

УДК 519.9

І.А. Кухарський

Харківський університет Повітряних Сил ім. І. Кожедуба, Харків

## ОПТИМІЗАЦІЙНА МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ ПАРАМЕТРИЧНОГО АНАЛІЗУ СИСТЕМИ АРХІВАЦІЇ ДАНИХ ДИСТАНЦІЙНОГО ЗОНДУВАННЯ ЗЕМЛІ

Проведено аналіз основних підходів щодо синтезу системи архівації даних дистанційного зондування Землі, запропоновано оптимізаційну математичну модель параметричного синтезу системи архівації даних дистанційного зондування Землі, яка базується на формалізації задачі у багатокритеріальній формі з використанням нелінійної схеми компромісів.

**Ключові слова:** система архівації, дані дистанційного зондування Землі, параметричний синтез, нелінійна схема компромісів.

### Вступ

**Постановка проблеми у загальному вигляді.** Специфіка розв'язку прикладних задач за даними дистанційного зондування Землі (ДЗЗ) для кожної конкретної галузі вимагає створення своїх вузько-спрямованих систем архівації. В свою чергу, ефективність систем архівації і, як слідство, якість виконуваних з використанням даних ДЗЗ кінцевих задач в значній мірі залежить від застосовуваних методологій щодо їх синтезу, зокрема обґрунтованості і реалізації етапу параметричного синтезу системи.

**Аналіз останніх досягнень та публікацій.** Розв'язання задачі параметричного синтезу потребує встановлення показників або критеріїв ефективності, формування оптимізаційної моделі параметричного синтезу системи та визначення оптимальних параметрів.

Однокритеріальні моделі прості для формування та аналізу і забезпечують простоту визначення параметрів системи, однак не забезпечують високу достовірність отримуваних рішень через спрощення відображення початкових задач.

За наявності вектору критеріальних вимог матимемо багатокритеріальну оптимізаційну модель [2, 6–8, 12]. У цьому разі усі вимоги до параметрів системи враховуються у формі критеріїв. Розв'язок задачі параметричного синтезу за багатокритеріальною моделлю здійснюється або методом зведення її до однокритеріальної за певним критерієм [2, 6 – 8], або альтернативними методами [1]. Для перших характерно отримання математично обґрунтованого єдиного розв'язку, як правило належного області паретто [7]. Для другого отримується низка розв'язків в області паретто та значний суб'єктивізм в алгоритмі зведення їх до єдиного рішення [1].

Для однокритеріальних та багатокритеріальних моделей застосовується дискретна [8, 10] і аналогова [7] форма подання частинних критеріїв, пошукові та градієнтні методи визначення екстремуму цільової функції [5].

### Математична постановка задачі

Нехай сформовані вимоги до системи у вигляді сукупності значень параметрів  $G_0$ . Вихідними параметрами системи є перелік характеристик  $G$ . Задача параметричного синтезу полягає в знаходженні таких параметрів системи, що задовольняють вимозі [1]

$$G_j \leq G_{0j}, \quad (1)$$

де  $j=1..m$ ;  $G_j, G_{0j}$  - компоненти множин  $G$  та  $G_0$  відповідно, тобто  $G_j \in G$ ;  $G_{0j} \in G_0$ .

На підставі сформованих у переліку  $G_0$  критеріальних вимог, згідно певного правила формується цільова функція  $S$ . Тоді параметри системи визначатимуться за виконанням умови

$$\max \text{ або } \min S. \quad (2)$$

В кожному конкретному випадку, залежно від призначення і особливостей функціонування системи зміст та реалізація етапів параметричного синтезу буде унікальною.

Можливо запропонувати багатокритеріальний підхід до розв'язання задачі параметричного синтезу системи архівації із розробкою відповідної математичної моделі.

