

*Микола Петрович Гащук*  
*Олег Володимирович Скрипкар*

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

### Постановка проблеми. Аналіз останніх досліджень і публікацій

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

Достатньо велика кількість досліджень у цьому напрямі [2–5] не призводить до істотного покращення стану справ: зусилля дослідників спрямовані, в основному, на намагання поліпшення вже існуючого науково-методичного апарату без того, щоб розібратися в причинах зазначених вище фактів та обрати більш дієві підходи.

При цьому, методологічні основи для цього впровадження вже існують – розроблена загальна схема формалізації та рішення задач багатокритеріальної оптимізації, розроблені специфічні методи їх розв'язання [3–7], але недостатньо розроблено залишається область досліджень щодо врахування особливостей конкретної предметної галузі, її властивостей, вимог та обмежень при реалізації загальних методів багатокритеріальної оптимізації. Слід відмітити, що врахування специфіки формування парків ТЗ при проведенні багатокритеріальної оптимізації можливих варіантів складу розроблено явно недостатньо.

### Формулювання мети статті. Виклад основного матеріалу

**Метою** даної статті є представлення результатів особистих досліджень автора щодо обґрунтованого вибору методу багатокритеріальної оптимізації складу парку ТЗ 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). 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 та інші);  $I$  – 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 і складається з множини переваг одного варіанту складу парку над іншим ( $\bar{x}_i \succ \bar{x}_j$ ). Ці переваги у загальному випадку є ситуативними, тобто залежать від конкретних умов та 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 звужити множину парето-оптимальних рішень (варіантів складу парку)  $\Omega_x^{\text{нар}}$  ( $\Omega_x^{\text{нар}} \subset \Omega_x$ ) до практично важливих невеликих кількостей елементів  $\Omega_x^{\text{нар}}(I) \subset \Omega_x^{\text{нар}} \subset \Omega_x$ , є наявність попередніх рішень щодо складу парку, що були прийняті у минулому, та експертних оцінок щодо наслідків цих рішень.

Це, відповідно, специфічна додаткова об'єктивна та суб'єктивна інформація. Її наявність

безпосередньо пов'язана з базовими закономірностями функціонування такої складної організаційно-технічної системи як транспортна система. Формування парку ТЗ 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  $k$ -ого 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 ТЗ, 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) відповідає конкурентному характеру поведінки постачальників: якщо деяка технічна характеристика запропонованого типу ТЗ є кращою ніж у конкурентів, то це відповідним чином відображається у її вартості та навпаки. Ця умова відображає реальний процес формування пропозиції техніки у процесі визначення складу парку і також є специфікою предметної галузі.

Невелика зовнішня відмінність задач пошуку оптимальних рішень векторних функцій за декількома критеріями від задач класичної оптимізації по одному критерію скриває принципову відмінність методології розв'язання задач обох типів. Для її викриття доцільно розглянути у порівнянні процес рішення зазначених задач.

Розгляд вектору критеріальних функцій істотно змінює сам підхід до розв'язання задачі. Якщо, для першої задачі рішення буде полягати у пошуку похідної  $\frac{dF(x)}{dx}$  (де  $F(x)$  – деяка скалярна критеріальна функція, яка визначена на множині

допустимих значень  $x \in \Omega_x$ ) та розв'язанні відносно  $x$  рівняння  $\frac{dF(x)}{dx} = 0$  для пошуку  $x^*$ , то

для багатокритеріальної задачі такий підхід не є припустимим: розв'язання рівняння  $\frac{d\bar{F}(x)}{dx} = [0]$ , де

$[0]$  – це нульовий вектор відповідної розмірності, надасть  $n$  часткових рішень, кожне з яких буде забезпечувати екстремальне (мінімальне) значення кожній з компонент вектору  $\bar{F}(x)$  без врахування значень інших часткових критеріїв.

Тому, рішення задач багатокритеріальної оптимізації (без урахування 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 [6, 7] 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 менше відповідної 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  $\Omega_x^p$ . Це вказує на важливу властивість парето-оптимальних рішень: це такі рішення, які неможливо покращити по жодній з компонент вектора критеріїв без погіршення будь-якої іншої компоненти.

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

Наслідком цієї властивості множини парето-рішень є необхідність застосування додаткової інформації для конкретизації рішення.

Це визначає велику кількість різних методів рішення задач класу (1) – (2) в залежності від виду додаткової інформації  $I$  та особливостей функції

$\bar{F}(X)$  та множини  $\Omega_X$ . Наявність та механізм використання додаткової інформації стає головним чинником отримання практично важливих результатів рішення задач багатокритеріальної оптимізації.

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.

Так, властивість множини  $\Omega_X$  та  $\Omega_X^p$  щодо кількості елементів розділяє всю сукупність методів багатокритеріальної оптимізації на дві основні групи.

Для випадку нескінчених множин  $\Omega_X$  та  $\Omega_X^p$  (континууму елементів, які складають множини) застосовуються специфічні методи оптимізації при нескінченній кількості альтернатив [3].

