DOI:**10.33099/2311-7249/2020-38-2-101-106**

УДК 395.424

***Валентин Петрович Романюк* [1]**
***Анатолій Анатолійович Нікітін* *(доктор філософії)* [1]**
***Світлана Олександрівна Ганненко*[1]**
***Євген Володимирович Морщ* *(кандидат технічних наук)* [2]**

[1] ***Національний університет оборони України імені Івана Черняховського, Київ, Україна***
[2] ***Державна служба України з надзвичайних ситуацій, Київ, Україна***

МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ РЕСУРСНОЇ ОПТИМІЗАЦІЇ ЦІЛЬОВОЇ ПРОГРАМИ ЗАСТОСУВАННЯ СИЛ І ЗАСОБІВ ЗАПОБІГАННЯ ТА ЛІКВІДАЦІЇ НАСЛІДКІВ НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЙ

Аналіз останніх досліджень і публікацій показав, що під час виникнення надзвичайних ситуацій необхідно розрахувати сили і засоби, які можуть бути задіяний для їх ліквідації. Проблема оптимізації ресурсів під час ліквідації наслідків надзвичайних ситуацій залишається актуальною сьогодні не тільки для України, але й для усього світу. Для розв'язання цих задач розробляються математичні моделі залежно від станів джерел загроз і ресурсів захисту. В управляючому комплексі формулюються задачі розподілу ресурсів захисту за результатами прогнозування. У статті розглянуто математичні моделі ресурсної оптимізації для ліквідації наслідків надзвичайних ситуацій залежно від станів джерел загроз і ресурсів захисту. Побудова зазначених математичних моделей залежить від особливостей району ступеня ескалації збройного конфлікту на Південному Сході України. Після визначення обсягів ресурсів сил і засобів запобігання та ліквідації наслідків надзвичайних ситуацій розробляється сценарій їх застосування та передбачається використання програмно-цільового підходу. Зазначений підхід дозволяє вирішити задачу ресурсної оптимізації, яка розглядається як процес застосування ресурсів по операціях – системі заходів програми по етапах планування. При цьому, комплекс операцій програми задається його математичною моделлю – сітьовим графом, який відображає операційний склад програми і її логічну структуру. Внаслідок чого виникають дві інтерпретації основної задачі ресурсної оптимізації процесу (пряма та обернена), які максимізують ефективність процесу за рахунок раціонального використання ресурсів. Формальна постановка задач потребує для їх вирішення застосування методів нелінійного програмування. В статті використаний метод невизначених множників Лагранжа. Формалізація задачі дослідження дозволяє застосувати методи математичного програмування і одержати її рішення у вигляді алгоритмів та математичних моделей. В статті висвітлений науковий результат, що має прикладне значення – математична модель та алгоритми вирішення задач оптимального управління ресурсами при запобіганні і ліквідації наслідків надзвичайних ситуацій. Суть розробленої моделі та алгоритму полягають у розрахунку оптимального розподілу ресурсів по об'єктах на основі оцінки загроз і нормативних витрат ресурсів та розробці оптимальної програми (сценарію) застосування ресурсів. На основі методів математичного програмування розроблені алгоритми, які при наявності вихідних даних дозволяють вирішити задачі оптимального управління при виконанні заходів щодо запобігання надзвичайним ситуаціям, ліквідації їхніх наслідків, а також оптимізацію програми-сценарію дій сил при виконанні цих заходів. Використання даних моделей дозволяє підвищити якість прийняття рішень, стосовно створення раціонального використання сил і засобів під час ліквідації наслідків надзвичайних ситуацій.

Ключові слова: *ліквідація надзвичайних ситуацій, програма застосування сил і засобів, ресурсна оптимізація, техногенна загроза, математична модель.*

Вступ

Досвід операції Об'єднаних сил (ООС), АТО показав низку невідповідностей у практиці виконання завдань підрозділами під час ліквідації наслідків надзвичайних ситуацій (НС) щодо відновлення об'єктів інфраструктури, які були зруйновані незаконними збройними формуваннями (НЗФ), об'єктів хімічної промисловості та атомної енергетики. Одним із самих складних питань під час планування виконання завдань щодо відновлення об'єктів інфраструктури було оперативне та якісне обґрунтування оптимізації цільової програми застосування сил і засобів запобігання та ліквідації наслідків надзвичайних ситуацій.

