УДК 519.87:621.396.96

О.А. Машков, І.В. Пулеко, В.О. Чумакевич

МЕТОДОЛОГІЯ РОЗРОБКИ ПСЕВДОСУПУТНИКОВИХ СИСТЕМ ЯК СКЛАДНИХ ТЕХНІЧНИХ СИСТЕМ

Вступ

З розвитком науки і техніки, серед множини неорганічних матеріальних систем почали виділяти особливий клас систем, що у загальній теорії систем одержали назву великі (складні) технічні системи [1].

Складним технічним системам властиві наступні специфічні особливості:

- значні розміри і складність поведінки системи;
- ієрархічність структури та багатоцільовий характер управління;
- високий рівень автоматизації й оснащення електронно-обчислювальною технікою;
- участь людини в управлінні;
- ймовірністний характер надходження зовнішніх впливів;
- великий період життя й еволюція системи.

До класу таких систем по праву відносяться і авіаційні та космічні системи. В основу їх класифікації покладений принцип використання повітряного чи космічного простору навколо Землі. Ці системи надійно ввійшли в життєдіяльність людини і забезпечують різні сторони її життя.

Особливістю застосування та експлуатації сучасних космічних та авіаційних систем є інтеграція комплексу розв'язуваних задач і загальних вимог системної науково-технічної розробки та експлуатації з існуючими низькими темпами бюджетного фінансування. Зазначені причини приводять до обмежень, щодо розробки нових та застосування існуючих систем на Україні. Тому раціональний варіант рішення даної проблеми полягає в пошуку нових технічних рішень, які б дозволяли виконували аналогічні функції та були б значно дешевші в розробці та експлуатації.

Стосовно космічних систем (КС) зменшення вартості розробки запуску та експлуатації досягається шляхом використання новітніх технологій направлених на зменшення масо-габаритних розмірів та енергоживлення космічних апаратів (КА). Впровадження нових технологій дозволило перейти від КА масою більше однієї тони до „мікросупутників” масою до 100 кг та „наносупутників” масою від 1до 10 кг.

Іншим варіантом зниження вартості КС є пошук альтернативних можливостей виведення КА на навколоземну орбіту. Використання для виведення КА ракет-носіїв космічного призначення обумовлює необхідність мати повний набір елементів ракетно-космічного комплексу: ракету-носій; наземний комплекс управління; стартовий, технічний та вимірювальні комплекси; чого в Україні, як і в багатьох інших країн, нема. Крім того, на виведення КА значний вплив має і відповідне географічне положення космодрому запуску, та наявність безпечних зон для падіння відпрацьованих ступенів ракети-носія. Тому широким колом для пошуку новітніх розробок є такі проекти запуску як: „морський старт”, „повітряний старт”, „артилерійський (гарматний) старт”.

Аналогічно до КС, авіаційні системи (АС), теж мають ряд суттєвих недоліків, які обмежують їх застосування. Серед таких недоліків слід відмітити: необхідність в обладнаних аеродромах у зоні дії цих систем, менший період однократної дії, більшу вразливість авіаційної системи в порівнянні з КС, досить висока вартість в експлуатації та деякі інші.

Проведений короткий аналіз недоліків дозволяє зробити висновок про доцільність розробки нових технічних систем, які були б здатні вирішувати задачі аналогічні до задач КС і АС, але мати меншу вартість в розробці та експлуатації. Такими системами можуть стати псевдосупутникові системи.

Таким чином, розробка псевдосупутникових систем є актуальною науково технічною проблемою сьогодення.

Постановка проблеми

Оскільки в технічній літературі термінологічні поняття псевдосупутникової системи поки що не визначені остаточно, то для подальшого розуміння теми роботи введемо поняття псевдосупутникової системи та псевдосупутника.

Під псевдосупутниковою системою (ПСС) будемо розуміти сукупність узгоджено діючих і функціонально пов’язаних суборбітальних (цільових) апаратів і наземних технічних засобів призначених для рішення цільових задач з використанням навколоземного простору.

Для проведення чіткої межі між КС, АС та КСС введемо обмеження:

1. висоту польоту псевдосупутника до 120 км;
2. маса псевдосупутника – до 100 кг.

Тобто, під псевдосупутниками будемо розуміти апарати які здійснюють нетривалий орбітальний політ (один чи декілька обертів) навколо Землі, або політ по певній балістичній траєкторії з обов'язковим приземленням.

