

Jerzy Szender

Ośrodek Badawczo-Rozwojowy  
Urządzeń Mechanicznych - Gliwice

## DOBÓR CECH KONSTRUKCYJNYCH Z WYKORZYSTANIEM SYMULOWANYCH KOMPUTEROWO OPERACJI NA OBIEKTACH GEOMETRYCZNYCH

**Streszczenie.** Przedstawiono metodę symulacji komputerowej operacji geometrycznych i zarys jej ujęcia formalnego. Omówiono możliwość zastosowań w procesie projektowo-konstrukcyjnym, w szczególności przy doborze cech konstrukcyjnych. Podano przykłady zastosowań.

### 1. Wprowadzenie

Przy wyznaczaniu w procesie projektowo-konstrukcyjnym konstrukcji środka technicznego jednym z podstawowych i nieodzownych zadań jest dobór cech konstrukcyjnych, w szczególności cech geometrycznych, tzn. postaci geometrycznej i układu wymiarów konstrukcji [2].

Repertuar stosowanych dotąd metod i sposobów analizy, doboru i optymalizacji tych cech jest stale wzbogacany, ale na ogół polega na tworzeniu modelu matematycznego, czyli formułowaniu związków analitycznych i równań zawierających potrzebne wielkości. Analiza, czy też optymalny dobór wspomagane są na ogół komputerem, co wymaga stosowania odpowiednich metod numerycznych i oczywiście opracowania programów komputerowych.

Równocześnie drugi kierunek badań zajmuje się kategoriami bardziej ogólnymi, w szczególności rozpoznaniem i precyzowaniem pojęć ogólnych, a także usiłuje wskazać lub rozwijać teorie, które mają stać się bardziej uniwersalnymi narzędziami opisywania i skutecznego rozwijania problemów. Takim pojęciem, które trudno zdefiniować w sposób dokładny, a równocześnie ogólny, jest także pojęcie geometrycznej postaci konstrukcyjnej [6].

Arytmetyzacja geometrii, która stała się wszechobecna od czasu, gdy Kartezjusz stworzył geometrię analityczną, nie zawsze jest skutecznym narzędziem rozwiązywania problemów geometrycznych. Nie wszystkie problemy poddają się bowiem dobrze arytmetyzacji. Jest sprawą wielce interesującą, a w pewnych przypadkach wręcz zaskakującą, jak łatwo można rozwiązać pewne zadania wykreślić w porównaniu z rutynowym postępowaniem polegającym na wyrowadzeniu odpowiednich związków analitycznych i szukaniu rozwiązania poprzez zastosowanie odpowiednich metod (numerycznych), umożliwiających uzyskanie rozwiązania (przybliżonego).

To spostrzeżenie oraz pomysły symulowania operacji geometrycznych za pomocą komputera były głównymi czynnikami inspirującymi do opracowania metody, której podstawy i niektóre zastosowania przedstawiono w pracach [7] [8].

W tej pracy przypomniana zostanie istota metody i możliwości zastosowań, podany zostanie zarys ujęcia formalnego i sposoby wykorzystania metody przy doborze i optymalizacji cech geometrycznych konstrukcji. Podane zostaną przykłady.

## 2. Istota metody i podstawowe pojęcia

W procesie projektowo-konstrukcyjnym występują obok innych dwa istotne rodzaje działań: sporządzanie rysunków i obliczenia. Na ogół pierwsze rysunki konstrukcji mają charakter szkiców, które są podstawą formowania zależności analitycznych wykorzystywanych do obliczeń, mających na celu sprawdzenie poprawności przyjętego rozwiązania i doskonalenie konstrukcji w dalszym etapie poprzez zabiegi optymalizacyjne. Ten proces jest procesem sekwencyjno-iteracyjnym, w trakcie którego zachodzi potrzeba modyfikowania i doskonalenia modelu matematycznego na skutek zmian postaci geometrycznej lub konieczności uwzględnienia nowych wymogów. Jeśli zależności analityczne są podstawą algorytmów odpowiednich programów komputerowych, trzeba modyfikować algorytmy i programy. W rezultacie proces ten jest czasochłonny, co staje się jedną z przyczyn niepowodzeń wspomagania komputerowego.