При цьому відмічалася нерівномірність термінів виконання запланованих обсягів завдань на об'єктів різного значення.

Постановка проблеми. Проблема оптимізації ресурсів при ліквідації надзвичайних ситуацій залишається актуальною сьогодні не тільки для України, але й для усього світу. Враховуючи глобальні та регіональні виклики, що пов'язані з ростом зношенності основних фондів небезпечних підприємств, значною кількістю хімічно та радіаційнонебезпечних об'єктів на території проведення ООС і в безпосередній близькості до лінії зіткнення зростають техногенні загрози та ризик виникнення надзвичайних ситуацій в разі ураження таких об'єктів внаслідок застосування звичайного артилерійського озброєння та здійснення диверсійних актів.

Аналіз останніх досліджень і публікацій показав, що для ліквідації надзвичайних ситуацій необхідно розрахувати ресурс, який може бути задіяний для ліквідації НС [1]. Для розв'язання цих задач розробляються математичні моделі залежно від станів джерел загроз і ресурсів захисту. В управляючому комплексі формулюються задачі розподілу ресурсів захисту за результатами прогнозування.

Побудова зазначених моделей залежить від особливостей зони проведення ООС. Для порівняно простих випадків, коли між параметрами існує однозначна залежність (наприклад, залежність рівня радіаційного забруднення від виду радіонукліда і часу), можуть використовуватися детерміновані (алгебраїчні чи інтегро-диференціальні) моделі [2]. На практиці частіше зустрічаються випадки, коли залежність між параметрами неможливо описати однозначно через стохастичну природу (наприклад, залежність кількості евакуйованого населення від стану дорожніх магістралей і транспорту, часу року і доби, природно-кліматичних умов і т.ін.). Якщо існує достатня статистика випадкових реалізацій цих процесів, можуть застосовуватися ймовірностні моделі [3, 4, 5]. Якщо ж відомі тільки області значень їхніх параметрів, а конкретні значення не передбачувані, можуть застосовуватися моделі теорії ігор [6]. Для опису казуальних зв'язків між якісними параметрами, що вимірюються у порядкових чи номінальних шкалах (наприклад, залежність ступеня руйнування будинків від їхньої сейсмостійкості й інтенсивності землетрусів), можуть використовуватися формалізовані представлення у вигляді логіко-лінгвістичних моделей [7, 8, 9].

Труднощі з побудовою цих моделей часто зумовлені багатомірністю і багатозв'язністю параметрів, що відображають процеси розвитку НС. Для зменшення складності створюваних моделей можна застосовувати методи декомпозиції й агрегування [10]. За результатами моделювання наслідків уражаючих впливів вирішуються задачі управляючого комплексу. Для цих задач можливе застосування математичного апарату дослідження операцій [11, 12].

Мета статті полягає у розробці математичної моделі ресурсної оптимізації програми застосування сил і засобів запобігання та ліквідації наслідків надзвичайних ситуацій.

Виклад основного матеріалу дослідження

Після визначення обсягів ресурсів, що виділяються на об'єкти застосування системи техногенної безпеки зони проведення ООС, розробляється сценарій застосування даних ресурсів. Тут також доцільно використовувати програмно-цільовий підхід, який дозволяє вирішити задачу ресурсної оптимізації, що розглядаються як процес застосування ресурсів по операціях – системі заходів програми.

На етапі планування:

– визначаються приоритетні напрями виконання робіт;

– визначається головна (системна) мета програми;

– визначаються обсяги робіт з запобігання або ліквідації наслідків НС і джерела ресурсів для їх використання на об'єктах застосування;

– розробляється цільова комплексна програма (ЦКП) робіт;

– реалізується ЦКП робіт як процес переводу системи з поточного надзвичайного стану у стан, що вважається безпечним.