Для формування частинних критеріїв оптимальності дискретної компоненти системи за її параметрами застосуємо ефективно-вартісну модель, тобто в загальному випадку маємо ( $j = 1..n$ ):

$$\begin{cases} E_{j1} \Rightarrow \max, E_{j2} \Rightarrow \max, \dots, E_{j1} \Rightarrow \max, \dots, \\ E_{jm} \Rightarrow \max; \\ S_j \Rightarrow \min, \end{cases} \quad (3)$$

де  $E_{j1}, S_j$  – відповідно 1-й критерій ефективності та вартість  $j$ -ої компоненти структури системи.

Критерії, що входять до складу (3) формуються відповідно до технічних характеристик стандартних компонент структури системи архівації і є унікальними для кожної з них.

Варійованим параметром вважатимемо номер  $j$ -ї компоненти структури в ієрархії, що описує зміну частинних критеріїв виразу (3)  $i=1...N$  – варіант технічної реалізації параметрів компоненти системи архівації. Для побудови аналітичних моделей частинних критеріїв (3) застосуємо один із відомих статистичних методів, наприклад метод найменших квадратів (МНК) [13]. Матрична форма МНК має вигляд:

$$\bar{C} = (F^T F)^{-1} F^T \bar{Y}, \quad (4)$$

де  $\bar{C}$  – вектор параметрів апроксимуючої функції;  $F$  – матриця базисних функцій;  $\bar{Y}$  – вектор параметрів, що описують зміну частинних критеріїв.

Аналітичні моделі для частинних критеріїв будемо формувати у вигляді поліному [5]:

$$P(N) = \sum_{f=0}^g C_f N^f, \quad (5)$$

де  $C_f$  – параметри апроксимуючої функції – компоненти вектору  $\bar{C}$ .

Надалі для розв'язання багатокритеріальної задачі застосовуватиметься метод зведення сукупності частинних критеріїв до єдиного функціоналу [2], який будемо формувати згідно згортки за нелінійною схемою компромісів [6 – 8].

Нормування частинних критеріїв здійснюється окремо для тих, що мінімізуються

$$\phi_{0i}^{\min} = \phi_i^{\min} \cdot \left( \sum_{i=1}^N \phi_i^{\min} \right)^{-1}, \quad (6)$$

та для тих, що максимізуються

$$\phi_{0i}^{\max} = \left( \phi_i^{\max} \cdot \sum_{i=1}^N \frac{1}{\phi_i^{\max}} \right)^{-1}. \quad (7)$$

Для отримання узагальненого критерію використовується дискретна згортка [8]

$$Y(y_0) = \sum_{l=1}^m \gamma_{0l} (1 - y_{0l})^{-1}, \Rightarrow \min, \quad (8)$$

де  $m$  – кількість включених в згортку частинних критеріїв оптимальності системи;  $\gamma_{0l}$  – нормований ваговий коефіцієнт;  $y_{0l}$  – нормований частинний критерій оптимальності системи.

Для реалізації рівноправного впливу на результат розв'язку оптимізаційної задачі кожного із частинних критеріїв оптимальності проводиться нормування параметрів, що входять до складу згортки (8).

Нормування вагових коефіцієнтів здійснюється за виразом:

$$\gamma_{0l} = \gamma_1 \cdot \left( \sum_{l=1}^m \gamma_l \right)^{-1}, \quad (9)$$

де  $\gamma_1$  – поточне (ненормоване) значення вагового коефіцієнту.

Тоді, узагальнений критерій оптимальності параметрів елементів структури апаратної компоненти системи архівації визначатиметься моделлю вигляду:

$$F_j = \gamma_{0jl} (1 - E_{jli0})^{-1} + \gamma_{0j2} (1 - E_{j2i0})^{-1} + \dots + \gamma_{0jl} (1 - E_{jli0})^{-1} + \dots + \gamma_{0jm} (1 - E_{jmi0})^{-1} + \gamma_{0js} (1 - S_{jio})^{-1} \Rightarrow \min, \quad (10)$$

$i = 1...N.$

Вираз (10) являє собою математичну оптимізаційну модель параметричного синтезу апаратної компоненти системи архівації даних ДЗЗ при дискретно-му поданні частинних критеріїв оптимальності.

