Vladimír Bárdoš; Naďa Bárdošová

Použitie vektorového počtu na skúmanie kinematickej presnosti rovinných mechanizmov

Aplikace matematiky, Vol. 10 (1965), No. 4, 374–384

Persistent URL: http://dml.cz/dmlcz/102975

POUŽITIE VEKTOROVÉHO POČTU NA SKÚMANIE KINEMATICKEJ PRESNOSTI ROVINNÝCH MECHANIZMOV

VLADIMÍR BÁRDOŠ, NAĎA BÁRDOŠOVÁ

(Došlo dňa 18. marca 1964.)

Pri skúmaní presnosti rovinných mechanizmov je treba okrem chyby polohy alebo premiestnenia poznať aj chybu rýchlosti; na určenie chyby rýchlosti nestačí však poznať len chybu veľkosti rýchlosti, ale je treba určiť aj chybu smeru rýchlosti. V predkladanej stati je pomocou metód vektorového počtu vo všeobecnosti určená chyba smeru rýchlosti, ktorá vzniká v dôsledku prvotných chýb v štrukturálnych rozmeroch skúmaného rovinného mechanizmu, uvedený je príklad výpočtu konkrétneho príkladu a uvedené sú tiež smernice pre výpočet.

ÚVOD

Pri skúmaní presnosti skutočných rovinných mechanizmov je treba skúmať okrem chýb polôh a premiestnení [1], [2] aj chybu rýchlosti bodu rovinného mechanizmu alebo chybu rýchlosti bodu hnaného člena [3].

Kým pri skúmaní chýb polôh a premiestnení vystačí sa obyčajne zo skalármi, pri skúmaní chýb rýchlostí je treba uvážiť aj chybu smeru rýchlosti; túto chybu je možno vyjadriť veľmi uspokojivo použitím metód vektorového počtu, pričom chybu veľkosti rýchlosti je možno vyjadriť použitím geometrických charakteristík ideálnych rovinných mechanizmov [3], [5], [6].

Cieľom tohoto príspevku je určenie chyby smeru rýchlosti bodu skutočného rovinného mechanizmu [2], ktorý sa líši od príslušného ideálneho rovinného mechanizmu o prvotné chyby v štrukturálnych rozmeroch [3], tj. rozmeroch, ktoré vystupujú v kinematickej schéme skúmaného ideálneho rovinného mechanizmu a vystupujú teda aj vo funkcii polohy hnaného člena skúmaného ideálneho rovinného mechanizmu [3], [5], [6].

Ak nemajú nastať pri určovaní chyby smeru rýchlosti bodu rovinného mechanizmu v čase t nejasnosti a nedorozumenia, potrebné je chybu smeru rýchlosti bodu v čase t jednoznačne zaviesť definíciou.

Definícia. *Chybou smeru rýchlosti bodu skutočného rovinného mechanizmu v čase t nazýva sa uhol, ktorý zviera smer rýchlosti $\mathbf{v}_s$ bodu hnaného člena skutočného* *rovinného mechanizmu a smer rýchlosti* $\mathbf{v}$ *bodu hnaného člena príslušného ideálneho rovinného mechanizmu v čase t, za predpokladu, že parameter, určujúci polohu hnacieho člena skutočného rovinného mechanizmu je v čase t rovný parametru, ktorý určuje v tomto čase t polohu hnacieho člena príslušného ideálného rovinného mechanizmu, pričom* $\mathbf{v} \times \mathbf{v}_s \neq \mathbf{0}$.

V rámci tohoto príspevku sa predpokladá, že existujú len také prvotné chyby v štrukturálnych rozmeroch, ktoré nie sú závislé od času t.

VYJADRENIE ZÁKLADNÝCH HODNÔT

Nech je daný m-členný ideálny rovinný mechanizmus, ktorého rozmery členov, vzájomná poloha častí členov a poloha hnacieho člena vzhľadom na vsťažný ortogonálny pravotočivý súradnicový systém x, y s počiatkom v bode 0 a jednotkovými vektormi $\mathbf{i}$ a $\mathbf{j}$ na súradnicových osiach, pričom

$$\mathbf{i}^2 = 1\,, \quad \mathbf{j}^2 = 1\,,$$
$$\mathbf{i} \times \mathbf{j} = \mathbf{k}\,,$$
$$\mathbf{k}^2 = 1\,,$$

je definovaná parametrami q_i ($i = 1, 2, \ldots, n$), pričom polohu hnacieho člena definuje parameter q_1. Nakoľko sa vychádza z predpokladu, že uvažovaný ideálny rovinný mechanizmus má jeden hnací člen, tj. jeden stupeň voľnosti pohybu, je od času t závislý len parameter q_1.

