# ZESZYTY NAUKOWE POLITECHNIKI SLĄSKIEJ

Seria: MECHANIKA z. 91

XIII MIEDZYNARODOWE KOLOKWIUM "MODELE W PROJEKTOWANIU I KONSTRUOWANIU MASZYN"

13th INTERNATIONAL CONFERENCE ON "MODELS IN DESIGNING AND CONSTRUCTIONS OF MACHINES"

25-28.04.1989 ZAKOPANE

Józef KNAPCZYK Politechnika Krakowska

Andrzej STĘPNIEWSKI

Akademia Rolnicza w Lublinie

# MODELOWANIE RUCHU MANIPULATORA TYPU ASEA DLA ZADANEJ TRAJEKTORII CHWYTAKA

<u>Streszczenie</u>. Opracowano program komputerowy obliczający przebiegi wartości przemieszczeń, prędkości i przyśpieszeń kątowych w parach obrotowych manipulatora typu ASFA, dla zadanej trajektorii końca ramienia oraz czasowego przebiegu prędkości. Wyznaczono współczynniki równań Lagrange'a dla układu o pięciu stopniach swobedy. Dla zadanego ruchu chwytaka wyznaczono przebiegi momentów czynnych. Podano przykłady liczbowe.

# 1. Wprowadzenie

Mechaniczny układ robota przemysłowego składa się z mechanizmu wykonawczego, zwanego dalej manipulatorem, oraz mechanizmów przekładniowych. Przy badaniu ich dynamiki stosuje się modele z członami sztywnymi i podatnymi, przy czym do obliczeń wstępnych wystarcza model z członami sztywnymi. Za pomocą takiego modelu rozwiązuje się zadania kinematyki, wyznacza siły i momenty czynne, zapewniające realizację zadanych ruchów.

W celu zbadania wpływu oddziaływania ruchów mas członów manipulatora na silniki napędowe można stosować równania Lagrange'z II rodzaju, jednak przy większej od trzech liczbie stopni swobody wyprowadzenie tych równań jest związane z przekształceniami bardzo złożonych wyrażeń analitycznych. W takich przypadkach zaleca się komputerowe generowanie równań [1, 4].

W niniejszej pracy przedstawiono rozwiązanie zadania odwrotne o dynamiki manipulatora, polegającego na wyznaczeniu sił i momentów czynnych, zapewniających realizację zadanego ruchu chwytaka. Założono, że ruch końca ramienia między dwoma danymi punktami odbywa się ze stałą prydkością po linii prostej.

Wartości względnych przemieszczeń, predkości i przyśpieszeń kątowych w drugiej i trzeciej parze obrotowej są uzależnione od siebie przez mechanizm czworoboku przegubowego i zostały wyznaczone dla zadanego ruchu końca ramienia.

1989

Nr kol. 1026

### 2. Sformulowanie zadania modelowania ruchu manipulatora typu ASEA

Trajektorię punktu 0,- końca górnego ramienia manipulatora typu ASEA robota przemysłowego IRb-60 przyjęto w postaci odcinka prostej przechodzącej przez oś obrotu kolumny z. W przestrzeni roboczej przyjęto punkty: (x<sub>03p</sub>, z<sub>03p</sub>), (x<sub>03k</sub>, z<sub>03k</sub>)- początkowy i końcowy trajektorii. trajektorii.



Rys. 1

Równanie parametryczne prostoliniowego odcinka trajektorii można zapisać w postaci:

x<sub>03</sub>= x<sub>03p</sub> ± s<sub>03</sub>cos or , (1) $z_{03} = z_{03p} \pm s_{03} \sin \alpha_{T}$ 

przy czym znak "+" odnosi się do przypadku, gdy x<sub>03p</sub> x<sub>03p</sub> x<sub>03k</sub>, s<sub>03</sub>- przemieszczenie punktu 03 od położenia pocz.

