

---

УДК 629.3.014

М.П. Гашук<sup>1</sup>, А.Д. Бердочник<sup>2</sup>, В.Б. Семенов<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Національна академія Державної прикордонної служби України ім. Богдана Хмельницького

<sup>2</sup>Харківський університет Повітряних Сил ім. І. Кожедуба, Харків

<sup>3</sup>АТ «Мотор-Січ», Запоріжжя

## ОБҐРУНТУВАННЯ ВИБОРУ МЕТОДУ ЦІЛЬОВОГО ПРОГРАМУВАННЯ ДЛЯ БАГАТОКРИТЕРІАЛЬНОЇ ОПТИМІЗАЦІЇ СКЛАДУ ПАРКУ СПЕЦІАЛЬНИХ ТРАНСПОРТНИХ ЗАСОБІВ

У статті представляються результати особистих досліджень щодо обґрунтованого вибору методу багатокритеріальної оптимізації складу парку транспортних засобів відділів прикордонної служби на основі використання специфічної додаткової інформації про наслідки прийняття попередніх рішень щодо складу парку та про експертні оцінки цих наслідків.

**Ключові слова:** метод цільового програмування, інформація, формування складу парків транспортних засобів.

### Вступ

Прагнення підвищення ефективності логістичних систем безпосередньо пов'язано з вдосконаленням науково-методичного апарату формування та підтримки прийняття управлінських рішень щодо різних аспектів їх функціонування, наприклад, транспортного забезпечення виконання завдань пов'язаних з охороною державного кордону. Достатньо вузьке

коло умов результативного застосування, неприйнятна залежність від суб'єктивного впливу існуючого методичного апарату формування складу парку транспортних засобів прикордонних підрозділів, які відмічали багато дослідників, наприклад [1], є головним аргументом підтримки даного твердження.

Намагання подолати негативні властивості, покращити існуючі методи в межах традиційної ідеології оптимізації «у малому» наочно показало принципову

обмеженість досягнення бажаних результатів. Стало зрозуміло, що якісне покращення можливостей формування складу парків транспортних засобів може бути досягнуто тільки з впровадженням підходу до оптимізації “у великому”, насамперед, з впровадженням ідеології багатокритеріальної оптимізації.

При цьому, методологічні основи для цього впровадження вже існують – розроблена загальна схема формалізації та рішення задач багатокритеріальної оптимізації, розроблені специфічні методи їх розв’язання [2 – 7], але недостатньо розробленою залишається область досліджень щодо врахування особливостей конкретної предметної галузі, яка реалізується у прикордонній сфері діяльності, її властивостей, вимог та обмежень при реалізації загальних методів багатокритеріальної оптимізації. Доцільно відмітити, що врахування специфіки формування парків транспортних засобів прикордонних підрозділів при проведенні багатокритеріальної оптимізації можливих варіантів складу розроблено явно недостатньо.

Тому метою даної статті є представлення результатів особистих досліджень автора щодо обґрунтованого вибору методу багатокритеріальної оптимізації складу парку транспортних засобів відділів прикордонної служби на основі використання специфічної додаткової інформації про наслідки прийняття попередніх рішень щодо складу парку (додаткова об’єктивна інформація) та про експертні оцінки цих наслідків (додаткова суб’єктивна інформація).

### Основний розділ

У загальному вигляді задачу визначення складу парку техніки можна представити сукупністю двох основних елементів

$$\langle \Omega_x, I \rangle, \quad (1)$$

де  $\Omega_x$  – це множина допустимих варіантів складу парку  $\bar{x}$  -  $n$ -мірного вектору кількості зразків техніки з можливих  $m$ -типів, які задаються множиною  $\{a_j\}$ ,  $j=1..s$ , кількісних значень техніко-економічних характеристик, що визначають експлуатаційні властивості (тягово-швидкісні властивості, прохідність, потрібні експлуатаційні витрати, паливна економічність, маневреність тощо);

$I$  – це додаткова інформація, яка виражає переваги особи, що приймає рішення про вибір того, чи іншого варіанту складу парку.