Polohový vektor bodu A_l hnaného člena uvažovaného ideálneho rovinného mechanizmu vzhľadom na bod 0, tj. vzhľadom na počiatok ortogonálneho pravotočivého súradnicového systému x, y, v čase t je definovaný vektorovou funkciou

(1) $$\mathbf{r} = \mathbf{F}(q_i)\,, \quad i = 1, 2, \ldots, n\,.$$

Nakoľko je možno vektor v rovine vyjadriť pomocou kolmých priemetov do súradnicových ôs x, y ortogonálneho pravotočivého súradnicového systému, možno písať aj

(2) $$\mathbf{r} = \mathbf{i}(\mathbf{i} \,.\, \mathbf{r}) + \mathbf{j}(\mathbf{j} \,.\, \mathbf{r})\,,$$

kde vo všeobecnosti

(3) $$\mathbf{i} \,.\, \mathbf{r} = p_1(q_i)\,, \quad i = 1, 2, \ldots, n\,,$$

(4) $$\mathbf{j} \,.\, \mathbf{r} = p_2(q_i)\,, \quad i = 1, 2, \ldots, n\,,$$

teda po dosadení z rovníc (3) a (4) do rovnice (2) je

(5) $$\mathbf{r} = \mathbf{i}p_1(q_i) + \mathbf{j}p_2(q_i)\,, \quad i = 1, 2, \ldots, n\,.$$

Polohový vektor bodu A_l hnaného člena príslušného skutočného rovinného mechanizmu vzhľadom na bod 0, tj. vzhľadom na počiatok ortogonálneho pravotočivého súradnicového systému x, y v čase t, je potom definovaný vektorovou funkciou

$$\mathbf{r}_s = \mathbf{F}(q_{is}), \quad i = 1, 2, \ldots, n, \tag{6}$$

kde

$$q_{is} = q_i + \Delta q_i, \tag{7}$$

kde Δq_i – prvotná chyba v i-tom parametre,
s – index, ktorým sa označujú hodnoty, prislúchajúce skutočnému rovinnému mechanizmu.

Podobne ako vektor $\mathbf{r}$ aj vektor $\mathbf{r}_s$ daný rovnicou (6) možno vyjadriť v tvare

$$\mathbf{r}_s = \mathbf{i}(\mathbf{i} \cdot \mathbf{r}_s) + \mathbf{j}(\mathbf{j} \cdot \mathbf{r}_s), \tag{8}$$

kde (po uvážení rovnice (7))

$$\mathbf{i} \cdot \mathbf{r}_s = p_1(q_{is}) = p_1(q_i + \Delta q_i), \quad i = 1, 2, \ldots, n, \tag{9}$$

$$\mathbf{j} \cdot \mathbf{r}_s = p_2(q_{is}) = p_2(q_i + \Delta q_i), \quad i = 1, 2, \ldots, n. \tag{10}$$

Po dosadení z rovníc (9) a (10) do rovnice (8) bude

$$\mathbf{r}_s = \mathbf{i}\, p_1(q_i + \Delta q_i) + \mathbf{j}\, p_2(q_i + \Delta q_i), \quad i = 1, 2, \ldots, n.$$

Ak sa rozvynú funkcie $p_1(q_i + \Delta q_i)$ a $p_2(q_i + \Delta q_i)$ do Taylorovho radu, bude

$$\mathbf{r}_s = \mathbf{i}\left[p_1(q_i) + \sum_i \frac{\partial p_1(q_i)}{\partial q_i} \Delta q_i + \ldots + R_{n'}\right] + \\ + \mathbf{j}\left[p_2(q_i) + \sum_i \frac{\partial p_2(q_i)}{\partial q_i} \Delta q_i + \ldots + R_{n''}\right],$$

alebo po úprave s prihliadnutím k rovnici (5) bude

$$\mathbf{r}_s = \mathbf{r} + \mathbf{i}\left[\sum_i \frac{\partial p_1(q_i)}{\partial q_i} \Delta q_i + \ldots + R_{n'}\right] + \mathbf{j}\left[\sum_i \frac{\partial p_2(q_i)}{\partial q_i} \Delta q_i + \ldots + R_{n''}\right]. \tag{11}$$