 $s_{03} = \sqrt{(x_{03} - x_{03p})^2 + (z_{03} - z_{03p})}$ (2)Zakres prostoliniowego odcinka trajektorii wynosi:0 -  $s_{03}$  -  $s_{03}$  , gdzie:

$$S_{03} = \sqrt{(x_{03k} - x_{03p})^2 + (z_{03k} - z_{03p})^2}$$

Zgodnie z instrukcją obsługi robota IRb-60 programowany ruch końca ramienia odbywa się ze stałą prędkością równą V<sub>O3</sub>. Przyjęto pro-stokątny przebieg czasowy przyśpieszenia i trapezowy prędkości punktu Oz, a odpowiednie parametry ruchu wyznaczono wg wzorów:

$$t_{A} = V_{03}/A_{03}$$
,  $s_{03}(t_{A}) = s_{A} = V_{03}^{2}/2A_{03}$ ,  $s_{AB} = s_{03}^{-2}s_{A}$  (3)

Jeśli  $2s_A = S_{O3}$ , wtedy:

$$s_A = s_{03}/2$$
,  $t_A = \sqrt{2s_A}/A_{03}$ ,  $t_{03} = 2t_A$ ,  $V_{03} = A_{03}t_A$  (4)

przy czym  $A_{03} = \left| \overline{\theta}_{i \max} \right| \Delta \theta_{i} \right| \Delta s$ , i = 2, 3,  $s = 0,04 S_{03}$ , ∆s - elementarny odcinek trajektorii punktu 0\_ odpowiadający przemieszczeniu kątowemu O, z maksymalnym przyśpieszeniem dla danej pary obrotowej. Do obliczeń przyjmuje się mniejszą z otrzymanych Aoz

### Modelowanie ruchu manipulatora...

W poszczególnych przedziałach ruchu przemieszczenia, prędkości i przyśpieszenia obliczono wg wzorów:

dla 
$$0 \le t \le t_A$$
:  $a_{03} = A_{03}$ ,  $v_{03} = A_{03}t$ ,  $s_{03} = A_{03}t^2/2$ ,  
dla  $t_A \le t \le t_B$ :  $a_{03} = 0$ ,  $v_{03} = V_{03}$ ,  $s_{03} = V_{03}t - t_A/2$ ,  
dla  $t_B \le t \le t_{03}$ :  $a_{03} = A_{03}$ ,  $v_{03} = A_{03}t - t_{03}$ ,  
 $s_{03} = S_{03} - 0, 5 A_{03}(t - t_{03})^2$ ,  
dla  $t \ge t_{03}$ :  $a_{03} = 0$ ,  $v_{03} = 0$ ,  $s_{03} = S_{03}$ 
(5)

Przemieszczenia kątowe w drugiej i trzeciej parze obrotowej wyznaczono jako funkcje przemieszczenia punktu Oz, przy założeniu  $0_1 = 0, y_{03} = 0, \text{ otrzymano:}$ 

$$0_{2} = \pm \arccos \left[ \frac{1}{2} - \frac{1}{3} - \frac{(z_{03} - \lambda_{1})^{2}}{x_{03}^{2}} + \frac{x_{03}^{2}}{21_{2}} \sqrt{x_{03}^{2} + \frac{(z_{03} - \lambda_{1})^{2}}{x_{03}^{2}} + \frac{1}{3} \operatorname{arctg}(z_{03} - \lambda_{1})^{2} \sqrt{x_{03}^{2}} + \frac{(z_{03} - \lambda_{1})^{2}}{x_{03}^{2}} + \frac{(z_{03} - \lambda_{1})^$$

przy czym z dwóch możliwych konfiguracji, odpowiadających znakom "+" lub "-", wybiera się te, która leży w dopuszczalnym konstruk-.

cyjnie zakresie kąta  $\Theta_1$ . Wektory prędkości i przyśpieszenia punktu  $\Theta_2$  rozłożono na kierunki osi x i z.

$$v_{03x} = \pm v_{03} \cos \alpha T, \quad v_{03z} = \pm v_{03} \sin \alpha T,$$

$$a_{03x} = \pm a_{03} \cos \alpha T, \quad a_{03z} = \pm a_{03} \sin \alpha T$$

$$(7)$$

przy czym znak "+" odnosi się do przypadku x<sub>O3k</sub> x<sub>O3p</sub>.