У більшості випадків додаткова інформація  $I$  не є зручною для формалізації та складається з множини переваг (переваг) одного варіанту складу парку над іншим ( $\bar{x}_i > \bar{x}_j$ ). Ці переваги у загальному випадку є ситуативними, тобто залежать від конкретних умов і співвідношення значень компонент векторів  $\bar{x}_i, \bar{x}_j$ .

Тоді, завдання вибору полягає у визначенні такої множини найкращих (оптимальних) варіантів  $\{\bar{x}^*\}$ , які є найкращими у множині  $\Omega_x$  з урахуванням додаткової інформації  $I$ .

Для предметної галузі, що розглядається, важливим чинником додаткової інформації  $I$ , яка дозволяє звузити множину парето-оптимальних рішень (варіантів складу парку)  $\Omega_x^{nap} (\Omega_x^{nap} \subset \Omega_x)$  до практично важливих невеликих кількостей елементів  $\Omega_x^{nap}(I) \subset \Omega_x^{nap} \subset \Omega_x$ , є наявність попередніх рішень щодо складу парку відділів прикордонної служби, що були прийняті у минулому виходячи з обстановки яка склалася у районі відповідальності прикордонного підрозділу, та експертних оцінок щодо наслідків цих рішень.

Формування парку транспортних засобів є багатоетапним процесом, де можна виділити та формалізувати окремі інформаційні елементи:

$\{\bar{x}^{(k)}\}$  – множину векторів попередніх рішень

щодо складу парку  $\bar{x}^{(k)}$ , які були прийняті у попередні  $k$  етапів ( $k=1, \dots, K$ ),  $K$  - кількість попередніх етапів зміни складу парку;

$\{\bar{a}^{(k)}\}$  – множину векторів характеристик парку

після прийняття рішень щодо зміни складу парку  $\bar{x}^{(k)}$ ;

$\{(M_x^{(k)}, \sigma_x^{(k)})\}$  – множину результатів експертних оцінок реалізації рішень  $\bar{x}^{(k)}$ , які характеризуються середнім значенням  $M_x^{(k)}$  та середньоквадратичним відхиленням  $\sigma_x^{(k)}$  (для нормального закону розподілу експертних оцінок).

Справедливим є твердження, що всі ці елементи для  $k$ -го етапу мають жорстку відповідність  $(\bar{x}^{(k)} \Leftrightarrow \bar{a}^{(k)} \Leftrightarrow (M_x^{(k)}, \sigma_x^{(k)}))$ , яка визначається чітким причинно-наслідковим зв’язком між рішеннями щодо складу парку та оцінкою результатів їх реалізації.

Іншою специфічною властивістю задачі багатокритеріального вибору у галузі, що розглядається, є виконання для усіх варіантів типів транспортних засобів, з яких здійснюється оновлення складу парку, умови

$$\sum_{i=1}^m b_i \cdot a_i \leq B, \quad (2)$$

де  $b_i$  – деякі нормуючі коефіцієнти;  $B$  – деяка безрозмірна константа.

Умова (2) відображає реальний процес формування пропозиції техніки у процесі визначення складу парку і також є специфікою предметної галузі.

Рішення задач багатокритеріальної оптимізації (без врахування штучних випадків лінійно залежних критеріальних функцій) є пошуком компромісу, коли за необхідність зменшення значення одного з критеріїв потрібно згодитися на збільшення інших (одного або багатьох) критеріїв.

Для цього виду задач оптимізації важливе значення має поняття множини Парето [7]. Відповідно до [4, 5] рішення  $\tilde{X} \in \Omega_X$  є оптимальним по Парето (парето-оптимальним), якщо не існує такого іншого можливого рішення  $X \in \Omega_X$ , для якого має місце відношення

$$\bar{F}(X) \geq \bar{F}(\tilde{X}). \quad (3)$$

У цьому визначенні відношення між векторами означає виконання нерівності  $F_i(X) \geq F_i(\tilde{X})$  для усіх  $i=1..n$ , тобто компонента першого вектора не менш відповідний компоненти другого вектора, при цьому одна з компонент першого вектору є більшою ніж компонента другого вектору.

