УДК 351.862.1

RESEARCH METHODS FOR DETERMINING OPTIMAL STRUCTURE OF CIVIL DEFENSE FORCES FOR EMERGENCY RECOVERY

O. Hivrich, N. Volodchenkova, S. Kovalenko
National University of Food Technologies

Key words:
Civil defence
Emergency recovery
Optimization
Management efficiency
Control decentralization
Rational allocation of diverse forces

Article history:
Received 19.07.2014
Received in revised form 27.07.2014
Accepted 12.08.2014

Corresponding author:
N. Volodchenkova
E-mail:
VolNa22@bigmir.net

ABSTRACT

In contrast to the existing methods of substantiating civil defense forces of a defined structure, methodology proposed in this article is aimed at forming groups of the defined forces, whose structure is most suitable for the tasks on liquidation of consequences of any emergency situation in a particular application of the act, which is optimal according to the criterion of maximum target effectiveness of forces.

ДОСЛІДЖЕННЯ МЕТОДІВ ВИЗНАЧЕННЯ ОПТИМАЛЬНОЇ СТРУКТУРИ СИЛ ЦИВІЛЬНОГО ЗАХИСТУ ДЛЯ ЛІКВІДАЦІЇ НАСЛІДКІВ НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЙ

О.В. Хіврич, Н.В. Володченкова, С.Д. Коваленко
Національний університет харчових технологій

На відміну від існуючих методик обґрунтування сил цивільного захисту певної оргштатної структури, методика, що пропонується, спрямована на формування угруповання відповідних сил, структура якого максимально пристосована до виконання завдань з ліквідації наслідків будь-якої надзвичайної ситуації в конкретному акті застосування, що є оптимальною за критерієм максимуму цільової ефективності сил.

Ключові слова: *цивільний захист, ліквідація наслідків надзвичайних ситуацій, оптимізація, ефективність управління, децентралізація управління, раціональний розподіл різнорідних сил.*

Для математичного формулювання задачі оптимізації сил цивільного захисту при ліквідації наслідків надзвичайних ситуацій необхідно визначити математичний вигляд цільової функції (лінійна чи нелінійна), вигляд обмежень, обрати математичний метод вирішення задачі, провести дослідження методу стосовно його збіжності з отриманим результатом. На основі дослідження алгоритму оптимізації сил слід відпрацювати рекомендації щодо його використання при підготовці відповідних варіантів застосування сил цивільного захисту.

Відомо, що для формулювання задачі оптимізації сил цивільного захисту при ліквідації наслідків будь-якої надзвичайної ситуації необхідно виконати дві умови. Перша — це побудова цільової функції, друга — побудова функцій обмежень (їх може бути одна або декілька). Далі, залежно від виду цільової функції та функцій обмежень, обирається метод вирішення. Подібний підхід («операційний метод») використовується при вирішенні будь-яких задач, що належать до класу задач математичного програмування [1, 2].

Зміст задачі — оптимізація (мінімізація) складу сил цивільного захисту, який зможе при цьому досягти потрібного ефекту за директивний час за рахунок раціонального розподілу відповідних сил і засобів. Для вирішення цієї задачі розглянемо аналітичний метод нелінійного програмування [1,3].

Акт застосування сил при ліквідації наслідків будь-якої надзвичайної ситуації полягає у виконанні сукупності різнорідних завдань для досягнення мети:

$$Z = \langle z_j, j = \overline{1,n} \rangle .$$

Сили мають розрахункові одиниці (р.о.) різних спеціалізацій:

$$R = \langle r_i, i = \overline{1,n} \rangle ,$$

які мають „питому” продуктивність створення ефекту по кожному завданню:

$$P = \left\| p_{ij} \right\|_{m \times n} .$$

Завдання мають пріоритети

$$C = \langle c_j, j = \overline{1,n} \rangle .$$

Планом розподілу сил по завданнях є матриця:

$$XS = \left\| x_{ij} \right\|_{m \times n} , \tag{1}$$

де x_{ij} - кількість р.о. i – го типу, що призначаються на j - те завдання.