Prędkości i przyśpieszenia kątowe  $\theta_i$  i  $\theta_i$  (i=2, 3), odpowiadające zadanym v<sub>03</sub> i a<sub>03</sub>, wyznaczono wg wżorów

$$\begin{split} \hat{\theta}_{2} &= \left[ v_{03x} \cos(\theta_{2} + \theta_{3}) + v_{03z} \sin(\theta_{2} + \theta_{3}) \right] / \left[ b_{2} \cos(\theta_{2} + \theta_{3}) - b_{1} \sin(\theta_{2} + \theta_{3}) \right] \\ \hat{\theta}_{3} &= \left( v_{03x} b_{1} + v_{03z} b_{2} \right) / 1_{3} \left[ b_{1} \sin(\theta_{2} + \theta_{3}) - b_{2} \cos(\theta_{2} + \theta_{3}) \right], \\ \hat{\theta}_{2} &= \left[ \left( \hat{\theta}_{2} + \hat{\theta}_{3} \right)^{2} 1_{3} + \hat{\theta}_{2}^{-2} 1_{2} \cos(\theta_{2} + \theta_{3}) - a_{03x} \cos(\theta_{2} + \theta_{3}) - a_{03x} \cos(\theta_{2} + \theta_{3}) - a_{03x} \sin(\theta_{2} + \theta_{3}) \right] / 1_{2} \sin\theta_{3}, \end{split}$$

$$\hat{\theta}_{3} &= \left[ a_{03x} b_{1} + a_{03z} b_{2} - \hat{\theta}_{2}^{-2} 1_{2} (1_{2} + 1_{3} \cos\theta_{3}) - a_{03x} \cos(\theta_{3} + \theta_{3}) \right] / 1_{2} 1_{3} \sin\theta_{3}, \end{split}$$

$$\end{split}$$

$$(8)$$

gdzie:

 $b_1 = l_3 \cos(\theta_2 + \theta_3) + l_2 \cos\theta_2$ ,  $b_2 = l_3 \sin(\theta_2 + \theta_3) + l_2 \sin\theta_2$ .

Przebiegi przemieszczeń, prędkości i przyśpieszeń kątowych w pozostałych trzech parach obrotowych i = 1, 4, 5 wyznaczono wg wzorów:  $\hat{dla} t_{ip}^{\prime} t + t_{iA}^{\prime} : \hat{\theta}_{i} = \hat{\theta}_{iA}^{\prime} = \text{const.}, \hat{\theta}_{i} = \hat{\theta}_{iA}^{\prime} t, \quad \theta_{i} = 0,5 \hat{\theta}_{iA}^{\prime} t^{2} + \theta_{ip}^{\prime},$ dla  $t_{iA}^{\prime}$  t  $t_{iB}^{\prime}$ :  $\ddot{\theta}_i = 0$ ,  $\dot{\theta}_i = \dot{\theta}_{iA} = \ddot{\theta}_{iA} t_{iA}$ ,  $\theta_i = \theta_{iA} (t-0,5t_{iA}) + \theta_{iP}$ dla  $t_{iB}^{4} t 4 t_{03}^{2}$ :  $\theta_i = -\theta_{iA}, \theta_i = -\theta_{iA}(t - t_{03}),$ (9)  $\theta_{i} = \dot{\theta}_{iA} (t - 0, 5t_{A}) - 0, 5 \ddot{\theta}_{iA} (t \neq t_{A} - t_{03})^{2} + \theta_{iP}$ 

#### J. Knapczyk, A. Stępniewski

Danymi wejściowymi do obliczeń są wartości początkowego i końcowego przemieszczenia kątowego oraz czas rozpoczęcia ruchu.

Rozpatrzono trzy przykłady ruchu manipulatora: a-ruch pionowy z góry do dołu, b-ruch poziomy od prawej do lewej, c-ruch ukośny z dołu do góry i od lewej do prawej. Dane wejściowe do obliczeń zestawiono w tablicy 1.

