УДК 629.782.017:005(045)

[1]**Ю.К. Зіатдінов,** д-р техн.наук
[2]**А.С. Климова**

МЕТОД ФОРМУВАННЯ ОПТИМАЛЬНИХ ПРОЕКТНИХ ПАРАМЕТРІВ СКЛАДНИХ ТЕХНІЧНИХ СИСТЕМ

Кафедра комп'ютерних інформаційних технологій, НАУ
e-mail: [1]oberst@nau.edu.ua; [2]asia@kar.net

Розглянуто метод формування множини оптимальних проектних параметрів проектованої системи на підставі аналізу критеріальних поверхонь. Метод побудовано на звуженні допустимої області параметрів до області ефективних за Парето розв'язків.

Вступ

Задача проектування оптимально функціонуючої системи належить до найбільш складних і актуальних задач системотехніки.

Під час проектування сучасних складних технічних систем, наприклад, багаторазової авіаційно-космічної системи (АКС) застосовують особливі методи системних досліджень щодо вибору оптимального варіанта побудови системи. Ці методи дають можливість оцінити альтернативні варіанти побудови системи, обґрунтувати і дати рекомендації щодо найбільш переважного варіанта.

Багаторазові АКС створюють для вирішення багатьох складних завдань з різних умов функціонування. Це призводить до необхідності в процесі їхнього проектування одночасно враховувати і задовольняти різні, часто суперечливі вимоги, пропоновані до критеріїв ефективності системи. Одним із центральних завдань проектування АКС є завдання формування й обґрунтування технічного вигляду (множини основних конструктивних параметрів) системи [1].

У цій статті на відміну від широко використовуваної в більшості методів формування множини основних проектних параметрів складних технічних систем ідеї «скаляризації» векторного критерію [2] пропонується метод формування (синтезу) технічного вигляду (ТВ) складної технічної системи, що задовольняють деякі критерії ефективності.

Аналіз досліджень і публікацій

Суть багатокритеріального підходу складається в одночасному обліку різних вимог, кожне з яких виявляється за своїх, особливих умов. Такий підхід відповідає принципу додатковості, введеним у науку Бором: для відтворення цілісності об'єкта необхідно застосовувати взаємовиключні "додаткові" класи понять, кожний з яких застосуємо у своїх, особливих умовах [3].

Ступінь виконання тієї чи іншої вимоги кількісно передається відповідним приватним критерієм. Тому приватні критерії, що відбивають суперечливі вимоги, виступають як взаємовиключні, "додаткові" класи понять, кожний з яких застосуємо в своїх, особливих умовах (ситуаціях, режимах). Це дає підставу думати, що багатокритеріальний підхід є прояв принципу додатковості в теорії керування.

У статті розглянуто вирішення задачі багатокритеріального синтезу складної технічної системи. Першим у цій галузі Л. Зоде в праці [4] сформулював задачу побудови АСУ динамічними об'єктами, найкращими з погляду сукупності критеріїв якості. Тут уперше була висловлена думка про неможливість у більшості випадків точної оптимізації всіх функціоналів, що передають приватні критерії якості, на тому самому розв'язку варіаційної задачі. Отже, багатокритеріальний синтез не є задачею оптимізації в традиційному розумінні цього слова, це скоріше пошук компромісу між розв'язками, оптимальними з погляду приватних критеріїв.

У теорії векторного синтезу складних динамічних систем зусиллями вчених розроблена сукупність методів, що дозволяє практично здійснювати багатокритеріальну оптимізацію складних динамічних систем.

Однак на сьогодні теорія векторної оптимізації не може однозначно відповісти на поставлені перед нею питання, оскільки при розв'язанні багатокритеріальних задач дослідники натрапляються на проблеми, які важко формалізуються. Тому необхідно використовувати ті чи ті евристики, хоча в багатьох випадках можна було б установити і досліджувати визначені закономірності в прийнятті багатокритеріальних розв'язків і застосовувати формалізовані на цій підставі процедури. Головним напрямом подальшого розвитку теорії векторної оптимізації є послідовна формалізація всіх етапів постановки і вирішення багатокритеріальних задач на визначеній логічній основі. У статті пропонується формалізований метод багатокритеріального синтезу множини основних концептуальних параметрів системи на підставі аналізу критеріальних поверхонь.