Комплекс операцій програми задається його математичною моделлю – сітьовим графом, що відображає операційний склад програми і її логічну структуру та показаний на рис. 1.

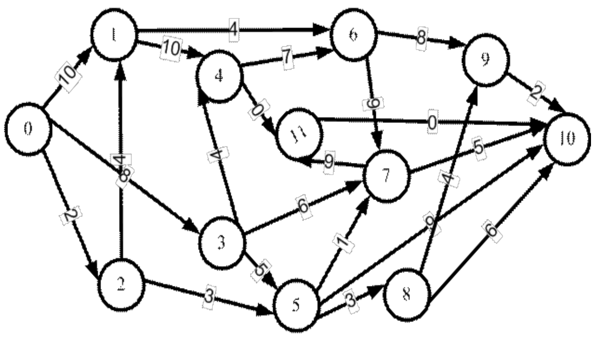

Рис. 1. Сітьовий граф комплексу операцій програми

Нехай для сітьового графу відомо:

структурна матриця процесу як матриця розподілу операцій по шляхам ("m шляхів – n операцій") –

$$V(m,n) = \left\| v_{ij} \right\|_{m \times n} \qquad (1)$$

де $v_{ij}=1$, якщо i-му шляху сітьового графу належить j-та операція, і $v_{ij}=0$ – в протилежному випадку;

ресурсоємність операцій (тис.грн·діб) –

$$A = \left\langle a_j, \quad j = 1 \ldots n \right\rangle, \qquad (2)$$

директивний термін завершення процесу (діб) – TS.

Між обсягом ro_j, продуктивністю $bo_j(y_j)$ ресурсів в складі y_j одиниць і тривалістю to_j

кожної j-ої операції існує залежність, що визначається інтегральним рівнянням

$$ro_j = \int_0^{to_j} bo_j(y_j, t)dt, \quad j = 1\ldots n. \qquad (3)$$

Якщо припустити незмінну нормативну продуктивність b_j кожної одиниці ресурсів при виконанні даної операції за час to_j, тоді підінтегральна функція в –

$$bo_j(y_j, t) \approx b_j \cdot y_j, \quad j = 1\ldots n, \qquad (4)$$

і інтегральне рівняння прийме вигляд –

$$ro_j = b_j \cdot y_j \cdot to_j, \quad j = 1\ldots n \qquad (5)$$

Позначимо співвідношення $(ro_j/b_j)=a_j$ і назвемо його "ресурсоємністю" j-ої операції, оскільки вона має загальну розмірність (одиниця ресурсу)·(одиниця часу), що витікає з рівняння

$$a_j = y_j \cdot to_j, \quad j = 1\ldots n. \qquad (6)$$

Ресурсоємність може мати розмірність (тис.грн*діб), (осіб*годин), тощо. При будь-якому плані розподілу ресурсів між операціями

$$Y = \left\langle y_j, \quad j = 1\ldots n \right\rangle, \qquad (7)$$

тривалість кожної операції –

$$to_j = \frac{a_j}{y_j}, \quad j = 1\ldots n, \qquad (8)$$

тривалість кожного шляху сітьового графа –

$$tw_i = \sum_{j=1}^{n} v_{ij} \cdot to_j(y_j), \quad i = 1\ldots m, \qquad (9)$$

тривалість процесу –

$$T(Y) = \max_{i=1\ldots m} tw_i \qquad (10)$$

і сумарний потрібний ресурс (бюджет) –

$$B = \sum_{j=1}^{n} y_j \qquad (11)$$

Виникають такі дві інтерпретації основної задачі ресурсної оптимізації процесу.