	T:	1de	1	C	5	1
-	-			~	1	- 1

	х <sub>03р</sub>	x <sub>03k</sub>	<sup>2</sup> 03p	<sup>z</sup> o3k	V03	01p	0 <sub>1k</sub>	04p	e4k	a <sub>5p</sub>	0 <sub>5k</sub>	
a	1,28	1,28	1,75	0,50	1,1	-100	10	-110	30	-25	60	1
b	1,85	0,99	1,215	1,215	0,6	40	-50	0	-120	45	-30	ł
C	1,00	1,60	0,65	1,65	1,8	30	-30	-10	-130	50	-20	
	m	m	m	m	m/s	deg	deg	deg	deg	deg	deg	1

Współrzydne wektorów położeń punktów 0. i=1, 2, ...5, leżących na osiach poszczególnych par obrotowych, wyznaczono wg wzorów:

XO1ª	l <sub>1</sub> cosθ <sub>1</sub> ,	x <sub>02</sub> = a <sub>1</sub> cose	91,	×03 <sup>∞</sup>	x <sub>04</sub> =	azcose1 ,	
y <sub>01</sub> =	l <sub>1</sub> sin0 <sub>1</sub> ,	y <sub>02</sub> = a1sine	91 1	y <sub>03</sub> =	y <sub>04</sub> =	azsin0,	
<sup>z</sup> 01 <sup>=</sup>	λ1,	z <sub>02</sub> = a <sub>2</sub> ,		<sup>2</sup> 03 <sup>=</sup>	z <sub>04</sub> =	$a_2 - l_3 \sin(\theta_2 + \theta_3)$	),
×05	x03- 25000	$\sin(\theta_2 + \theta_3 + \theta_2)$	<sup>+</sup> ) <sup>•</sup>			(	(01
y <sub>05</sub> =	y03- 25sin01	$\sin(\theta_2 + \theta_3 + \theta_3)$	94),			(	10/
Z05=	203- 25cos (0	$+\theta_3+\theta_4)$					

Obliczone wg wzorów  $(5) \div (9)$  przebiegi przemieszczeń, prędkości i przyśpieszeń katowych w poszczególnych parach obrotowych przedstawiono w postaci wykresów czasowych na rys.4a, b, c. Natomiast wartości współrzędnych wektorów położeń punktów 0. wyznaczone wg wzorów (10), wykorzystano w programie graficznym.

### 3. Analiza dynamiczna

W celu wyznaczenia współczynników równań Lagrange'a wyprowadzono zależności na energie kinetyczne i potencjalne oraz ich pochodne: 6

$$E_{k} = \sum_{i=1}^{n} (E_{ki} + E_{kni}) + E_{ko} , \qquad (11)$$

gdzie: E<sub>ki</sub>- energia kinetyczna i-tego członu, E<sub>kni</sub>- energia kinetyczna wirników silników i przekładni śrubow. zredukowana do osi napędu, E<sub>ko</sub>- energia kinetyczna obiektu manipulowanego.

$$\mathbf{E}_{ki} = \frac{1}{2} \sum_{i=1}^{\infty} \left( \mathbf{m}_{i} \mathbf{v}_{Si}^{\mathrm{T}} \cdot \mathbf{v}_{Si} + \boldsymbol{\omega}_{1i}^{\mathrm{T}} \mathbf{J}_{Si} \boldsymbol{\omega}_{1i} \right)$$
(12)

gdzie:  $m_i$ - masa członu,  $v_{Si}$ - prędkość środka masy członu,  $O_{ii}$ wektor prędkości kątowej członu "i" w układzie z nim związanym, J<sub>Si</sub>- tensor bezwładności członu w układzie współrzędnych, którego początek leży w środku masy członu, a osie są równoległe do odpowiednich osi układu związanego z członem.

