в Україні за 2018 рік. Український науково-дослідний інститут цивільного захисту ДНС України. / А. С. Борисова, О. chemical, biological, radiological and nuclear protection of the countries of the North Atlantic Alliance. Scientific Collection "InterConf", (57): with the Proceedings of the 4th International Scientific and Practical Conference "Scientific Community: Interdisciplinary Research" (May 18-19, 2021). Hamburg, Germany: Busse Verlag GmbH, 2021. – P. 633-642.
4. Kurakin, A.S., Selivanov, A. A., Svelolkin, N. I., Voron, M. V., Sanashkina M. L. (2017). On the state of influence of atomic energy of Ukraine and its influence on security in Europe. *Sci. theory journal "The Age of Globalization"*. Moscow, 2017. No. 1 (21). С. 120-131.
5. Poplavets S.I., Gishko, G. B., Ovcharov, O. V. etc. Formation of an information model of the radiation situation for generating scenarios of the consequences of the destruction of radiation-hazardous objects. Scientific Collection "Inter Conf", (41): with the Proceedings of the 7th International Scientific and Practical Conference "Scientific Horizon in the Context of Social Crises" (February 6-8, 2021). Tokyo, Japan: Otsuki Press, 2021. – P. 1206-1212.
6. Poplavets S. I., Gishko, G. B., Ovcharov, O. V. etc. Integration of diffusion processes of diffusion of radionuclides and hazardous chemical substances into information models of the chemical and radiation environment. Scientific Collection "Inter Conf", (42): with the Proceedings of the 1st International Scientific and Practical Conference "Theory and Practice of Science: Key Aspects" (February 19-20,2021). Rome, Italy: Dana, 2021. – P. 1115-1126.
7. Borysova A.S., Dyshkant, O. V., Yevdin, O. M. and others. Analytical review of the state of man-made and natural safety in Ukraine for 2018. Ukrainian Research Institute of Civil Protection of the National Service of Ukraine. – Kyiv: UNDICZ, 2019. 277 p.
8. Onece. URL : <https://www.unece.org/>

- В. Дишкант, О. М. Євдін та інші – К.: УНДІЦЗ, 2019. – 277 с.
8. Onece. URL : [https://www.unece.org/fileadmin/DAM/env/documents/2017/TEIA/Minsk\\_April\\_17/Presentations\\_count ries/Ukraine\\_RUS.pdf](https://www.unece.org/fileadmin/DAM/env/documents/2017/TEIA/Minsk_April_17/Presentations_count ries/Ukraine_RUS.pdf).
9. Поплавець С. І. Формування інформаційної моделі хімічної обстановки для генерування сценаріїв наслідків руйнування хімічно-небезпечних об'єктів / С. І. Поплавець, Г. Б. Гишко, С. В. Лазебник та ін.] // *Debatsscientifiques et orientations prospective du developements scientifique: collection de papiers scientifiques «ΛΟΓΟΣ» avec desmatériaux de la I conference scientifique et pratique international (Vol. 2), Paris, 5 février 2021. Vinnytsia-Paris: Plateforme scientifi que européenne & LaFedeltà, 2021. – P. 123-130.*
10. Поплавець С. І., Лазебник С. В. Моделі та методика формування раціональної структури системи радіаційного, хімічного, біологічного захисту повітряного командування під час підготовки до бойових дій. Системи озброєння та військова техніка. Науковий журнал. – Х.: ХУПС. 2019. – № 3 (59) – С.43-47.
11. Поплавець С. І. Методика визначення раціонального складу сил та засобів радіаційного, хімічного, біологічного захисту повітряного командування / С. І. Поплавець, // *Збірник наукових праць Харківського національного університету Повітряних Сил. – Х., 2019. – № 3(61) – С.24-29.*
12. Поплавець С. І. Методика визначення раціональної структури системи радіаційного, хімічного, біологічного захисту повітряного командування / С. І. Поплавець, С. В. Лазебник, С. С. Ткачук, О. В. Рибкін, та ін. // *Scientific Collection "InterConf", (35): with the Proceedings of the 1st International Scientific and Practical Conference "Experimental and Theoretical Research in Modern Science" (November 16-18, 2020). Kishinev, Moldova: Giperion Editura, 2020. –*
- [fileadmin/DAM/env/documents/2017/TEIA/Minsk\\_April\\_17/Presentations\\_count ries/Ukraine\\_RUS.pdf](https://www.unece.org/fileadmin/DAM/env/documents/2017/TEIA/Minsk_April_17/Presentations_count ries/Ukraine_RUS.pdf).