Найпростішим варіантом псевдосупутникової системи є управляємий аеростат у якості корисного навантаження якого є цільова апаратура, наприклад, дистанційного зондування Землі. Більш складніший варіант стартовий комплекс на основі гарматного старту.

Встановлені обмеження потребують розробки методів та засобів приземлення (повернення) псевдосупутника оскільки у протилежному випадку говорити про зменшення вартості системи буде досить складно.

Ці ж обмеження дозволяють прийняти припущення про технічно реалізуєму можливість гарматного старту псевдосупутника. Прикладом можливості технічної реалізації гарматного старту може бути відомий проект HARP (High Altitude Research Project) США [ ].

Виходячи з цих міркувань можна уточнити, що до складу ПСС повинен входити стартовий комплекс (СК), псевдосупутник (ПС), система приземлення та післяпольотного обслуговування (СППО) псевдосупутника. Також, повинна бути передбачена апаратура прийому цільової (спеціальної) інформації (АПСІ).

Структуру такої псевдосупутникової системи можна представити у вигляді поданому на рис.1.

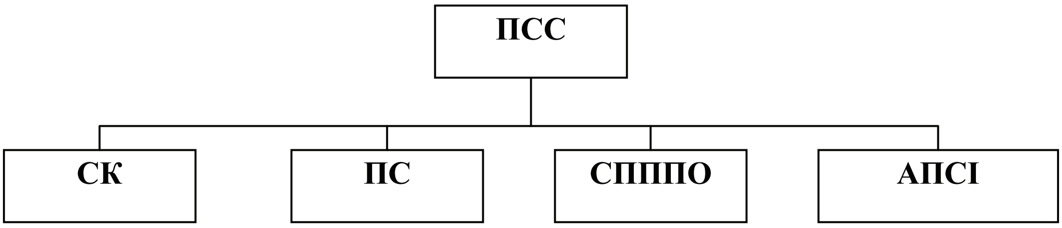

Рисунок 1 – Структура псевдосупутникової системи

У свою чергу кожен елемент ПСС представляє собою досить складну технічну підсистему і у складі кожного з них можна виділити декілька елементів.

Таким чином псевдосупутникову систему можна повною мірою віднести до складних технічних систем та провести її декомпозицію відповідно до поданої структури.

Складні технічні системи представляють собою об’єкти розробки, що вимагають системного проектування, яке є багато етапним ітераційним процесом. У загальному випадку системне проектування на першому етапі включає в себе визначення: цілей, задач та вимог до системи; основних обмежень на технічні, організаційні і економічні рішення у рамках яких повинна розроблятися система.

При розробці складних технічних систем існують формалізований та неформалізований підходи.

Неформалізований підхід базується на досвіді розробників та представляє собою творчий ітераційний процес синтезу системи. У даній роботі цей підхід не розглядається.

При формалізованому підході вважається що систему, її складові частини та вимоги до неї можна описати у вигляді рівнянь, нерівностей та обмежень і вирішити задачу синтезу як нелінійну оптимізаційну задачу методами динамічного програмування.

Однак постановка і рішення такої задачі має ряд труднощів:

1. У силу складності цільової функції ПСС, наявності великого числа параметрів, керувань і обмежень розмір глобальної задачі оптимізації якості ПСС якщо і не перевищує можливості сучасних ЕОМ, то обчислювальні проблеми і час її рішення при використанні відомих методів оптимізації найчастіше виключає практичну доцільність постановки таких задач.

2. Перехід до розробки ПСС припускає поділ робіт з підсистем і їхніх елементів, головні виконавці яких мають істотно відрізняються

профілі робіт відповідно до відомчої приналежності, можуть територіально розміщатися в різних районах країни і т.п. Створення у таких умовах єдиної моделі вибору й обґрунтування параметрів ПСС практично не реально в силу некомунікабельності, складності кардинальних змін постійного потоку обмінної інформації, труднощів у жорсткій синхронізації виконуваних робіт і т.д.

3. Створення єдиної моделі оптимізації якості ПСС, що включає коректні моделі підсистем, вимагає невиправданого і практично нездійсненного дублювання робіт суміжників в організаціях, що створюють модель системи в цілому. У той же час використання спрощених моделей підсистем негайно ставить під сумнів коректність результатів оптимізації.