Цю методику можна успішно застосовувати під час проектування не тільки складних авіаційних систем, а й систем, не пов'язаних з авіацією.

Вибір критеріїв оптимізації

Вибір системи критеріїв ефективності є одним із важливих етапів досліджень, проведених при обґрунтуванні перспектив і напрямів розвитку АКС.

Мета критеріальних досліджень – уточнення призначення об'єкта, що аналізується, і формалізація цього процесу шляхом виявлення найважливіших кількісних показників, які найбільшою мірою відображають ступінь відповідності конкретного варіанта об'єкта до його призначення. Інші показники, що характеризують з інших позицій об'єкт, трактуються при цьому або як обмеження, або як параметри оптимізації. Питанням вибору системи критеріїв оцінки складних технічних систем у фундаментальних працях Н.Н. Моісеєва [5], В.В. Подиновського [6], А.Н. Вороніна [2], І.А. Попова [7] приділяється найпильніша увага. Узагальнюючи відзначені праці, можна стверджувати, що в практиці досліджень з обґрунтування перспектив розвитку АКС одержала широке поширення тріада критеріїв: ефективність – вартість – час (E–S–T). Але на етапі обґрунтування технічного обліку АКС і її основних тактико-технічних характеристик (ТТХ) більш кращою є зворотна постановка задачі теорії ефективності, коли як головний критерій використовується вартість, а два інших критерії виступають як обмеження:

$S \to \min;\ \ E \ge E_{\text{зад}};\ \ T \le T_{\text{зад}}.$

У цій роботі поняття "вартість" трактується як "вартість вирішення розрахункової задачі" (РЗ) номінальної, окремої або їхньої сукупності. У цю вартість включені ті витрати, що, обумовлені характеристиками як АКС, так і параметрами розв'язуваної РЗ. Тому, спираючись на основні принципи вибору критеріїв порівняльної оцінки ефективності АКС (достатність, показність, простота, одиничність як головний критерій порівняльної оцінки ефективності конкуруючих варіантів АКС), пропонується вибір показника – вартість вирішення РЗ. Проектування АКС найчастіше припускає оптимізацію конкретних їхніх варіантів з умови найбільш ефективного виконання деякої так званої номінальної РЗ. Відповідно до викладеного підходу ефективність вирішення номінальної РЗ еквівалентна економічній ефективності системи, дорівнює вартості її вирішення і у цьому випадку відповідає вартості розробки номінального варіанта АКС.

В основі створення будь-якої АКС лежать два основних принципи:

– система, що створюється, повинна мати високу економічну ефективність, тобто створюватися в рамках заданих асигнувань, забезпечуючи мінімум витрат на створення й експлуатацію;

– система повинна забезпечувати вирішення сукупності поставлених РЗ.

Зазначені принципи завжди знаходяться в тісному зв'язку і протиріччі один з одним і можуть бути охарактеризовані двома критеріями, визначеними на множині проектних параметрів системи: вартістю розробки номінального варіанта АКС і вартістю вирішення РЗ.

Вибір параметрів оптимізації

Технічна система може бути визначена великою кількістю параметрів і характеристик. Тому особливу увагу під час проектування АКС необхідно звернути на вибір параметрів оптимізації.

Повний облік параметрів системи, що визначають якість системи, призвів би до невиправданого ускладнення критеріальних функцій і до надмірних труднощів вирішення оптимізаційної задачі. Тому завдання полягає в тому, щоб знайти такі параметри оптимізації, які однозначно визначали б основні параметри системи в цілому і дозволяли обґрунтувати їхні оптимальні значення з обраних критеріальних оцінок. Тому природним є пошук найбільш інформативних параметрів – координат простору, в якому буде здійснюватися оптимізація обраних критеріїв.

