Seria: MECHANIKA z. 85 Nr kol. 1010

XI OGÓLNOPOLSKA KONFERENCJA TEORII MASZYN I MECHANIZMÓW

11th POLISH CONFERENCE ON THE THEORY OF MACHINES AND MECHANISMS

27—30. 04. 1987 ZAKOPANE

Jerzy POKÓJSKI, Jerzy WRÓBEL

Instytut Podstaw Budowy Maszyn
Politechnika Warszawska

DEKOMPOZYCJA DUŻYCH ZADAŃ POLIOPTYMALIZACJI W DYNAMICE MASZYN

Streszczenie. W pracy omówiono metodykę rozwiązywania dużych dekomponowalnych zadań polioptymalizacji w dynamice maszyn. Sformułowano ogólną postać zdekomponowanego zadania w dynamice maszyn. Dekompozycja wynika z wieloaspektowości problemów dynamiki maszyn. Podział na problemy zdekomponowane następuje ze względu na: 1) różne etapy pracy układu, 2) oddziaływania zewnętrzne, 3) charakterystyki układu. Celem dekompozycji jest sprowadzenie zadania globalnego do szeregu powiązanych ze sobą zadań lokalnych o mniejszej wymiarowości. Zadania te są łatwiejsze do rozwiązania za pomocą metod polioptymalizacji. W pracy przedstawiono metodę służącą do rozwiązania globalnego, zdekomponowanego problemu. Jest to metoda zadania wiodącego i zadań związanych. Bazuje ona na koncepcji globalnej i lokalnych addytywnych funkcji użyteczności.

1. Wstęp

Naturalnym dążeniem konstruktora jest rozpatrywanie coraz większych problemów, złożonych z szeregu mniejszych podproblemów, które można rozwiązać niezależnie, koordynując ich ostateczną postać, co prowadzi do dużych zadań polioptymalizacji [6].

Zadania takie powstają także w dynamice maszyn.

Dyskretne układy dynamiczne przedstawiane są najczęściej za pomocą układów równań różniczkowych zwyczajnych. Postać równań jest następująca [6]:

$$\frac{dy_i}{dt} = f_i(t,\underline{y},\underline{x},\underline{w},\underline{\lambda})$$

$$\underline{y}(t_o) = \underline{y}_o; \quad i=1,2,\dots,n \tag{1}$$

W równaniach: $\underline{y}$ - oznacza wektor zmiennych stanu, $\underline{y}_o$ - wektor warunków początkowych, $\underline{f}$ - nieliniowa funkcja wektorowa, $\underline{x}$ - wektor zmiennych decyzyjnych, $\underline{w}$ - wektor oddziaływań zewnętrznych, $\underline{\lambda}$ - wektor parametrów układu.

Układy równań o postaci (1) mogą być przedmiotem badań, których wyniki staną się podstawą do wprowadzenia zmian w układach rzeczywistych. W zależności od postaci równań, rodzaju wymuszenia, wektora parametrów układu, a także od charakteru i zakresu informacji, które chce się uzyskać, następuje dobór metody badania układu. Na ogół są to metody numeryczne. Metody te pozwalają na dwukierunkowe rozszerzenie zakresu badań układów dynamicznych. Umożliwiają badania: 1) znacznie rozbudowanych układów dynamicznych, 2) przeprowadzenie obliczeń dla bardzo dużej liczby wariantów układu. Pierwszy kierunek można zaobserwować jako szeroko realizowany praktycznie. Realizacja drugiego wiąże się na ogół z koniecznością przetworzenia i selekcji dużej ilości informacji wyjściowych. W związku z czym naturalną konsekwencją racjonalizacji tych działań jest zastosowanie metod polioptymalizacji do wyodrębnienia najbardziej preferowanych rozwiązań.