Тобто, ключовою проблемою оптимізації багаторівневих проектних рішень при кооперативній розробці є ПСС є координація приймаємих локальних рішень на рівні елементів цих систем.

Незважаючи на наявність, таких серйозних проблем, задача оптимізації якості ПСС все ж таки може бути вирішена в умовах сформованого поділу робіт на підсистеми і рівнів ієрархії при відповідній зміні схеми обміну інформацією між розроблювачами підсистем (суміжниками) і головним розроблювачем.

Аналіз останніх досліджень та публікацій

Проблемі оптимізації розробки складних технічних систем присвячена велика кількість публікацій, наприклад [1-9]. Так у [2] запропоновано алгоритм неформалізованого рішення задачі оптимального синтезу космічних систем спостереження. У роботі [3] запропоновано для синтезу структури складних об’єктів застосовувати логіко-комбінаторний підхід, а в [9] – агрегативний підхід. Особливістю роботи [5] є оптимізація систем з акцентом на стійкість до відмов.

Проведений аналіз свідчить про те, що на початковій стадії розробки ПСС найбільш доцільно скористатися розробленим в [8] оптимізаційно-вирішальним методом. В основі цього методу лежить ідея постановки задачі оптимізації якості ПСС як деякої ітераційної процедури, у якій передбачаються визначені правила взаємодії між головним розроблювачем і суміжниками [8]. Математичною основою рішення задачі оптимізації якості ПСС у такій постановці є апарат нелінійного програмування, використовуваний з позиції застосування принципу перетинів.

Математична постановка задачі

Нехай ПСС складається із $\boldsymbol{N}$ підсистем та має єдиний скалярний показник якості $\boldsymbol{Y}$, що виражається у виді числової функції

$$Y = f(x_1, x_2,..., x_N) = f(x) \tag{1}$$

де $x = \left[x_1^T, x_2^T, ..., x_n^T\right]^T$ - загальний вектор-стовпець параметрів, а перемінні x_j є параметрами j-ї підсистеми.

Існують певні обмеження на параметри $\boldsymbol{x_j}$, що формулюються у виді вектора обмежень

$$q(x) = (q_1(x),....,q_\ell(x)) \in G, G \le R^\ell \tag{2}$$

на вектор функцію q, де G- деяка область l-мірного евклідового простору R^l. Завдання полягає у виборі оптимального $x = x^*$, що забезпечує максимум цільової функції (1) при обмеженні (2), тобто в перебуванні

$$x^* = \underset{x \in X_G}{Arg\,max}\, f(x), \tag{3}$$

де

$$X_G = \left\{x \in R^n : q(x) \in G\right\}$$

Передбачається, що f- безперервна функція на компактній безлічі X_G і це обумовлює існування рішення задачі (3).

Таким чином, із загальної точки зору тут розглядається відома задача нелінійного програмування (3) у класичній постановці (параметри x_j вважаються незалежними від часу. Класична постановка задачі (3) здобуває новизну в задачі проектування при наступному математичному описі специфіки цього класу задачі:

По-перше, в обмеженнях (2) для задач проектуванні функції q_j, як правило, мають вигляд адитивних або мультиплікативних співвідношень:

$$q_j(x) = q_j(x_j) = \sum_{i=1}^{K_j} q_{ij}(x_{ij}), \quad j = 1,2,..l = N \tag{4}$$

або

$$q_i(x)=q_j(x_j)=\prod_{i=1}^{K_j} q_{ij}(X_{ij}), j=1,2,...,l=N. \qquad (5)$$

де x_j – підвектор вектора x, що відповідає j-й підсистемі, $l=N$ – число функцій $q_j(x)$ у (2);

q_{ij}- деякі числові функції від x_{ij}. Вибір q_j у формі (4), (5) визначається тим, що дуже часто обмеження (2) записуються в такий спосіб:

$$q_j(x)=q_j(x_j)=\sum_{i=1}^{K_j} q_{ij}(x_{ij}) \le C_j \qquad (6)$$

або

$$q_i(x)=q_j(x_j)=\prod_{i=1}^{K_j} q_{ij}(X_{ij}) \ge P_j, \qquad (7)$$

де C_j, P_j – необхідні (припустимі) значення для q_j, $j=1,2$.