W wielu przypadkach konstruktor realizuje początkowe iteracje przy pomocy metod graficznych (wykreślnych) lub (i) posługując się prostymi modelami. Metody wykreślne w tradycyjnym "ręcznym" wydaniu posiadają szereg wad, takich, jak: niedogodności techniczne kreślenia, ograniczoność pola rysunku oraz mała dokładność, która uniemożliwia uzyskanie na tej drodze zadowalającego ostatecznego rozwiązania.

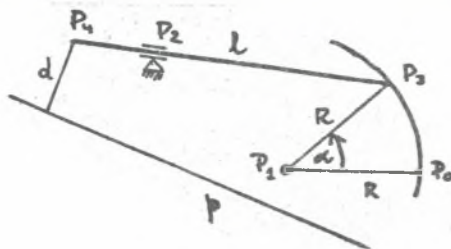
Istotną zaproponowanej metody jest SYMULACJA OPERACJI GEOMETRYCZNYCH za pomocą komputera. Metoda pozwala rozwiązać zadania bez wyprowadzania zależności analitycznych w sposób podobny jak czyni się to tradycyjnymi metodami wykreślnymi, a więc dokonując operacji takich, jak: przesunięcia, obroty punktów, zbiorów punktów, figur geometrycznych, identyfikując obiekty będące iloczynami (wspólnymi podzbiórami) określonych obiektów (np. punkty przecięcia prostych, okręgów), wyznaczając nowe obiekty spełniające określone warunki i korzystając z obiektów już wyznaczonych (np. wyznaczenie punktu, jeśli dane są odległości tego punktu od dwóch innych).

Symulacja metod geometrycznych na komputerze uwalnia od wad metod wykreślnych i stwarza nowe możliwości:

- umożliwia realizację operacji geometrycznych "pomyślanych", nierealizowalnych tradycyjnie,
- umożliwia symulację operacji w przestrzeni,
- umożliwia przekształcanie iteracyjne obiektów geometrycznych.

Szczególnie interesująca jest możliwość postępowania iteracyjnego rozszerzającego istotnie zakres zastosowań metody. Okazała się ona skutecznym narzędziem rozwiązywania zadań w przypadkach, dla których podejście tradycyjne - analityczne prowadziło do skomplikowanych zależności i trudności w ich wykorzystaniu. Przykład i postępowanie dla pewnej klasy zadań pokaza - no w pracy [7].

Pokażemy inny, bardzo prosty przykład. Niech zadaniem będzie wyznacze - nie położenia jarzma wahliwego w mechanizmie korbowym (rys.1):



rys 1.

Mając dane punkty  $P_1$  (środek obrotu korby) i  $P_2$  (środek obrotu jarzma) i długość jarzma  $l$ , należy znaleźć takie położenie jarzma określone kątem  $\alpha$ , aby koniec  $P_4$  znajdował się w odległości  $d$  od danej prostej  $p$ . Łatwo zbudować zbieżny do rozwiązania proces iteracyjny konstruując (symulując komputerowo odpowiednio operacje geometryczne) punkty  $P_3$  i  $P_4$  tak, żeby  $\angle(P_2, P_1, P_3) = \alpha$ ,  $|P_1, P_3| = R$ ,  $|P_3, P_4| = l$  i odcinek  $P_3 P_4$  przechodził przez punkt  $P_2$ . Miarą dobroci rozwiązania (bliskości do obiektu będącego rozwiązaniem) jest funkcja:  $f(\alpha) = |\text{odl}(P_4, p) - d|$ . Jeśli  $f(\alpha) < \xi$  uzyskany wynik (obiekt) jest rozwiązaniem. To zadanie występowało w jednym z fragmentów modelowania układu kinematycznego rozkładanego mostu omawianego w pracy [8].

Przedstawione możliwości i zakres zastosowań uzasadniają sformułowanie: symulacja metod geometrycznych, a nie metod wykreślnych czy graficznych.