Задача ця вирішується логічно, однак якісний і кількісний склад таких параметрів доцільно визначати, використовуючи принцип достатності, відповідно до якого прийнятною кількістю оптимізованих параметрів вважається таке, починаючи з якого значення кількісного показника якості не змінюється при завданні фіксованих умов функціонування системи. Наприклад, під час обґрунтування ТВ перспективної багаторазової АКС, використовуючи зазначений принцип, визначають концептуальні ТТХ системи, що містять у собі характеристики компоновки системи, масово-інерційні характеристики системи (корисне навантаження), аеродинамічні характеристики, льотно-технічні і злітно-посадкові характеристики системи. З погляду ефективності застосування АКС до таких характеристик належать маса корисного навантаження, маса палива, що заправляється, льотний ресурс системи.

Вибір зазначеної групи ТТХ пояснюється так:

– характеристики є змінними і діапазон їхньої зміни прямо пов'язаний з економічною ефективністю АКС;
– характеристики визначають особливості застосування АКС;
– характеристики можуть бути відповідним чином нормовані, тобто зведені до єдиної розмірності, мати єдиний фізичний зміст – вартісний;
– характеристики мають жорстко задану область існування, тобто для них однозначно визначені обмеження, в силу чого досить точно можна оцінити діапазони зміни критеріальних функцій, що вводяться;
– більшість інших найважливіших ТТХ систем можуть бути однозначно визначені через поданий набір характеристик.

Отже, обраний клас ТТХ визначає генеральну ідею, створення і використання системи, тому вони одержали назву концептуальних.

Постановка завдання

Нехай $x = x(x_1, ..., x_q) = \{x_j\}, j=1,...,q$ – вектор конструктивних параметрів проектованої системи, $x \in X$. Координати вектора x (опис системи) і множини X вибирають з урахуванням досвіду конструювання систем аналогічного призначення. Множина X багато в чому визначається досягнутим рівнем розвитку відповідної галузі техніки й технічної можливості. Наприклад, у літакобудуванні X описує різноманітність компонувань літаків. У процесі формування ТВ багаторазових АКС X являє собою набір деяких концептуальних ТТХ системи: масу виведеного корисного навантаження, масу одноразових елементів, масу палива, літній ресурс літака-носія (ЛН) й орбітальної ступені (ОС), кут нахилу траєкторії при відділенні ОС від ЛН і т.д. Якість системи оцінюється векторним критерієм ефективності $S = \{S_i\}, i = 1,...,m$.

Якщо припустити, що зовнішні умови, які впливають на функціонування системи, відомі й фіксовані, то можна вважати критерій ефективності $S(x)$ функцією тільки конструктивних параметрів. У цьому випадку завдання оптимального проектування у разі мінімізації векторного критерію містить знаходження вектора конструктивних параметрів:

$$x^* \in \arg\min_{x \in X} S(x),$$

$$\arg\min_{x \in X} S(x) = \{x \in X \mid S(x) = \min_{x \in X} S(x')\}, \qquad (1)$$

де x^* – оптимальний набір конструктивних проектних параметрів системи, що задовольняють критерій $S(x)$.

Розв'язання завдання

Розв'язання завдання ґрунтується на справедливості таких тверджень.

Теорема 1. Якщо функції $S_i(x), i = 1,...,m, x \in X$ монотонні, то будь-яка крапка $x' \in X$, така, що похідні $S'_1(x') = S'_2(x') = ... = S'_m(x') = \text{const}$, є паретооптимальною.

Теорема 2. У просторі локальних цілей $S'_i(x)$ існує функція $G(S_1(x), S_2(x),..., S_m(x))$ така, що будь-яка паретооптимальна крапка $x' \in \Pi(X)$ задовольняє рівняння $G = 0$.