Всі парето-оптимальні рішення формують множину Парето  $\Omega_X^p$ , яка є підмножиною  $\Omega_X$ . Виключне значення множини Парето  $\Omega_X^p$  в задачах багатокритеріальної оптимізації визначається тим, що кінцеве рішення (прийнятий компроміс) буде обов'язково належати до множини  $\Omega_X^p$ .

Іншою важливою властивістю множини Парето для умов задачі (1) – (2) є те, що без отримання додаткової інформації неможна конкретизувати подальше рішення (конкретизувати компромісний варіант): відповідно до умов задачі (1) – (2) всі рішення, які складають  $\Omega_X^p$  є гідними визначення як кінцеві рішення.

Закономірним є те, що різновид додаткової інформації, особливості множини Парето та допустимих рішень, наявність додаткових обмежень та умов визначають загальні методичні підходи та методи рішення задач багатокритеріальної оптимізації.

Для випадку нескінчених множин  $\Omega_X$  та  $\Omega_X^p$  (континууму елементів, які складають множини) застосовуються специфічні методи оптимізації при нескінченій кількості альтернатив [2], у протилежному випадку – застосовується група методів, які розроблені для оптимізації кінцевої кількості альтернатив. Методами комбінаторики можливо визначити загальну кількість елементів множин  $\Omega_X$  і  $\Omega_X^p$  для умов задачі (1) – (2).

Для цього можна застосовувати схему визначення кількості перестановок з повторами [8]. Загальна кількість можливих варіантів – перестановок для умов задачі (1) – (2) визначається як  $S_n^m = (n + m - 1)!$ .

Так як потрібно врахувати повтори варіантів, то кінцевий вираз для визначення кількості елементів множини допустимих рішень для умов задачі (1) – (2) має вид [8]:

$$C_n^m = \frac{S_n^m}{n!(m-1)!} = \frac{(n+m-1)!}{n!(m-1)!}. \quad (4)$$

Існування граничного значення кількості елементів свідчить про обмеженість множини  $\Omega_X$  та можливість застосування методів багатокритеріальної оптимізації при обмеженій кількості альтернатив.

На сьогоднішній день існує багато варіантів групування та класифікації методів багатокритеріальної оптимізації при обмеженій множині  $\Omega_X$  [2, 3].

Найбільш загальним є розподіл методів за принципом урахування додаткової інформації.

Перша група методів – методи розв'язання задач багатокритеріальної оптимізації, які базуються на використанні додаткової інформації для зведення задач виду (1) – (2) до задач однокритеріальної оптимізації [4, 6]. Спільною рисою – зведення початкової багатокритеріальної задачі до оптимізації по одному критерію визначає спільні особливості та обмеження методів цієї групи. Необхідність суб'єктивного введення вагових коефіцієнтів або ієрархії важливості критеріїв прямо суперечить вимогам щодо потрібної якості методу визначення складу парку. Тому, можна констатувати, що принципові недоліки цієї групи методів вкрай обмежують можливості їх застосування для вирішення поставленої задачі.

Інша група методів (метод послідовної оптимізації, схема нелінійного компромісу) базується на використанні різних критеріальних схем на основі наданої додаткової інформації [6]. Обмежена результативність їх застосування для вирішення задачі (1) – (2) визначається відсутністю достатнього рівня апріорної інформації, яка дозволила обґрунтувати застосування тієї чи іншої критеріальної схеми.

Для умов задачі (1) – (2) з урахуванням потрібної якості рішення найбільш доцільним є розгляд третьої групи методів – методів, які базуються на попередньому виділенні множини компромісних (парето-оптимальних) рішень та подальшому її звуженні на основі використання додаткової інформації.