$$s_{i} = (2_{1}T_{1i} + T_{11}Q_{2}T_{2i} + \cdots + T_{1i-1}Q_{i}T_{ii})r_{Sii}$$
(13)

$$\omega_{ii} = T_{1i}(\omega_1 + T_{11}\omega_{21} + \cdots + T_{1i-1}\omega_{ii-1})$$
(14)

$$\mathbf{F}_{1i} = \mathbf{A}_1 \mathbf{A}_2 \cdots \mathbf{A}_i ,$$

$$\mathcal{D}_{\mathbf{i}\mathbf{i}-\mathbf{1}} = \begin{bmatrix} 0 & 0 & \mathbf{0}_{\mathbf{i}} & 0 \end{bmatrix}^{\mathrm{T}}$$

## Modelowanie ruchu manipulatora...

gdzie: Q,-macierz operatora różniczkowania, A,-macierz przekształcenia jednorodnego układu związanego z członem "i" do układu 1-1, ress- wektor położenia środka masy w układzie współrzędnych związaným z tym członem.

$$E_{kni} = \frac{1}{2} \sum_{i=1}^{2} J_{ri} \theta_{i}^{2} + \frac{1}{2} k J_{s} \left[ (\theta_{2} / \sin \ell)^{2} + (\theta_{6} / \sin \ell)^{2} \right]$$
(15)

gdzie: J - zredukowany do osi obrotu członu moment bezwładności wirników, wałów napędowych i wirujących elementów reduktorów, J - zredukowany do osi obrotu członu moment bezwładności śruby na-s pędowej.

 $k = (2\pi l_6/h)^2$ , gdzie: h- skok gwintu śruby napędowej

 $\mathcal{E} = \pi + \theta_{0} - \arctan\left(r_{0} + 1_{0} \sin \theta_{0}\right) / \left(r_{1} + 1_{0} \cos \theta_{0}\right),$ 

 $l = \pi/2 + \theta_6 - \arctan(r_2 - l_6 \cos \theta_6)/(r_1 + l_6 \sin \theta_6), \quad \theta_6 = \theta_2 + \theta_3$ gdzie: r,, r, 15- wymiary związane z geometrią mocowania śrub napędowych.

Energia kinetyczna obiektu manipulowanego została określona łą-cznie z energią kinetyczną członu piątego. Przyjęto, że obiektem manipulowanym jest walec stalowy o masie m.

Energia potencjalna:

$$E_{p} = \sum_{i=1}^{D} \pi_{i}g \left(T_{1i}r_{Sii}\right)_{z} + \frac{1}{2} pf^{2}, \qquad (16)$$

gdzie: p- sztywność sprężynowego układu odciążającego, f- odkształcenie sprężyny:

$$f = \sqrt{(r_1 + l_6 \cos \theta_2)^2 + (r_2 + l_6 \sin \theta_2)^2}$$
(17)  
Równania Lagrange'a II rodzaju dla rozpatrywanego układu będą:  

$$\frac{d}{dt} \frac{\partial E_k}{\partial \theta_i} + \frac{\partial E_k}{\partial \theta_i} = M_i$$
(18)

Stąd, po wykonaniu odpowiednich działań, otrzymano układ pięciu równań, które w zapisie macierzowym mają postać:

$$\begin{bmatrix} b_{1jk} \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} \hat{\theta}_{i} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} b_{2jk} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \hat{\theta}_{i}^{2} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} b_{3jk} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \hat{\theta}_{1} & \hat{\theta}_{i+1} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} b_{4jk} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \hat{\theta}_{2} & \hat{\theta}_{i+2} \end{bmatrix} + \\ + \begin{bmatrix} b_{5jk} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \hat{\theta}_{3} & \hat{\theta}_{i+3} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} b_{6jk} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \hat{\theta}_{4} & \hat{\theta}_{5} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} w_{i} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} M_{i} \end{bmatrix}$$
(19)

gdzie:b<sub>ijk</sub> oraz w<sub>i</sub> - zmienne zależne od pokożenia i geometrii mas.