2. Budowa modeli matematycznych i określenie kryteriów jakości

Problem polioptymalizacji w dynamice maszyn można sformułować następująco:

- określamy obszar dopuszczalny:

$$\Phi = \left\{ (\underline{y},\underline{x}) : \underline{y} = \underline{f}(t,\underline{x},\underline{y},\underline{w},\underline{\lambda}),\ \underline{y}(t_o) = \underline{y}_o \right. \qquad \qquad (2)$$
$$\left. \underline{g}(\underline{y},\underline{x},\underline{w},\underline{\lambda}) = \underline{0};\quad \underline{\varphi}(\underline{y},\underline{x},\underline{w},\underline{\lambda}) \geqslant \underline{0} \right\}$$

przez $\underline{g}(\ )$, $\underline{\varphi}(\ )$ oznaczono pewne nieliniowe funkcje,

- na obszarze dopuszczalnym określa się wektorowy wskaźnik jakości:

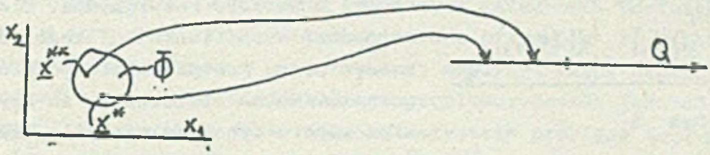
$$\underline{Q} = \underline{Q}(\underline{x},\underline{y}) \qquad \qquad (3)$$
$$\underline{Q} : \Phi \longrightarrow R^k$$

- wskaźnik $\underline{Q}$ jest minimalizowany:

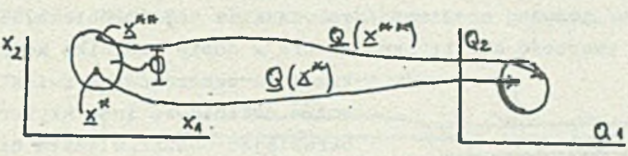
$$\min \underline{Q} \qquad \qquad (4)$$
$$\underline{x} \in \overline{\Phi}$$

Zależności sformułowane powyżej nie stanowią pełnego opisu zadania polioptymalizacji.

Zagadnieniem pierwotnym każdego problemu jest budowa jego modelu. Załóżmy, że model został zbudowany i mamy zdefiniowany obszar dopuszczalny dwuwymiarowy i jedno kryterium jakości Q. Graficznie przedstawiono tę sytuację na rys. 1. Jeżeli teraz zmodyfikujemy to zadanie i przyjmiemy wektorowy wskaźnik jakości $\underline{Q}$ o wymiarowości 2, to sytuacja z rys. 1 ulegnie zmianie. Jej aktualną postać przedstawiono na rys. 2. Grubą linią zaznaczo-

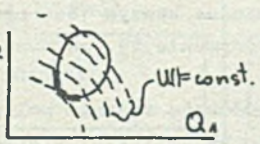


Rys. 1

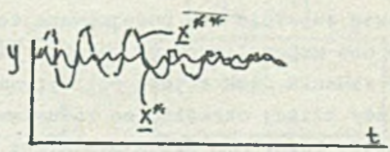


Rys. 2

no zbiór rozwiązań polioptymalnych w sensie Pareto (minimalizacja obu kryteriów). Zajmijmy się przestrzenią kryterialną. Funkcja użyteczności [2, 3] jest pewnym typem funkcji preferencji, która w przestrzeni kryterialnej może być przedstawiona za pomocą krzywych izopreferencyjnych $U(\underline{Q}) = \text{const}$ [2, 3]. Funkcje preferencji niekoniecznie muszą być funkcjami ciągłymi, preferencje mogą być wyrażane za pomocą relacji [2, 3]. Istnieje szereg możliwości ich opisu [2, 3].