Обмеженнями виду (6) можуть бути обмеження по вазі, витратам, а обмеження виду (7) по надійності і т.д.

По-друге, досвід проектування дозволяє серед обмежень q_j виділити деяке одне основне – вартість, надійність і т.п., $q_j = q_j(x)$, що залежить від x і визначається з (4) або (5). Для здійснення процедури оптимізації це обмеження можна розумно розподілити між підсистемами, виходячи з якихось міркувань, наприклад скористатись досвідом розробки аналогічних космічних систем. Це означає, що в (4) або (5), у залежності від вибору основного параметра (надалі) $q_j(x)$, на основі досвіду проектування аналогічних систем можна вибрати початковий набір

$$q_1^0=[q_{11}^0,q_{21}^0,...,q_{K_1 1}^0]^T \qquad (8)$$

значень q^0_{i1} функцій $q^0_{i1}(x)$ задовольняючим обмеженням задачі. Так, якщо $q_i(x)$ знаходиться з (4) або (5), то можна вказати набір q^0_1, для якого

$$\sum_i q_{i1}^0 \le C_1 .$$

Інші особливості задачі аналізуються в процесі її постановки. Для ілюстрації пропонованого підходу на даному етапі будемо вважати, що цільова функція $f(x)$ може бути виражена як залежність від x и q_1, тобто у виді

$$f(x) = \Phi(x,q_1), q_1 = q_1(x),$$

де Φ − функція, що залежить від x и q_1 і область визначення, що має, X^1_G.

Для визначеності часто розглядаються обмеження (6), оскільки обмеження (7) можуть бути зведені до (6), якщо $q_{i1}>0$, шляхом переходу до логарифмічної функції.

Тоді загальна задача (3) приймає в окремому випадку наступний вид: відшукати (x^*, q^*_1):

$$(x^*,q_1^*) = Arg\,max \quad \Phi(x,q_1), \\ (x,q) \in X^1_G \tag{9}$$

де область X^1_G визначається обмеженнями:

$$q_1(x) = \sum_{i=1}^{K_j} q_{i1}(x_{i1}) \le C_1;$$

$$q_j(x) = \sum_{i=1}^{K_j} q_{ij}(x_{ij}) \le C_i, \quad j = 1,2,...l = N \tag{10}$$

де

$$x_j = [x_{ij},...,x_{K_j j}]^T,$$
$$x = [x_1^T,...,x_N^T]^T.$$

Причому x_j − підвектор параметрів вектора x, що відносяться до j-й підсистеми, а для координат j на відміну від (1) обрана подвійна індексація.

При кожному наборі $q_1 = [q_{11},...,q^0_{K_{1,}1}]^T$, що задовольняє (10) і визначається умовою $\sum_i q^0_{i1} \le C_1$, тобто з області

$$G_1 = \left\{ q_1 \in R^{K_1} : \sum_{i=1}^{K_1} q_{j1} \ge C_1 \right\}$$

вектор x приймає значення з безлічі $Y(q_1)$, обумовленого умовами:

$$\begin{cases} q_j(x) = \sum_{i=1}^{K_1} q_{ij}(x_{ij}) \le C_j, \quad j = 2,...l = N, \\ \sum_i q_{ij} \le C_1, \end{cases}$$

тобто з множини

$$Y(q_1)=\left\{x\in X_G^1; q_1(x)=q_1\right\}.$$

Тут У(q$_1$) називається перетином множини $X^1{}_G$ з (10) при фіксованому q_1. За принципом перетинів (7) загальне рішення задачі (9) має вигляд:

$$\max_{(x,q_1)\in X_G^1}\Phi(x,q_1)=\max_{q_1\in G_1}(\max_{x\in \text{У}(q_1)}\Phi(x,q_1)) \tag{11}$$

або

$$\max_{(x,q_1)\in X_G^1}\Phi(x,q_1)=\max_{q_1\in G_1}\varphi(x,q_1)=\max_{\sum_{i=1}^{K_1} q_{i1}\le C_1}\varphi(q_1) \tag{12}$$

де

$$\varphi(q_1)=\max_{z\in \text{У}(q_1)}\Phi(x,q_1)=\max_{x:\sum_{i=1}^{K_j} q_{ij}(x_{ij})\le C_i,\quad j=2,...N}\Phi(x,q_1) \tag{13}$$