Zakres metody obejmuje także statykę. Można ją stosować do wszelkich zadań, które rozwiązywane są sposobami statyki wykreślnej, ale z przyczyn wymienionych wyżej i w tej dziedzinie metoda stwarza nowe możliwości. Znajduje również zastosowanie do obliczeń kinematycznych. Obiektami, na których dokonuje się operacji, są w tych dziedzinach wektory, co uzasadnia wprowadzone pojęcie obiektu geometrycznego a nie np. figury geometrycznej.

Określenie SYMULACJA OPERACJI GEOMETRYCZNYCH oznacza, że algorytmy będące podstawą programów komputerowych określają ciąg operacji geometrycznych, jakie należy wykonać. Operacje geometryczne są charakterystycznymi, istotnymi elementami tych algorytmów. Podstawowe typowe operacje geometryczne zostały przygotowane w postaci procedur zawartych w komputerowej bibliotece procedur (BIBS).

Istota symulacji polega na tym, że treść procedur może być realizowana numerycznie, podczas gdy dla użytkownika istotne są informacje o obiektach będących argumentami i wynikami działania procedury, a nie proces obliczeniowy prowadzący do wyniku, realizowany w komputerze. Jest zresztą oczywi -

ste, że każda operacja realizowana komputerowo sprowadza się do elementarnych działań na bitach. System procedur biblioteki zorganizowany jest jednak w ten sposób, że treść procedur złożonych wyższego rzędu realizowana jest przez odwołania do procedur prostszych (niższego rzędu).

Z powodów wyżej wymienionych również zapis obiektu geometrycznego w komputerze (o sposobie zapisu powiemy dalej) jest numeryczny. Dla użytkownika nie jest to istotne i przy odpowiednim oprogramowaniu niedostrzegalne, bo umożliwia posługiwanie się obiektami geometrycznymi za pomocą nazw, symboli - ogólnie za pomocą informacji identyfikujących te obiekty.

### 3. Zakres i sposoby stosowania metody

Zakres zastosowania obejmuje wszystkie zadania, które można rozwiązać metodami wykreślnymi, ale dzięki uwolnieniu się od istotnych wskazań już ograniczeń aktualnych dla metod wykreślnych obszar zastosowań metody jest znacznie szerszy. Obszar zastosowań obejmuje zagadnienia, dla których algorytm postępowania jest określony poprzez ciąg operacji na obiektach geometrycznych lub ogólniej: obejmuje zagadnienia, dla których, precyzując tok postępowania prowadzący do rozwiązania, myślimy kategoriami geometrycznymi.

Takie są potencjalne możliwości metody, praktycznie zależą przede wszystkim od:

- umiejętności odpowiedniego formułowania zadań i algorytmów w kategoriach geometrycznych,
- dysponowania odpowiednim oprogramowaniem komputerowym.

Można wyróżnić następujące sposoby wykorzystywania metody w praktyce:

- opracowanie programu (systemu) komputerowego przeznaczonego do rozwiązywania określonego lub określonej klasy zadań, z wykorzystaniem procedur realizujących operacje geometryczne (stosowanie twórcze wymagające jednak umiejętności programowania),
- korzystanie z gotowych programów o różnym stopniu uniwersalności zrealizowanych z wykorzystaniem metody (użytkownik programu może stosować metodę nieświadomie),
- z pomocą uniwersalnego języka problemowo zorientowanego lub systemu konwersacyjnego. Takie narzędzie umożliwia twórcze stosowanie metody bez znajomości programowania. Opracowanie takiego programu jest zadaniem trudnym, tym trudniejszym, im większe postawimy wymagania do jego uniwersalności. Cechy takiego języka o ustalonym zakresie zastosowań posiada opracowany przez autora program GENP realizujący generowanie i sporządzanie w trybie konwersacyjnym rysunków konstrukcyjnych za pomocą kreślarza automatycznego. Jest on wykorzystywany przede wszystkim w procesie przygotowania wytwarzania do sporządzania szablonów sterujących cięciem gazowym.