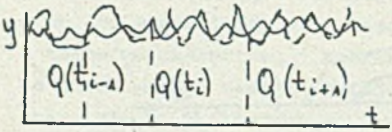


Rys. 3

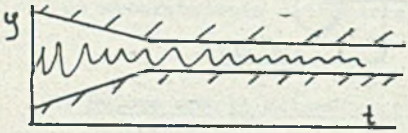


Rys. 4

Wielkości wynikowe w problemach dynamiki maszyn mogą być pewnymi funkcjami, np. przebieg zmiennej stanu w funkcji czasu. Przykładowo przedstawiono to na rys. 4. Charakterystyki możemy uzyskiwać dla różnych wartości wektora zmiennych decyzyjnych, np. $\underline{x}^{*}$, $\underline{x}^{**}$. Jednak wielkości wyjściowe w postaci charakterystyk nie są funkcjami kryterialnymi. Zaproponujemy następujące podejście: zdefiniujmy skalarne kryteria jakości jako wartości zmiennej y w ustalonych momentach czasu dla $t \in [0,T]$. Sytuację tę przedstawiono na rys. 5. Dla przypadku ciągłej $y(t)$ możemy uzyskać nieskończenie wiele kryteriów. Wymiarowość $\underline{Q}$ dąży do ∞. W podejściach klasycznych najczęściej przyjmuje się pewne funkcje skalarne zdefiniowane na całym przedziale zmienności funkcji $y(t)$, np.: $Q = \max_{t\in[0,1]}|y(t)|$. Z punktu widzenia teorii decyzji oznacza to sterowanie preferencjami. Uważamy, że najlepszymi miarami jakości są kryteria $Q(t_i)$ dla tych t_i, gdzie są one największe, jeżeli chodzi o wartość bezwzględną. Dla innych "standardowych" funkcji jakości dynamiki maszyn można przeprowadzić podobne rozumowanie. Można stwierdzić, że kryteria stosowane w dynamice maszyn są swoistymi funkcjami preferencji. Mają one swoje głębokie uwarunkowania modelowe. Jednak przy okazji staje się widoczne, że nie stanowią one jedynej możliwości rozwiązania tego problemu. Ich największa zaleta to zwartość analityczna, która w dobie techniki komputerowej traci na znaczeniu. W związku z tym można definiować inne kryteria, np.: określając obszar, w jakim nie powinna się znaleźć wynikowa zmienna stanu (np. rys. 6). Na rys. 6 kreskowo oznaczono obszar, gdzie zmienna stanu nie powinna się znaleźć. Możliwość formułowania, korygowania tego typu miar jakości ma sens w przypadku możliwości czynienia tego za pomocą urządzeń grafiki aktywnej.



Rys. 5



Rys. 6

3. Sformułowanie dużego zadania polioptymalizacji w dynamice maszyn

Prawie zupełnie nie podejmowaną tematyką w dynamice maszyn jest uwzględnienie obu wspomnianych we wstępie kierunków jednocześnie, tj. zarówno rozbudowy zadania, jak i jego polioptymalizacji [6].