9. Poplavets S.I., Gishko, G. B., Lazebnyk, S. V. etc. Formation of an information model of the chemical situation for generating scenarios of the consequences of the destruction of chemically hazardous objects. *Debatsscientifiques et orientations prospective du developements scientifique: collection de papiers scientifiques "ΛΟΓΟΣ" avec des matériaux de la I conference scientifique et pratique international (Vol. 2), Paris, 5 février 2021. Vinnytsia-Paris: Plateformescientifiqueeuropéenne&LaFedeltà, 2021. P. 123-130.*
10. Poplavets S. I., Lazebnyk, S. V. (2019). Models and methods of forming a rational structure of the system of radiation, chemical, biological protection of the air command during preparation for combat operations. *Weapon systems and military equipment. Scientific journal. No. 3 (59). 43-47.*
11. Poplavets S. I. (2019). Methodology for determining the rational composition of forces and means of radiation, chemical, biological protection of the air command. *Collection of scientific papers of the Kharkiv National University of the Air Force. No.3(61). P.24-29.*
12. Poplavets S.I., Lazebnyk, S. V., Tkachuk, S. S., Rybkin, O. V. and others. Methodology for determining the rational structure of the radiation, chemical, biological protection system of the air command. *Scientific Collection "InterConf", (35): with the Proceedings of the 1st International Scientific and Practical Conference "Experimental and Theoretical Research in Modern Science" (November 16-18, 2020). Kishinev, Moldova: Giperion Editura, 2020. Output. No. 2 (35). P. 699-707.*
13. Poplavets S.I., Gishko, G.B., Kolmogorov, O.V. etc. Evaluation of the effectiveness of the method of forming a rational structure of the system of radiation, chemical,

- Output. № 2 (35). – P.699-707.
13. Поплавець С. І. Оцінка ефективності методики формування раціональної структури системи радіаційного, хімічного, біологічного захисту / С. І. Поплавець, Г.Б. Гишко, О.В. Колмогоров та ін.] // Scientific Collection "InterConf", (73): with the Proceedings of the 8th International Scientific and Practical Conference "International Forum: Problems and Scientific Solutions" (September 6-8, 2021). Melbourne, Australia: CSIRO Publishing House, 2021. – P.349-357 p.
  14. Поплавець С.І. Обґрунтування показників та критеріїв формування раціональної структури системи радіаційного, хімічного, біологічного захисту / С.І. Поплавець, Г.Б. Гишко, Р. Ю. Кушпета, О.В. Колмогоров та ін. // Scientific Collection "InterConf", (46): with the Proceedings of the 1st International Scientific and Practical Conference "Current Issues and Prospects for the Development of Scientific Research" (March 19-20, 2021). Orléans, France: Epi, 2021. – P. 448-460.
  15. Поплавець С. І. Вибір та обґрунтування показників і критеріїв формування раціональної моделі системи радіаційного, хімічного, біологічного захисту / С. І. Поплавець, О. В. Колмогоров, О. Ю. Дроль, та ін. // Scientific Collection "InterConf", (51): with the Proceedings of the 9th International Scientific and Practical Conference "Science and Practice: Implementation to Modern Society" (April 18-19, 2021). Manchester, Great Britain: Peal Press Ltd., 2021. – P. 990-998.
  16. Трегубенко С. С. Методика обґрунтування раціонального складу сил і засобів радіаційного, хімічного, біологічного захисту військ оперативного командування / С.С. Трегубенко, О.А. Гутченко // Збірник наукових праць ЦНДІ ЗС України. К., 2016. – № 84(78). – С. 72-81.