Možno ale aj písať

$$\mathbf{r}_s = \mathbf{r} + \Delta \mathbf{r}; \tag{12}$$

z porovnania rovníc (11) a (12) plynie

$$\Delta \mathbf{r} = \mathbf{i}\left[\sum_i \frac{\partial p_1(q_i)}{\partial q_i} \Delta q_i + \ldots + R_{n'}\right] + \mathbf{j}\left[\sum_i \frac{\partial p_2(q_i)}{\partial q_i} \Delta q_i + \ldots + R_{n''}\right]. \tag{13}$$

Vektor $\Delta\boldsymbol{r}$ sa nazýva chybou polohového vektora bodu A_l hnaného člena v čase t, ktorá vznikla v dôsledku existencie prvotných chýb Δq_i v štrukturálnych rozmeroch.

Rovnica (11) resp. (12) umožní vyjadrenie chyby v smere rýchlosti bodu hnaného člena v čase t.

URČENIE CHYBY SMERU RÝCHLOSTI

Prvá derivácia vektora $\boldsymbol{r}_s$, ktorý je vyjadrený rovnicou (12), podľa času t v čase t bude

$$\frac{d\boldsymbol{r}_s}{dt} = \frac{d\boldsymbol{r}}{dt} + \frac{d}{dt}(\Delta\boldsymbol{r}), \tag{14}$$

kde

$$\frac{d\boldsymbol{r}_s}{dt} = \boldsymbol{v}_s, \tag{15}$$

kde $\boldsymbol{v}_s$ – rýchlosť bodu A_l hnaného člena skutočného rovinného mechanizmu v čase t

$$\frac{d\boldsymbol{r}}{dt} = \boldsymbol{v}, \tag{16}$$

kde $\boldsymbol{v}$ – rýchlosť bodu A_l hnaného člena príslušného ideálneho rovinného mechanizmu v čase t,

$$\frac{d}{dt}(\Delta\boldsymbol{r}) = \Delta\boldsymbol{v}, \tag{17}$$

kde $\Delta\boldsymbol{v}$ – chyba rýchlosti bodu A_l hnaného člena v čase t.

Po dosadení z rovníc (15), (16) a (17) do rovnice (14) bude

$$\boldsymbol{v}_s = \boldsymbol{v} + \Delta\boldsymbol{v}. \tag{18}$$

Vektory, dané rovnicami (15), (16) a (17), možno však písať aj v tvare

$$\boldsymbol{v}_s = \frac{d\boldsymbol{r}_s}{d\delta_s}\dot{\delta}_s, \tag{19}$$

$$\boldsymbol{v} = \frac{d\boldsymbol{r}}{d\delta}\dot{\delta}, \tag{20}$$

$$\Delta\boldsymbol{v} = \frac{d(\Delta\boldsymbol{r})}{d(\Delta\delta)}(\Delta\delta)^{\cdot}, \tag{21}$$

kde $\dot{\delta}_s$ – veľkosť rýchlosti bodu A_l hnaného členy skutočného rovinného mechanizmu v čase t,

$\delta^{\bullet}$ – veľkosť rýchlosti bodu A_l hnaného člena príslušného ideálneho rovinného mechanizmu v čase t,

$(\Delta\delta)^{\bullet}$ – chyba veľkosti rýchlosti bodu A_l hnaného člena v čase t;

potom je

$$\frac{\mathrm{d}\mathbf{r}_s}{\mathrm{d}\delta_s} = \mathbf{t}_s\,, \quad \mathbf{t}_s^2 = 1\,, \tag{22}$$

$$\frac{\mathrm{d}\mathbf{r}}{\mathrm{d}\delta} = \mathbf{t}\,, \quad \mathbf{t}^2 = 1\,, \tag{23}$$

$$\frac{\mathrm{d}(\Delta\mathbf{r})}{\mathrm{d}(\Delta\delta)} = \mathbf{t}_{\Delta v}\,, \quad \mathbf{t}_{\Delta v}^2 = 1\,, \tag{24}$$

kde $\mathbf{t}_s$ – jednotkový tangenciálny vektor, udávajúci smer a zmysel rýchlosti bodu A_l hnaného člena skutočného mechanizmu v čase t,

$\mathbf{t}$ – jednotkový tangenciálny vektor, udávajúci smer a zmysel rýchlosti bodu A_l hnaného člena príslušního ideálneho rovinného mechanizmu v čase t,

$\mathbf{t}_{\Delta v}$ – jednotkový vektor, udávajúci smer a zmysel vektora $\Delta\mathbf{v}$.