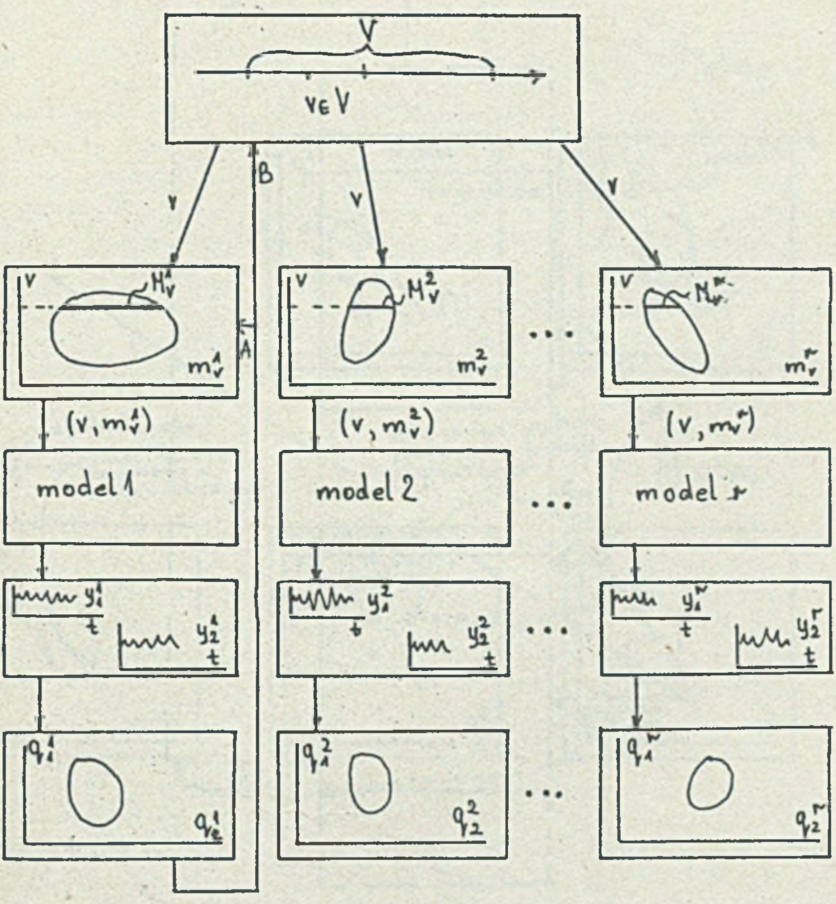
Należy bliżej określić, co rozumiemy przez rozbudowane zadanie polioptymalizacji. Weźmy pod uwagę określony układ dynamiczny, np.: wielopłytkowe sprzęgło cierne w obrabiarce. Analizując ogólną postać modelu matematycznego można powiedzieć, że aby zbliżyć się do bardziej całościowego ujęcia zagadnienia, należy uwzględnić następujące aspekty:

- sprzęgło na różnych etapach pracy, np. uruchomienie od prędkości zerowej do określonej stałej prędkości, praca w stacjonarnych warunkach itd. Każdy taki etap można podzielić na etapy czasowe. Na każdym etapie i w każdym przedziale czasowym może być badany inny model matematyczny problemu, mogą być brane pod uwagę inne zmienne decyzyjne, inny obszar dopuszczalny, inne funkcje kryterialne. Sformułowany może być każdorazowo inny problem polioptymalizacji. Wszystkie te problemy łączy fakt, że dotyczą jednego i tego samego układu fizycznego;
- sprzęgło w przypadku różnych oddziaływań zewnętrznych. W badanym modelu uwzględnia się różne rodzaje oddziaływań. Dla każdego takiego przypadku

można zaproponować model matematyczny różniący się wektorem wymuszeń zewnętrznych. Prowadzi to, tak jak poprzednio,do szeregu powiązanych zadań polioptymalizacji;

- sprzęgło może mieć różne parametry. Można dla każdej wartości parametru zaproponować odrębne zadania polioptymalizacji.