  17. Трегубенко С.С. Рекомендації щодо раціонального складу сил і засобів біологічного захисту. Scientific Collection "InterConf", (73): with the Proceedings of the 8th International Scientific and Practical Conference "International Forum: Problems and Scientific Solutions" (September 6-8, 2021). Melbourne, Australia: CSIRO Publishing House, 2021. P. 349-357 p.
  14. Poplavets S.I., Gishko, G.B., Kushpeta, R.Yu., Kolmogorov, O. V. etc. Justification of indicators and criteria for the formation of a rational structure of the system of radiation, chemical, biological protection. Scientific Collection "InterConf", (46): with the Proceedings of the 1st International Scientific and Practical Conference "Current Issues and Prospects for the Development of Scientific Research" (March 19-20, 2021). Orléans, France: Epi, 2021. P. 448-460.
  15. Poplavets S.I., Kolmogorov, O. V., Drol, O. Yu. et al. Selection and substantiation of indicators and criteria for the formation of a rational model of the radiation, chemical, biological protection system. Scientific Collection "InterConf", (51): with the Proceedings of the 9th International Scientific and Practical Conference "Science and Practice: Implementation to Modern Society" (April 18-19, 2021). Manchester, Great Britain: Peal Press Ltd., 2021. P. 990-998.
  16. Tregubenko S. S., Gutchenko, O.A. (2016). The method of substantiating the rational composition of forces and means of radiation, chemical, biological protection of troops of the operational command. *Collection of Scientific Papers of the National Research Institute of the Armed Forces of Ukraine*. Kyiv, No. 84(78). 72-81.
  17. Tregubenko S.S., Gutchenko, O.A. (2016). Recommendations regarding the rational composition of the forces and means of radiation, chemical, biological protection of the troops of the operational command. *Collection of Scientific Papers of the National Research Institute of the Armed Forces of Ukraine*. Kyiv, No. 1(79). P. 96-106.

- радіаційного, хімічного, біологічного захисту військ оперативного командування / С.С. Трегубенко, О.А. Гутченко // Збірник наукових праць ЦНДІ ЗС України. К., 2016. – № 1(79). С. 96-106.
18. Кузьменко Л. Ф. Методика оцінки ефективності системи РХБ захисту та обґрунтування рекомендацій: автореф. дис. ... канд. військ. наук: 20.01.01 "Воєнне мистецтво" / Л.Ф. Кузьменко. – К., 2004. – 203 с.
19. Романюк В.П. Погляди щодо РХБ захисту військ(сил) в умовах локальних війн та конфліктів сучасності / Труді університету (ЗНП). – К.: НАОУ, 2012. – №1(107). – С. 124-129.
20. Казмірчук В. О. Проблемні питання РХБ захисту військ (сил) в зоні територіальної оборони / В. О. Казмірчук, Б. Є. Саврун, С. А. Цибуля // Військово-технічний збірник. – Л.: АСВ, 2014. – №2 (11). – С. 77–84.
21. Поплавець С. І. Можливий підхід до визначення обсягу завдань радіаційної, хімічної, біологічної розвідки / С. І. Поплавець, Г.А. Дробаха, О.В. Циганко // Новітні технології – для захисту повітряного простору: XV Міжн. наук. конф. Харк. нац. ун-ту Повітряних Сил імені Івана Кожедуба, 10 – 11 квіт. 2019 р. : тези допов. – Харків. 2019. – С. 456.
22. Поплавець С. І. Підвищення ефективності системи РХБ захисту в Повітряних Силах Збройних Сил України в наслідок інтенсифікації її ресурсного потенціалу / С.І. Поплавець // Актуальні питання матеріально-технічного забезпечення військових формувань та правоохоронних органів : наук.-прак. конф. Національної академії національної гвардії України, 26 жовт. 2017р. тези допов. – Х., 2017. – С. 125-126.
23. Методика оцінки обстановки при аваріях на ПНО та екологічної обстановки на військовому об'єкті [Текст]: метод. посіб. / Л.Ф. Кузьменко, А. М. Блекон, О.В. Бацовский. К.: НАОУ, 2001. С. 23-35.
