

УДК 004.722

С.М. Неділько

Державна льотна академія України, Кіровоград

## МЕТОДИКА ОПТИМАЛЬНОГО ВИКОРИСТАННЯ НАДМІРНОСТІ ДЛЯ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ФУНКЦІОНАЛЬНОЇ СТІЙКОСТІ АВТОМАТИЗОВАНОЇ СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ ПОВІТРЯНИМ РУХОМ

Запропоноване методика оптимального використання надмірності для забезпечення функціональної стійкості автоматизованої системи управління повітряним рухом.

**Ключові слова:** функціональна стійкість, надмірність, автоматизована система управління повітряним рухом.

### Вступ

Задача оптимального використання структурної надмірності автоматизованої системи управління повітряним рухом (АСУПР) безпосередньо пов'язана із загальною задачею синтезу функціонально стійкої системи. У свою чергу оптимізаційна задача синтезу функціонально стійкої структури АСУПР зводиться до дискретної багатокритеріальної. Технологія багатокритеріальної оптимізації є важливою складовою частиною теоретичних основ забезпечення функціональної стійкості. Особливістю є те, що значення показника функціональної стійкості розраховуються алгоритмічно.

**Постановка проблеми.** Формалізація задачі оптимізації при використанні надмірності автоматизованої системи управління повітряним рухом у загальному виді приймає наступний вигляд. Нехай  $A$  – множина допустимих варіантів або множина можливих рішень, елементами якої є  $\alpha_i \in A$  ( $i = \overline{1, n}$ ) – точки із цілочисельними координатами, а саме, варіанти побудови структури системи. Вектор стану системи  $\alpha_i$  характеризується набором  $\alpha_{ij}$   $j$  параметрів інформації про  $i$ -й варіант:

$$\alpha_i = \{\alpha_{i1}, \alpha_{i2}, \dots, \alpha_{ij}\}, \quad j \in N. \quad (1)$$

Нехай  $F: A \rightarrow R$  – вектор цільової функції.

$$F = \{f_1, f_2, \dots, f_k\}. \quad (2)$$

У нашому випадку:

$f_1 = P\{F_\tau[z(t, \alpha), t \leq \tau] \in B_{A_1}^r\}$  – показник функціональної стійкості структури системи;

$f_2 = C$  – вартість системи.

Необхідно відшукати в  $A$  елемент  $\alpha_0$  (оптимальний варіант), для якого справедлива нерівність

$$F(\alpha_0) \geq F(\alpha_i), \quad \forall \alpha_i \in A, \quad i = \overline{1, n}. \quad (3)$$

Розглянемо більш детальну математичну формалізацію постановки задачі:

$$\alpha = \langle v, d, f \rangle:$$

$$\begin{cases} \forall z(\alpha, t) \in Z, |v| < |V| \wedge |d| < |D| \wedge |f| < |F|, \\ \Delta v, \Delta d, \Delta f \neq \emptyset, \\ |f^+| - |f| \rightarrow \min, |f^-| - |f| \rightarrow \max. \end{cases} \quad (4)$$

де  $\alpha = \langle v, d, f \rangle$  – параметр (у широкому сенсі простір параметрів), що описує процес функціонування системи, де підмножина  $v \subseteq V$ ,

$|v| \leq |V|$ , підмножина  $d \subseteq D$ ,  $|d| \leq |D|$ , а підмножина  $f \subseteq F$ ,  $|f| \leq |F|$ ,

$V$  – множина елементів АСУПР,

$D$  – множина зв'язків між елементами,

$F$  – множина функцій системи,

$\Delta v, \Delta d, \Delta f$  – формалізовано описують всі види надмірності, наприклад, відповідно елементів, зв'язків і функцій.

Аналіз публікацій. Аналіз існуючої теорії функціональної стійкості показав, що в своїх роботах професор Машков О.А. [1] сформулював властивість функціональної стійкості й розробив загальну стратегію її забезпечення для складних технічних систем та вирішив проблему забезпечення функціональної стійкості бортового інформаційно-керуючого комплексу летального апарату (ЛА).