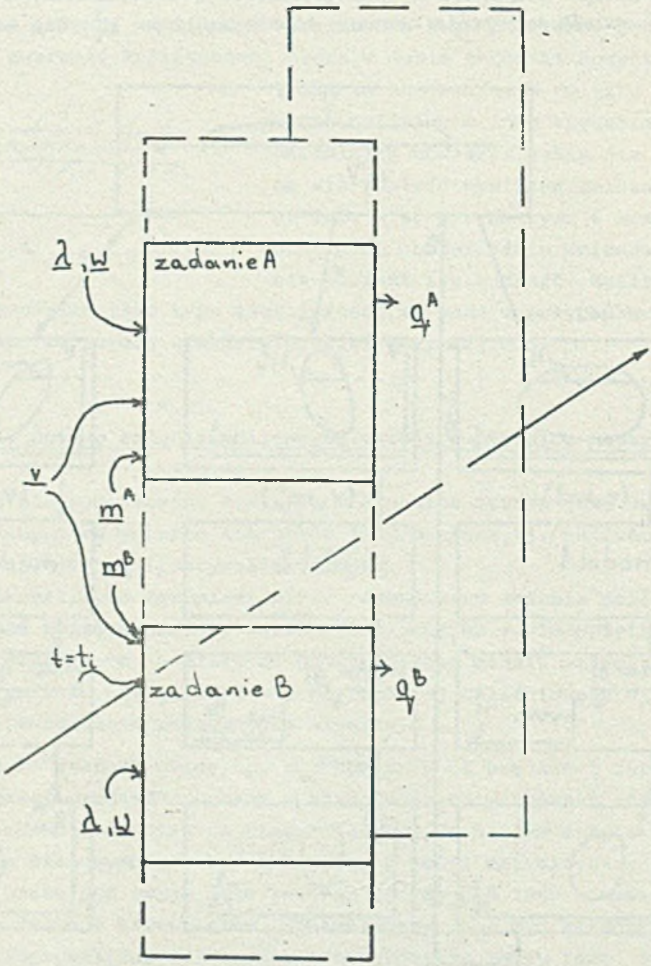
W celu graficznego zilustrowania powyższych zależności posłużymy się schematem. Na schemacie (rys. 7) przedstawiono przypadek r problemów, które dotyczą r-aspektów nowo projektowanej maszyny. Każdy aspekt to inny model matematyczny, inna metoda badania problemu. Jednak jedność maszyny, jej i procesu projektowego sprawiają, że wszystkie problemy mogą posiadać wspólny wektor zmiennych decyzyjnych $\underline{v}$ [1, 5] (na schemacie jednowymiarowy). Poza $\underline{m}_v^i$ (i-te zadanie na schemacie, jednowymiarowy). Na rys. 7 wyjaśniono sposób tworzenia obszaru dopuszczalnego M_v^i dla ustalonych $\underline{v}$.