за іншого запису:

$$\varphi(q_1)=\Phi(x^*(q_1),q_1), \tag{14}$$

де $x^*(q_0)$ – значення вектора х, на якому досягається максимум у задачі (13), тобто φ$(q_1)-$умовний максимум задач (9), (10). При завданні початкового вектора $q^0{}_1$ умовний максимум приймає значення

$$\varphi(q^0{}_1)=\max_{z\in \text{У}(q^0{}_1)}\Phi(x,q^0{}_1)=\max\Phi(x^*,(q_1^0),q_1^0) \tag{15}$$

З (11) випливає, що шуканий максимум функції ***Ф*** задовольняє нерівності

$$\max_{(x,q_1)\in X_G^1}\Phi(x,q_1)\ge\varphi(q_1),\quad \forall q_1\in G_1 \tag{16}$$

Таким чином, виникає наступна задача: нехай при завданні початкового вектора q_1^0 значень q_{i1} основного параметра q_1 вирішена задача (14) по перебуванню вектора $x^*(q_1^0)$, що забезпечує умовний максимум (15), причому таке рішення дається головним розроблювачем. Потрібно здійснити оптимізацію окремих підсистем для того, щоб знайти новий вектор $q_1^1 \in G_1$ значень основного параметра q_1, що забезпечує умова

$$\varphi(q_1^0) \le \varphi(q_1^1) \tag{17}$$

одержання умовного максимуму $\varphi(q_1^1)$, що «не гірше» (16), чим умовному максимумові $\varphi(q_1^0)$. У (17) варто домагатися строгої нерівності, і тоді знак рівності відповідає випадкові, коли початковий вектор q_1^0 «угаданий» рівним оптимальному. Існування вектора q_1^1 з (17) випливає з нерівності (16). Ця задача вирішується як головним розробником, так і суміжниками.

Позначимо $x_*^1 = x^*(q_1^0)$ рішення головним розроблювачем задачі (14). Тоді вектор $q_1^1 = q_1^1(x_*^1)$ може бути знайдений з умови забезпечення

$$\max \Phi(x_*^1, q_1) = \max \Phi(x_*^1, q_1) \tag{18}$$

$$q_1 \in G_1 \qquad \sum_i q_{i1} \le C_1$$

Дійсно, у цьому випадку умова (16) виконується, тому що якщо q_1^1 знаходиться з задачі (18), то

$$\varphi(q_1^0) = \Phi(x_*^1, q_1^0) \le \max \Phi(x_*^1, q_1) = \Phi(x_*^1, q_1^1) = \varphi(q_1^1)$$

$$q_1 \in G_1$$

Нехай з (18) знайдений вектор q_1^1. Тоді можна знайти вектор $x_*^2 = x_*^2(q_1^1)$ із задачі виду (14) по визначенню

$$\varphi(q_1^1) = \max \Phi(x, q_1^1) = \max \Phi(x, q_1^1)$$

$$x \in Y(q_1^1) \qquad \sum_{i=1}^{K_j} q_{ij}(x) \le C_j,\, j = 2, \ldots l = N$$

Узагальнюючи цю процедуру, приходимо до послідовності задач по перебуванню на k-м кроці вектора x_*^k з умови визначення

$$\max \Phi(x, q_1^{k-1}) = \max \Phi(x, q_1^{k-1}),$$

$$x \in Y(q_1^{k-1}) \qquad \sum q_{ij}(x) \le C_j, j = 2,...l = N$$

де k=1,2,...,і як відзначалося, вектор q_1^0 задається на самому початку рішення задачі. При цьому з (18) випливає, що

$$\Phi(x_*^{k-1}, q_1^{k-2}) \le \Phi(x_*^k, q_1^{k-1}) \tag{20}$$

або

$$\varphi(q_1^{k-2}) = \varphi(q_1^{k-1}).$$

Методика рішення

Послідовність взаємодії головного розробника і суміжників при виборі оптимального варіанта системи представимо у вигляді кроків.

Крок 1. Початковий етап роботи головного розробника.