24. Методика прогнозування и оценок последствий разрушений (аварий)
18. Kuzmenko L.F. Methodology for evaluating the effectiveness of the RHC protection system and substantiation of recommendations: autoref. thesis ... candidate troops Sciences: 20.01.01 "Military Art" / L.F. Kuzmenko. – Kyiv, 2004. 203 p.
19. Romaniuk V.P. (2012). Views on the RHC protection of troops (forces) in the conditions of local wars and conflicts of the present time. *University Proceedings*. No. 1 (107). P. 124-129.
20. Kazmirchuk V. O., Savrun, B. E., Tsybulya S. A. (2014). Problematic issues of the RCB protection of troops (forces) in the zone of territorial defense. *Military technical collection*. No.2(11). P. 77-84.
21. Poplavets S. I., Drobakha, G. A., Tsyganko O. V. A possible approach to determining the scope of radiation, chemical, biological reconnaissance tasks. Latest technologies – for airspace protection: XV International. of science conf. Hark. national Ivan Kozhedub Air Force University, April 10-11. 2019: theses add. Kharkiv, 2019. 456.
22. Poplavets S. I. Increasing the effectiveness of the air defense system of the Air Force of the Armed Forces of Ukraine as a result of the intensification of its resource potential. Actual issues of logistical support of military formations and law enforcement bodies: science-practice. conf. of the National Academy of the National Guard of Ukraine, October 26. 2017: theses of reports. Kharkiv, 2017. P. 125-126.
23. Methodology for assessing the situation in the event of accidents at the RCB and the environmental situation at the military facility [Text]: method. manual / L.F. Kuzmenko, A.M. Blackon, O.V. Batsovsky – Kyiv: NAOU, 2001. P. 23-35.
24. Methods for forecasting and assessing the consequences of destruction (accidents) of nuclear power plants and chemical industry enterprises. Moscow: Voenizdat, 1991. 92 p.
25. The method of forecasting the consequences of a spill (emission) of NKR in accidents at

- атомных электростанций и предприятий химической промышленности – М.: Воениздат, 1991. – 92 с.
25. Методика прогнозування наслідків вилливу (викиду) НХР при аваріях на промислових об'єктах і транспорті затвердженої спільним наказом МНС України, Мінагрополітики, Мінекономіки, Мінекології від 27.03.2001 р. за № 73/82/64/122.
26. Вентцель Е.С. Исследование операций. – М. Советское радио, 1972. – 552 с.
27. Юрков Б.Н. Исследование операций. – М. ВИА, 1990. – 528 с.
28. Аоки М. Введение в методы оптимизации. – М. Наука, 1977. – 344 с.
29. Полак Е. Численные методы оптимизации. Единый подход. – М. Мир, 1971. - 376с.
30. Алексеев В.М. Оптимальное управление: учебное пособие//[В.М. Алексеев, В.М. Тихомиров, С.В. Фомин]. – М.: Наука, 1979. –224с.
31. Берзин Е.А. Оптимальное распределение ресурсов и элементы синтеза систем. – М. Советскоерадио, 1974. – 276 с.
32. Бойове застосування підрозділів військ радіаційного, хімічного, біологічного захисту: навч. посібн. / В. Є. Гайдабука, С. А. Писарев, В.В. Марущенко та ін. – Х.: ФВП НТУ "ХПІ", – 2017. – 184 с.
33. Поплавец С.І. Деякі погляди щодо визначення обсягу заходів збору, узагальнення, обробки та видачі інформації про радіаційну і хімічну обстановку/ С.І. Поплавец, Р.Ю. Кушпета, О.В. Колмогоров, Г. М. Сафарова та ін.] // Scientific Collection "Inter Conf", (65): with the Proceedings of the 4th International Scientific and Practical Conference "Global and Regional Aspects of Sustainable Development" (July 6-8, 2021). Copenhagen, Denmark: Berlitz Forlag, 2021. – P. 177-185.
34. Андреев В.Г. Химический терроризм: возрастающая угроза / В. Г. Андреев // Обозреватель-Observer. – М.: 2004. – № 3 – С.43-55.
35. Татаринов В.В. Радиационный, химический и биологический терроризм / В.В. industrial facilities and transport approved by the joint order of the Ministry of Emergency Situations of Ukraine, the Ministry of Agriculture, the Ministry of Economy, the Ministry of Ecology dated March 27, 2001 under No. 73/82/64/122.