Пряма задача – на множині планів {Y} розподілу ресурсів по операціях процесу, кожний з котрих $Y=<y_j, j=1\ldots n>$ задовольняє обмеженню на бюджет

$$B(Y) = \sum_{j=1}^{n} y_j \le BS, \qquad (12)$$

знайти такий (оптимальний) план $Y=<yo_j, j=1\ldots n>$, що мінімізує тривалість процесу

$$T(YO) = \max_{i=1\ldots m} tw_i = \min_{\{Y\}} T(Y). \qquad (13)$$

Обернена задача – на множині планів {*Y*} розподілу ресурсів по операціях процесу, кожний з котрих $Y=<y_j, j=1\ldots n>$ задовольняє обмеженню на тривалість процесу

$$T(Y) = \max_{i=1\ldots m} tw_i \le TS, \qquad (14)$$

знайти такий (оптимальний) план $Y=<yo_j, j=1\ldots n>$, що мінімізує потрібний бюджет

$$B(YO) = \sum_{j=1}^{n} yo_j \qquad (15)$$

Обидві інтерпретації основної задачі ресурсної оптимізації процесу максимізують ефективність процесу за рахунок раціонального використання ресурсів. Формальна постановка задач потребує для їх вирішення застосування методів нелінійного програмування.

Розглянемо підходи до вирішення прямої задачі.

Оскільки оператор max у виразу для цільової функції виключає можливість її аналітичного подання, то аналітичні методи нелінійного програмування також виключаються. Проаналізуємо зміст цільової функції.

Необхідною умовою мінімуму цільової функції T(Y) є однакова тривалість усіх шляхів сітьового графа (коли усі шляхи – "критичні"), тому для вирішення задачі обираємо ітераційний метод "попарної корекції" (перерозподілу) ресурсів між шляхами з мінімальною і максимальною тривалістю. Алгоритм вирішення такий.

Наперед будь-яким чином (виходячи із здорового глузду) вибираємо перше наближення – план $Y=<y_j, j=1\ldots n>$, формуємо допоміжну матрицю

$$X = Y \cdot V = \left\| v_{ij} \cdot \frac{y_j}{n_j} \right\| = \left\| x_{ij} \right\|_{m \times n}, \qquad (16)$$

де $n_j = \sum_{i=1}^{m} v_{ij}, \quad j = 1\ldots n$

і обчислюємо масив tw_i, i=1…m. Надаємо припустиму точність вирішення задачі – $\sigma_{прип}$.

1) У масиві tw_i, i=1…m шукаємо "мінімальний" і "максимальний" елементи:

$$tw_r = \min_{\{i\}} tw_i, \quad tw_s = \max_{\{i\}} tw. \qquad (17)$$

2) Визначаємо різницю між ними –

$$\Delta t = tw_s - tw_r. \qquad (18)$$

Для усунення *Δt* необхідно частку ресурсу Δn зняти зі шляху - way_r і призначити на шлях - way_s, так щоб змінювання їхньої тривалості в сумі дало Δt.

Запишемо цю умову у вигляді лінійного наближення:

$$\Delta t = \left| \frac{dtw_r}{dnw_r} \cdot (-\Delta n) \right| + \left| \frac{dtw_s}{dnw_s} \cdot (+\Delta n) \right|, \qquad (19)$$

звідки кількість ресурсів, котра знімається з way_r і призначається на way_s –

$$\Delta n = \frac{\Delta t}{\left| \frac{dtw_r}{dnw_r} \right| + \left| \frac{dtw_s}{dnw_s} \right|} \qquad (20)$$

або

$$\Delta n = \frac{\Delta t}{|l_r| + |l_s|} \qquad (21)$$

3) Корегуємо ресурси шляхів way_r, way_s –

$$nw_r = nw_r - \Delta n, \quad nw_s = nw_s + \Delta n, \qquad (22)$$

$$x_{rj} = nw_r, \quad x_{sj} = nw_s, \quad j = 1\ldots n. \qquad (23)$$

4) Визначаємо точність рішення –

$$\sigma = \frac{2\Delta t}{(tw_s + tw_r)} \qquad (24)$$

і перевірюємо умову зупинки ітераційної процедури –

$$\sigma < \sigma_{прип}\,. \qquad (25)$$

Якщо умова виконується, то рішення знайдене (переходимо до п.7), в протилежному випадку продовжуємо пошук.