## 4. Zarys ujęcia formalnego

Podstawy ujęcia formalnego przedstawiono w pracach [7][8]. W tym ujęciu podstawowymi pojęciami są: obiekt geometryczny (OG) oraz operacja geometryczna (op),

## 4.1. Obiekt geometryczny i jego zapis komputerowy

Obiekt geometryczny OG jest zbiorem (uporządkowanym) punktów. Jeżeli zbiór ten jest zbiorem skończonym, możliwy jest jego numeryczny zapis komputerowy poprzez zastosowanie dowolnego uzgodnionego wzajemnie jednoznacznego odwzorowania postaci:

$$F(P) = (x_1^P, x_2^P, x_3^P) \text{ dla przestrzeni 3-wymiarowej}$$

Liczby  $x_1^P, x_2^P, x_3^P$  mogą być np. współrzędnymi kartezjańskimi w przyjętym układzie współrzędnych.

W przypadku, gdy obiekt geometryczny jest zbiorem nieskończonym punktów (mocy continuum), pojawia się poważna trudność. Można ją rozwiązać różnymi sposobami. Trzy podstawowe są następujące:

- Przedstawiamy obiekt geometryczny w postaci analitycznej (równania) i zapisujemy odpowiednie parametry (np. równanie okręgu). Nie zawsze jest to możliwe.
- Zastępujemy obiekt pierwotny obiektem dyskretnym, tzn. zbiorem skończonym punktów należących do obiektu rzeczywistego wybranych w pewien uzgodniony, możliwie optymalny sposób (liczba informacji do pamiętania może jednak być nadal zbyt duża).
- Przez zastąpienie obiektu pierwotnego obiektem (pomocniczym) o skończonej (minimalnej) liczbie punktów, którego określenie łącznie z informacjami dodatkowymi definiuje jednoznacznie obiekt pierwotny. W symbolicznym zapisie:

$$OG = \underline{OG} + I \quad (I - \text{dodatkowa informacja - umowa})$$

Proponujemy  $\underline{OG}$  nazwać obiektem bazowym.

Dla danego obiektu można przyjąć różne obiekty bazowe. (Dwa punkty wyznaczające prostą). Ten sam OG może być obiektem bazowym dla różnych obiektów pierwotnych (dwa punkty wyznaczają zależnie od umowy: odcinek, prostą, dwie różne półproste).

Każdy z wymienionych sposobów posiada wady i zalety. Przy realizacji oprogramowania dla przedstawionej metody skorzystano ze sposobu trzeciego (c), gdyż oprócz zalet praktycznych ma on również tę zaletę, że umożliwi prowadzenie dalszych rozważań konsekwentnie w kategoriach geometrycznych.

Przyjmujemy, że w dalszym ciągu mówiąc o obiekcie geometrycznym będziemy mieli na uwadze obiekt bazowy lub pierwotny o skończonej liczbie punktów, chyba, że w jakimś momencie wyraźnie z tej umowy zrezygnujemy.

Dwa obiekty geometryczne są identyczne ( $OG \equiv OG$ ), jeśli są równoliczne i odpowiadające im zbiory punktów są takie same.

Każdemu obiektowi można przyporządkować pewien ciąg parametrów (miar). W szczególności mogą to być współrzędne wszystkich jego punktów, czyli miary długości wektorów będących rzutami wektorów wodzących. Ten ciąg parametrów określa obiekt geometryczny w sposób jednoznaczny.

Każdy z możliwych ciągów parametrów określających obiekt w sposób jednoznaczny będziemy nazywać REPREZENTACJĄ (liczbową).

$$OG \rightarrow R (p_1, p_2, p_3, \dots p_n)$$

Danemu obiektowi można przyporządkować różne reprezentacje. Jedną z możliwych reprezentacji jest wykorzystywana przy zapisie komputerowym obiektu.

W rysunku technicznym reprezentacji odpowiada układ wymiarów. Liczba parametrów reprezentacji  $n$  powinna spełniać warunek:

$$n \leq w * l$$

$w$  - wymiar przestrzeni w jakiej określony jest obiekt,

$l$  - liczba punktów.