Нехай $S_i(x)$ $(i = 1,\ldots,m)$ – приватні критерії ефективності (показники якості) системи. Позначимо через $\Pi(X)$ множину ефективних (оптимальних за Парето) векторів з X. Зіставимо задачі (1) задачу пошуку вектора проектних параметрів

$$x^* \arg\min_{x \in \Pi(X)} S(x). \qquad (2)$$

Декомпозиція задачі (1) складається з двох етапів: знаходження векторів $x \in \Pi(X)$ і вирішення задачі (2).

Перший етап дозволяє провести різке скорочення кількості розглянутих варіантів. На другому етапі проводиться вибір оптимального варіанта системи [8].

Застосування методів прикладного статистичного аналізу забезпечує одержання виразів для критеріальних функцій S_i, що дозволяють отримати числове значення i-го критерію при конкретному сполученні значень проектних параметрів $x = \{x_j\}^q{}_{j=1}, x \in X$, які змінюються в заданому діапазоні $\Delta j = [x_{j_{\min}}, x_{j_{\max}}]$.

Очевидно, що область $\Pi(X)$ варіантів системи Z визначається перетинанням цих діапазонів: $Z = \bigcap \Delta j$. З достатньої для інженерних розрахунків точністю критеріальні функції можна апроксимувати структуризованою системою поліномів другого ступеня:

$$S_{i^h}(x) = a_0{}^{(i^h)} + \sum_{j=1}^{q} a_j^{(i^h)} x_j + \sum_{\substack{j,k=1 \\ j \le r}}^{q} a_{jk}^{(i^h)} x_j x_r, i \in [1, m], \qquad (3)$$

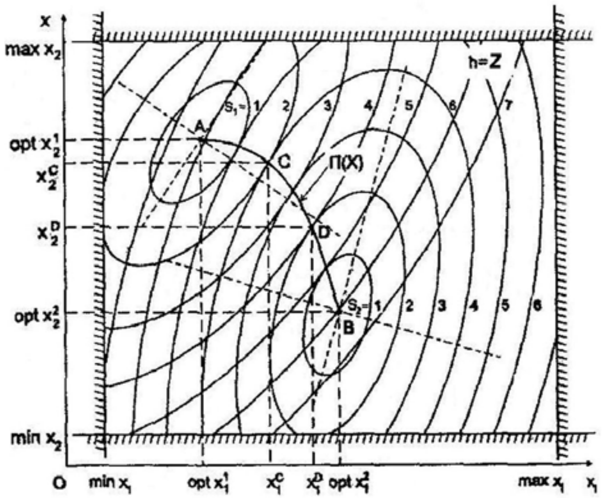
де S_i $(i = 1,\ldots,m)$ – векторний критерій; $a_0^{(i^h)}$, $a_j^{(i^h)}, a_{jk}^{(i^h)}$ – коефіцієнти полінома, що апроксимує i-у критеріальну функцію в h-й області простору Z зміни проектних параметрів. Для наочності розглянемо найбільш простий двовимірний випадок $q=2$, коли система описується лише двома параметрами x_1 і x_2. Нехай при цьому порівняння варіантів здійснюється двома ($m=2$) критеріальними функціями S_1 й S_2, які правомірно застосовувати у всьому діапазоні зміни характеристик x_1 й x_2.

Останнє допущення еквівалентно твердженню, що h=Z.