5) Знаходимо сумарний ресурс кожної операції –

$$nv_j = \sum_{i=1}^{m} v_{ij} \cdot x_{ij}\,, \quad j = 1 \ldots n \qquad (26)$$

і обчислюємо масив C –

$$c_{ij} = \frac{a_j \cdot x_{ij}}{nv_j}\,, \quad j = 1 \ldots n\,, i = 1 \ldots m\,. \qquad (27)$$

6) Звертаємося до обчислювання масиву тривалостей шляхів tw_i (перехід до п.1).

7) Обчислюємо мінімальну тривалість процесу

$$ts = 0.5 \cdot (tw_r + tw_s)\,, \qquad (28)$$

план розподілу ресурсів по операціях –

$$y_j = \sum_{i=1}^{m} x_{ij}\,, \quad j = 1 \ldots n\,, \qquad (29)$$

а також тривалість операцій –

$$t_j = \frac{a_j}{y_j}\,, \quad j = 1 \ldots n\,. \qquad (30)$$

Кінець процедури.

Розглянемо методи вирішення оберненої задачі. Обмеження на тривалість процесу означає, що будь-який шлях на сітьовому графу повинен дорівнювати директивній тривалості процесу в цілому –

$$tw_i = \sum_{j=1}^{n} v_{ij} \cdot to_j(y_j) = TS\,, \quad i = 1 \ldots m\,. \qquad (31)$$

Оскільки тепер система обмежень і цільова функція мають аналітичне подання, можна застосувати метод невизначених множників Лагранжа. Очевидно, для m рівнянь-обмежень існує вектор множників Лагранжа –

$$\Lambda = \langle \lambda_i\,, \quad i = 1 \ldots m \rangle\,. \qquad (32)$$

Утворюємо функцію Лагранжа –

$$\Phi(Y, \Lambda) = B(Y) + \sum_{i=1}^{m} \lambda_i \cdot (TS - tw_i)\,. \qquad (33)$$

Умова існування "сідлової точки" функції Лагранжа – рівність нулю частинних похідних функції Лагранжа по векторах Y і Λ –

$$\frac{d\Phi}{dy_j} = \frac{dB}{dy_j} - \sum_{i=1}^{m} \lambda_i \cdot \left(\frac{dtw_i}{dy_j}\right) = 0, \quad j = 1 \ldots n\,; \qquad (34)$$

$$\frac{d\Phi}{d\lambda_i} = TS - tw_i = 0, \quad i = 1 \ldots m\,. \qquad (35)$$

Вирішення системи (n+m) алгебраїчних рівнянь і дає оптимальні вектори У*, Λ*. Процес вирішення також ітераційний, з вибором початкового наближення $У^0$, Λ^0 і кроку ітерацій ($\Delta y_j, j = 1 \ldots n;\ \ \Delta\lambda_i, i = 1 \ldots m$) в процесі пошуку "сідлової точки" функції Лагранжа. За допомогою направляючого вектора

$$W = \left\{ \frac{d\Phi}{dy_j}, j = 1 \ldots n; \quad -\frac{d\Phi}{d\lambda_i}, i = 1 \ldots m \right\} \qquad (36)$$

визначається поточна "відображаюча точка" Y^k, Λ^k на k-ій ітерації –

$$y_j^k := y_j^{k-1} + \left(\frac{d\Phi}{dy_j}\right) \cdot \Delta y_j\,, \quad j = 1 \ldots n\,, \qquad (37)$$

$$\lambda_i^k := \lambda_i^{k-1} - \left(\frac{d\Phi}{d\lambda_i}\right) \cdot \Delta\lambda_i\,, \quad i = 1 \ldots m\,. \qquad (38)$$

Однак для практичних випадків рішення системи складних алгебраїчних рівнянь при великій розмірності векторів Y, Λ виникає проблема вибору початкового наближення, кроку ітерації і збіжності процесу рішення. Тому рішення також шукається методом "корекції".

