

літакового типів для оперативного вирішення низки завдань, пов'язаних з виконанням завдань розвідки пожеж. Прийняття в найближчому майбутньому до складу системи технічного забезпечення пожежно-рятувальних (пожежних) комплексів БПЛА є питанням актуальним, своєчасним і має гарну перспективу.

#### ЛІТЕРАТУРА

1. Застосування безпілотних літальних апаратів у воєнних конфліктах сучасності / [Ю.К. Зіатдінов, М.В. Куклінський, С.П. Мосов, А.Л. Фещенко та ін.]. – К.: Вид. дім “КиєвоМогилянська академія”, 2013. – 248 с.

2. Руснак І.С. Безпілотна авіація у сфері цивільного захисту України. Стан і перспективи розробки та застосування / І.С.Руснак, В.В. Хижняк, В.І. Ємець. – Наука і оборона. – 2014. – №2. – 34-39.

3. Чумаченко С.М. Аналіз ефективності застосування безпілотної авіації в надзвичайних ситуаціях агропромислового комплексу України / С.М. Чумаченко, Л.А. Пісня, І.А. Черепньов. – [Електронний ресурс].

*І. М. Неклонський, канд. військ. наук,  
Національний університет цивільного захисту України*

### **ЗАСТОСУВАННЯ МЕТОДІВ ЛІНІЙНОГО ПРОГРАМУВАННЯ ПРИ МОДЕЛЮВАННІ АВАРІЙНО-РЯТУВАЛЬНИХ РОБІТ**

Відповідно [1] ліквідація наслідків надзвичайної ситуації (НС) – це проведення комплексу заходів, що включає аварійно-рятувальні та інші невідкладні роботи (АРНР), які здійснюються у разі виникнення надзвичайної ситуації і спрямовані на припинення дії небезпечних факторів, рятування життя та збереження здоров'я людей, а також на локалізацію зони надзвичайної ситуації. Для проведення аварійно-рятувальних та інших невідкладних робіт залучаються аварійно-рятувальні формування сил цивільного захисту.

Для ефективного планування застосування аварійно-рятувальних формувань (АРФ) при веденні АРНР необхідно вирішувати комплекс взаємопов'язаних науково-технічних завдань: оцінювання ризику виникнення НС в заданому районі (на об'єкті); прогнозування наслідків НС та визначення обсягів АРНР; завчасне визначення складу і чисельності сил і засобів, необхідних для ліквідації наслідків НС; оперативна оцінка наслідків НС; визначення раціональних варіантів організації і технології виконання АРНР в різних умовах.

Успішне вирішення кожного з перерахованих вище завдань в тій чи іншій мірі впливає на ефективність застосування АРФ. Значно підвищити ефективність застосування АРФ дозволяє використання математичних моделей [2], за допомогою яких можливе виявлення закономірностей процесу АРНР і підвищення якості планування, і, як наслідок, ефективності

управління різними організаційними структурами. Широке застосування математичних моделей зумовлює необхідність застосування різних методів.

Розглянемо найпростіший приклад застосування методу лінійного програмування при моделюванні АРНР [3].

Нехай потрібно виконати  $n$  завдань для ліквідування наслідків НС. Для цього у розпорядженні керівника робіт є  $x_j$  кількість АРФ. Для кожного із завдань заданий необхідний темп виконання  $v_j$  і норматив для одного формування  $q_j$ . Потрібно знайти такий розподіл формувань, при якому успіх виконання завдання в цілому буде максимальним. Графічне представлення цієї задачі наведено на рис. 1.

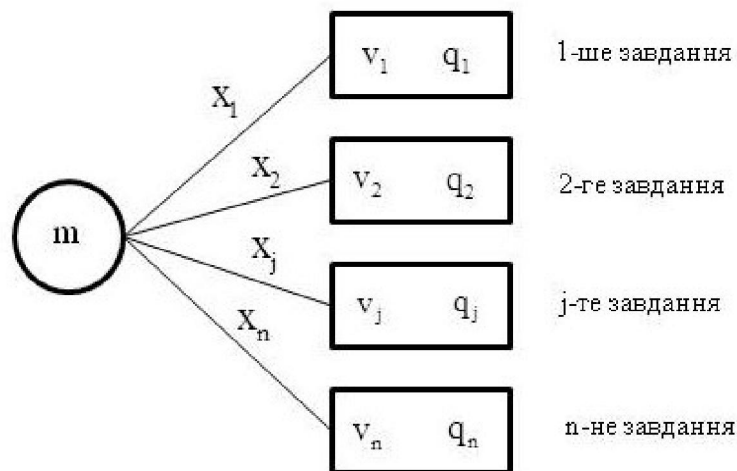


Рисунок 1 – Схема формалізації задачі

Темп виконання  $j$ -го завдання за умови виділення на його виконання  $x_j$  АРФ характеризується функцією  $v_j = v_j(x_j, q_j)$ .