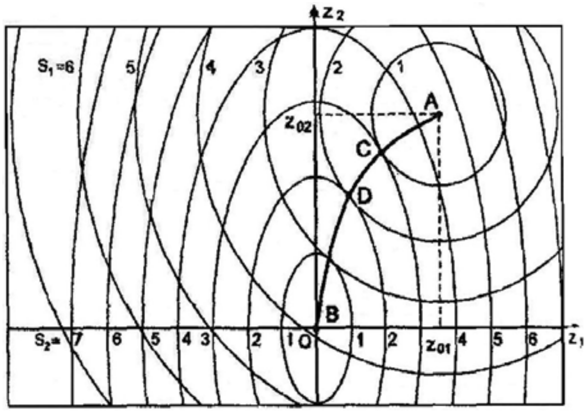
У цьому випадку

$$S_1 = a_0^1 + a_1^1 x_1 + a_2^1 x_2 + a_{11}^1 x_1 x_1 + a_{22}^1 x_2 x_2 + a_{12}^1 x_1 x_2;$$
$$S_2 = a_0^2 + a_1^2 x_1 + a_2^2 x_2 + a_{11}^2 x_1 x_1 + a_{22}^2 x_2 x_2 + a_{12}^2 x_1 x_2. \quad (4)$$

Лінії, що відповідають S_1 = const й S_2=const (див. рисунок, *а*), – це лінії байдужості або ізокванти (лінії рівних критеріїв).



а



б

Сім'ї вихідних (*а*) і “деформованих” (*б*) еліпсоїдів

Для зручності подальших міркувань приведемо співвідношення (4) до матричного вигляду:

$$S_1 = A_0^1 + 2A_1^1 X + X^T A_2^1 X;$$
$$S_2 = A_0^2 + 2A_1^2 X + X^T A_2^2 X, \quad (5)$$

де $X = [x_1\ x_2]^T$; $A_0^1 = [a_0^1]$; $A_0^2 = [a_0^2]$;
$A_1^1 = [a_1^1\ a_2^1]$; $A_1^2 = [a_1^2\ a_2^2]$;

$$A_2^1 = \begin{bmatrix} \alpha_{11}^1 \alpha_{12}^1 \\ \alpha_{12}^1 \alpha_{22}^1 \end{bmatrix}; \quad A_2^2 = \begin{bmatrix} \alpha_{11}^2 \alpha_{12}^2 \\ \alpha_{12}^2 \alpha_{22}^2 \end{bmatrix}.$$

Використовуючи правила матричного диференціювання, маємо

$$\frac{\partial S_1}{\partial X} = \left[\frac{\partial S_1}{\partial x_1} \frac{\partial S_1}{\partial x_2} \right] = 2A_1^1 + X^T A_2^1;$$
$$\frac{\partial S_2}{\partial X} = \left[\frac{\partial S_2}{\partial x_1} \frac{\partial S_2}{\partial x_2} \right] = 2A_1^2 + X^T A_2^2.$$

Координати безумовних екстремумів критеріальних функцій S_1 й S_2 визначаються так:

$$\frac{\partial S_1}{\partial X} = 0;\ 2A_1^1 + X^T A_2^1 = 0;\ \mathrm{opt}\, X^{T(1)} = -2A_1^1 (A_2^1)^{-1};$$
$$\frac{\partial S_2}{\partial X} = 0;\ 2A_1^2 + X^T A_2^2 = 0;\ \mathrm{opt}\, X^{T(2)} = -2A_1^2 (A_2^2)^{-1}. \quad (6)$$

Крім того, можна показати, що

$$\frac{d^2 S_1}{dx_1^2} = a_{11}^1; \quad \frac{d^2 S_2}{dx_1^2} = a_{22}^2.$$

Відповідно до критерію Сілвестра з позитивної визначеності симетричних матриць $A^1{}_2$ й $A^2{}_2$ виходить, що $a^1{}_{11} > 0$, $a^2{}_{22} > 0$. Це означає, $\frac{d^2 S_i}{dx_j^2} > 0$ безумовні екстремуми критеріальних функцій S_i є мінімуми. Причому відповідно до цього самого критерію матриці $A^1{}_2$ й $A^2{}_2$ невироджені, тобто розв'язок (6) існує й він єдиний. Таким чином, варіанти АКС із параметрами, що відповідають крапкам $A(\mathrm{opt}\, x_1^1, \mathrm{opt}\, x_2^1)$ і $B(\mathrm{opt}\, x_1^2, \mathrm{opt}\, x_2^2)$, є оптимальними за критеріями S_1 й S_2, якщо вони належать області допустимих розв'язків $[x_{j_{\min}}, x_{j_{\max}}]$.