Були запропоновані нові принципи й отримані закони управління рухом ЛА, як динамічної системи, математично описаної системою диференціальних рівнянь.

Послідовники наукової школи функціональної стійкості професор Барабаш О.В. та професор Кравченко Ю.В. внесли вклад у розвиток понятійного апарату та вирішили проблему забезпечення функціональної стійкості для конкретних технічних систем, а саме, розподіленої інформаційної та псевдосупутникової радіонавігаційної систем [2, 3].

Особливості принципу роботи АСУПР дозволили зробити висновок про те, що, незважаючи на

існуючі серйозні наукові результати теорії функціональної стійкості, досліджувані в них математичні моделі складних систем не здатні адекватно описати процес функціонування автоматизованої системи управління повітряним рухом.

Отже, **актуально** розробити методіку оптимального використання надмірності автоматизованих систем управління повітряним рухом, як важливу складову стратегії функціональної стійкості АСУПР.

**Метою статті** є доведення результатів досліджень щодо розробки методіки оптимального використання надмірності автоматизованої системи управління повітряним рухом.

### Основна частина

Головна ідея полягає в застосуванні простих при реалізації градієнтних алгоритмів на порядково-випуклих цільових функціях, що дозволяють із множини допустимих, а в ряді випадків і ефективних варіантів, знаходити точне або приблизне рішення, але з відомою точністю.

Процедуру обчислення значення цільової функції  $F$  у даній точці називають  $f$ -оракулом [4]. Трудомісткість алгоритму  $A1$  рішення задачі дискретної оптимізації із цільовою функцією  $F$  будемо оцінювати числом  $\phi(A1, F)$  викликів  $f$ -оракула. Для АСУПР  $f$ -оракул задається не аналітично, а алгоритмічно.

Якщо відсутня яка-небудь інформація про характер змін функції  $F$ , то ясно, що вирішити задачу дискретної оптимізації можливо, тільки обчисливши функцію  $F$  на кожному елементі з  $A$ . Тобто трудомісткість алгоритму дорівнює потужності множини допустимих рішень  $\phi(A1, F) = |A|$ , що в цьому випадку не припустимо, так як мова йде про NP-повну задачу.

Отже, при оптимальному використанні надмірності АСУПР необхідно забезпечити максимальну ефективність при мінімальній вартості.

В роботі [4] запропоновано комбінаторний підхід в дискретній оптимізації, що для синтезу складної технічної системи розглядається як сукупність методу часткових порядків, концепції опуклості в частково впорядкованих множинах і схеми побудови серії градієнтних алгоритмів.

Суть методу часткових порядків полягає в тому, що з елементів припустимої множини можливих рішень задачі дискретної оптимізації формується така частково впорядкована множина ( $u$ -множина), для якої цільові функції є порядково-випуклими, тобто і функції і їхні градієнти монотонні уздовж ланцюгів, побудованих частковим порядком. Процедура формування частково впорядкованої множини рішень задачі дискретної оптимізації в частково впорядковану множину. В методі часткових порядків інформація про клас цільових функцій задається у вигляді часткового порядку на припустимій множині  $A$ .

Отже, метод часткових порядків дозволяє одержати оптимальне або субоптимальне рішення задачі дискретної оптимізації без трудомісткого обчислення цільової функції по відомій апріорній інформації про клас цільової функції через відношення часткового порядку.

У випадку порядково-випуклих цільових функцій в частково впорядкованих множинах є логічною ідея застосування методу часткових порядків у схемі побудови серії градієнтних алгоритмів. Концепція комбінаторного підходу при рішенні задачі оптимального використання надмірності автоматизованої системи управління повітряним рухом представлена на рис. 1.

