Модель Системної Оптимізації Технологічних Об'єктів

Володимир Безкоровайний
кафедра системотехніки
Харківський національний університет радіоелектроніки
Харків, Україна
vladimir.beskorovainyi@nure.ua

Ольга Шевченко
кафедра системотехніки
Харківський національний університет радіоелектроніки
Харків, Україна
1375helga@gmail.com

Model of System Optimization of Technological Objects

Volodymyr Beskorovainyi
Department of System Engineering
Kharkiv National University of Radioelectronics
Kharkiv, Ukraine
vladimir.beskorovainyi@nure.ua

Olha Shevchenko
Department of System Engineering
Kharkiv National University of Radioelectronics
Kharkiv, Ukraine
1375helga@gmail.com

***Анотація*—З урахуванням взаємозв'язку задач структурної, топологічної, параметричної та технологічної оптимізації виконані формалізація системного опису та цілей створення технологічних об'єктів, що відображають показники їх ефекту і витрат ресурсів на їх створення і експлуатацію. Декомпозиція проблеми системної оптимізації технологічних об'єктів дозволила виділити задачі їх аналізу і синтезу, які вирішуються на основних етапах їх життєвих циклів. З урахуванням взаємозв'язку виділених задач за вхідними і вихідними даними запропоновані схема і метод системної оптимізації технологічних об'єктів.**

***Abstract*—Taking into account the interconnection of the tasks of structural, topological, parametric and technological optimization, the formalization of the system description and the objectives of the creation of technological objects, reflecting the indicators of their effect and the cost of resources for their creation and operation, have been performed. Technological objects' system optimization problem decomposition allowed to highlight the problems of their analysis and synthesis, which are solved at the main stages of their life cycles. Taking into account the interrelation of the selected tasks with input and output data, a scheme and method of system optimization of technological objects are proposed.**

Ключові слова—технологічні об'єкти, оптимізація, життєвий цикл, структура, топологія, оптимізація

Keywords—technological objects, optimization, life cycle, structure, topology, optimization

I. Вступ

Умови конкуренції орієнтують сучасні виробничі компанії на всебічне скорочення термінів освоєння нових видів продукції та підвищення її якості. В рамках системної методології виробничий процес подається у вигляді просторово розподіленого технологічного об'єкту (ТО) або комплексу таких об'єктів. Ефективність технологічних об'єктів багато в чому визначається рішеннями, які приймаються на етапах їх проектування або реінжинірингу. Процеси проектування, модернізації, планування розвитку або реінжинірингу ТО передбачають розв'язання множини взаємопов'язаних задач їх структурної, топологічної та параметричної оптимізації. Оптимізація виробничих ТО полягає у виборі кращого варіанту з множини допустимих, що задовольняють функціональним і вартісним обмеженням за множиною показників (якість, собівартість продукції, продуктивність системи, завантаження устаткування тощо) [1-3]. Однією з першочергових при цьому вважається задача системної оптимізації ТО, що охоплює всі основні етапи їх життєвих циклів.

II. Аналіз сучасного стану проблеми

Зі зростанням масштабів ТО їх вартісні і функціональні характеристики стають все більш залежними від топології (просторової організації), що наближає їх за властивостями до територіально розподілених та навіть великомасштабних об'єктів [4-5]. У процесах оптимізації розподілених ТО спільно з традиційними задачами

структурного синтезу необхідно вирішувати комплекси задач їх топологічної оптимізації. Структурні, параметричні, вартісні та функціональні характеристики розподілених ТО багато в чому визначаються топологією їх підсистем та елементів. Топологія підсистем і елементів, в свою чергу, визначає топологію зв'язків, що забезпечують функціонування ТО як єдиного цілого, реалізуючи взаємодію між елементами та підсистемами.

Технологічний об'єкт, як система, що подається у традиційному вигляді $s = < E, R >$ (де E – множин елементів; R – множина відношень між елементами), може бути реалізований множиною різних топологій $G*$. Виходячи з цього кожній з топологічних реалізацій об'єкта $G \in G*$, буде відповідати оригінальний набір властивостей, що визначаються відображенням φ [6]:

$$\varphi : (E, R, G) \to P . \quad (1)$$

З урахуванням (1) під час вирішення комплексу задач системної оптимізації опис ТО має відображати її топологічні властивості:

$$s = < E, R, G > , \; G = < G_E, G_R, G_A > \quad (2)$$

де G – топологічна реалізація структури об'єкта $< E, R >$, G_E – топологія елементів, G_R – топологія зв'язків, G_A – топологія, яка визначається технологією функціонування об'єкта.