Вважаємо, що ефект по j - му завданню такий:

$$W_j\left(X_{ij}\right) = C_j \left\{ 1 - \prod_{i=1}^{n} \left(1 - p_{ij}\right)^{x_{ij}} \right\}, j = \overline{1,n}.$$

Тоді сумарний ефект щодо виконання завдань:

$$WS(X) = \sum_{j=1}^{n} W_j\left(X_{ij}, i=\overline{1,m}\right) = \sum_{j=1}^{n} C_j\left\{1-\prod_{i=1}^{m}\left(1-p_{ij}\right)^{x_{ij}}\right\}.$$

Витрати (склад) сил по видах складуть:

$$NS = \left\langle\left(N_i = \sum_{j=1}^{n} x_{ij}\right), i=\overline{1,m}\right\rangle.$$

Планом дій (сценарієм) є матриця:

$$SS = \left\| s_{ij} \right\|_{m\times n}, \tag{2}$$

де s_{ij} — дії (заходи) сил x_{ij}.

Вектор – стовпчик матриці (2):

$$S_j = \begin{vmatrix} S_{1j} \\ S_{ij} \\ S_{mj} \end{vmatrix}, j=\overline{1,n}, \tag{3}$$

дає сукупність заходів (дій) сил:

$$X_j = \begin{vmatrix} X_{1j} \\ X_{ij} \\ X_{mj} \end{vmatrix}, j=\overline{1,n}, \tag{4}$$

що являють собою процес виконання завдання z_j.

Моделлю процесу (3) і (4) є сітьовий граф $G_j = \{G,H\}_j, j=\overline{1,n}$, який має дуги G та інциденті до них вершини H, причому вершина h_0 з дугами, що з неї виходять, є початковим станом процесу, вершина h_k із дугами, що до неї заходять, є кінцевим станом процесу, а інші вершини h є проміжними станами процесу, коли закінчуються заходи, які є вершинами, і починаються заходи, що є дугами, які виходять з вершини h. Розрахункові одиниці ресурсів (підрозділи) мають спеціалізації згідно зі змістом заходів, що складають процес — (G).

Розглянемо процес із діями, що передбачає певний обсяг заходів, і призначені на них ресурси (рис. 1). У даному випадку індекси ресурсу — X_{kl}, де k,l — інциденті до заходу a_{kl} вершини; спочатку це x_{ij}.

Очевидно, що обсяг a_{kl} буде виконаний ресурсом X_{kl}, який має продуктивність a_{kl} за час τ_{kl}, що визначається інтегральним рівнянням:

$$A_{kl} = \int_0^{\tau_{kl}} a_{kl}\left(x_{kl}, t\right)\cdot dt. \tag{5}$$

Якщо вважати, що $a_{kl}\left(x_{kl}, t\right) \approx a_{kl}(1)\cdot x_{kl}$,то (5) буде мати вигляд:

$$A_{kl} \approx a_{kl}(1)\cdot x_{kl}\cdot \tau_{kl}. \tag{6}$$

де $a_{kl}(1)$ – нормативна продуктивність одного р.о.

Приведемо (6) до вигляду:

$$\alpha_{kl} = \frac{A_{kl}}{a_{kl}(1)} \cong (x_{kl} \cdot \tau_{kl}). \tag{7}$$