Коли крапки A або B не належать області допустимих розв'язків, потрібно проводити додаткові дослідження.

Розглянемо випадок, коли критеріальні поверхні S_1 = const й S_2 = const є багатовимірними еліпсоїдами, а крапки A і B належать області допустимих розв'язків. Можна показати, що множині $П(X)$ варіантів системи відповідає множина крапок ACDB (див. рисунок, *а*), що є геометричним місцем точок дотику однопараметричної сім'ї ліній S_1 з лініями, що належать сім'ї S_2. Розглянемо множину варіантів системи, які хоча й відрізняються характеристиками x_1 і x_2, але забезпечують S_1=const. Якщо S_1=2 (див. рисунок *а*), лише варіант системи, що відповідає крапці $C(x_1^C, x_2^C)$, забезпечує мінімальне значення S_2. При іншому значенні S_1 (наприклад, S_1=4) паретооптимальним варіантом АКС буде система, що відповідає крапці $D(x_1^D, x_2^D)$.

З геометричних міркувань ясно, що тільки у випадку приналежності варіанта системи області $П(X)$ розв'язків існує взаємно однозначна відповідність між векторним критерієм S={S_1, S_2} і виглядом системи, заданої параметрами {x_1,x_2}. Переходячи до багатовимірного простору характеристик, задачу паретооптимального варіанта системи можна сформулювати в такий спосіб: знайти паретооптимальні характеристики, що забезпечують екстремальні значення критерію S_1 при S_2 = var.

Вирішення цієї задачі полягає у визначенні рівнянь кривої AB (лінії Парето), що проходить через крапки дотику ізоквант сім'ї S_1 і S_2.

У цих крапках дотична і нормаль до ізоквант сім'ї S_1 збігаються з дотичною і нормаллю до ізоквант сім'ї S_2, що дозволяє сформувати систему рівнянь

$$\frac{x_i - \xi_i}{dS_1 / dx_i} = \frac{x_j - \xi_j}{dS_2 / dx_j}, \quad i, j \in [1, q], \tag{7}$$

де ξ_j – координати крапок торкання ізоквант сімей S_1 і S_2 відповідно; x_j – поточні координати крапки, що належить нормалі.

Вирішення системи рівнянь (7) у загальному вигляді має певні труднощі обчислювального характеру. Розглянемо один із підходів до консервативного перетворення системи рівнянь (7) і знаходження координат крапок, що належать лінії Парето. Ідею таких перетворень простежимо на прикладі, коли S_1 і S_2 є однопараметричними еліптичними рівняннями.

Відомо, що поліноми другого ступеня типу (5) можуть бути наведені до квадратичних форм шляхом лінійних перетворень, більше того, існує лінійне перетворення, що забезпечує одночасне зведення двох квадратичних форм до діагонального вигляду.

Отже, рівняння можуть бути записані у вигляді

$$\begin{aligned} S_1 &= b_0^{(1)} + (z_1 - z_{01})^2 + (z_2 - z_{02})^2; \\ S_2 &= b_0^{(2)} + \lambda_1 z_1^2 + \lambda_2 z_2^2, \end{aligned} \tag{8}$$

де z_{01}, z_{02} – координати центра ліній сім'ї S_1 у новій системі координат Z_1OZ_2; λ_1, λ_2 – власні значення квадратної симетричної матриці, складеної з коефіцієнтів.

Геометрично це означає, що існує таке лінійне перетворення системи координат (перенос, поворот і стиск), при якому вихідна сім'я еліпсів S_1 трансформується в сім'ю кіл, а вихідна сім'я еліпсів S_2 – у сім'ю деформованих еліпсів. Деформовані сім'ї S_1 і S_2 (див. рисунок, *б*) отримано в результаті застосування перетворення (8) вихідних сімей еліпсів (див. рисунок, *а*).