Послідовність виконуваних робіт така:

1. Задається $f(x) = f(x_0, x_1, ..., x_N)$ – цільова функція, досягнення екстремуму якої характеризує для системи в цілому найкраще виконання покладених на неї задач. Далі розглядається задача максимізації. Передбачається, що f є безперервною функцією на X, де X – компактна підмножина з R^n; N – число підсистем; $n = k_0 + k_1, ..., k_N$, $x_j = [x_{1j}, x_{2j} ... x_{kj}]^T$–вектор параметрів j-й підсистеми $j = \overline{1, N}$ (загальне число параметрів x_{ij} дорівнює n). Безліч X визначається завданням обмежень виду (6), (7). Кінцевою метою є вибір оптимального набору $x^T = [x^T_0, x^T_1, ..., x_n]^T$переменных x_{ij}, що характеризують технічний вигляд системи в цілому і її окремих підсистемах. Тут $x_0 = [\overline{x_1} ... \overline{x_S}]^T$ –.набір системних параметрів, що характеризують систему в цілому.

2. Визначається набір з $l = N$ векторів $q_1, q_2, ..., q_N$ узагальнених параметрів q_{ij} підсистем, що складають матрицю

$$H = [q_1 q_2 ... q_N] = \begin{bmatrix} q_{11} \cdots q_{1N} \\ q_{21} \cdots q_{2N} \\ \cdots\cdots\cdots\cdots \\ q_{k1} \cdots q_{kN} N \end{bmatrix}$$

узагальнених параметрів q_{ij}. При цьому j-й стовпець

$$q_i = \begin{bmatrix} q_{ij} \\ .... \\ q_{kj} j \end{bmatrix}$$

матриці H містить узагальнені параметри j-ї підсистеми (її вага q_{1j}, вартість q_{2j}, надійність q_{3j} і т.д.), де l_j – число узагальнених параметрів j-ї підсистеми. Рядок з номером i

$$q^*_I = [q_{i1}, q_{i2},...,q_{iN}]$$

матриці H містить узагальнені параметри q_{ij} j-го виду (рядок q^*_1 ваг, рядок q^*_2 вартосией і т.д.). Для фіксованої j-й підсистеми $q_i = q_{ij}(x_j)$ тобто q_{ij} залежить від набору x_j «внутрішніх» параметрів x_{ij} $i=\overline{1,K_j}$ підсистеми. Матрицю представимо у виді схеми:

j – номер підсистеми

$$H = \begin{bmatrix} q_{11}...q_{1N} \\ .... \\ q_{k1}...q_{kN}N \end{bmatrix} \quad \text{i – номер типу параметрів}$$

Таким чином, головний розробник розглядає систему на основі аналізу матриці H її узагальнених параметрів, у той час як j-й суміжник розглядає свою підсистему на рівні набору x_j її внутрішніх параметрів x_{ij}.

Додатково до вихідним даних H и x_j, $i=\overline{1,N}$ варто виділити набір $x_0 = \left[\overline{x_1}.x_2..\overline{x_S}\right]$ системних параметрів, що характеризують систему в цілому, що можуть бути враховані при аналізі окремих підсистем (наприклад, гарантійний термін служби системи, терміни технічного обслуговування і т.д.).

3. Цільова функція $f(x)$, $x \in X$ виражається через H, x_0 і x_j, $i=\overline{1,N}$ у формі

$$f(x) = \Phi(H,x_0), \tag{22}$$

де $H=[q_{ij}(x_{ij})]$. При цьому можливість визначення залежності (22) передбачається, але таке допущення виправдане тим, що вихідна інформація між головним розроблювачем і суміжниками «поділяється».

Для кожної матриці $H=[q_ij]$ вектор x_0 приймає значення з безлічі $Y(H)$, називані перетином безлічі X з (6), (7) при фіксованому H. За принципом перетинів

$$\max_{x \in X} f(x) = \max_{H \in M} \max_{x_0 \in У(H)} \varPhi(H, x_0) = \varPhi(H^* x_0^*) \tag{23}$$

де M – безліч матриць H параметрів q_{ij}, що задовольняють обмеженням; X – безліч значень x_{ij} $j=0,N$, $i=\overline{1, K_j}$, обумовлене обмеженнями $H^*{}_1X^*{}_0$ – оптимальні значення H, x_0.

4. Виходячи з досвіду проектування аналогічних систем, головним розроблювачем вибираються початкові (для наступної рекурентної процедури) значення $q^0{}_{ij}$ узагальнених параметрів q_{ij} і відповідне їм початкові матриці $H_0 = [q_{ij}^0] \in M$.