Martości momentów obiążających silniki napędowe oraz wartości prędkości katowych w parach obrotowych napędzanych przez przekładnie falowe obliczono wg wzorów:

$$M_{ni} = N_i / u , \quad \omega_{ni} = \Theta_i u , \qquad (20)$$

zdzie: u - przełożenie przekładni falowej.

$$M_{ni} = 0,5d_{s}tg(\alpha \pm g')M_{i} / l_{6}sin \lambda, \xi,$$
 (21)

$$\omega_{1} = 2\pi \theta_{1} l_{5} / h \sin \xi_{5} \ell_{5}$$

gdzie: d\_ - średnica podziałowa gwintu śruby napędowej, g'- pozorny

współczynnik tarcia w rowku tocznym. Zależności ω<sub>ni</sub> (M<sub>ni</sub>)są przedstawiane w postaci charakterystyki mechanicznej.









#### Modelowanie ruchu manipulatora...

M przypadku. gdy wyznaczony wg wzorów (20) lub (21) punkt charakterystyki znajdzie się poza obszarem pracy silnika, wtedy trzeba uwzględnić odpowiednie ograniczenia, np. ograniczenie maksymalnego przyśpieszenia kątowego w parze obrotowej lub ograniczenie zakładanej stałej prędkości punktu końca górnego ramienia manipulatora.

Na rys.3 przedstawiono schemat blokowy programu obliczeń komputerowych związanych z modelowaniem przebiegów czasowych wartości prędkości i przyśpieszeń kątowych w parach obrotowych oraz momen tów obciążeń. Przykładowe obliczenia wykonano dla robota IRb-60, przyjmując dane, które zestawiono w tablicy 2.

Т	а	b1	ica	2
	_			

i	1	2	3	4	5	6	
θ <sub>i min</sub>	-165	-110	45	-165	-180		deg
e. max	165	-40	155	30	180	-	deg
θ <sub>i max</sub>	1,57	-	N.	1,57	2,62		1/s
x <sub>Si</sub>	-0,125	-0,56	-0,708	0	0	-0,17	· In
y <sub>Si</sub>	0,301	-0,05	0	0	0	0	m
z <sub>S1</sub>	0	0	0	0,041	-0,3/(3+m	0(	m
n,	282	220	30	18	3+m	143	kg
Jri	19,45	27,45	0,634	0,236	x	1,11	kgm <sup>2</sup>
Jvi	32,59	23,01	7,00	0,187	x	7,24	kgm <sup>2</sup>
Jzi	14,04	35,46	6,53	0,152	x	7,11	kgm <sup>2</sup>
Jri	21		-	25	25		kgm <sup>2</sup>

przy czym x - oznacza wartości momentów bezwładności obliczane wg wzorów:

 $J_{x5}^{*} J_{y5}^{*} m_{p} (r_{p}^{2}/2 + z_{s}^{2}) + m_{5} \left[ (3r_{c}^{2} + h_{c}^{2})/12 + (a + z_{s})^{2} \right],$   $J_{z5}^{*} \frac{1}{2} (m_{p}r_{p}^{2} + m_{5}r_{c}^{2}), \quad z_{s}^{*} - m_{5}d_{c}/(m_{5}^{*} + m_{p}),$ (22)

gdzie: z<sub>2</sub>- współrzędna środka masy piątego członu wraz z obiektem określona w układzie x<sub>5</sub>y<sub>5</sub>z<sub>5</sub>, r<sub>c</sub>, d<sub>c</sub>, h<sub>c</sub>- wymiary dotyczące chwytaka.

Myniki obliczeń przedstawiono na rys.4 w postaci wykresów przebiegów czasowych przemieszczeń, prędkości i przyśpieszeń kątowych w poszczególnych parach obrotowych oraz na rys.5 w postaci wykresów przebiegów czasowych momentów obciążeń bezwładnościowych, zredukowanych do osi odpowiednich par obrotowych.

dukowanych do osi odpowiednich par obrotowych. Obliczenia wykonano dla trzech przypadków ruchu manipulatora: a/ ruch pionowy z góry do dołu, b/ ruch poziomy, c/ ruch ukośny punktu 05 końca górnego ramienia. Przyjęto następujące dane:

0/	S <sub>03</sub> =1,25 m,	$V_{03}=1,1$	m/s,	A03=0,9876	m/s <sup>2</sup> ,	t <sub>03</sub> =2,25	s,	t <sub>in</sub> =1,97s
b/	S <sub>03</sub> =0,86 m,	V03=0,6	m/s,	A03=0,8762	$m/s^2$ ,	t03=2,12	s,	t <sub>n</sub> =1,75s
c/	S <sub>03</sub> =1,166m,	V <sub>03</sub> =1,5	m/s,	A <sub>03</sub> =3,7587	$m/s^2$ ,	t <sub>03</sub> =1,17	s,	t_=1,16s

W tablicy 3 zestawiono wyniki obliczeń ekstremalnych wartości przemieszczeń, prędkości i przyśpieszeń kątowych oraz momentów obciążeń wyznaczonych dla poszczególnych par obrotowych robota IRb-60 w przypadku, gdy punkt Oz-koniec górnego ramienia wykonuje ruch ukośny wg danych c/.

- the second and	Ta	bl	ica	3
------------------	----	----	-----	---

i		1	2	3	4	5	
Θ,	min	-20	-83	60	-100	-20	deg
0.	Tartu	10	-66	130	0	20	deg
Θ.	min	-0,9351	-1,9877	0,	-1,5700	-1,6622	1/s
Q.	man	0	0	0,8128	0	0	1/s
ë,	mdx	-1,7000	-6,1084	-3,1079	-16,4000	-4,0000	1/s <sup>2</sup>
θ.	11111 most	1,7000	5,9123	3,0738	16,4000	4,0000	$1/s^{2}$
M.	man	-551	-1138	-1049	-689	-100	Nm
M.	max	722	767	856	432	100	Nm

4. Wnioski

Przedstawiona w pracy metoda modelowania ruchu manipulatora dla zadanej trajektorii ruchu chwytaka daje możliwość takiego doboru parametrów kinematycznych, które zapewniają realizację zadanego ruchu przy uwzględnieniu zdolności napędowych silników.

nego ruchu przy uwzględnieniu zdolności napędowych silników. Uzyskane wyniki obliczeń dla typowych zadań pracy manipulatora robota IRb-60 mogą być wykrzystane przy projektowaniu jego wykorzystania w procesie technologicznym. Mogą również służyć jako dane porównawcze przy analizie robotów o podobnej geometrii rozkładu mas.

#### LITERATURA

- Burdick J.W.; An Algorithm for Generation of Efficient Manipulator Dynamic Equation. Int.Conf. on Robotics, 1986, v.1, p. 212-218.
- [2] Craig J.J.: Introduction to Robotics: Manipulation and Control Addison-Weseley, Reading, Mass. 1986.
- [3] Kołowskij M.E., Słouszcz A.W.: Csnowy dinamiki promyszlennych robotow. Nauka, Moskwa 1988.
- [4] Rzymkowski C.: Wspomagane komputerowo modelowanie otwartych łańcuchów kinematycznych o sztywnych członach z napędami pneumatycznymi i hydraulicznymi. Rozprawa doktorska. Politechnika Warszawska 1987.
- [5] Dokumentacja techniczno-ruchowa manipulatorów IRb-6 i IRb-60. MERA-PIAP, Warszawa 1982.

MODELLING OF ASEA-TYPE MANIPULATOR MOTION FOR THE SPECIFIED END-EFFECTOR TRAJECTORY

Summary

A computer program is presented for calculation of joint displacements, velocities and accelerations and also torques required to drive ASEA-type manipulator on the specified trajectory of endeffector point. Dynamic analysis was performed by using Lagrange equations. A numerical examples are included.

МОДЕЛИРОВАНИЕ ДВИЖЕНИЯ МАНИПУЛАТОРА ТИПА АСЕА ДЛЯ ЗАДАННОИ ТРАЕКТОРИИ РАБОЧЕГО ОРГАНА

Резюме

В работе представлена компютерная программа вычислений перемещений скорости и ускорений в щарнирах манипулатора типа ACEA дла заданной траектории рабочего органа (захватного устройства). Уравниения Лагранжа иссползованны для определения движущих моментов.

Wpłyneło do Redakcji 12.I.1989 r.

Recenzent: dr inż. A. Nowak