На перших етапах оптимізації шляхом аналізу цілей об'єкта, умов його функціонування та його бажаних властивостей P' визначаються підмножини елементів E', відношень R' і топологій G', на яких він може бути реалізований. На наступних етапах визначаються такі підмножини елементів $E^o \subseteq E'$, відношень $R^o \subseteq R'$ і топологій $G^o \subseteq G'$ (2), які забезпечують найбільш ефективне досягнення необхідних властивостей P'.

Метою оптимізації ТО є максимізація його ефективності (співвідношення розміру ефекту від його функціонування Q і витрачених ресурсів C). Ефект від використання ТО розглядається як неубутна функція від витрачених на його досягнення ресурсів $\overline{Q} = F(\overline{C})$ (де $\overline{Q}$, $\overline{C}$ – узагальнені скалярні оцінки ефекту і витрат; F – оператор, що відображає стратегію використання ресурсів). Узагальнено задача системної оптимізації ТО може бути подана так:

$$s^o = \arg \max_{s \in S*} \Theta[\overline{Q}(s), \; \overline{C}(s) : \; \overline{Q}(s) \ge \overline{Q}*, \; \overline{C}(s) \le \overline{C}*] , \quad (3)$$

де $\overline{Q}*$, $\overline{C}*$ – граничні рівні наведених оцінок ефекту і витрат.

Формалізація цілей створення ТО і задач їх оптимізації (3) є досить загальною та потребує деталізації, що дозволить встановлювати зв'язок показників ефекту і витрат з його структурними, параметричними, топологічними та технологічними характеристиками (2).

Тісний взаємозв'язок задач структурного, функціонального, параметричного і топологічного синтезу, що вимагає їх спільного розв'язання, призводить до складної проблеми, для розв'язання якої необхідна розробка відповідної системної методології [5-7].

Проведений огляд сучасного стану проблеми системної оптимізації ТО виявив протиріччя, яке вказує на те, що існуючі технології припускають умовно незалежне розв'язання задач їх структурної, топологічної, параметричної та технологічної оптимізації, що не дозволяє забезпечувати ефективність та наступність рішень, які приймаються на різних етапах їх життєвих циклів. Це визначає актуальність завдання розробки методології системної оптимізації ТО, що передбачає коректну декомпозицію проблеми на комплекси задач, які відносяться до різних рівнів опису й етапів їх оптимізації, розробку комплексу відповідних математичних моделей, методів і технологій.

III. Результати дослідження

Складні технологічні об'єкти складаються з великої кількості елементів зі складною схемою взаємозв'язків між ними. Створення їх єдиного опису є складною слабоструктурованою проблемою, що складається з сукупності неповністю визначених задач, для яких не сконструйовані моделі та методи розв'язання [5-7]. Будемо розглядати її як метазадачу *MetaTask*, яка складається з множини задач $\{Task_i^l\}$, $l = \overline{1, n_l}$, $i = \overline{1, n_i}$, що відносяться до різних ієрархічних рівнів, з їх взаємозв'язками за вхідними даними та результатами розв'язання:

$$MetaTask = \{Task^l\}, \; Task^l = \{Task_i^l\}, \; l = \overline{1, n_l}, \; i = \overline{1, n_i}, \quad (4)$$

де n_l – кількість рівнів опису, i_l – кількість задач на рівні l.

Кожну із задач на цьому етапі будемо подавати у вигляді перетворювача даних [8]:

$$Task_i^l : In_i^l \to Out_i^l, \; l = \overline{1, n_l}, \; i = \overline{1, n_i}, \quad (5)$$

де In_i^l, Out_i^l – відповідно вхідні та вихідні дані i-ої задачі l-го рівня.

На метарівні ($l = 0$) проблема розглядається в цілому, аналізується її місце серед інших проблем ТО та надсистеми, до складу якої він входить.