Таким чином, формалізація задачі дослідження дозволила застосувати для її вирішення найбільш придатні методи математичного програмування і одержати її рішення у вигляді алгоритмів, описаних вище.

Висновки й перспективи подальших досліджень

1. Отриманий основний науковий результат, що має прикладне значення – математична модель та алгоритми вирішення задач оптимального управління ресурсами при запобіганні і ліквідації наслідків надзвичайних ситуацій. Суть розробленої моделі та алгоритму полягають:

– розрахунку оптимального розподілу ресурсів по об'єктах на основі оцінки загроз і нормативних витрат ресурсів;

– розробці оптимальної програми (сценарію) застосування ресурсів.

2. На основі методів математичного програмування розроблені алгоритми, які при наявності вихідних даних дозволяють вирішити задачі оптимального управління при виконанні заходів щодо запобігання надзвичайним ситуаціям, ліквідації їхніх наслідків, а також оптимізацію програми-сценарію дій сил при виконанні цих заходів.

3. Використання даних моделей дозволить підвищити якість прийняття рішень, стосовно створення раціонального використання сил і засобів під час ліквідації наслідків надзвичайних ситуацій.

4. Подальші дослідження в напрямку оптимізації цільової програми застосування сил і засобів запобігання та ліквідації наслідків надзвичайних ситуацій із застосуванням обчислювальної техніки дозволять одержати конкретні кількісні показники для вирішення задач ресурсної оптимізації. Зазначене підкреслює актуальність розробки відповідного програмного забезпечення.

Література

1. **Биченок М.М.** Основи інформатизації управління регіональною безпекою. / М.М. Биченок, С.О. Довгий – К.: Наук. думка, 2004. –287 с. 2. **Еремеев И.С.** Автоматизированные системы радиационного мониторинга окружающей среды. – Киев: Наук. думка, 1990. – 256с. 3. **Гнеденко Б.В., Коваленко И.Н.** Введение в теорию массового обслуживания. – М.: Наука, 1987. – 336 с. 4. **Овезгельдыев А. О., Петров Э.Г., Петров К.Э.** Синтез и идентификация моделей многофакторного оценивания и оптимизации / Под ред. Э.Г. Петрова. – К.: Наук. думка, 2002. – 164 с.
5. **Трухаев Р.И.** Модели принятия решений в условиях неопределенности. – М.: Наука, 1981. – 258с. 6. **Горелик В.А., Кононенко А.Ф.** Теоретико-игровые модели принятия решений в эколого-экономических системах. – М.: Радио и связь, 1982. – 144с. 7. **Довгий С.О., Копійка О.В., Тарасенко І.В.** Нова телекомунікаційна мережа – основний чинник підвищення доступності інформаційного ресурсу // Екологія і ресурси. – К.: РНБОУ, 2001. – С. 19 – 27. 8. **Гладун В.П.** Планирование решений. – Киев: Наук. думка, 1987. – 168с. 9. **Поспелов Д.А.** Логико-лингвистические модели в системах управления. – М. – Энергоиздат, 1981. – 232с. 10. **Полищук С.З., Рябко А.И.** Системное моделирование и управление изменением состояния окружающей среды при разработке стратегии устойчивого развития на региональном уровне // Екологія і природокористування . – Дніпропетровськ: ІППЕ НАНУ, 2003. – №5. – С. 69 – 76. 11. **Перегудов Ф.И., Тарасенко Ф.П.** Введение в системный анализ. – М.:Высш.шк., 1989. – 367с. 12. **Ермольев Ю.М., Ляшко И.И.,** Михалевич В,С. и др. Математические методы исследования операций. – Киев: Выща шк., 1979. – 312с.