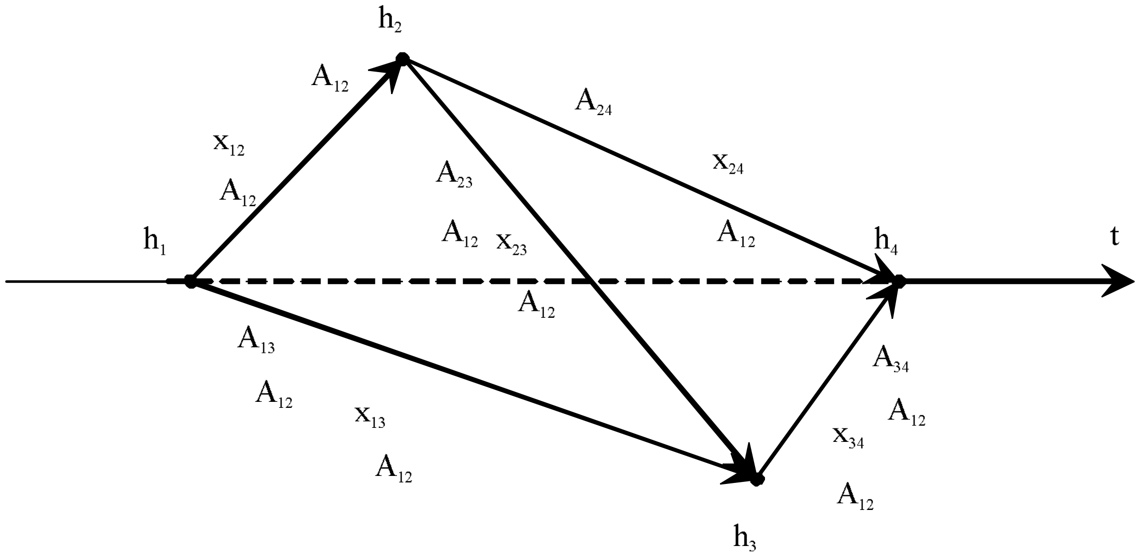

Рис. 1. Сітьовий граф процесу застосування сил цівільного захисту по діям на об'єктах при ліквідації наслідків надзвичайної ситуації

Таким чином, трудомісткість заходу a_{kl} повинна дорівнювати трудовитратам $(x_{kl} \cdot \tau_{kl})$ на виконання завдання.

Для даного виду роботи (з обсягом A_i) продуктивність одного р.о. $a_{kl}(1)$ буде «нормативною», тобто константою. Тоді при виконанні j – го заходу справедливою буде залежність між потрібним складом р.о. ресурсів і часом виконання роботи, як це випливає із (7):

$$X_{kl} = \frac{\alpha_{kl}}{\tau_{kl}}; \tag{8}$$

$$\tau_{kl} = \frac{\alpha_{kl}}{X_{kl}}. \tag{9}$$

Залежності (8), (9) є гіперболами з параметром a_{kl}, але деякі методи «оптимізації» комплексу робіт (PERT) використовують приблизну (лінійну) залежність на малих інтервалах ΔX_{kl}, $\Delta\tau_{kl}$. Зрозуміло, що це припущення при значних кількостях «Х» ресурсів дає істотну помилку у планах розподілу ресурсів і знижує їхню ефективність.

Потужність системи в акті застосування є темпом зростання системного ефекту [2, 4]:

$$bm(t) = \frac{dWS(t)}{dt} \approx \left(\frac{\Delta WS}{\Delta t}\right). \tag{10}$$

Середня потужність за час дій:

$$BM = \frac{WS}{TS}.$$

Представимо (10) у вигляді:

$$bm(t) = \frac{dWS(t)}{dt} = \left(\frac{\partial WS}{\partial r}\right)\left(\frac{dr}{dt}\right) = b(t)a(t),$$

де $b(t) = \frac{\partial WS}{\partial r}$ є продуктивністю ресурсів, які витрачаються (засобів) на створення системного ефекту, а $a(t) = \frac{dr}{dt}$ - продуктивністю ресурсів, які не витрачаються (сил) на перетворення ресурсів, що забезпечують системний ефект.

Таким чином, накопичення системного ефекту у часі $W(t) = \int_0^t b(t)a(t)dt$, а за час акту застосування – $WS = W(TS) = \int_0^{TS} b(t)a(t)dt$.

Витрати потенціалу «здатності» за цей же час:

$$RS = r(TS) = \int_0^{TS} a(t)dt, \tag{11}$$

бо саме темп витрачання ресурсів, що перетворюються у системний ефект a(t) визначає ці втрати. Очевидно, що:

$$a(t) \cong a(1)(NS),$$

де a(1) — нормативна продуктивність одного р.о. сил NS.

Тоді вираз (11) набуде такого вигляду:

$$RS = \int_0^{TS} a(1)NSdt \approx a(1)(NS \cdot TS).$$

На RS зменшиться потенціал здатності щодо виконання відповідних завдань за час TS:

$$BS(t = TS) = BS(t = 0) - \int_0^{TS} a(t)dt = BS(t = 0) - RS(t = TS),$$

де $BS(t = TS)$ — решта потенціалу здатності щодо виконання відповідних завдань після акту застосування. Ефективність системи цивільного захисту в акті застосування складе [2, 4]:

$$ES = \frac{WS}{RS} = \frac{WS}{a(1)(NS \cdot TS)}. \tag{12}$$

У виразі (12) ефект WS визначений рівнем «захисту» (відвернених збитків) сил $WS^{потр}$, час застосування $TS^{дир}$ визначається планом дій сил цивільного захисту — об’єкту захисту, a(1) — нормативна продуктивність однієї р.о. системи цивільного захисту зі створення ефекту, яку можна не враховувати серед показників, що є змінними. Ефективність системи цивільного захисту при ліквідації наслідків надзвичайної ситуації оцінюється співвідношенням:

$$ES = \frac{WS^{потр}}{NS \cdot TS^{дир}} \quad \frac{[\text{од. ефекту}]}{[\text{од. сил}][\text{од. часу}]}.$$

Підвищити ефективність можливо зменшенням складу сил NS, який зможе при цьому досягти потрібного ефекту за директивний час, тобто

$$\uparrow ES \Rightarrow \frac{WS^{потр}}{\downarrow NS \cdot TS^{дир}}.$$

Загальна задача мінімізації витрат $RS = (NSTS)$ має дві інтерпретації [5]:

Пряма задача – на множині планів розподілу сил по об’єктах застосування $\{X\}^{пр}$, кожний з яких $X = \|x_{ij}\|_{m\times n}$ задовольняє умови обмеження:

$$WS(X) \geq WS^{потр};$$

$$NS(X) \leq NS^{ОШС} = \sum_{i=1}^{m} x_{ij}.$$

Необхідно знайти такий (оптимальний) план $X^0 = \|x_{ij}^0\|_{m\times n}$, що мінімізує тривалість процесу застосування:

$$TS(X^0) = \min_{\{x\}} TS(X);$$

Обернена задача – на множині $\{X\}^{об}$ планів розподілу сил по об’єктах застосування, кожний з яких $X = \|x_{ij}\|_{m\times n}$ задовольняє обмеження:

$$WS(X) = \sum_{i=1}^{m}\sum_{j=1}^{n} A_j\left(1 - \prod_{i=1}^{m}(1-p_{ij})^{X_{ij}}\right) \geq WS^{потр},$$

$$TS(X) = \sum_{j=1}^{n} T_j \leq TS^{дир}.$$

Потрібно знайти такий (оптимальний) $X^0 = \|x_{ij}^0\|_{m\times n}$, що мінімізує загальний склад сил цивільного захисту при ліквідації наслідків надзвичайної ситуації:

$$NS(X^0) = \min_{\{x\}} NS(X) = \sum_{j=1}^{n} X_{ij}.$$

Обидві задачі максимізують ефективність сил. Пряма задача:

$$ES^{пр} = \frac{WS^{потр}}{NS^{ОШС}\min TS} = \max ES;$$

обернена:

$$ES^{об} = \frac{WS^{потр}}{\min NS \cdot TS^{дир}} = \max ES.$$

Продемонструємо на елементарному прикладі зміст ресурсної оптимізації процесу, яка ґрунтується на залежностях (8), (9). Нехай процес складають два послідовні заходи із запасом ресурсів (α_1, α_2) відповідно. Для проведення заходів виділяються ресурси (спеціалізовані) у кількості N р.о.

Планом розподілу N по заходах є вектор:

$$X = \langle x_1, x_2 \rangle, \tag{13}$$

де x_1 – кількість р.о. зі спеціалізацією по заходу A_1, а x_2 – по заходу A_2.

Будь-який план для прямої задачі повинен задовольняти умову – обмеження:

$$x_1 + x_2 = N. \tag{14}$$

Кожний захід, відповідно до (9), буде мати тривалість:

$$\tau_1(x_1) = \left(\frac{\alpha_1}{x_1}\right), \ \tau_2(x_2) = \left(\frac{\alpha_2}{x_2}\right). \tag{15}$$

Загальна тривалість процесу при плані (13) складе:

$$TS(X) = \tau_1(x_1) + \tau_2(x_2) = \frac{\alpha_1}{x_1} + \frac{\alpha_2}{x_2}. \tag{16}$$

Знайдемо такий план $X^0 \subset \{X\}$, що мінімізує тривалість (16) при обмеженні (14).