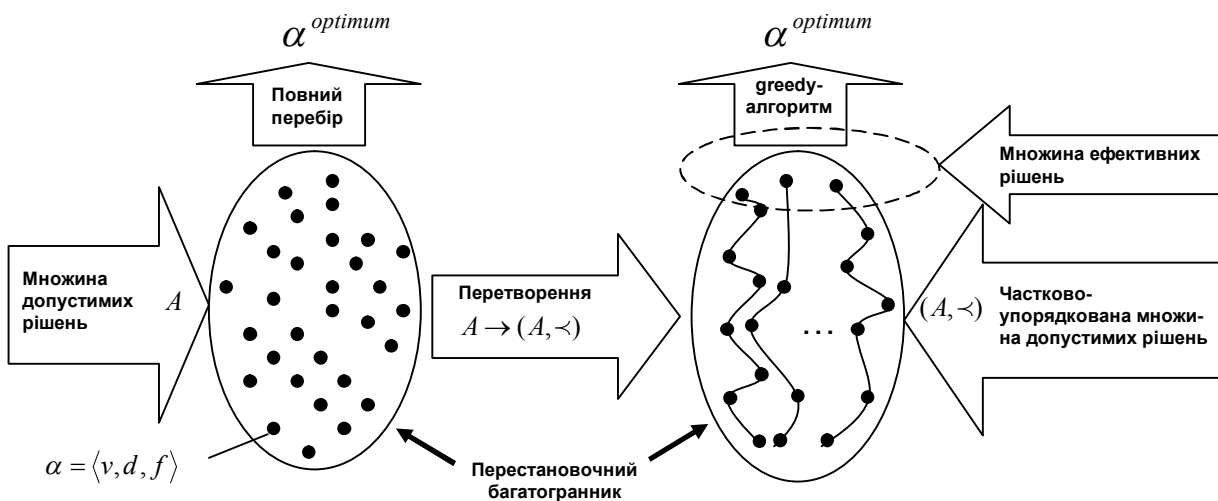


Рис. 1. Комбінаторний підхід при рішенні задачі оптимального використання надмірності АСУПР

В роботі [4] запропоновано алгоритми побудови максимальної (мінімальної) бази, суть яких полягає у визначенні факту порівнянності варіантів між собою, порівняння останніх з метою визначення максимальних (мінімальних) непорівнянних між собою елементів, що і є максимальною (мінімальною) базою.

Однак перешкодою до їхнього застосування служить експонентний ріст збереженої проміжної інформації при порівнянні цільової функції варіантів.

Тому представляється логічною наступна схема побудови приблизних алгоритмів оптимізації із властивістю ізотонності  $f$ - і  $g$ -оракулів, яка створена на основі методу часткових порядків: серед елементів множини допустимих варіантів, які безпосередньо слідує за первинним, вибрати елемент з максимальним (мінімальним) значенням цільової функції і продовжувати вибір до тих пір, поки не буде отримано деякий максимальний (мінімальний) елемент. Алгоритми, побудовані за такою схемою, називають градієнтними або жадібними, а в закордонній науковій літературі – greedy-алгоритмами. Використання відношення часткового порядку дозволяє не розраховувати цільову функцію для кожного елемента множини варіантів автоматизованої системи управління повітряним рухом, а вибір кращого робити за допомогою відношення порядку, що зазвичай набагато простіше.

Відношення часткового порядку, як і градієнт, дозволяє визначити напрямок руху під час пошуку оптимального рішення. Звідси і назва алгоритмів. Найпростіші й найважливіші з них: алгоритм координатного підйому (спуску) і алгоритм бікоординатного підйому (іноді його називають методом замін).

Доведено, що область допустимих варіантів представляє такий комбінаторний об'єкт як перестановочний багатогранник. Ця обставина відіграє важливу роль при розробці методики й алгоритмів оптимального використання надмірності АСУПР.

Ідея застосування градієнтних алгоритмів при оптимальному використанні надмірності АСУПР заснована на особливостях функціонування системи. В якості градієнту виступає відношення мажоризації. Дійсно, для такої системи збільшення кількості елементів (зв'язків між елементами) однозначно веде до росту (або не до зниження) значення показника функціональної стійкості.