Dla dwóch obiektów równolicznych, w szczególności takich, którym przyporządkowano takie same reprezentacje, można określić MIARĘ BLISKOSCI ( $mb$ ) tych obiektów jako funkcję parametrów reprezentacji tych obiektów (a więc w przestrzeni metrycznej rozpiętej na odpowiednich reprezentacjach).

Miarę tę można określić na różne sposoby, np.:

$$mb(OG_1, OG_2) = \sum_i |p_i^{(1)} - p_i^{(2)}|$$

$$\text{lub } mb(OG_1, OG_2) = \sum_i (p_i^{(1)} - p_i^{(2)})^2 \text{ - miara średniokwadratowa}$$

#### 4.2. Operacja geometryczna

Jeśli  $OG_2$  jest obiektem geometrycznym powstałym przez wykonanie operacji  $op$  na obiekcie  $OG_1$ , zapisujemy to:

$$OG_2 = op(OG_1)$$

Rodzaje operacji:

- a/ Identyfikacja wyróżnionych punktów (obiektów) w danym obiekcie.
- b/ Tworzenie nowego obiektu z wykorzystaniem obiektów już określonych.
- c/ Obliczanie miar dla danych obiektów (wynikiem jest liczba lub liczby).

Rozwiązanie praktycznego problemu uzyskujemy na ogół poprzez wykonanie ciągu operacji geometrycznych, tzn. operacji złożonej, w której argumentem kolejnej operacji jest obiekt geometryczny będący wynikiem operacji poprzedniej:

$$OG_n = op_n(\dots op_2(op_1(OG_1)) \dots) = opz(OG_1)$$

## 4.3. Postępowanie iteracyjne

Jeśli nie istnieje lub nie jest nam znana operacja (złożona), której wynik jest szukanym rozwiązaniem, możemy rozwiązania szukać za pomocą procesu iteracyjnego.

Polega on na wielokrotnym powtarzaniu ciągu operacji geometrycznych (operacji złożonej) z modyfikacją obiektu początkowego  $OG_1$ :

$$OG_n^{(1)} = opz (OG_1^{(1)})$$

$$OG_n^{(2)} = opz (OG_1^{(2)})$$

$$\vdots$$

$$OG_n^{(k)} = opz (OG_1^{(k)})$$

W procesie tym realizowanym komputerowo argumenty  $OG_1$  mogą być modyfikowane przez użytkownika (wariantowanie) lub generowane automatycznie, przy czym wykorzystywane są w różnym stopniu i w różny sposób informacje o uzyskanych rezultatach w poprzednich iteracjach. W szczególności obiekty  $OG_1$  mogą być tworzone przy pomocy generatora losowego lub podobnie jak w klasycznym postępowaniu iteracyjnym proces może być zorganizowany tak, że  $OG_1^{(k+1)} = OG_n^{(k)}$ , tzn. wynik końcowy iteracji jest argumentem dla iteracji następnej.

Proces iteracyjny może być procesem:

- typu A: jeśli ciąg  $OG_n^{(k)}$  jest ciągiem rozwiązań dopuszczalnych (możliwych), tzn. operacja opz zapewnia utworzenie obiektu spełniającego konieczne warunki,
- typu B: jeśli ciąg  $OG_n^{(k)}$  jest ciągiem obiektów (rozwiązań) przybliżonych, zbieżnym do obiektu będącego rozwiązaniem.

Badanie zbieżności ciągu obiektów jest możliwe, jeśli dysponujemy miarą bliskości dwóch obiektów (mb).

Zachodzi:

$$OG_n^{(1)}, OG_n^{(2)}, OG_n^{(3)}, \dots, OG_n^{(k)}, \dots \xrightarrow[k \rightarrow \infty]{} OG_n$$

wtedy i tylko wtedy, gdy

$$mb (OG_n^{(k)}, OG_n) \rightarrow 0 \quad \text{gdy } k \rightarrow \infty$$

Duże znaczenie operacyjne ma trafny dobór miary odpowiednio do rozwiązywanego problemu. W przypadku typu A odpowiednio dobrana miara może stać się kryterium optymalizacji. Wtedy uzyskuje się ciąg obiektów-rozwiązań dopuszczalnych, zmierzających do rozwiązania optymalnego.