Із (14) знайдемо x_2:

$$x_2 = (N - x_1) \tag{17}$$

і підставимо це значення у (16); одержимо цільову функцію однієї змінної x_1, тобто

$$TS(X) = \frac{\alpha_1}{x_1} + \frac{\alpha_2}{N - x_1} = TS(X_1). \tag{18}$$

Запишемо умову існування екстремуму функції (18):

$$\frac{\partial TS}{\partial x_1} = -\frac{\alpha_1}{x_1^2} - \frac{\alpha_2}{(N - x_1)^2}(-1) = 0. \tag{19}$$

Знайдемо оптимальне значення x_1 вирішенням алгебраїчного рівняння (19):

$$\frac{\alpha_1}{\alpha_1^2} = \frac{\alpha_2}{(N_1 - x_1)^2}. \tag{20}$$

Визначаємо корінь лівої та правої частин рівняння (20) та остаточно знаходимо оптимум:

$$x_1^0 = \frac{\sqrt{\alpha_1}}{\sqrt{\alpha_1} + \sqrt{\alpha_2}} \cdot N. \tag{21}$$

Оптимальне значення другої змінної знайдемо з обмеження (17):

$$x_2^0 = N - x_1^0 . \tag{22}$$

З урахуванням виразу (21) розрахункова формула буде мати вигляд:

$$x_2^0 = \frac{\sqrt{\alpha_1}}{\sqrt{\alpha_1}+\sqrt{\alpha_2}} \cdot N . \tag{23}$$

Таким чином:

$$TS\left(X^0\right) = \min_{\{x\}} TS\left(X\right) = \sum_{j=1}^{2} \tau_j\left(x_j^0\right). \tag{24}$$

За аналогією, законом оптимального розподілу ресурсів по послідовним n заходам із трудовитратами $A = \left\langle \alpha_j, j = \overline{1,n} \right\rangle$ є вектор [4, 5]:

$$X^0 = \left\langle \left(x_j^0 = \frac{\sqrt{\alpha_j}}{\sum\limits_{j=1}^{n} \sqrt{\alpha_n}} \cdot N \right), j = \overline{1,n} \right\rangle,$$

при якому загальна тривалість процесу мінімальна:

$$TS\left(X^0\right) = \min_{\{x\}} TS\left(X\right) = \sum_{j=1}^{n} \tau_j\left(x_j^0\right).$$

Користуючись простішим прикладом процесу, вирішимо обернену зада чу — знайти оптимальний план розподілу ресурсів по заходах, що задовольняє обмеження по директивній тривалості процесу:

$$TS\left(X^0\right) = \tau_1\left(x_1\right) + \tau_2\left(x_2\right) = TS^{дир} \tag{25}$$

і мінімізує загальну кількість р.о. (склад сил):

$$NS\left(X^0\right) = \min_{\{x\}} NS\left(X\right) = x_1^0 + x_2^0 . \tag{26}$$

Користуючись залежністю (8), підставимо у (26) значення компонент (x_1, x_2), що виражені через тривалості:

$$NS\left(X\right) = \frac{\alpha_1}{\tau_1} + \frac{\alpha_2}{\tau_2} = \frac{\alpha_1}{\tau_1} + \frac{\alpha_2}{\left(TS^0 - \tau_1\right)} . \tag{27}$$

Знайдемо оптимальні значення τ_1^0, τ_2^0 за умови екстремуму функції (27):

$$\frac{\partial NS}{\partial \tau_1} = \frac{-\alpha_1}{\tau_1^2} - \frac{\alpha_2}{\left(TS^{\partial} - \tau_1\right)^2}\left(-1\right) = 0 .$$

Очевидно, що:

$$\tau_1^0 = \frac{\sqrt{\alpha_1}}{\sqrt{\alpha_1}+\sqrt{\alpha_2}} TS^{\partial} ; \tag{28}$$

$$\tau_2^0 = TS^{\partial} - \tau_1^0 = \frac{\sqrt{\alpha_2}}{\sqrt{\alpha_1}+\sqrt{\alpha_2}} TS^{\partial}. \quad (29)$$

Тепер компоненти оптимального плану розподілу легко знайти із (28), (29):

$$x_1^0 = \frac{\alpha_1}{\tau_1^0} = \frac{\sqrt{\alpha_1}}{TS^{\partial}}\left(\sqrt{\alpha_1}+\sqrt{\alpha_2}\right);$$

$$x_2^0 = \frac{\sqrt{\alpha_2}}{TS^{\partial}}\left(\sqrt{\alpha_1}+\sqrt{\alpha_2}\right).$$