Традиційно, дослідники з параметрів (характеристик), якими описуються властивості парку транспортних засобів, формували критеріальні функції для проведення оптимізації варіантів. Цей методичний підхід є дуже зручним при зведенні рішення багатокритеріальної задачі оптимізації до задачі оптимізації за одним критерієм, який формується як згортка початково визначених критеріїв.

Характерною особливістю цього процесу є надзвичайно важлива роль суб'єктивного фактору у процесі пошуку оптимального (найкращого) варіан-

ту: даний підхід передбачає певний рівень свавілля при обранні початкових критеріїв (компонент  $F_i(X)$  векторного критерію  $\bar{F}(X)$ ), коли конкретні функціональні залежності задаються із зовні, часто в якості припущень та на основі гіпотез.

Друга особливість полягає у тому, що вид функції згортки  $F_i(X)$  в єдиний скалярний критерій також визначаються суб'єктивно, на основі зовнішніх до умов поставленої задачі чинників. При цьому надзвичайно великий вплив суб'єктивного фактору посилюється тим, що результат оптимізації у такому рішенні безпосередньо визначається обранням початкових часткових критеріїв та функції згортки.

В цих умовах, казати про об'єктивність процесу рішення можна казати лише умовно. Для забезпечення високого рівня об'єктивності процедури пошуку оптимального (найкращого) рішення потрібно змінити підхід, обмеживши вплив суб'єктивних на формування критеріальних функцій, виключивши процедуру формування функції-згортки.

Для цього пропонується чітка аналітична процедура формування критеріального апарату (векторної критеріальної функції  $\bar{F}(X)$ ). Так як серед характеристик  $\bar{a}(\bar{X})$  можна виділити дві групи – характеристики  $a_i^+(\bar{X})$ , які відповідають корисним для виконання завдань відділом прикордонної служби властивостям парку машин та потребують збільшення (як правило), і характеристики  $a_j^-(\bar{X})$ , які відповідають потрібним ресурсам для функціонування парку та потребують зменшення, тоді пропонується сформулювати векторну критеріальну функцію

$$\bar{F}(X) = \begin{pmatrix} 1 \\ a_1^+(\bar{X}) \\ \dots \\ 1 \\ a_1^-(\bar{X}) \\ \dots \\ a_j^-(\bar{X}) \end{pmatrix}, \quad (5)$$

де введення зворотних величин потрібно для того, щоб звести задачу оптимізації за багатьма різними критеріями до задачі мінімізації векторного критерію (2.2)  $\bar{F}(X)$ .

У випадку оптимізації за одним критерієм ОПР (особа, що приймає рішення) намагається знайти такий аргумент  $x^*$ , який забезпечує мінімум (або максимум) значення заданого критерію. Для випадку двох і більше критеріїв для отримання рішення необхідно визначити «зацікавленість» ОПР, основне правило, яким керується ОПР. Це правило в теорії

відомо як аксіома Парето: для всіх пар допустимих рішень  $x', x'' \in \Omega_x$ , для яких справедливим є  $x' \prec x''$  при виконанні відношення  $\bar{F}(x') \geq \bar{F}(x'')$ . Тому для формування рішення серед елементів множини Парето потрібна додаткова інформація у вигляді відношень переваги або важливості. Разом з тим, цей вид додаткової інформації дуже важко виявити та узагальнити, її суб'єктивний характер впливає на результат рішення – він стає залежним від початкових даних, інформації від ОПР. Тобто реалізуючи такий підхід неможна сподіватися на зменшення негативного впливу суб'єктивного фактору на результати багатокритеріальної оптимізації.

В методі цільового програмування додаткова інформація, яка потрібна для пошуку бажаного компромісного рішення відображається у вигляді множини «ідеальних» рішень. Саме за рахунок цієї інформації здійснюється обрання серед потенційних варіантів  $X \in \Omega_X^p$  підмножини кінцевих компромісних варіантів  $\{X^*\}$ . При цьому множина «ідеальних» рішень є результатом обробки як суб'єктивної так і об'єктивної інформації. Це більш «об'єктивний» вид врахування додаткової інформації при проведенні багатокритеріальної оптимізації.