Для випадку кінцевих множин  $\Omega_X$  і  $\Omega_X^p$  застосовується група методів, які розроблені для оптимізації на кінцевій 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 [10]. 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 [7]:

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

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  $\Omega_X$  [5,6].

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. Форми переходу до однокритеріальної оптимізації є різними: це вибір в якості одного головного критерію з подальшою оптимізацією за цим критерієм як у методі “головного критерію” [4]; це пряма скаляризація –

об'єднання часткових критеріїв в один з відповідними ваговими коефіцієнтами як у методі “лінійної згортки” [6]. Але, їх спільна риса – 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 критеріальних схем на основі наданої додаткової інформації [7]. Обмежена результативність їх застосування для вирішення задачі (1) – (2) визначається відсутністю достатнього рівня апріорної інформації для обґрунтування застосування певної критеріальної схеми.

Група “адаптивних” методів багатокритеріальної оптимізації базується на різних варіантах діалогових інтерактивних людина-машинних процедур та технологій послідовного аналізу можливих варіантів рішення з поступовим виявленням переваг (преференцій) ОПР (особи, що приймає рішення) та уточнення множини рішень. Істотним недоліком цієї групи методів для забезпечення бажаної якості науково-методичного апарату вибору складу парку є великий негативний вплив суб'єктивного фактору, велика вага евристичної інформації, яку важко використати для документованого обґрунтування рекомендованого варіанту (варіантів) складу парку.

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 параметрів, якими описуються властивості парку ТЗ, 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) варіанту: 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  $F_1(X)$  в єдиний скалярний критерій також визначається 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. Тобто будь-яка зміна цих елементів задачі призводить до відповідної зміни кінцевого результату. В цих умовах, казати про об'єктивність процесу рішення можна казати лише умовно. Наслідком цього є висновок, що застосування підходу, коли часткові критерії у задачі (1) – (2) визначаються зовні, суб'єктивними процедурами, не є адекватним шляхом. 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 споживача 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 сформувати векторну критеріальну функцію

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

де введення зворотних величин потрібно для зведення задачі оптимізації за багатьма критеріями до задачі мінімізації векторного критерію (2.2)  $\bar{F}(X)$ .

У випадку оптимізації за одним критерієм ОПР (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. Ця форма додаткової інформації за сутністю є інформацію суб'єктивною – вона безпосередньо залежить від очікувань та досвіду ОПР. Крім того, що 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 не можна сподіватися про 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 багатокритеріальній оптимізації.

Серед методів багатокритеріальної оптимізації, які використовують властивості парето-оптимальної множини рішень найменший вплив суб'єктивного фактору має метод цільового програмування [5].

Необхідно зазначити, що цю властивість методу цільового програмування використовували попередні дослідники для того, щоби зменшити негативний вплив особистості на результати рішення. Так, саме цей метод був використаний [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”.

Застосування 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  $\bar{y}, \bar{z}, \bar{w}$ ):

1. (позитивність)  $\rho(\bar{z}, \bar{y}) \geq 0$ .
2. (симетричність)  $\rho(\bar{y}, \bar{z}) = \rho(\bar{z}, \bar{y})$ .
3. (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 [5–7], 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.

### Висновки

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.

### Література

1. **Зінчик А.Г.** Розробка методичного апарату формування складу парку автомобільних ТЗ органів логістики ЗСУ: ... канд. техн. наук 20.02.14 / А.Г. Зінчик. – Хмельницький, 2010. – 138 с. 2. **Штойер Р.** Многокритериальная оптимизация. Теория, вычисления и приложения: Пер. с англ. — М.: Радио и связь, 1992.— 504 с: ил. 3. **Кини Р. Л.** и Райфа Х. Принятие решений при многих критериях: предпочтения и замещения. — М.: Радио и связь, 1981. 4. **Ногин В.Д.** Принятие решений в многокритериальной среде: количественный

подход (2-е изд.). — М.: Физматлит, 2005. 5. **Подinovский В.В.** Парето-оптимальные решения многокритериальных задач / В.В. Подinovский, В.Д. Ногин — М.: Наука, 1982. 6. **Артюшин Л.М.** Большие технические системы. Проектирование и управление. / Л.М. Артюшин, Ю.К. Зиятдинов, И.А. Попов, А.В. Харченко Под ред. И.А.Попова. — Харьков: Факт, 1997. — 400 с. 7. **Воронин А.Н.** Векторная оптимизация динамических систем / А.Н. Воронин, Ю.К. Зиятдинов — К.: Техника, 1999. — 284 с.

Целью данной статьи является представление результатов личных исследований автора по обоснованному выбору метода многокритериальной оптимизации состава парка транспортных средств отделов пограничной службы на основе использования специфической дополнительной информации о последствиях принятия предварительных решений по составу парка и экспертные оценки этих последствий.

*Ключевые слова:* транспортные средства, формирование состава парка автомобильной техники, пограничная служба, дополнительная информация, принятие решения.

The purpose of this paper is to present the results of the author's personal research regarding reasonable choice of multicriteria optimization of fleet departments border service through the use of specific additional information about the consequences of making preliminary decisions about the park and expert assessment of these effects.

*Key words:* vehicles, forming part of the park of vehicles, border guards, additional information, decision.