

УДК 004.722

С.М. НЕДІЛЬКО

*Державна льотна академія України, Кіровоград, країна*

## МЕТОДИКА ВИЯВЛЕННЯ ІСНУЮЧОЇ НАДМІРНОСТІ СКЛАДНИХ ТЕХНІЧНИХ СИСТЕМ ДЛЯ ПАРИРУВАННЯ НЕГАТИВНОГО ВПЛИВУ ДЕСТАБІЛІЗУЮЧИХ ФАКТОРІВ

*Запропоновано методику виявлення існуючої надмірності складних технічних систем для парировання негативного впливу дестабілізуючих факторів. Методика виявлення існуючої області надмірності автоматизованої системи управління повітряним рухом заснована на ідеї використання апріорної інформації при визначенні ознак надмірності, попереднього формування області надмірності, послідовного виключення надмірних елементів та зв'язків із системи з метою оцінки якості функціонування системи для остаточного уточнення області надмірності. Використання процедури дозволяє виявити існуючий ресурс (область надмірності) для подальшого використання під час парировання нештатних ситуацій.*

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

### Вступ

Дослідження показали, що в сучасних умовах одним з перспективних напрямків розвитку складних систем є забезпечення властивості функціональної стійкості [1]. Відповідно до стратегії забезпечення функціональної стійкості складних технічних систем, яка розроблена на прикладі автоматизованої системи управління повітряним рухом (АСУПР) для її реалізації необхідно послідовно виконати наступні етапи: виявлення позаштатної ситуації, розпізнавання позаштатної ситуації, виявлення існуючої області надмірності, формування оптимального використання надмірності, а потім – оцінку якості функціонування системи. Важливе місце займає етап, який пов'язаний з виявленням існуючої області надмірності складних технічних систем для парировання негативного впливу дестабілізуючих факторів.

**Постановка проблеми.** Виконання вищезазначеного етапу неможливо без відповідної методики, яка повинна бути науково обгрунтованою. Тому розробка методики виявлення існуючої надмірності складних технічних систем для парировання негативного впливу дестабілізуючих факторів є актуальним науковим завданням.

**Аналіз публікацій.** Теорія функціональної стійкості досить повно викладена в науковій літературі [1,3 та ін.]. Але її дослідження дозволяють зробити висновок про відсутність публікацій на тему виявлення існуючої надмірності складних технічних систем. На практиці, як правило, апріорна інформація про надмірність формується на основі глибоких

знань принципу дії системи, її функціональної та структурної схеми. Таким чином, наукові дослідження в цієї галузі є новими та актуальними.

**Метою статті** є доведення результатів щодо розробки методики виявлення існуючої надмірності складних технічних систем для парировання негативного впливу дестабілізуючих факторів на прикладі автоматизованої системи управління повітряним рухом.

### Основна частина

Умовно процедуру виявлення існуючої області надмірності поділимо на два етапи. Перший етап має такий смисл: на рівні гіпотези визначити ознаки надмірності та на цій основі сформувані попередню область надмірності. Існують явні ознаки, тобто ті, про які не складно виконати обгрунтування. Наприклад, згідно завдань, які вирішуються, потрібно менше обчислювальних засобів ніж є у складі реальної системи. Це явна ознака апаратної надмірності щодо кількості обчислювальних засобів. Також є ознаки надмірності, які можуть викликати деяку неоднозначність. Тому на другому етапі потрібно перевірити запроповану гіпотезу про надмірність. На наш погляд, найбільш раціональним є принцип виключення попередньо визначених надмірних елементів та зв'язків із системи з подальшою перевіркою якості функціонування складної технічної системи. За результатами оцінки якості функціонування системи робиться висновок про остаточну область надмірності.

При розробці методики виявлення існуючої області надмірності складних технічних систем для парирування негативного впливу дестабілізуючих факторів потрібно вирішити такі часткові завдання.

1. Визначити ознаки надмірності та надати їх математичну формалізацію.

2. Розробити метод визначення попередньої області надмірності.

3. Створити модель процесу функціонування АСУПР.

4. Розробити методику виявлення існуючої області надмірності.

Дослідження показали, що найбільш логічними є такі ознаки надмірності:

апаратурної – у випадку, коли є надлишкові елементи та зв'язки;

часової – коли є запас за часом для виконання поставлених завдань;

програмної – коли є можливість нарощування програмного забезпечення при вирішенні задач в реальному масштабі часу;

інформаційної – коли існує надлишок необхідної інформації для рішення поставлених завдань;

енергетичної – наявність енергетичних ресурсів.