Серед методів багатокритеріальної оптимізації, які використовують властивості парето-оптимальної множини рішень найменший вплив суб'єктивного фактору має метод цільового програмування [4]. Цей метод був використаний О.Ю. Подолянком [1] для визначення «найкращого» варіанту складу парку (але при використанні критерію-згортки декількох початкових критеріїв).

Враховуючи цей досвід, було прийнято рішення про доцільність застосування саме методу цільового програмування в якості базисного методичного інструменту дослідження.

В основі цього методу знаходиться евристичне положення по те, що властивості «найкращого» варіанту рішення за декількома критеріями буде мати варіант, який знаходиться як можна ближче від «ідеального» рішення – цілі, яку принципово неможливо досягнути, можливо тільки наблизитися.

Застосування цього методу передбачає наявність таких необхідних елементів:

1. Множини «ідеальних» (або «утопічних») векторів –  $\{U\}$ .
2. Деякої числової функції  $\rho = \rho(\bar{y}, \bar{z})$ , яка кожній парі векторів  $\bar{y}, \bar{z}$  артеріального простору співвідносить деяке позитивне число – відстань між векторами  $\bar{y}$  та  $\bar{z}$ .

Необхідно зазначити, що множина  $\{U\}$  не може бути досягнутою, тобто справедливим є твердження, що  $\{U\} \cap F(\Omega_X) = \emptyset$ .

До того,  $\rho(\bar{y}, \bar{z})$  повинна задовольняти таким вимогам (для усіх векторів  $\bar{y}$ ,  $\bar{z}$ ,  $\bar{w}$ ):

- (позитивність)  $\rho(\bar{z}, \bar{y}) \geq 0$ ;
- (симетричність)  $\rho(\bar{y}, \bar{z}) = \rho(\bar{z}, \bar{y})$ ;
- (правило трикутника)  $\rho(\bar{w}, \bar{z}) \leq \rho(\bar{w}, \bar{y}) + \rho(\bar{y}, \bar{z})$ .

При виконанні зазначених умов, відповідно до змісту методу цільового програмування (найкращим, оптимальним, найбільш задовольняючим) визначається таке рішення  $\bar{X}^* \in \Omega_{\bar{X}}$  для якого виконується умова

$$\inf_{\bar{y} \in \{U\}} \rho(\bar{F}(\bar{X}^*), \bar{y}) = \min_{\bar{X} \in \Omega_{\bar{X}}} \inf_{\bar{y} \in \{U\}} \rho(\bar{F}(\bar{X}), \bar{y}). \quad (6)$$

Це значить, що вектор  $\bar{F}(\bar{X}^*)$ , який відповідає найкращому рішенню  $\bar{X}^*$  повинен знаходитися на мінімально можливій відстані від множини ідеальних векторів  $\{U\}$ . У часткових випадках множина ідеальних векторів  $\{U\}$  може складатися з одного елемента, наприклад, вектора, який складається з мінімальних значень кожного із часткових критеріїв – складових  $\bar{F}(\bar{X})$ :

$$U = \left[ \min_{\bar{X} \in \Omega_{\bar{X}}} F_1(\bar{X}), \min_{\bar{X} \in \Omega_{\bar{X}}} F_2(\bar{X}), \dots, \min_{\bar{X} \in \Omega_{\bar{X}}} F_m(\bar{X}) \right]^T. \quad (7)$$

При цьому дослідниками відзначається [2 – 4], що формування (визначення) множини  $\{U\}$  може надати значні труднощі, якщо воно не є наслідком специфіки предметної галузі конкретної задачі.

Загальні властивості визначення множини «ідеальних» векторів-рішень, як незв'язаною із зовнішнім «суб'єктивним впливом» на результати формування компромісного рішення, визначають доцільність його розгляду в якості загального методичного підходу щодо вирішення поставленого наукового завдання.