Мінімум цільової функції:

$$NS\left(X^0\right) = \min_{\{x\}} NS(X) = x_1^0 + x_2^0.$$

У загальному вигляді рішення для оберненої задачі при n заходах має вигляд:

$$\tau_j^0 = \frac{\sqrt{\alpha_j}}{TS^{\partial}}\left(\sum_{j=1}^{n}\sqrt{\alpha_k}\right), j = \overline{1,n}$$

$$X^0 = \left\langle x_j^0 = \left(\frac{\alpha_j}{\tau_j^0}\right), j = \overline{1,n}\right\rangle,$$

$$NS\left(X^0\right) = \min_{\{x\}} NS(X) = \sum_{j=1}^{n} x_j^0.$$

Слід зазначити, що для визначення складу сил для процесу застосування з директивною тривалістю як основна використовується обернена задача [8].

Обернена задача завжди забезпечує значно більшу ефективність дій сил у процесі застосування, ніж пряма. Розглянемо рис. 2 щодо ефективності.

Нехай CS – сумарна "важливість" об'єктів застосування сил NS. Якщо у завданні визначений потрібний рівень ефекту (відвернених збитків) $WS^{потр}$, то рішення $X^0_{об}$ оберненої задачі розподілу дає мінімум сил N_{min}, ефективність дій яких оцінюється співвідношенням:

$$ES_{об} = \frac{WS^{потр}}{NS_{\min}} = tg\beta^{об}. \quad (30)$$

Якщо склад сил, згідно з оргштатною структурою, є $NS^{ОШС}$, то рішення прямої задачі їх розподілу по об'єктах дає максимум ефекту WS_{max}, ефективність дій сил $NS^{ОШС}$ оцінюється співвідношенням:

$$ES_{пр} = \frac{\max WS}{NS^{ОШС}} = tg\beta^{пр}. \quad (31)$$

Оскільки дана функція завжди є випуклою в задачах розподілу ресурсів, то, як це видно із рис. 2, ефективність (31) завжди менша, ніж (30). Крім того, якщо $NS^{ОШС} < NS_{min}$, то відповідне завдання не може бути виконане взагалі, тому виникає додаткова задача про обмеження.

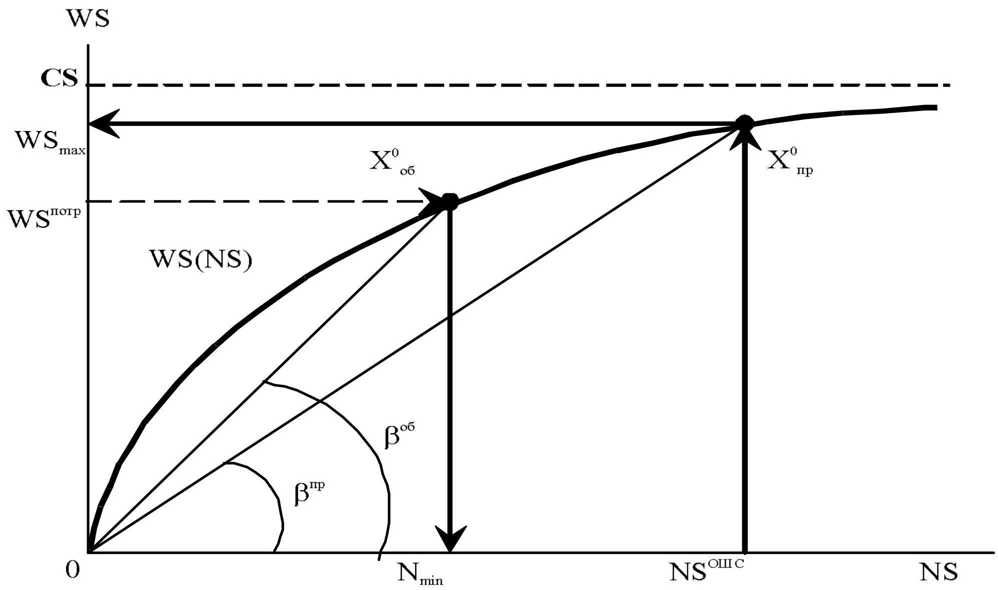

Рис. 2. Графічна інтерпретація визначення мінімального складу сил із потрібним рівнем ефекту

Нехай завданням визначений рівень захисту об’єктів $WS^{потр}$. Вирішенням оберненої задачі визначається мінімум (що забезпечує досягнення потрібного рівня бойового ефекту $WS^{потр}$) сил $NS^{об}_{\min}$.