У зв'язку з сучасним підходом до формалізації структури АСУПР через графову модель, тобто сукупність елементів і зв'язків між ними, логічно зробити висновок про те, що наявність кожної з ознак надмірності веде до існування надлишкових елементів або зв'язків, а може і того й іншого. Ознака надмірності повинна надати якісну, а не кількісну порівняну інформацію.

Тому пропонується математичну формалізацію цих ознак описати через відношення часткового порядку.

Відомо, що відношення порядку застосовується для порівняння пари елементів множини. Відношення порядку виражається через поняття «менше» і «більше», «містить» і «утримується в», «передую» і «слідую за» позначається символом  $<$  [2]. Бінарне відношення  $<$  на множині  $D$  називається відношенням порядку, якщо воно транзитивне, тобто

$$\forall x, z, y \in D; \quad x < z; z < y \Rightarrow x < y,$$

і антисиметричне

$$\forall x, z \in D; \quad x < z; z < x \Rightarrow x = z.$$

Відношення порядку  $<$  називається відношенням нестроного порядку на множині  $D$ , якщо воно рефлексивне

$$\forall x \in D; \quad x < x.$$

Відношення порядку  $<$  називається відношенням строгого порядку на множині  $D$ , якщо воно антирефлексивне

$$\forall x, y \in D; \quad x < y \Rightarrow x \neq y.$$

Відношення порядку називається відношенням

часткового порядку, якщо воно визначено не для всіх пар множини  $D$ .

Множина  $D$  із заданим на ній (частковим) порядком  $<$  називається (частково) упорядкованою (скорочено *у-множині*) і позначається  $(D, <)$ .

Відношення часткового порядку  $<$  на  $D$  назвемо інформацією про клас  $F$  цільових функцій, якщо з відношення  $x < y$  слідує  $f(x) \leq f(y)$  для кожної функції  $f \in F$ .

Відношення часткового порядку математично формалізує ознаки існуючої надмірності АСУПР. Необхідність порівняння рішень без трудомісткого обчислення значення показника ефективності кожного варіанта привела до формування відносини часткового порядку як оператора не кількісного, а якісного порівняння. Зрозуміло, що відношення часткового порядку знайти значно простіше, ніж цільову функцію. У градієнтних алгоритмах оптимізації відносини порядку виступає в ролі градієнта, тобто визначає напрямок руху убік найбільшого росту цільової функції.

Розглянемо процедуру формування відносини часткового порядку для цільової функції АСУПР.

Певному класу цільових функцій можуть відповідати різні часткові порядки, щодо яких кожна функція  $f$  із  $F$  ізотонна. Інформація про клас  $F$  називається повною, якщо з незрівнянності  $x, y \in X$  слідує існування таких функцій  $f_1, f_2 \in F$ , що  $f_1(x) < f_1(y)$ , а  $f_2(x) > f_2(y)$ . Нагадаємо, що для простоти позначено  $x, y$  – дискретні аргументи цільової функції. Передбачається, що перевірити виконання відношення  $x < y$  значно простіше, ніж обчислити значення функції  $f \in F$  в точках  $x$  і  $y$ .

Нехай  $\rho(F)$  – бінарне відношення (не обов'язково частковий порядок) на  $D$  таке, що

$$(x, y) \in \rho(F) \Leftrightarrow f(x) \geq f(y) \quad \forall f \in F. \quad (1)$$

Очевидно, що це відношення транзитивне і рефлексивне, але не обов'язково антисиметричне, тобто є квазіпорядком, а не частковим порядком. Якщо  $\rho(F)$  антисиметричне, то воно є повною інформацією про клас  $F$ . Таким чином, для існування повної інформації про клас  $F$  необхідно і достатньо, щоб із здійснення нерівності  $f(x) < f(y)$  для кожної функції слідувало, що  $x < y$ .

Наведемо приклади часткового порядку, що несуть повну інформацію про клас ввігнутих симетричних цільових функцій АСУПР.

Для класу ввігнутих функцій виду

$$f(X) = \sum_{i=1}^n f(x_i), \quad (2)$$

що характеризуються тим, що

$$f(\lambda x + (1-\lambda)y) \leq \lambda f(x) + (1-\lambda)f(y), \quad (3)$$

$$0 \leq \lambda \leq 1, x, y \in \mathbb{R}^N$$

повна інформація є відношенням мажоризації тоді і тільки тоді, коли

$$\sum_{i=1}^S x_{\pi(i)} \leq \sum_{i=1}^S y_{\tau(i)}, s = 1, \dots, n-1, \sum_{i=1}^n x_i = \sum_{i=1}^n y_i, \quad (4)$$