Для приведення поставленої задачі до задачі лінійного програмування необхідно, щоб цільова функція і обмеження були лінійними. Для цього приймемо наступне припущення: розрахунковий темп виконання кожного завдання лінійно залежить від кількості формувань, що виділяються. Тоді функція  $v_j = v_j(x_j, q_j)$  запишеться у вигляді:

$$v_j = x_j \cdot q_j \quad (1)$$

Тепер необхідно скласти цільову функцію. За умовами задачі потрібно максимізувати показник, що характеризує успіх виконання завдання в цілому. Для цього необхідно вибрати показник (критерій), який би визначав загальний успіх виконання завдання (ліквідування наслідків НС) і при цьому невідомі  $x_j$  входили б у відповідну функцію лінійно. Такою величиною може бути, наприклад, середній темп виконання часткових завдань. Цей критерій можна записати в наступному вигляді:

$$v_{сер} = \frac{x_1 \cdot q_1 + x_2 \cdot q_2 + \dots + x_n \cdot q_n}{n} = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n x_j \cdot q_j. \quad (2)$$

Тепер щодо математичного формулювання обмежень. Перше обмеження пов'язане з тим, що кількість формувань, які розподіляються, не повинно бути більше  $m$ , тобто наявних:  $x_1 + x_2 + \dots + x_n \leq m$ .

Наступна група обмежень визначається з умови, що темп виконання кожного завдання не повинен бути більше заданого, тобто  $x_j \cdot q_j \leq v_j, j = 1, n$ . Крім того, значення  $x_j$  повинні бути позитивними і цілими, тобто  $x_j \geq 0, x_j$  – цілі. Таким чином, сформульована задача: знайти такі значення  $x_j$ , тобто кількість формувань, що виділяються для виконання кожного завдання, при яких досягає максимуму функція:

$$v_{сер} = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n x_j \cdot q_j \rightarrow \max, \quad (3)$$

і виконуються наступні обмеження:  $x_1 + x_2 + \dots + x_n \leq m; x_j \cdot q_j \leq v_j, j = 1, n; x_j \geq 0, x_j$  – цілі.

Таким чином, поставлена задача зведена до задачі лінійного програмування.

#### ЛІТЕРАТУРА

1. Кодекс цивільного захисту України : Закон України від 02.10.2012 р. № 5403-VI. Офіційний вісник України. 2012 р. 30 лист. (№ 89). С. 9.
2. Маценко В.Г. Математичне моделювання: навчальний посібник. Чернівці: Чернівецький національний університет, 2014. 519 с.
3. Дякон В.М., Ковальов Л.Є. Математичне програмування: Навчальний посібник / за загальною редакцією В.М. Михайленка. 3-е видання, виправлене і доповнене. К.: Вид-во Европ. ун-ту, 2007. 497 с.

*К. М. Остапов, канд. техн. наук, Є. В. Попов, О. С. Подберезна,  
Національний університет цивільного захисту України*

#### АНАЛІЗ ТРАЄКТОРІЙ ПРИЦІЛЬНОГО РУХУ СКЛАДОВИХ ГЕЛЕУТВОРЮЮЧИХ СКЛАДІВ

Для отримання фактичного експериментального матеріалу траєкторій прицільного руху гелеутворюючими складами ГУС, що подаються з двох стволів-розтилювачів на вогнище пожежі, спочатку вирішувалося завдання аналізу руху струменів в Декартовому просторі (рис. 1) з урахуванням так званих Ейлеревих кутів ( $\alpha$  – підвищення стволів відносно горизонту і  $\psi$  – їх відхилення відносно площини націлювання OXZ на об'єкт пожежогасіння) [1].