Чим ближче до шуканого, але невідомому на даному етапі, оптимальному значенню H^* з вираження виявляється H_0, тим за менше число кроків може бути реалізована рекурентна процедура, що викладається нижче. Підкреслимо, що вибір H_0 не є довільним, він обмежується вимогою $H_0 \in M.$, що означає, що параметри $q^0{}_{ij}$ повинні вибиратися з області припустимих значень задачі.

5. Після вибору H_0 головним розроблювачем вирішується задача по перебуванню умовного максимуму:

$$\max_{x_0 \in У(H_0)} \varPhi(H_0, x_0) = \varPhi(H_0, x_0^*)$$

де $x^1{}_0$ – рішення задачі, що представляє собою значення вектора x_0 системних параметрів, що забезпечує максимум цільової функції $\varPhi$ по x_0 при даному $H=H_0$.

Подальші дії головного розроблювача можуть здійснюватися по одному з наступних двох шляхів:

а) не звертаючи до розробок суміжників здійснюється рекурентна процедура по перебуванню:

$$\max_{x_0 \in У(H_{k-1}^*)} \varPhi(H_{k-1}^*, x_0) = \varPhi(H_{k-1}^*, x_0^k),$$

$$\max_{H \in M} \varPhi(H, x_0^k) = \varPhi(H_k^*, x_0^k),$$

або

$$\max_{H \in M} \Phi(H, x_0^1) = \Phi(H_1^*, x_0),$$

$$\max_{x_0 \in У(H_1^*)} \Phi(H_1^*, x_0^1) = \Phi(H_1^*, x_0^2),$$

$$\max_{H \in M} \Phi(H, x_0^2) = \Phi(H_2^*, x_0^2), \ldots. \qquad (24)$$

З принципу перетинів випливає, що при деяких умовах

$$\lim_{k \to \infty} \Phi(H_k^*, x_0) = \Phi(H^*, x_0^*),$$

Формулювання цих умов і доказ їхньої достатності розглядаються в роботі і тут не приводяться;

б) з огляду на, що на практиці при реалізації ідеї оптимального синтезу систем у цільовій функції *Ф(H,x)* не можуть бути враховані ряд неформалізуємих, але таких визначальних факторів, як вибір нових конструктивних і технологічних рішень, використання нових фізичних принципів функціонування окремих підсистем і т.д., доцільно відмовитися від першого шляху, чисто математичного напрямку. У цьому випадку варто перенести акцент саме на взаємодію головного розроблювача і суміжників для того, щоб вже в процесі розробки системи здійснити керування її якістю, забезпечити плідний зворотний зв'язок між зазначеними сторонами.

вибираємо другий шлях і саме такий вибір визначає новизну пропонованого підходу, що у рамках загальної теорії нелінійного математичного програмування ще не знайшов свого розвитку.

Крок 2. Перший етап роботи суміжників.

Крок 3.Перший етап роботи головного розробника.

Наступні ітерації.

Загальний опис процедури оптимального синтезу і прийняття рішень

1. Рішення головним розробником (ГР) задачі

$$\max \Phi(H_0, x_0) = \Phi(H_0, x_0^1)$$

$$x_0 \in Y(H_0)$$

і одержання вектора x_0^1 системних параметрів при матриці H_0 узагальнених параметрів, що q_{ij}^0 задається .

2. Рішення суміжниками для кожної j-й підсистеми задачі

$$\max \varphi_j(x_j), \qquad i = \overline{1, k_j}$$

$$q_{ij}(x_j) \geq q_{ij}^0$$

одержання вектора x_j^1 і набору пропонованих основних параметрів

$$\tilde{q}_{ij}^1 = q_{ij}(x_j^1)$$

3. Перевірка ГР виконання умови $\tilde{H}_1 = [\tilde{q}_{ij}^1] \in M$ і прийняття рішень.

Рішення ГР задач:

$$\max \Phi(\tilde{H}_1, x_0) = \Phi(\tilde{H}_1, x_0^2),$$
$$x_0 \in Y(H_1)$$

$$\max \Phi(H_1, x_0^2) = \Phi(H_1^*, x_0^2),$$
$$H \in M$$

Одержання уточненого вектора x_0^2 системних параметрів матриці $H_1^* = [q_{ij}^1]$ основних параметрів підсистем.