З огляду на те, що рівняння (8) істотно простіше рівнянь (7), можна чекати, що система рівнянь (8) у новій системі координат буде мати більш простий вигляд. Дійсно, оскільки

$$\frac{dS_1}{dz_j} = 2(z_j - z_{01}); \quad \frac{dS_2}{dz_j} = 2\lambda_j z_j,$$

то система рівнянь (8) вироджується і набуває вигляду

$$z_j = \frac{z_{0j}}{1 - \lambda_j / \lambda_1 (1 - z_{0j} / z_1)},$$

де z_{0j} – j-я координата центру сім'ї ліній S_1 = const в новій системі координат; λ_j – власні значення квадратичної форми S_2.

Таким чином, знаючи координати центру сім'ї кіл z_{0j}, власні значення деформованої квадратичної форми S_2 і змінюючи значення однієї координати z_1 у діапазоні [0, z_{01}], можна розрахувати решту координат крапок, що належать лінії Парето в новій системі координат.

Застосування обернених перетворень системи координат дозволяє визначити ефективні за Парето варіанти систем.

За допомогою повороту координатних осей завжди можна домогтися їхньої паралельності головним осям сім'ї S_2. Тому в такій системі координат числове значення змінної завжди буде знаходитися в діапазоні: [opt x_1^1; opt x_2^1].

У разі використання перетворень, що розтягують систему координат, числове значення всіх паретооптимальних змінних Z_j знаходиться всередині багатовимірного паралелепіпеда:

[opt Z_j^1, opt Z_j^2], $\forall \ j \in [1, q]$.

Таким чином, будь-якому значенню Z_1, що знаходиться в діапазоні [opt Z_1^1, opt Z_1^2], відповідає цілком конкретне значення Z_2, яке знаходиться в діапазоні [opt Z_2^1, opt Z_2^2], що забезпечує крапці з координатами (Z_1, Z_2) властивість належати області розв'язків, ефективних за Парето:

$$\begin{aligned} &\forall \{Z_1 | Z_1 \in [\mathrm{opt} Z_1^1, \mathrm{opt} Z_1^2]\} \exists; \\ &\{Z_2 | Z_2 \in [\mathrm{opt} Z_2^1, \mathrm{opt} Z_2^2]\} \Rightarrow (Z_1, Z_2) \in \prod(X), \end{aligned} \tag{9}$$

де $\Pi(X) \subset H$ – область паретооптимальних розв'язків.

У багатовимірному випадку, коли розмірність простору дорівнює q, а кількість критеріїв i = 2, умова (9) має вигляд

$$\begin{aligned} &\forall \{Z_1 | Z_1 \in [\mathrm{opt} Z_1^1, \mathrm{opt} Z_1^2]\} \exists \{Z_j^1, \mathrm{opt} Z_j^2\} \Rightarrow \\ &\Rightarrow \{Z_j\} \in \prod, \forall j \in [1, q]. \end{aligned} \tag{10}$$

У змістовних термінах умова (10) означає, що існує таке перетворення системи координат: $\{x_1, x_2, \ldots x_j\} \to \{Z_1, Z_2, \ldots Z_j\}$,

при реалізації якого область ефективних паретооптимальних розв'язків знаходиться всередині багатовимірного паралелепіпеда, що задається співвідношеннями (10). Необхідно відзначити, що співвідношення (10) значною мірою скорочують область пошуку розв'язків, однак вони не забезпечують можливість вибору суто паретооптимальних розв'язків.

З огляду на велику розмірність практично цікавих і важливих задач на вибір паретооптимальних розв'язків, приходиться відмовлятися від використання традиційних методів пошукової оптимізації навіть усередині сформованого багатовимірного паралелепіпеда, тому що одержання хоча б одного з множини паретооптимальних АКС сполучено зі значними витратами ресурсів сучасних ЕОМ. У той самий час, для прийняття обґрунтованих рішень дослідник повинен проаналізувати досить представницьку кількість паретооптимальних варіантів АКС.