Розв'язок оптимізаційної задачі за моделлю (10) полягає у визначенні номеру варіанту компоновки параметрів об'єкту параметричного синтезу для якої значення узагальненого критерію  $F_{ij}$  є мінімальним з  $i$ -х варіантів, тобто

$$N_{opt} = i, \text{ при } F_{ij} \Rightarrow \min. \quad (11)$$

По суті, значення  $N_{opt}$  визначатиме апаратну реалізацію певної компоненти структури яка є оптимальною, згідно сформованих критеріїв (3) за своїми параметрами. Для аналітичної форми подання частинних критеріїв їх нормування здійснюється відповідно до виразу для максимізованих критеріїв:

$$\phi_{0i}^{\max} (N) = \min \phi_i (N) \cdot \phi_i^{-1} (N), \quad (12)$$

та для мінімізованих критеріїв

$$\phi_{0i}^{\min} (N) = \phi_i (N) \cdot \max \phi_i^{-1} (N). \quad (13)$$

Формування узагальненого критерію оптимальності для аналітичного подання частинних критеріїв згідно нелінійної схеми компромісів здійснюється відповідно до виразу [7]:

$$\chi^* = \arg \min_{\chi \in G} \sum_{l=1}^m \gamma_{0l} (1 - \phi_{0l}(\chi))^{-1}, \quad (14)$$

де  $\chi$  – параметр, що оптимізується;  $G$  – область визначення функцій частинних критеріїв оптимальності;  $\phi_{0l}(\chi)$  – нормована функція 1-го частинного критерію оптимальності;  $\chi^*$  – мінімально можливе (для встановлених обмежень частинних критеріїв) значення параметра, що оптимізується.

Відповідно до уведених позначень, згідно із згорткою (14), можливо сформувати багатокритеріальну оптимізаційну модель параметричного синтезу системи за  $j$ -ю компонентою з аналітичним описом частинних критеріїв у вигляді

$$N_j^* = \arg \min_{\chi \in G} [\gamma_{0jl} (1 - E_{jli0}(N))^{-1} + \gamma_{0j2} (1 - E_{j20}(N))^{-1} + \dots + \gamma_{0jl} (1 - E_{jli0}(N))^{-1} + \dots + \gamma_{0ml} (1 - E_{jmo}(N))^{-1} + \gamma_{0js} (1 - S_{j0}(N))^{-1}] = \arg \min_{\chi \in G} F_j(N). \quad (15)$$

Мінімальне значення функціоналу (15), що дає оптимум варійованого параметру  $N$  визначається відповідно до рівняння:

$$\frac{dF_j(N)}{dN} = 0. \quad (16)$$

Результатом розв'язку рівняння (16) є значення  $N_j^*$ , як правило дробове число. Виходячи із сутності варійованого параметру  $N$  – номер варіанту компоновки параметрів об'єкту параметричного синтезу дробовий розв'язок оптимізаційної задачі не має сенсу. У цьому разі здійснюють його округлення в більший або менший бік до значення, при якому функціонал  $F_j(N_j^*)$  – найменший, тобто

$$N'_{optj} = \min F_j \left( N_j^* = \begin{matrix} \max \\ \min \end{matrix} N_j \right). \quad (17)$$

Застосування моделі (15) дозволяє визначити оптимальний варіант компоновки параметрів  $j$ -ї компоненти системи архівації. Окрім того, сформована модель (15), на відміну від моделі (10), надає можливість визначити параметри компоненти системи не лише за наявними технічно-реалізованими компонентами, а і встановити нормативні (необхідних) вимоги до їх параметрів.

Таким чином, отримано два класи математичних моделей параметричного синтезу апаратної компоненти системи архівації – з використанням дискретного опису зміни частинних критеріїв (10) та при аналітичному їх поданні (15). Відповідно можливо отримати два значення оптимізованого параметра  $N_{opt}$  та  $N'_{opt}$ .