Таким чином, викладений вище підхід дозволяє розробити методику оптимального використання надмірності функціонально стійкої структури АСУПР. В основі методики лежить, запропонований метод поетапного зменшення потужності бази (базису) перестановочного багатогранника.

Методика оптимального використання надмірності функціонально стійкої структури АСУПР має такі елементи (рис. 2):

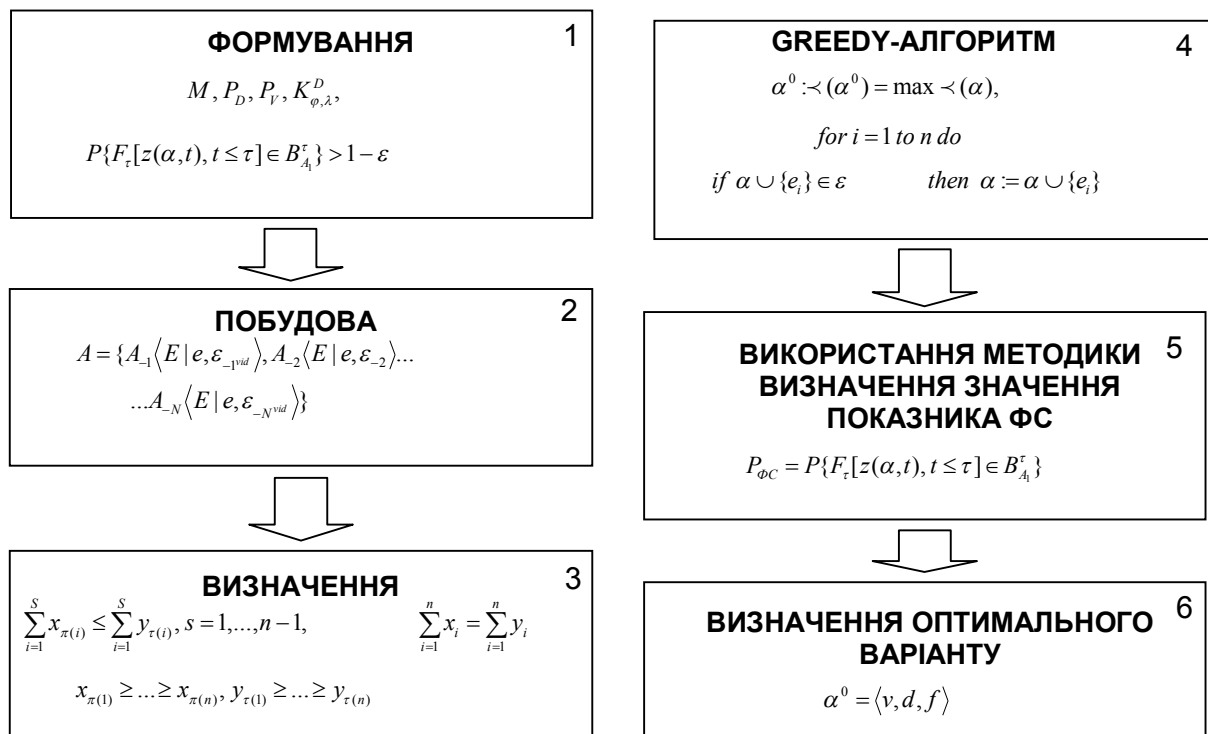


Рис. 2. Схема методики оптимального використання надмірності функціонально стійкої структури АСУПР

1. Формування матриць  $M, P_D, P_V, K_{\phi, \lambda}^D$ ,  
пред'явлення вимог до

$$P\{F_{\tau}[z(\alpha, t), t \leq \tau] \in B_{A_1}^{\tau}\} > 1 - \varepsilon,$$

де  $M$  – матриця суміжності орграфа структури системи;

$P_D, P_V$  – матриці ваг зв'язків (ребер) і елементів (вузлів);

$K_{\phi, \lambda}^D$  – матриця параметрів (координат) елементів (вузлів).