де перестановки  $(\pi(1), \dots, \pi(n))$  і  $(\tau(1), \dots, \tau(n))$  такі, що

$$x_{\pi(1)} \geq \dots \geq x_{\pi(n)}, y_{\tau(1)} \geq \dots \geq y_{\tau(n)}. \quad (5)$$

Цільова функція  $f(X) = \sum_{i=1}^n f(x_i)$  при будь-якій

перестановці фіксованих значень компонент вектора  $X$  своєї величини не змінює. Тому елементи допустимої множини, що відрізняються тільки перестановкою компонент, можна ототожнювати, і тоді відношення мажоризації є повною інформацією. Більш того, відношення мажоризації буде повною інформацією для класу  $F_1$  всіх ввігнутих симетричних функцій. Функція  $f(x), x \in \mathbb{R}^N$  називається симетричною, якщо  $f(x_\pi) = f(x)$  для всіх  $\pi \in S_N$ , де  $S_N$  – множина всіх перестановок елементів множини  $N$ .

Для лінійної функції  $f(x) = \sum_{i=1}^n c_i x_i$  з

від'ємними коефіцієнтами, підпорядкованими умові  $c_i \geq \alpha_i c_{i+1}, i = 1, \dots, n-1$ , де  $\alpha = (\alpha_1, \dots, \alpha_{n-1})$  – заданий позитивний вектор, частковий порядок  $x < y$  є повною інформацією про функції та задається як

$$x_1 \leq y_1;$$

$$\sum_{i=1}^{s-1} \alpha_i \dots \alpha_{s-1} x_i + x_s \leq \sum_{i=1}^{s-1} \alpha_i \dots \alpha_{s-1} y_i + y_s, s = 2, \dots, n. \quad (6)$$

Для функції  $f(x) = \sum_{i=1}^n \alpha_i c(x_i)$ , де  $c(x_i)$  – ввігнута

та функція;  $(\alpha_1, \dots, \alpha_n)$  – позитивний вектор, повна інформація є відношенням, обумовленим в такий спосіб: перестановка  $\pi \in S_N$ , для якої:

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

$$\sum_{i=1}^s \alpha_i x_{\pi(i)} \leq \sum_{i=1}^s \alpha_i y_{\pi(i)}, s = 1, \dots, n-1;$$

$$\sum_{i=1}^n \alpha_i x_i = \sum_{i=1}^n \alpha_i y_i. \quad (7)$$

Звернемо увагу на фізичну сутність відношення мажоризації, формалізованого в (2) – (5) як відношення часткового порядку, а також на те, що воно не є відношенням строгого порядку. Тобто існують варіанти структур АСУПР, які не можливо порівняти за допомогою даного відношення порядку.

Нехай елементи вектора, що відповідають варіанту АСУПР, є булевими змінними і визначають

наявність або відсутність лінії зв'язку в передбачуваному місці. Розглянемо це на прикладі:

$$X_1 = \{1111000000\},$$

$$X_2 = \{1111100000\}, X_3 = \{0000001111\},$$

$$X_4 = \{0000011111\}.$$

Порівняння значень аргументу цільової функції дозволяє зробити висновок про те, що  $P(X_1) < P(X_2)$  і  $P(X_3) < P(X_4)$ , тому що додаткова лінія зв'язку  $X_2$  і  $X_4$  підвищує ефективність. А варіанти  $X_1$  і  $X_2$  непорівнянні за цим принципом з  $X_3$  і  $X_4$ , тому що немає загальних ліній зв'язків ( $P$  – показник функціональної стійкості).

Таким чином, процедура побудови частково-впорядкованої множини є процедурою формування попередньої області надмірності АСУПР, а метод визначення цієї області надмірності – метод перетворення множини допустимих варіантів в частково-впорядковану множину допустимих варіантів системи.

Для уточнення передбачуваної області надмірності АСУПР необхідно мати модель процесу функціонування системи, що досить повно викладена в літературі на цю тему. Дослідження впливу виключення надлишкових елементів і надлишкових зв'язків на можливість АСУПР виконувати необхідні функції лежить в основі процесу уточнення передбачуваної області надмірності АСУПР. Методика виявлення існуючої області надмірності надана на рис. 1.