## Висновки

Таким чином, запропоновано математичну оптимізаційну модель параметричного синтезу системи архівації даних ДЗЗ з дискретним та аналітичним описом зміни частинних критеріїв оптимальності. Її особливість полягає у можливості визначення параметрів компонент структури системи архівації, як для конкретної технічної реалізації дискретних компонент так і для формування нормативних вимог до параметрів системи.

## ОПТИМИЗАЦИОННАЯ МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ПАРАМЕТРИЧЕСКОГО АНАЛИЗА СИСТЕМЫ АРХИВАЦИИ ДАННЫХ ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ ЗЕМЛИ

И.А. Кухарский

*Проведен анализ основных подходов относительно синтеза системы архивации данных дистанционного зондирования Земли, предложена оптимизационная математическая модель параметрического синтеза системы архивации данных дистанционного зондирования Земли, которая базируется на формализации задачи в многокритериальной форме решением с использованием нелинейной схемы компромиссов.*

**Ключевые слова:** система архивации, данные дистанционного зондирования Земли, параметрический синтез, нелинейная схема компромиссов.

## OPTIMIZATION MATHEMATICAL MODEL OF SELF-REACTANCE ANALYSIS OF THE SYSTEM OF ARCHIVING OF INFORMATION OF THE REMOTE SENSING OF EARTH

I.A. Kukharskiy

*The analysis of basic approaches is conducted in relation to the synthesis of the system of archiving of information of the remote sensing of Earth, the optimization mathematical model of self-reactance synthesis of the system of archiving of information of the remote sensing of Earth which is based on formalization of task in a multicriterion form a decision with use of nonlinear chart of compromises is offered.*

**Keywords:** system of archiving, information of the remote sensing of Earth, self-reactance synthesis, nonlinear chart of compromises.

## Список літератури

1. Антушев Г.С. Методы параметрического синтеза сложных технических систем / Г.С. Антушев. – М.: Наука, 1986. – 88 с.
2. Брахман Т.Р. Многокритериальность и выбор альтернатив в технике / Т.Р. Брахман. – М.: Радио и связь, 1984. – 280 с.
3. Вермишев Ю.Х. Методы автоматического поиска решений при проектировании сложных технических систем / Ю.Х. Вермишев. – М.: Радио и связь, 1982. – 152 с.
4. Волков Е.А. Численные методы: учебное пособие [для вузов] / Е.А. Волков. – М.: Наука, 1987. – 248с. – (2 – е изд., испр.)
5. Воронин А.Н. Вложенные скалярные свертки векторного критерия / А.Н. Воронин // Проблемы управления и информатики. – 2003. – № 5. – С. 10-21.
6. Воронин А.Н. Сложные технические и эргатические системы: методы исследования / А.Н. Воронин, Ю.К. Зитидинов, А.В. Харченко; монография. – Х.: Факт, 1997. – 240 с.
7. Воронин А.Н. Методика многокритериальной оценки эффективности научных космических проектов / А.Н. Воронин, Л.Н. Колос // Проблемы управления и информатики. – 2004. – № 5. – С. 46-56.
8. Зайченко Ю.П. Исследование операций: Учебное пособие для студентов ВУЗов / Ю.П. Зайченко. – К.: Вища школа, 1979. – 392 с.
9. Логудец А.В. Алгоритм параметрической оптимизации электронных схем на базе методов численного интегрирования / А.В. Логудец // Известия ВУЗов. Радиоэлектроника. – 2005. – Том 48, № 8. – С.40-46.
10. Самойленко Л.И. Разработка методологии оценки сценариев в задачах планирования космической деятельности / Л.И. Самойленко, Л.М. Яковлева, Т.В. Ильенко, Л.В. Подгорододецкая, Л.Н. Колос // Проблемы управления и информатики. – 2005. – №6. – С. 127-134.
11. Сейдж Э. Теория оценивания и ее применение в связи и управлении / Э. Сейдж, Дж. Мелс. – М.: Связь, 1976. – 496 с.

Надійшла до редколегії 19.11.2008

**Рецензент:** канд. техн. наук О.В. Зайцев, Об'єднаний інститут при Національній академії оборони України, Київ.