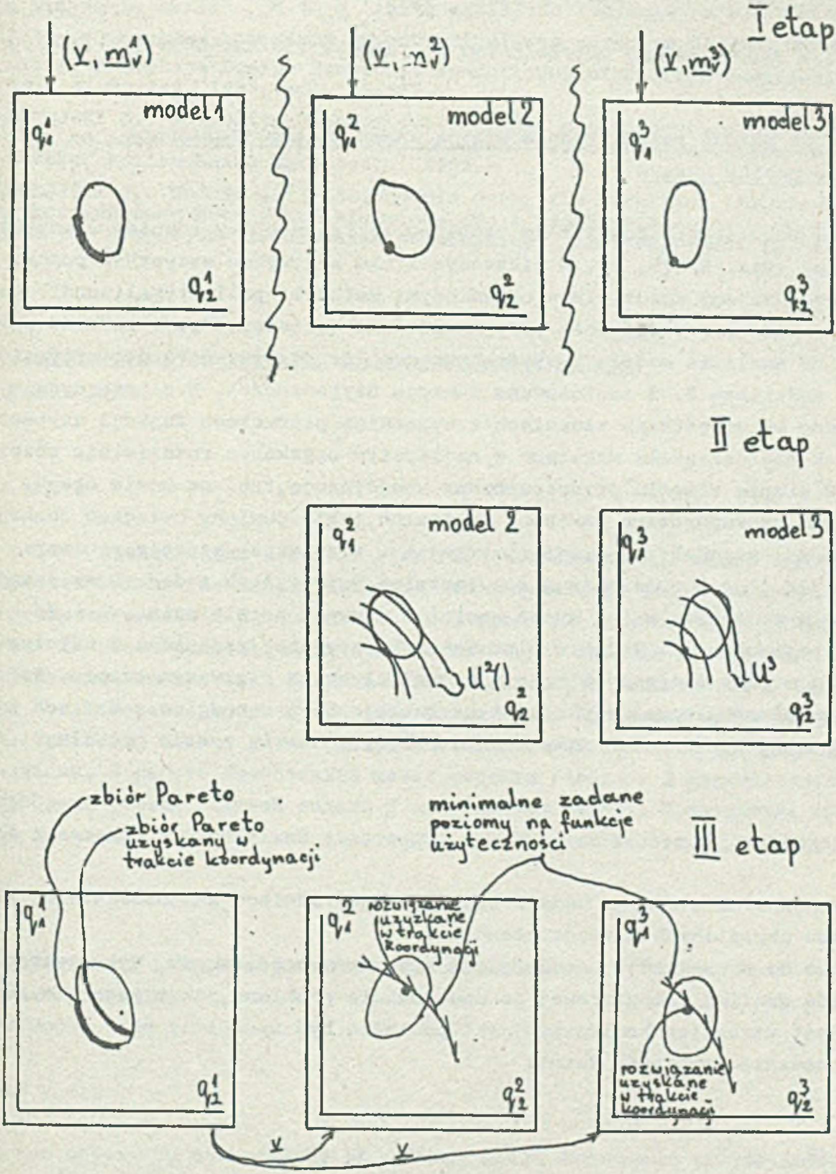
Rys. 7

Poza tym założono, że wektory $\underline{q}^i$ są dla każdego z i zadań dwuwymiarowe. Zatem chcąc uzyskać inne $\underline{q}^i$, należy operować lokalnie - pętla A lub sięgać wyżej - pętla B. W przypadku B ingerujemy jednocześnie we wszystkie zadania. Zróżnicowanie całego problemu na podproblemy prowadzi do następujących przypadków "czystych":

1) zadanie polioptymalizacji w przypadku etapowego funkcjonowania układu dynamicznego,
2) zadanie polioptymalizacji w przypadku wystąpienia różnego rodzaju oddziaływań zewnętrznych,
3) zadanie polioptymalizacji w przypadku wystąpienia różnych wartości wektora parametrów układu. Schematycznie przedstawiono to na rys. 8.



Rys. 8


I etap
model 1
model 2
model 3
II etap
III etap
zbiór Pareto
zbiór Pareto uzyskany w trakcie koordynacji
minimalne zadane poziomy na funkcje użyteczności
rozwiązane uzyskane w trakcie koordynacji
rozwiązanie uzyskane w trakcie koordynacji

Rys. 9

Dla danej chwili t możemy badać różne modele (np. A, B), każdy z tych modeli możemy badać dla różnych λ , $\underline{w}$. Modele A, B mogą mieć wspólne parametry bezwładnościowe, tłumienia, sprężystości, określone jako $\underline{v}$ V oraz takie, które nie są wspólne, określane przez $\underline{m}_v \in M_v^1$. Zatem struktura z rys. 7 może powstać na bazie przyjęcia różnych koncepcji modelowych z rys. 8.

4. Pewna metoda rozwiązywania dużych zadań polioptymalizacji w dynamice maszyn

Metodę rozwiązania powyższego problemu zaprezentujemy również w postaci graficznej (rys. 9) [5, 6]. W pierwszym kroku algorytmu wszystkie podproblemy rozwiązujemy rozdzielnie określonymi metodami polioptymalizacji. Zatem $\underline{V}$ w każdym z zadań może przyjmować inne wartości. Np. w zadaniu polegającym na analizie modelu 1 wyodrębniono zbiór rozwiązań Pareto-optymalnych, w zadaniach 2, 3 zastosowano funkcję użyteczności. W etapie drugim oszacowano we wszystkich zadaniach z wyjątkiem pierwszego funkcję użyteczności,tak aby osiągnęła maksimum w najlepszym uzyskanym rozdzielnie rozwiązaniu. W etapie trzecim przeprowadzono koordynację,tzn. na bazie etapu pierwszego zaproponowano wartości minimalne,jakie powinny osiągnąć funkcje użyteczności w zadaniach drugim i trzecim i rozwiązano zadanie pierwsze koordynując jego rozwiązanie z rozwiązaniem pozostałych zadań. Rozwiązania uzyskane w zadaniach 2 i 3 muszą spełniać warunek na minimalną wartość funkcji użyteczności. Zadanie pierwsze rozwiązywane jest nadal z użyciem tej samej metody polioptymalizacji,której użyto na pierwszym etapie. Zmieniając ustalane minimalne wartości na funkcje użyteczności w zadaniach 2 i 3 można uzyskiwać różne rozwiązania polioptymalne w sensie globalnym.