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ РЕСУРСНОЙ ОПТИМИЗАЦИИ ЦЕЛЕВОЙ ПРОГРАММЫ ПРИМЕНЕНИЯ СИЛ И СРЕДСТВ ПРЕДУПРЕЖДЕНИЯ И ЛИКВИДАЦИИ ПОСЛЕДСТВИЙ ЧРЕЗВЫЧАЙНЫХ СИТУАЦИЙ

Валентин Петрович Романюк [1]
Анатолий Анатольевич Никитин *(доктор философии)* [1]
Светлана Александровна Ганненко [1]
Евгений Владимирович Морщит *(кандидат технических наук)* [2]

[1] ***Национальный университет обороны Украины имени Ивана Черняховского, Киев, Украина***
[2] ***Государственная служба Украины по чрезвычайным ситуациям, Киев, Украина***

Анализ последних исследований и публикаций показал, что при возникновении чрезвычайных ситуаций необходимо рассчитать силы и средства, которые могут быть задействован для их ликвидации. Проблема оптимизации ресурсов при ликвидации последствий чрезвычайных ситуаций остается актуальной сегодня не только для Украины, но и для всего мира. Для решения этих задач разрабатываются математические модели в зависимости от состояний источников угроз и ресурсов защиты. В управляющем комплексе формулируются задачи распределения ресурсов защиты по результатам прогнозирования. В статье рассмотрены математические модели ресурсной оптимизации для ликвидации последствий чрезвычайных ситуаций в зависимости от состояний источников угроз и ресурсов защиты. Построение указанных математических моделей зависит от особенностей района степени эскалации вооруженного конфликта на юго-востоке Украины. После определения объемов ресурсов сил и средств предупреждения и ликвидации последствий чрезвычайных ситуаций разрабатывается сценарий их применения и предполагается использование программно-целевого подхода. Указанный подход позволяет решить задачу ресурсной оптимизации, которая рассматривается как процесс применения ресурсов по операциям - системе мероприятий программы по этапам планирования. При этом, комплекс операций программы задается его математической моделью - сетевым графом, который отражает операционный состав программы и ее логическую структуру. В результате возникают две интерпретации основной задачи ресурсной оптимизации процесса (прямая и обратная), которые максимизируют эффективность процесса за счет рационального использования ресурсов. Формальная постановка задач требует для их решения применения методов нелинейного программирования. В статье использован метод неопределенных множителей Лагранжа. Формализация задачи исследования позволяет применить методы математического программирования и получить ее решение в виде алгоритмов и математических моделей. В статье освещен научный результат, имеющий прикладное значение - математическая модель и алгоритмы решения задач оптимального управления ресурсами при предотвращении и ликвидации последствий чрезвычайных ситуаций. Суть разработанной модели и алгоритма заключаются в расчете оптимального распределения ресурсов по объектам на основе оценки угроз и нормативных затрат ресурсов и разработке оптимальной программы (сценария) применения ресурсов. На основе методов математического программирования разработаны алгоритмы, которые при наличии исходных данных позволяют решить задачи оптимального управления при выполнении мероприятий по предотвращению чрезвычайных ситуаций, ликвидации их последствий, а также оптимизацию программы-сценария действий сил при выполнении этих мероприятий. Использование данных моделей позволяет повысить качество принятия решений, о создании рационального использования сил и средств ликвидации последствий чрезвычайных ситуаций.

Ключевые слова: *ликвидация чрезвычайных ситуаций, программа применения сил и средств, ресурсная оптимизация, техногенная угроза, математическая модель.*

MATHEMATICAL MODEL OF RESOURCE OPTIMIZATION OF THE TARGET PROGRAM FOR USE OF FORCES AND MEANS OF PREVENTION AND ELIMINATION OF THE CONSEQUENCES OF EMERGENCY SITUATIONS

Valentin Romanyuk [1]
Anatolii Nikitin *(Doctor of philosophy)* [1]
Svitlana Hannenko [1]
Evgen Morshch *(Candidate of Technical Sciences)* [2]

[1] ***National Defense University of Ukraine named by Ivan Cherniakhovsky, Kyiv, Ukraine***
[2] ***State Service of Ukraine in Supervision of Situations, Kiev, Ukraine***