4. Рішення суміжниками для кожної j- й підсистеми задачі

$$\max \varphi_j(x_j),$$

$$q_{ij}(x_j) \geq q_{ij}^1, \qquad i = \overline{1, k_j}$$

одержання вектора x_j^2 і набору пропонованих основних параметрів

$$\tilde{q}_{ij}^2 = q_{ij}(x_j^2) .$$

5. Перевірка ГР виконання умови $\tilde{H}_2 = [\tilde{q}_{ij}^2] \in M$ і прийняття рішень. Рішення задач:

$$\max \Phi(\tilde{H}_2, x_0) = \Phi(\tilde{H}_2, x_0^3),$$

$$x_0 \in Y(H_2)$$

$$\max_{H \in M} \Phi(H_2, x_0^3) = \Phi(H_2^*, x_0^3)$$

і т.д.

Задача вважається вирішеною, якщо значення H_k^*, x_0^{k+1} і H_{k-1}^*, x_0^k для двох сусідніх ітерацій відрізняються незначно з погляду точності вихідних даних.

Висновки

Таким чином, ми дійшли висновку про те, що якщо задачу про вибір найкращого варіанта системи і її окремих підсистем розглядати з урахуванням необхідності прийняття рішень і коректування проміжних побудов, то стандартна постановка оптимізаційної задачі синтезу ПСС сильно змінюється.

Замість рішення задачі нелінійного програмування по перебуванню $max\ f(x)$ при $x \in X$ ми приходимо до необхідності сполучення прийомів нелінійного програмування і прийомів прийняття рішень. У процесі такого комбінованого рішення знаходиться остаточний варіант системи або її технічний вигляд. Це не обов'язково крапка $x^* \in X$ що забезпечує точний $max\ f(x)$, хоча до цьому потрібно прагнути. Знятий інтервал [0,T] часу створення системи, обмеження організаційного характеру, часом неформалізуємі, приводять до того, що найчастіше зупиняються не на математично оптимальному варіанті системи, а на реально прийнятному варіанті. Це означає, наприклад, що можливо набір технічного вигляду системи таким, для якого в двох послідовних рішеннях (у двох ітераціях) збільшення максимуму $max\ f(x)=m(k)$, де k – номер ітерації, є незначним з погляду точності вихідних даних. Нова постановка задачі визначає і вибір математичних засобів її рішення, і необхідність рішення нових часткових підзадач. Наприклад, сформулювати умови узгодження приватних критеріїв оптимізації φ_j із системним критерієм $f(x)=\Phi(H,x_0)$.

ЛИТЕРАТУРА

1. Демидов Б.А. Теория и методы военно-научных исследований вооружения и военной техники. Харьков: ВИРТА. - 1990. – 558 с.
2. Лебедев А.А. Нестеренко О.П. Космические системы наблюдения: Синтез и моделирование. - М.:Машиностроение, 1991. – 224 с.

3. Анкудинов Г.И. Синтез структуры сложних обьектов: логико-комбинаторный подход. Л.: Изд-во Ленингр.ун-та, 1986, 260 с.
4. Цвиркун А.Д. Основы синтеза структуры сложных систем. М.: Наука, 1982. 200 с.
5. Артюшин Л.М., Машков О.А. Оптимизация цифровых автоматических систем, устойчивых к отказам., Киев: КВВАИУ, 1991, 88 с.
6. Машков О.А., Барабаш О.В. Синтез структури автоматизированной системы по критерию максимума функциональной устойчивости / Науковий збірник: „Аерокосмічні системи моніторингу та керування”, 2003 т. 2, К., НАУ , с. 24.193-24.196.
7. Гостев В.И., Гусовский С.В. Расчет и оптимизация систем с конечным временем съема данных.- К.Техника, 1985 – 152 с.
8. Оленович И.Ф. Методология и математические методы синтеза сложных технических систем на ранних этапах разработки. М.: МО СССР ВА ПВО Сух.войск, 1991 – 63 с.
9. Лазарев И.А. Композиционное проектирование сложных агрегативных систем.- М. Радио и связь, 1986 – 312 с.
10. Машков О.А. Барабаш О.В. Топологічні критерії та показники функціональної стійкості складних ієрархічних систем /Збірник наукових праць НАН України, ІПМЕ – „Моделювання та інформаційні технології”, 2003, Вип.. 25, с. 29-35.