5. Zakończenie

Zaproponowana metodyka nadaje się do bezpośredniego zastosowania do klas problemów określonych w rozdziałach 2 i 3.

Celowo do prezentacji metody użyto schematów graficznych. Wykorzystanie elementów grafiki komputerowej do modelowania problemu,jak i jego wizualizacji jest warunkiem koniecznym,jaki powinien być spełniony przy budowie oprogramowania tego typu metod.

LITERATURA

[1] FINDEISEN W., SZYMANOWSKI J., WIERZBICKI A.: Teoria i metody obliczeniowe optymalizacji. PWN, Warszawa 1977.

[2] HWANG Ch.L., MASUD A.S.: Multiple Objective Decision Making Methods and Applications. Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, New York, 1979.

[3] KEENEY R.L., RAIFFA H.: Decisions with Multiple Objectives, Preferences and Tradeoffs. Wiley, New York, Santa Barbara, London, Sydney, Toronto, 1976.

[4] OSIŃSKI Z., POKOJSKI J., WRÓBEL J.: Optimization of Multilevel Multicriteria Machine Design Problems. Foundations of Control Engineering. Vol. 8, mo 3-4, 1983, pp. 175-182.

[5] POKOJSKI J.: Polioptymalizacja dużych zadań projektowych w budowie maszyn na przykładzie samochodowej skrzynki przekładniowej. Rozprawa doktorska, Politechnika Warszawska, 1982.

[5] POKOJSKI J., WRÓBEL J.: Podejmowanie decyzji w warunkach losowości z wykorzystaniem metody zadania wiodącego i zadań związanych w dynamice maszyn. Sympozjon "Modelowanie w mechanice", Szczyrk, 1985, pp. 627-636.

МНОГОКРИТЕРИАЛЬНАЯ ОПТИМИЗАЦИЯ ДЕКОМПОЗИЦИОННЫХ ПРОБЛЕМ В ДИНАМИКЕ МАШИН

Р е з ю м е

В работе представлена методика решения декомпозиционных задач большой размерности в динамике машин. Декомпозиция вытекает из многих аспектов проблем динамики машин. В разделении большой проблемы применяются следующие аспекты: 1) этапы работы динамической системы, 2) внешние воздействия, 3) характеристики системы. Главная цель декомпозиции заключается в замене задачи большой размерности множеством соединенных локальных задач оптимизации. Локальные задачи легче решить с помощью методов многокритериальной оптимизации. В работе представлен метод решения глобальной декомпозиционной проблемы (метод ведущей задачи и соединенных задач). Применяется концепция локальной и глобальной аддитивной функции полезности.

DEKOMPOSITION OF LARGE POLYOPTIMIZATION PROBLEMS IN MACHINE DYNAMICS

S u m m a r y

In the paper the methodology of solving large decomposed polyoptimization problem in the machine dynamics is presented. The problem of the polyoptimization in the decomposition case in the machine dynamics is formulated. The decomposition results the multiaspect character of the machine dynamics problems. There is the natural basis of partition into subproblems: 1) the stages of the dynamic system moving, 2) the external disturbances, 3) the characteristics of system. The global problem replaced by the set of the interconnected subproblems is the main purpose of the decomposition. Solving the subproblems with polyoptimization methods is relatively easier. The method of solving the global decomposed problem is presented (with leading and related subproblems). This method is based on concepts of global and local utility additive function.

Recenzent: Doc. dr hab. Witold Pedrycz

Wpłynęło do redakcji 13.XI.1986 r.