Більшість задач макрорівня ($l = 1$) за своєю суттю є задачами системної оптимізації та відрізняються обмеженнями, які відображають специфіку етапів життєвого циклу ТО [6]:

$$Task^l = \{Task_i^l\}, \; i = \overline{1, 5}, \quad (6)$$

де $Task_1^1$ – формування вимог і розробка технічного завдання оптимізації, $Task_2^1$ – системне проектування, $Task_3^1$ – планування розвитку, $Task_4^1$ – адаптація; $Task_5^1$ – реінжиніринг.

Комплекс задач метарівня ($l = 2$) охоплює все коло питань системної оптимізації ТО, що виникають на стадіях його передпроектних досліджень, проектування, створення й експлуатації [6]:

$$Task^2 = \{ Task_i^2 \}, \ i = \overline{1,6}, \tag{7}$$

де $Task_1^2$ – вибір принципів побудови, $Task_2^2$ – вибір структури, $Task_3^2$ – визначення топології елементів і зв'язків, $Task_4^2$ – вибір технології функціонування, $Task_5^2$ – визначення параметрів елементів і зв'язків, $Task_6^2$ – оцінка ефективності і вибір рішень.

При реалізації системного підходу до проблеми оптимізації ТО необхідно визначити раціональну послідовність розв'язання комплексу виділених задач (6) – (7).

Технологія розв'язання задачі системної оптимізації ТО базується на ідеях агрегативно-декомпозиційного підходу, системного аналізу і системного проектування складних систем [8-9]. На основі формалізації мети створення ТО (3) та її декомпозиції на комплекси взаємопов'язаних задач (6) – (7) може бути обрана мережева модель задачі її системної оптимізації. На основі мережевої моделі може буде створена логічна схема системної оптимізації, що дозволить визначити раціональну послідовність розв'язання комплексу задач системної оптимізації (7).

Для створення схеми системної оптимізації ТО S_{SOS} необхідно визначити п'ятірку множин [6-9]:

$$\Sigma_{SOS} = <\text{Tasks}, \text{InDat}, \text{Res}, \text{DesDec}, \text{ProcDec}>, \tag{8}$$

де $Tasks = < Task_i^2 >$, $i = \overline{1,6}$ – впорядкована множина задач (7), *InDat* – множин вхідних даних задач, *Res* – множин обмежень, *DesDec* – множин оптимізаційних рішень, *ProcDec* – вирішальна процедура, що ставить кожній парі вхідних даних і обмежень $<InDat_i^2, Res_i^2>$ непорожню підмножину оптимізаційних рішень $\{ DesDec_i^2 \}$, $i = \overline{1,6}$.

Усі задачі (7) із множини *Tasks* (8) є повністю розв'язаними, якщо для всіх задач $Task_i^2$, $i = \overline{1,6}$ існують оптимізаційні процедури $ProcDec_i^2$, $i = \overline{1,6}$ і кожне оптимізаційне рішення $DesDec_i^2$, $i = \overline{1,6}$ є єдиним, $\left| ProcDec_i^2 (InDat_i^2, Res_i^2) \right| = 1$, $\forall i = \overline{1,6}$.

У процесі аналізу взаємозв'язків моделей задач системної оптимізації (7) кожну з моделей будемо подавати у вигляді:

$$\text{Mod}_i^2 : \{ \text{InDat}_{iE}^2, \text{InDat}_{iI}^2, \text{Res}_i^2 \} \rightarrow$$

$$\rightarrow \text{DesDec}_i^2, \ i = \overline{1,6}, \tag{9}$$

де $InDat_{iE}^2$ – множина зовнішніх по відношенню до комплексу задач (7) вхідних даних, $InDat_{iI}^2$ – множина внутрішніх по відношенню до комплексу задач (7) вхідних даних, Res_i^2 – множина обмежень *i*-ої задачі, $DesDec_i^2$ – розв'язок *i*-ої задачі.

За результатами аналізу комплексу задач (7) встановлено, що зовнішні по відношенню до них вхідні дані $InDat_{iE}^2$, для всіх задач $i = \overline{1,6}$ є однаковими [9]. Аналіз вхідних і вихідних даних моделей задач системної оптимізації $ModTask_i^2$, $i = \overline{1,6}$ показав, що всі вони залежні між собою по внутрішнім вхідним і вихідним даним. Виходячи з цього технологію розв'язання загальної задачі системної оптимізації доцільно будувати на основі послідовної ітераційної схеми [8].