Proces iteracyjny może być procesem złożonym, w tym sensie, że jedna lub kilka operacji wchodzących w skład operacji opz realizującej krok iteracyjny (I) są również realizowane za pomocą procesu iteracyjnego typu B.

Sposób postępowania iteracyjnego typu B dla pewnej klasy zadań przedstawił w pracy [7], zaś przykład zastosowania procesu iteracyjnego typu

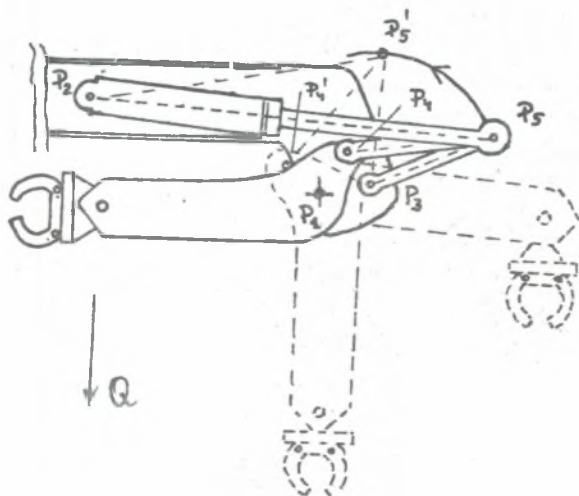
A przedstawiono w pracy [8].

## 5. Przykłady

### 5.1. Przykład 1.

Dotyczy układu realizującego zmianę położenia chwytaka obrotowego. Układ ten jest końcowym elementem wsięgnika ładowarki (rys.2). Problem polegał na optymalnym doborze parametrów geometrycznych układu, przy czym kryterium optymalizacji była minimalizacja siły w siłowniku i pozostałych członach w całym zakresie pracy układu z zachowaniem innych (koniecznych i pożądaných) warunków. W grupie warunków koniecznych były przede wszystkim warunki wykluczające kolizję elementów i warunki zapewniające przyjmowanie dopuszczalnych położeń przez siłownik w całym zakresie pracy układu.

Algorytm zarówno dla obliczeń geometrycznych, jak również statycznych opisany został w kategoriach geometrycznych. Program komputerowy opracowano korzystając z gotowych procedur zawartych w bibliotece BIBS. Nie korzystano z żadnych zależności analitycznych. Wyprowadzenie zależności umożliwiających sprawdzenie ewentualnej kolizji elementów byłoby uciążliwe. Warto zauważyć, że w trakcie realizacji tego i podobnych zadań zachodzi konieczność modyfikowania algorytmu, konieczność wynikająca z faktu, że w praktyce trudno przewidzieć od razu wszystkie warunki, jakie trzeba nałożyć na rozwiązanie.



rys.2



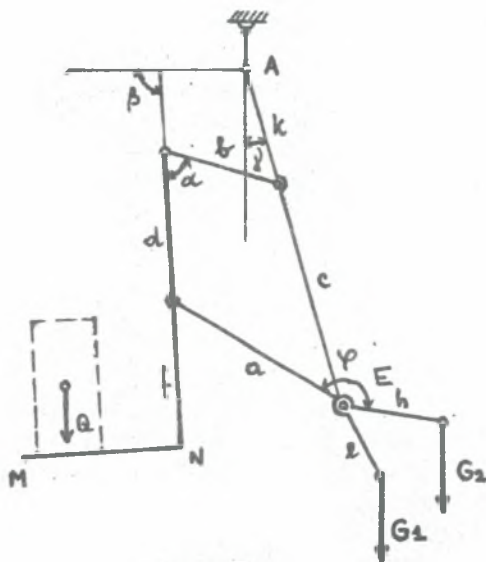
Dla zilustrowania metody opiszemy dwa pierwsze kroki w algorytmie dotyczącym geometrii. Ramię-chwytyka obraca się wokół punktu  $P_1$  na skutek działania siłownika na elementy  $P_3P_5$  ( $|P_3P_5| = R$  i  $P_4P_5$  ( $|P_4P_5| = R_1$ ). Przyjmując chwilowo, że ustaloną są punkty  $P_1, P_2$  (punkt obrotu siłownika) i  $P_3$  (punkt obrotu elementu  $P_3P_5$ ) oraz długości  $R$  i  $R_1$ , a także  $|P_1P_4| = R$ , dla ustalonego położenia ramienia chwytyka:

1. Wyznaczamy punkt  $P'_4$  dla tego położenia (obracamy punkt  $P_4$  o odpowiedni kąt wokół punktu  $P_1$ ).
2. Wyznaczamy punkt  $P'_5$  jako punkt odległy od punktów  $P_3$  i  $P'_4$  odpowiednio o odcinki o długości  $R$  i  $R_1$ .

Odpowiedni fragment programu to dwie instrukcje odwołujące się do odpowiednich procedur (BIBS). Całe postępowanie dla ustalonego położenia jest wyrażone ciągiem operacji geometrycznych. Optymalizację przeprowadzono poprzez postępowanie iteracyjne zmieniając losowo szukane parametry (metoda MONTE CARLO), czyli poprzez realizację procesu iteracyjnego typu B. W rezultacie otrzymano rozwiązanie, w którym siła w siłowniku w porównaniu z wariantem wstępnym uległa zmniejszeniu o jedną trzecią.

## 5.2. Przykład 2

Na rys. 3 przedstawiono schemat zawiesia stosowanego w transporcie bliskim do umieszczenia (i wyładowywania ładunków znajdujących się na paletach we wgłębieniach i wnękach półek magazynowych.



rys. 3.

Urządzenie spełnia to zadanie, jeżeli jego platforma nośna NM zachowuje zarówno w stanie nieobciążonym, jak i obciążonym pozycję poziomą (prawie poziomą), co jest możliwe przy odpowiednim dobraniu wymiarów członów oraz mas stanowiących przeciwcieżary. Powinny one wyważać układ dla ładunków o wielkościach z pewnego przedziału  $[0, Q]$ .

Próby rozwiązania zadania w sposób analityczny sprowadzały się do podania warunków na to, by konstrukcja spełniała konieczne wymogi [9]. Otrzymanie na tej drodze dokładnego modelu (uwzględniającego również np. ciężary własne elementów konstrukcji, czy wykluczenie ewentualnych kolizji w pewnych położeniach) jest trudne, a złożoność związków (układy równań przestępnych) jest przeszkodą przy szczegółowej analizie konstrukcji, tym bardziej przy zabiegach optymalizacyjnych.

Korzystając z naszej metody można tych trudności uniknąć.

Tok postępowania jest następujący:

Przede wszystkim musimy potrafić symulować zachowanie się zawiesia dla ustalonych parametrów konstrukcji i ustalonego ciężaru  $Q$ . Układ posiada dwa stopnie swobody, które mogą być wyrażone przez kąty  $\alpha$  i  $\beta$ . Dla chwilowo ustalonej pary  $(\alpha, \beta)$  i wartości  $Q$ , przy pomocy stosownych operacji geometrycznych, w tym także procesu iteracyjnego typu B można wyznaczyć geometrię układu, a następnie przy pomocy działań na wektorach-siłach otrzymać sumę momentów od wszystkich sił względem punktu A ( $M_A$ ) i względem punktu E ( $M_E$ ). Funkcja  $f(\alpha, \beta) = \sqrt{|M_A(\alpha, \beta)| + |M_E(\alpha, \beta)|}$  jest miarą bliskości do rozwiązania. Osiągnięcie na drodze postępowania iteracyjnego  $f(\alpha, \beta) < \epsilon$ , oznacza wyznaczenie położenia układu dla ustalonej wartości  $Q$ .

Miarą dobroci zawiesia o parametrach  $a, b, c, d, e, f, h, \varphi, G_1, G_2$  ( $P$ ) jest wahanie funkcji  $\beta = \beta(Q, P)$  w przedziale  $0 \leq Q \leq Q_{\max}$ . Wartość tego wahanie można wyznaczyć, bo potrafimy obliczyć wartość  $\beta$  dla dowolnego  $Q$ . Zabiegi optymalizacyjne polegają na poszukiwaniu takich parametrów zawiesia (punkt  $P^*$ ), żeby wahanie  $\beta(Q, P^*)$  dla  $Q \in [0, Q_{\max}]$  było minimalne.