Виходячи з викладеного, задачу виділення області компромісів (ефективних за Парето розв'язків) можна сформулювати в такий спосіб: розробити ефективний обчислювальний алгоритм, що забезпечує формування множини паретооптимальних варіантів АКС і оцінку векторного критерію для кожного з аналізованих варіантів.

Перш ніж приступити до вирішення сформульованої задачі, необхідно відзначити, що широко використовувані в практиці досліджень методи пошукової оптимізації орієнтовані на мінімізацію (максимізацію) головного критерію. При цьому інші критерії або не контролюються, або виступають як обмеження, причому в останньому випадку числові значення обмежень установлюються дуже довільно. Більш того, у багатьох випадках такий підхід приводить до того, що множина допустимих розв'язків стає порожньою, якщо обмеження за додатковими критеріями є завищеними, або вимоги щодо цих обмежень не реалізуються.

Висновок

Розроблений такий підхід до вирішення задачі, при якому, по-перше, у просторі проектних параметрів АКС виявляється область паретооптимальних розв'язків, а по-друге, при заданих обмеженнях на числове значення одного з двох критеріїв визначаються основні проектні параметри паретооптимального АКС, що забезпечує екстремальне значення іншого критерію.

Пропонований метод формування множини основних конструктивних параметрів системи, що задовольняють деякі критерії. Метод заснований на ідеї звуження допустимої області параметрів до ефективної (оптимальної за Парето), тобто "вибраковування" (відсівання) з множини можливих свідомо невдалих, що уступають іншим розв'язкам за всіма критеріями. При цьому область розв'язків істотно скорочується.

Пропонований метод формування паретооптимальних варіантів використовується при обґрунтуванні технічного вигляду АКС, для якої неможливе поліпшення жодного з критеріїв без одночасного погіршення хоча б одного з них.

Література

1. *Артюшин Л.М., Зиатдинов Ю.К., Попов И.А., Харченко А.В*. Большие технические системы: проектирование и управление. – Х.: Факт, 1997. – 400 с.

2. *Воронин А.Н.* Многокритериальный синтез динамических систем. – К.: Наук. думка, 1992. – 160 с.

3. *Познер А.Р.* Метод дополнительности: проблема содержания и сферы действия. – М.: МГУ, 1981. – 200 с.

4. *Zode I.A.* Optimaliti and non-scalar valued performance criteria // IEEE, Trasac. on Automatic Control. – 1963. – Vol. 8, №1. – P. 59–60

5. *Моисеев Н.Н., Иванилов Ю.П., Столярова Е.Н.* Методы оптимизации. – М.: Наука, 1978. – 352 с.

6. *Подиановский В.В., Ногин В.Д.* Парето-оптимальные решения многокритериальных задач. – М.: Наука, 1982. – 256 с.

7. *Попов И.А., Скворцов В.В., Мищитис А.К.* Исследование и проектирование больших технических систем. – К.:КИВВС, 1995. – 252 с.

8. *Воронін А.М., Зіатдінов Ю.К., Козлов О.І., Чабанюк В.С.* Векторна оптимізація динамічних систем. – К.: Техніка, 1999. – 284 с.

Стаття надійшла до редакції 30.06.05.

Ю.К. Зиатдинов, А.С. Климова

Метод формирования оптимальных проектных параметров сложных технических систем

Рассмотрен метод формирования множества оптимальных проектных параметров проектируемой системы на основе анализа критериальных поверхностей. Метод основан на сужении допустимой области параметров до области эффективных по Парето решений.

Yu.K. Ziatdinov, A.S. Klimova

A method for forming a set of optimum structural parameters of compound technical systems

The method of formation of set of the basic design data of the projected system satisfying several criteria is considered. The method is based on idea of narrowing of allowable area of parameters up to area effective on Pareto decisions.