При цьому з отриманого оптимізаційного рішення $DesDec_i^2$ чергової задачі $Task_i^2$, $i = \overline{1,5}$ формуватимуться вхідні дані $InDat_{i+1}^2$ і обмеження Res_{i+1}^2 в вирішальних процедурах $ProcDec_{i+1}^2$ для наступних задач $Task_{i+1}^2$. У такий спосіб буде здійснюється «замикання» задач послідовної схеми [8-9]:

$$\exists \, DesDec_i^2 \in DesDec: Tr(InDat_{i+1}^2 \vee Res_{i+1}^2 \in DesDec_i^2),$$

$$i = \overline{1,5}, \tag{10}$$

де *DesDec* – множина оптимізаційних рішень, *Tr (True)* – істинність висловлювання $(InDat_{i+1}^2 \vee Res_{i+1}^2 \in DesDec_i^2)$.

При визначенні черговості розв'язання задач оптимізації $Task_i^2$, $i = \overline{1,6}$ в рамках послідовної схеми слід прагнути до мінімізації ступеня їх нерозв'язності за вхідними даними і мінімізації складності загальної процедури оптимізації.

З огляду на це задача вибору принципів побудови ТО $Task_1^2$, яка визначає обмеження на множин допустимих варіантів його побудови S^* для всіх інших задач комплексу (7), повинна розв'язуватися раніше за задачі $Task_j^2$, $j = \overline{2,6}$.

Задача оцінки ефективності варіантів і вибору кінцевого оптимізаційного рішення $Task_6^2$ використовує вихідні дані (рішення) всіх інших задач комплексу і тому повинна розв'язуватися в останню чергу.

Визначення топології ТО $Task_3^2$ неможливе без знання його організаційної або функціональної структури, яка визначається в результаті розв'язання задачі $Task_2^2$.

Виходячи з цього, розв'язання задачі $Task_2^2$ має передувати розв'язанню задачі $Task_3^2$.

Виходячи з того, що об'єкт може бути побудований на різнотипних елементах і зв'язках між ними, а елементи можуть використовувати різні алгоритми функціонування, задачі їх визначення $Task_5^2$ і $Task_4^2$ доцільно розв'язувати після розв'язання задачі $Task_2^2$, за результатами розв'язання якої визначається їх кількість.

Остаточний вибір технології функціонування ТО може бути здійснений тільки з урахуванням потокових траєкторій усередині об'єкта, то розв'язання задачі вибору технології $Task_4^2$ доцільно знаходити після розв'язання задачі $Task_3^2$.

Розв'язання задачі вибору технології функціонування $Task_4^2$ можна отримувати як до, так і після вибору параметрів елементів і зв'язків об'єкта $Task_5^2$. В останньому випадку можуть частіше виникати ситуації не виконання обмежень при заданих значеннях параметрів елементів і зв'язків, що вимагають повторного розв'язання попередніх задач. Здачу параметричного синтезу $Task_5^2$ пропонується розв'язувати після розв'язання задачі технологічного синтезу $Task_4^2$, що доцільно здійснювати в умовах максимальних (найменш жорстких обмежень) значень параметрів.

Оптимізаційні рішення задач $DesDec_i^2$, $i = \overline{1,6}$ є такими, що можуть бути подані в категоріях їх моделей $ModTask_i^2$, $i = \overline{1,6}$ (9) і допускають порівняння за множиною часткових критеріїв (показників) $K(s)$ [8].

За результатами аналізу взаємозв'язків комплексу задач (7) запропонована ітераційна схема отримання його загального оптимізаційного рішення, що дозволяє формувати відсутні вхідні дані задач за результатами рішень, отримуваних на попередній ітерації.