Badania prototypu zawiesia skonstruowanego zgodnie z wyznaczonymi na tej drodze parametrami potwierdziło w pełni zgodność modelu z obiektem rzeczywistym i skuteczność metody.

## 6. Uwagi końcowe

W pracy starano się przedstawić przede wszystkim "ideę" i istotę metody nie wnikając w szczegóły warsztatowe (np. oprogramowanie). Odnosnie do zastosowań zwrócono szczególną uwagę - zgodnie z tematem - na wykorzystanie metody przy doborze cech konstrukcyjnych. W przedstawionych przykładach można było tylko naszkicować tok postępowania. Lista rozwiązanych przy pomocy metody zadań jest już liczna i obejmuje między innymi analizę i optymalizację układów wypadkowych żurawi, ich wyważanie, obliczenia geometrii i statyki górniczych obudów zmechanizowanych i inne.

Spośród innych zastosowań, o których nie powiedziano, należy przede wszystkim wymienić wykorzystanie metody jako wygodnego narzędzia oprogramowania z zakresu grafiki komputerowej, np. do zapisu figur przestrzennych i tworzenia ich obrazów z wygaszeniem linii niewidocznych, zastosowanie do wyznaczenia rozwinięć powierzchni złożonych figur przestrzennych.

Wskazane możliwości i przykłady upoważniają do stwierdzenia, że metoda jest wygodnym i skutecznym narzędziem rozwiązywania wielu problemów.

#### LITERATURA

- [1] Borsuk K., Szmielew W.: Podstawy geometrii. Warszawa, PWN 1972.
- [2] Dierych J.: Projektowanie i konstruowanie. Warszawa, WNT 1974.
- [3] Dierych J.: System i konstrukcja. Warszawa, WNT 1978.
- [4] Krygowska Z.: Konstrukcje geometryczne na płaszczyźnie. Warszawa, PWN 1958.
- [5] Sieklucki K.: Geometria i typologia. Warszawa 1978.
- [6] Jaskóła Z.: Logiczno-formalne problemy unifikacji i typizacji środków technicznych. Konferencja: Metody unifikacji, typizacji oraz tworzenia typoszeregów maszyn i ich składowych. Zbiór referatów. IMiPKM Pol. Sl. Gliwice - Wisła 1984.
- [7] Szender.: Geometryczne metody rozwiązywania problemów konstrukcyjnych. Mat. konf.: Metodologia Nauki Konstrukcji Problemy teoretyczne i praktyczne. Wisła 1981.
- [8] Szender J.: Metody geometryczne w komputerowo wspomaganym procesie projektowo - konstrukcyjnym. Prace IMiPKM Pol. Sl. Gliwice 1983.
- [9] Gronowicz A., Miller S., Twaróg W.: Analiza warunków wyważania statycznego układu zawiesia do palet. Biuletyn Informacyjny OBRDiUT nr 3/1974.

#### DETERMINATION OF CONSTRUCTIONAL FEATURES WITH USAGE OF COMPUTER SIMULATED OPERATIONS ON GEOMETRIC OBJECTS

#### S u m m a r y

A method of computer simulation of geometric operations and an outline of its formal description have been presented. Possibilities of application in design process, especially in determination of design features, have been discussed. Some examples of applications have been presented.

ПОДБОР КОНСТРУКТИВНЫХ ЧЕРТ С УПОТРЕБЛЕНИЕМ ОПЕРАЦИИ  
НА ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ ОБЪЕКТАХ ПОДВЕРГАЕМЫХ СИМУЛЯЦИИ  
НА ВЫЧИСЛИТЕЛЬНОЙ МАШИНЕ

Р е з ю м е

Представлен метод симуляции на вычислительной машине геометрических операций и очерк её формальной трактовки. Показаны возможности употребления в проектно-конструктивном процессе, в особенности при подборе конструктивных черт. Приведены примеры употребления.