У керівних документах з організації та виконання робіт з ліквідації наслідків надзвичайних ситуацій, на жаль, не визначені вимоги щодо рівня їх ефективності. Виходячи з цього, для проведення розрахунків з метою обґрунтування відповідних рекомендацій необхідно обумовити рівень ефекту системи цивільного захисту відповідної ланки, що очікується. [1, 2, 5]

Якщо наявний склад сил ($NS^{ОШС}$) менший, ніж NS_{min}, то вирішується пряма задача його розподілу з ефектом WS_{max}, який буде менший, ніж потрібний $WS^{потр}$. Тоді вищий орган управління повинен зробити такі припущення: або зменшити $WS^{потр}$ до WS_{max} (поступка стосовно ефекту — ΔWS); або збільшити $NS^{ОШС}$ до NS_{min} (поступка стосовно складу сил — ΔNS); або частково зменшити $WS^{потр}$ і збільшити NS одночасно для забезпечення виконання завдання з ліквідації наслідків надзвичайних ситуацій.

Висновки

Запропонований методичний апарат дозволяє обґрунтувати кількість сил цивільного захисту, структура якого максимально пристосована до виконання завдань з ліквідації наслідків будь-якої надзвичайної ситуації в конкретному акті застосування, що є оптимальною за критерієм максимуму цільової ефективності сил, а саме: оптимальний розподіл сил по об’єктах застосування згідно з покладеним завданням за критерієм мінімуму складу сил; оптимальний план дій сил цивільного захисту в процесі виконання кожного завдання; обчислення оптимального співвідношення різнорідних сил цивільного захисту при їх мінімальній чисельності (оптимізація структури).

Література

1. *Aschenbruck N., Gerhards—Padilla E., Martini P.* Modeling mobility in disaster area scenarios / *Performance Evaluation.* — December 2009. — Volume 66, Issue 12. — Pages 773—790.

2. *Alexander Fekete* Safety and security target levels: Opportunities and challenges for risk management and risk communication / *International Journal of Disaster Risk Reduction.* — December 2012. —Vol. 2. — P. 67—76.

3. *Акоф Р., Сасиени М.* Основы исследования операций. — М.: Мир, 1971. — 534 с.

4. *Барабаш Ю.Л.* Основи теорії оцінювання ефективності складних систем. — К.: НАОУ, 1999. — 39 с.

5. *Бешелев С.Д., Гурвич Ф.Г.* Экспертные оценки. — М.: Наука, 1973. — 156 с.

6. *Вентцель Е.С.* Исследование операций. — М.: Сов. радио, 1972. — 551 с.

7. *Вентцель Е.С.* Теория вероятности. — М.: Наука, 1969. – 576 с.

8. *Саати Т.* Математические методы исследования операций: Пер. с англ. — М.: Воениздат, 1963. — 420 с.

ИССЛЕДОВАНИЕ МЕТОДОВ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ОПТИМАЛЬНОЙ СТРУКТУРЫ СИЛ ГРАЖДАНСКОЙ ЗАЩИТЫ ДЛЯ ЛИКВИДАЦИИ ПОСЛЕДСТВИЙ ЧРЕЗВЫЧАЙНЫХ СИТУАЦИЙ

А.В. Хиврич, Н.В. Володченкова, С.Д. Коваленко
Национальный университет пищевых технологий

В отличие от существующих методик обоснования сил гражданской защиты определенной оргштатной структуры, предлагаемая методика направлена на формирование группировки соответствующих сил, структура которой максимально приспособлена к выполнению задач по ликвидации последствий любой чрезвычайной ситуации в конкретном акте применения, что является оптимальной по критерию максимума целевой эффективности сил.

Ключевые слова: *гражданская защита, ликвидация последствий чрезвычайных ситуаций, оптимизация, эффективность управления, децентрализация управления, рациональное распределение разнородных сил.*