2. Побудова множини допустимих рішень

$$A = \left\{ \begin{array}{l} A_{-1} \langle E | e, \varepsilon_{-1}^{\text{vid}} \rangle, A_{-2} \langle E | e, \varepsilon_{-2} \rangle, \dots, \\ A_{-N} \langle E | e, \varepsilon_{-N}^{\text{vid}} \rangle \end{array} \right\}.$$

3. Визначення відношення часткового порядку як відношення мажоризації:

$$\sum_{i=1}^S x_{\pi(i)} \leq \sum_{i=1}^S y_{\tau(i)}, s = 1, \dots, n-1, \quad \sum_{i=1}^n x_i = \sum_{i=1}^n y_i,$$

$$x_{\pi(1)} \geq \dots \geq x_{\pi(n)}, y_{\tau(1)} \geq \dots \geq y_{\tau(n)}.$$

4. Застосування градієнтного алгоритму

$$\alpha^0 := (\alpha^0) = \max \prec (\alpha)$$

for  $i=1$  to  $n$  do

if  $\alpha \cup \{e_i\} \in \varepsilon$  then  $\alpha := \alpha \cup \{e_i\}$ .

5. Застосування методики визначення значення показника функціональної стійкості АСУПР

$$P_{\text{ФС}} = P\{F_{\tau}[z(\alpha, t), t \leq \tau] \in B_{A_1}^{\tau}\}.$$

6. Перебір максимальної бази

While  $P(\alpha_i) \leq P^{\max}$  do  $i := i+1$   $P^0(\alpha_i) := P(\alpha_i)$ .

7. Визначення оптимального варіанту

$$\alpha^0 = \langle v, d, f \rangle.$$

## ВИСНОВКИ

Таким чином, запропоновано методику оптимального використання надмірності для забезпечення функціональної стійкості автоматизованої системи управління повітряним рухом.

Реалізація методики дозволяє із множини допустимих варіантів перерозподілу ресурсів знаходити оптимальне рішення при значному зменшенні числа звернень до цільової функції у порівнянні з іншими точними методами оптимізації.

## Список літератури

1. Артюшин Л.М. Оптимизация цифровых автоматических систем, устойчивых к отказам / Л.М. Артюшин, О.А. Машков. – К.: КВВАИУ, 1991. – 89 с.
2. Барабаи О.В. Построение функционально устойчивых распределенных информационных систем / О.В. Барабаи. – К.: НАОУ, 2004. – 226 с.
3. Кравченко Ю.В. Методология многокритериальной дискретной оптимизации сложных технических систем на матроидных структурах / Ю.В. Кравченко, В.В. Афанасьев // Збірник наукових праць ППМЕ ім. Г.Є. Пухова. – Вып. 22–1. – К.: ППМЕ ім. Г. Є. Пухова. – 2003. – С. 73 – 78.
4. Ковалев М.М. Матроиды в дискретной оптимизации / М.М. Ковалев. – Минск: Изд-во «Университетское», 1987. – 222 с.

Надійшла до редколегії 27.04.2011

**Рецензент:** д-р техн. наук, проф. Ю.В. Кравченко, Національний університет оборони України, Київ.

### МЕТОДИКА ОПТИМАЛЬНОГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ИЗБЫТОЧНОСТИ ДЛЯ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ФУНКЦИОНАЛЬНОЙ УСТОЙЧИВОСТИ АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ВОЗДУШНЫМ ДВИЖЕНИЕМ

С.Н. Неделко

Предложена методика оптимального использования избыточности для обеспечения функциональной устойчивости автоматизированной системы управления воздушным движением.

**Ключевые слова:** функциональная устойчивость, избыточность, автоматизированная система управления воздушным движением.

### THE METHOD OF THE OPTIMUM USE OF SURPLUS FOR PROVIDING OF FUNCTIONAL STABILITY FOR AIR TRAFFIC CONTROL SYSTEM

S.M. Nedilko

The article highlights the method of the optimum use of surplus for providing of functional stability for air traffic control system.

**Keywords:** functional stability, surplus, air traffic control system.