## ОБОСНОВАНИЕ ВЫБОРА МЕТОДА ЦЕЛЕВОГО ПРОГРАММИРОВАНИЯ ДЛЯ МНОГОКРИТЕРИАЛЬНОЙ ОПТИМИЗАЦИИ СОСТАВА ПАРКА СПЕЦИАЛЬНЫХ ТРАНСПОРТНЫХ СРЕДСТВ

Н.П. Гашук, А.Д. Бердоchnik, В.Б. Семенов

*В статье представляются результаты личных исследований относительно обоснованного выбора метода многокритериальной оптимизации состава парка транспортных средств отделов пограничной службы на основе использования специфической дополнительной информации о последствиях принятия предыдущих решений относительно состава парка и об экспертных оценках этих последствий.*

**Ключевые слова:** метод целевого программирования, информация, формирование состава парков транспортных средств.

## GROUND OF CHOICE OF METHOD OF HAVING A SPECIAL PURPOSE PROGRAMMING FOR MULTICRITERION OPTIMIZATION OF COMPOSITION OF PARK OF THE SPECIAL TRANSPORT VEHICLES

M.P. Gaschuk, A.D. Berdochnik, V.B. Semenov

*In the article there are results of the personal researches in relation to the grounded choice of method of multicriterion optimization of composition of fleet of vehicles of departments of boundary service on the basis of the use of specific additional information about the consequences of acceptance of previous decisions in relation to composition parks and about the expert estimations of these consequences.*

**Keywords:** method of the having a special purpose programming, information, forming of composition of fleet of vehicles.

## Висновок

За результатами проведеного дослідження можна зробити висновок, що із урахуванням особливостей предметної галузі, що розглядається, наявної додаткової суб'єктивної та об'єктивної інформації доцільним є застосування методу цільового програмування в якості загального методу вирішення поставленої науково-прикладної задачі.

## Список літератури

1. Подолян О.Ю. Вибір показників якості транспортних засобів, значимих для ефективної оперативно-службової діяльності підрозділів органів охорони державного кордону / О.Ю. Подолян // Освітньо-наукове забезпечення діяльності правоохоронних органів і військових формувань України (Хмельницький, 20 листопада 2009 року): мат-ли Всеукраїнської наук.-пр. конф. [серія: Військово-технічні науки] / НАДПСУ. – Хмельницький: Видавництво НАДПСУ, 2009. – С. 94-96.
2. Штойер Р. Многокритериальная оптимизация. Теория, вычисления и приложения: пер. с англ. / Р. Штойер. – М.: Радио и связь, 1992. – 504 с.: ил.
3. Кини Р.Л. Принятие решений при многих критериях: предпочтения и замещения / Р.Л. Кини и Х. Райфа. – М.: Радио и связь, 1981. – 328 с.
4. Ногин В.Д. Принятие решений в многокритериальной среде: количественный подход (2-е изд.) / В.Д. Ногин. – М.: Физматлит, 2005. – 258 с.
5. Подиновский В.В. Парето-оптимальные решения многокритериальных задач / В.В. Подиновский, В.Д. Ногин. – М.: Наука, 1982. – 224 с.
6. Большие технические системы. Проектирование и управление / Л.М. Артюшин, Ю.К. Зиятдинов, И.А. Попов, А.В. Харченко; под ред. И.А. Попова. – Х.: Факт, 1997. – 400 с.
7. Воронин А.Н. Векторная оптимизация динамических систем / А.Н. Воронин, Ю.К. Зиятдинов. – К.: Техника, 1999. – 284 с.
8. Стенли Р. Перечислительная комбинаторика / Р. Стенли. – М.: Мир, 1990. – 440 с.

Надійшла до редколегії 6.09.2012

**Рецензент:** д-р техн. наук, проф. О.М. Фоменко, Харківський університет Повітряних Сил ім. І. Кожедуба, Харків.