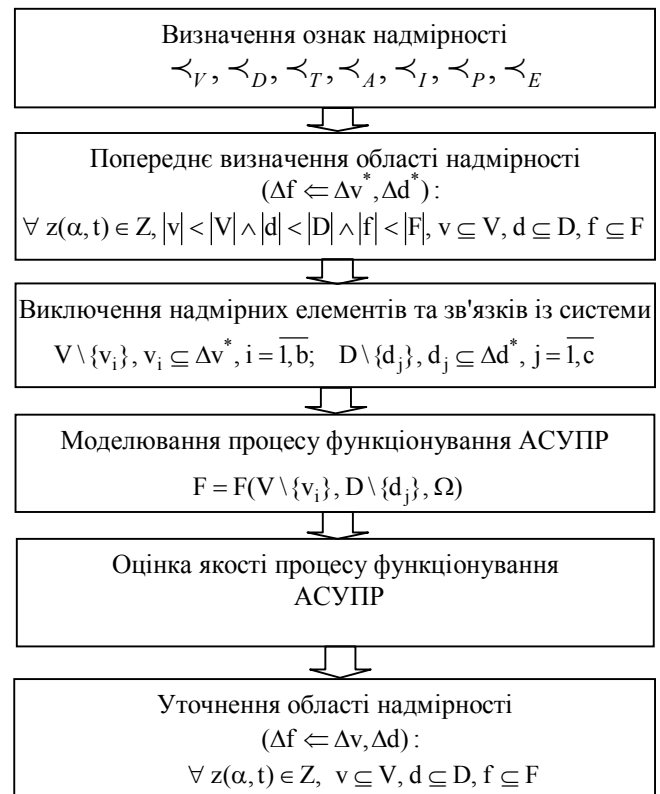


Рис. 1. Методика виявлення існуючої області надмірності

## Висновки

Методика виявлення існуючої області надмірності АСУПР заснована на ідеї використання априорної інформації при визначенні ознак надмірності, попереднього формування області надмірності, послідовного виключення надмірних елементів та зв'язків із системи з метою оцінки якості функціонування системи для остаточного уточнення області надмірності.

Використання процедури дозволяє виявити існуючий ресурс (область надмірності) для подальшого використання під час парювання нештатних ситуацій.

## Література

1. Неділько С.М. Актуальність забезпечення функціональної стійкості автоматизованої системи управління повітряним рухом / С.М. Неділько // Сучасні інформаційні технології в управлінні та професійній підготовці операторів складних систем: матеріали V Міжн. НПК, 27-28 жовтня 2010 р. – Кіровоград: Вид-во ДЛАУ, 2010. – С. 3-6.
2. Ковалев М.М. Матроиды в дискретной оптимизации / М.М. Ковалев. – Минск: Изд-во «Университетское», 1987. – 222 с.
3. Артюшин Л.М. Оптимизация цифровых автоматических систем, устойчивых к отказам / Л.М. Артюшин, О.А. Машиков. – К.: КВВАИУ, 1991. – 89 с.

Надійшла до редколегії 1.06.2011

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

### МЕТОДИКА ВЫЯВЛЕНИЯ СУЩЕСТВУЮЩЕЙ ИЗБЫТОЧНОСТИ СЛОЖНЫХ ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ ДЛЯ ПАРИРОВАНИЯ НЕГАТИВНОГО ВЛИЯНИЯ ДЕСТАБИЛИЗИРУЮЩИХ ФАКТОРОВ

*С.Н. Неделько*

Предложена методика выявления существующей избыточности сложных технических систем для парирования негативного влияния дестабилизирующих факторов. Методика выявления существующей области избыточности автоматизированной системы управления воздушным движением основана на идее использования априорной информации при определении признаков избыточности, предыдущего формирования области избыточности, последовательного исключения избыточных элементов и связей, из системы с целью оценки качества функционирования системы для окончательного уточнения области избыточности. Использование процедуры позволяет обнаружить существующий ресурс (область избыточности) для последующего использования во время парирования нештатных ситуаций.

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

### THE METHOD OF EXPOSURE OF EXISTENT SURPLUS OF DIFFICULT TECHNICAL SYSTEMS FOR PARRY OF SUBZERO INFLUENCE OF DESTABILIZING FACTORS

*S.M. Nedilko*

The article highlights the method of exposure of existent surplus of difficult technical systems for parry of sub-zero influence of destabilizing factors. The method of exposure of existent area of surplus of automated control the system by air motion is based on the idea of the use of a priori information at determination of signs of surplus, previous forming of area of surplus, successive exception of surplus elements and connections, from the system with the purpose of estimation of quality of functioning of the system for final clarification of area of surplus. The use of procedure allows to find out an existent resource (area of surplus) for the subsequent use during the parry of non-permanent situations.

**Key words:** functional stability, surplus, air traffic control system.

**Неділько Сергій Миколайович** – канд. техн. наук, проф., ректор, Державна льотна академія України, Кіровоград, Україна.