An analysis of recent research and publications has shown that during emergencies, it is necessary to calculate the forces and means that can be used to eliminate them. The problem of optimizing resources during the elimination of the consequences of emergencies remains relevant today not only for Ukraine but also for the whole world. To solve these problems, mathematical models are developed depending on the state of threat sources and protection resources. In the control complex the problems of distribution of protection resources according to forecasting results are formulated. The article considers mathematical models of resource optimization to eliminate the consequences of emergencies depending on the state of sources of threats and resources of protection. The construction of these mathematical models depends on the characteristics of the area of the degree of escalation of the armed conflict in the South-East of Ukraine. After determining the amount of resources of forces and means to prevent and eliminate the consequences of emergencies, a scenario of their application is developed and the use of program-targeted approach is envisaged. This approach allows to solve the problem of resource optimization, which is considered as a process of applying resources for operations - a system of measures of the program at the stages of planning. In this case, the set of operations of the program is given by its mathematical model - a network graph, which reflects the operational composition of the program and its logical structure. As a result, there are two interpretations of the main task of resource optimization of the process (direct and inverse), which maximize the efficiency of the process through the rational use of resources. Formal formulation of problems requires the use of nonlinear programming methods to solve them. The method of indefinite Lagrange factors is used in the article. Formalization of the research problem allows to apply methods of mathematical programming and to receive its decision in the form of algorithms and mathematical models. The article highlights the scientific result, which has an applied value - a mathematical model and algorithms for solving problems of optimal resource management in preventing and eliminating the consequences of emergencies. The essence of the developed model and algorithm is to calculate the optimal allocation of resources by objects based on the assessment of threats and regulatory costs of resources and the development of the optimal program (scenario) of resource use. Based on the methods of mathematical programming, algorithms are developed, which in the presence of initial data allow to solve the problems of optimal control in the implementation of measures to prevent emergencies, eliminate their consequences, as well as optimize the program-scenario of forces during these measures. The use of these models allows to improve the quality of decision-making in relation to the creation of rational use of forces and means during the elimination of the consequences of emergencies.

Keywords: *emergency response, program for the use of forces and means, resource optimization, man-made threat, mathematical model.*

References

1. Bichenok M.M. Fundamentals of informatization of regional security management. / М.М. Биченок, С.О. Long - K .: Nauk. opinion, 2004. –287 p.
2. Eremeev IS Automated environmental radiation monitoring systems. - Kiev: Science. opinion, 1990. - 256p.
3. Gnedenko BV, Kovalenko IN Introduction to queuing theory. - M .: Наука, 1987. - 336 с.
4. Ovezgeldyev AO, Petrov EG, Petrov KE Synthesis and identification of multifactor evaluation and optimization models / Ed. E.G. Petrova. -К .: Наук. opinion, 2002.-164 p.
5. Trukhaev RI Models of decision making in conditions of uncertainty. - M .: Nauka, 1981. - 258p.
6. Gorelik VA, Kononenko AF Theoretical and game models of decision making in ecological and economic systems. - M .: Radio and communication, 1982. - 144p.
7. Dovgy SO, Kopiyka OV, Tarasenko IV New telecommunication network - the main factor in increasing the availability of information resources // Ecology and resources. - K .: РНБОУ, 2001. - С. 19 - 27.
8. Gladun VP Solution planning. - Kiev: Science. opinion, 1987. - 168p.
9. Pospelov DA Logical-linguistic models in control systems. - M. - Energoizdat, 1981. - 232p.
10. Polishchuk SZ, Ryabko AI System modeling and management of changes in the state of the environment in the development of a strategy for sustainable development at the regional level // Ecology and Nature Management. - Dnipropetrovsk: IPPE NASU, 2003. - №5. - P. 69 –76.
11. Peregudov FI, Tarasenko FP Introduction to systems analysis. - M .: GS., 1989. - 367с.
12. Ermoliev Yu.M., Lyashko II, Mikhalevich V, S. etc. Mathematical methods of operations research. - Kiev: Higher school, 1979. - 312p