26. Wentzel E.S. Operations research. Moscow. Soviet radio, 1972. 552 p.
27. Yurkov B.N. Operations research. Moscow. VIA, 1990. 528 p.
28. Aoki M. Introduction to optimization methods. Moscow. Nauka, 1977. 344 p.
29. Polak E. Numerical optimization methods. Unified approach. Moscow. Mir, 1971. 376 s.
30. Alekseev V.M., Tikhomirov, V.M., Fomin, S.V. Optimal control: textbook – Moscow: Nauka, 1979. 224 p.
31. Berzin E.A. (1974). Optimal distribution of resources and elements of systems synthesis. Moscow. *Soviet radio*, 276 p.
32. Combat use of radiation, chemical, biological defense units: training. manual / V.E. Haydabuka, S.A. Pisarev, V.V. Marushchenko and others. Kharkiv. 184 p.
33. Poplavets S.I., Kushpeta, R.Yu., Kolmogorov, O.V., Safarova H.M. etc. Some views on determining the scope of activities for collecting, summarizing, processing and issuing information on the radiation and chemical situation. Scientific Collection "Inter Conf", (65): with the Proceedings of the 4th International Scientific and Practical Conference "Global and Regional Aspects of Sustainable Development" (July 6-8, 2021). Copenhagen, Denmark: Berlitz Forlag, 2021. P. 177-185.
34. Andreev V.G. (2004). Chemical terrorism: a growing threat. *Obozrevatel-Observer*. Moscow: No. 3. S. 43-55.
35. Tatarinov V.V. (2012). Radiation, chemical and biological terrorism. *Scientific journal "Technologies of technosphere safety"*. Moscow. Issue No. 3 (43). P. 1-7.
36. Poplavets S.I., Kolmogorov, O.V., Tikhonov, I.M. etc. Improvement of the methodology for determining the rational composition of forces and means of radiation, chemical, biological protection

- Татаринов // Научный журнал "Технологии техносферной безопасности". – М.: 2012. – Выпуск № 3 (43). – С. 1-7.
36. Поплавец С.І. Удосконалення методики визначення раціонального складу сил та засобів радіаційного, хімічного, біологічного захисту військових частин Повітряного Командування в умовах радіоактивного та хімічного зараження для підвищення якості загально-військової підготовки курсантів вищих військово навчальних заходів. Звіт про НДР. Шифр: "Розрахунок" ДР № 0121U108240 / [Поплавец С.І., Колмогоров О.В., Тіхонов І.М. та ін.] Х.: ХНУПС, 2022. 255 с.
37. Справочник по исследованию операций/ В. А. Абчук, Ф. А. Матвейчук, Л. П. Томашевский / Под ред. Ф. А. Матвейчук. М.: Воениздат, 1979. 368 с.
38. Колечкіна Л. М. Властивості задач багатокритеріальної оптимізації на комбінаторних множинах та методи їх розв'язання / Л. М. Колечкіна. – Полтава: РВВ ПУСКУ, 2008. – 162 с.
39. Сергиенко И.В. Модели и методы решения на ЭВМ комбинаторных задач оптимизации / И. В. Сергиенко, М. Ф. Каспшицкая. – К.: Наукова думка, 1981. – 288 с.
- of military units of the Air Command in conditions of radioactive and chemical contamination to improve the quality of joint military training of cadets of higher military training events. Report on the GDR. Code: "Calculation" DR No. 0121U108240. Kharkiv, 2022. 255 p.
37. Handbook of operations research / V. A. Abchuk, F. A. Matveychuk, L. P. Tomashevsky / Ed. F. A. Matveychuk. Moscow: Military Publishing House, 1979. 368 p.
38. Kolechkina L. M. Properties of multicriteria optimization problems on combinatorial sets and methods of their solution. Poltava, 2008. 162 p.
39. Sergienko I.V., Kaspshitskaya, M. F. Models and methods for solving combinatorial optimization problems on a computer. Kyiv: NaukovaDumka, 1981. 288 p.