Внаслідок невирішеності задач $Task_i^2$, $i = \overline{2,5}$ за вхідними даними в запропонованій схемі формування вхідних даних $InDat_i^2$ і обмежень $Re\,s_i^2$, $i = \overline{2,5}$ для них на початковій ітерації буде здійснюватися на основі прогнозних (експертних) оцінок. На інших ітераціях як вхідні дані $InDat_i^2$ і обмеження $Re\,s_i^2$, $i = \overline{2,5}$ будуть використовуватися результати розв'язання наступних задач $DesDec_j^2$, $j > i$, $i = \overline{1,5}$.

Елементи запропонованої технології системної оптимізації були використані при розв'язанні задач проектування та реінжинірингу великомасштабних об'єктів [10-12].

Висновки

З урахуванням взаємозв'язку задач структурної, топологічної, параметричної та технологічної оптимізації виконані формалізація системного опису та цілей створення технологічних об'єктів, що відображають показники їх ефекту і витрат ресурсів на їх створення і експлуатацію. Виконано декомпозицію проблеми системної оптимізації технологічних об'єктів, що дозволила виділити задачі їх аналізу і синтезу, які вирішуються на основних етапах їх життєвих циклів. Це сприяє забезпеченню наступності рішень, прийнятих на всіх етапах життєвих циклів об'єктів. З урахуванням взаємозв'язку виділених задач за вхідними і вихідними даними запропоновані схема і метод системної оптимізації технологічних об'єктів. Практичне використання розробленої технології дозволить підвищити ефективність процедур системної оптимізації технологічних об'єктів.

Література References

[1] С.В. Илюшина, Методы оптимизации технологических процессов / Илюшина С.В. // Вестник Казанского технологического университета. – 2014. – Т. 17. – № 8. – С. 323–327.

[2] А.С. Довбыш, Трёхальтернативная обучающаяся система поддержки принятия решений для автоматизации технологического процесса / А.С. Довбыш, О.Б. Берест // Вестник Томского государственного университета. Управление, вычислительная техника и информатика. – 2014. – № 4 (29). – С. 31 – 40.

[3] В.В. Фролов, Метод комбинаторно-оптимизационного проектирования технологических систем механической обработки / В.В. Фролов // Открытые информационные и компьютерные интегрированные технологии. – 2012. – № 54. – С. 125–131.

[4] Управление развитием крупномасштабных систем. Современные проблемы. Выпуск 2. / С.Н. Васильев, А.А. Макаров, В.Л. Макаров, Н.А. Махутов и др.; под ред А.Д. Цвиркуна. – М.: Изд-во физ.-мат. литературы, 2015. – 477 с.

[5] Э.Г. Петров, Территориально распределенные системы обслуживания / Э.Г. Петров, В.П. Писклакова, В.В. Бескоровайный. – Киев: Техника, 1992. – 208 с.

[6] В.В. Бескоровайный, Системологический анализ проблемы структурного синтеза территориально распределенных систем / Бескоровайный В.В. // Автоматизированные системы управления и приборы автоматики. – 2002. – Вып. 120. – С. 29-37.

[7] Дж. Клир, Системология. Автоматизация решения системных задач: Пер. с англ. / Клир Дж. – М.: Радио и связь, 1990. – 544 с.

[8] А.А. Тимченко, Основи системного проектування та аналізу складних об'єктів: У 2-х кн. Кн. 1. Основи САПР та системного проектування складних об'єктів / Тимченко А.А. / За ред. В.І.Бикова. – К.: Либідь, 2000. – 272 с.

[9] В.В. Бескоровайный Синтез логической схемы системного проектирования территориально распределенных систем / Бескоровайный В.В. // Радиоэлектроника и информатика. – 2002. – №. 3. – С. 94 – 96.

[10] V. Beskorovainyi, Reengineering the topological structure of large-scale monitoring systems / Beskorovainyi V., Podoliaka K. // ECONTECHMOD. – 2015. – Vol. 4 (3). – P. 13–18.

[11] V. Beskorovainyi, Technology of large-scale objects system optimization / Beskorovainyi V., Imanhulova Z. // ECONTECHMOD. – 2017. – Vol. 06. – №4. – P. 3–8.

[12] В.В. Бескоровайный, Разработка системологической модели проблемы структурно-топологического реинжиниринга систем крупномасштабного мониторинга / Бескоровайный В.В., Подоляка К.Е. // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. – 2015. – №3(75). – С. 37 – 42.