Po dosadení z rovníc (22), (23) a (24) do rovníc (19), (20) a (21) bude

$$\mathbf{v}_s = \mathbf{t}_s\delta_s^{\bullet}\,, \tag{25}$$

$$\mathbf{v} = \mathbf{t}\delta^{\bullet}\,, \tag{26}$$

$$\Delta\mathbf{v} = \mathbf{t}_{\Delta v}(\Delta\delta)^{\bullet}\,. \tag{27}$$

Po dosadení z rovníc (25), (26) a (27) do rovnice (18) bude

$$\mathbf{t}_s\delta_s^{\bullet} = \mathbf{t}\delta^{\bullet} + \mathbf{t}_{\Delta v}(\Delta\delta)^{\bullet}\,. \tag{28}$$

Z rovnice (28) úpravou bude

$$\mathbf{t}_{\Delta v} = \mathbf{t}_s\frac{\delta_s^{\bullet}}{(\Delta\delta)^{\bullet}} - \mathbf{t}\frac{\delta^{\bullet}}{(\Delta\delta)^{\bullet}}\,. \tag{29}$$

Nech je

$$\frac{\delta_s^{\bullet}}{(\Delta\delta)^{\bullet}} = \tau_s\,, \tag{30}$$

$$\frac{\delta^{\bullet}}{(\Delta\delta)^{\bullet}} = \tau\,, \tag{31}$$

kde τ_s a τ – bezrozmerné, v závislosti od času t sa meniace skaláre.

Po dosadení z rovníc (30) a (31) do rovnice (29) bude

$$\mathbf{t}_{\Delta v} = \mathbf{t}_s \tau_s - \mathbf{t}\tau \,. \tag{32}$$

Je

$$\mathbf{t}_{\Delta v}^2 = 1 = \mathbf{t}_{\Delta v} \,.\, \mathbf{t}_{\Delta v} \,,$$

teda

$$1 = (\mathbf{t}_s \tau_s - \mathbf{t}\tau) \,.\, (\mathbf{t}_s \tau_s - \mathbf{t}\tau) \,. \tag{33}$$

Po prevedení predpísanej operácie a po úprave z rovnice (33) bude

$$1 = \tau_s^2 + \tau^2 - 2\tau_s \tau \mathbf{t}_s \,.\, \mathbf{t} \,, \tag{34}$$

kde

$$\mathbf{t}_s \,.\, \mathbf{t} = \cos \Theta \,, \tag{35}$$

kde Θ – uhol, ktorý zvierajú rýchlosti bodu A_l hnaného člena skutočného a príslušného ideálneho rovinného mechanizmu v čase t, tj. rýchlosti $\mathbf{v}_s$ a $\mathbf{v}$. V súhlase s definíciou, uvedenou v úvode, je uhol Θ chybou smeru rýchlosti bodu A_l hnaného člena v čase t.

Po dosadení z rovnice (35) do rovnice (34) a po úprave bude

$$\cos \Theta = \frac{\tau_s^2 + \tau^2 - 1}{2\tau_s \tau} \,, \tag{36}$$

teda z rovnice (36) bude chyba smeru rýchlosti bodu A_l hnaného člena v čase t

$$\Theta = \arccos \frac{\tau_s^2 + \tau^2 - 1}{2\tau_s \tau} \,. \tag{37}$$

Z rovnice (37) vyplýva, že chybu smeru rýchlosti bodu hnaného člena možno určiť pomocou známych hodnôt veľkosti rýchlosti bodu hnaného člena skutočného a príslušného ideálneho rovinného mechanizmu v čase t, z ktorých hodnôt je možno určiť aj chybu veľkosti rýchlosti bodu hnaného člena v čase t. Pri určovaní týchto hodnôt je treba mať na zreteli predpoklady, ktoré boli urovbené v úvodnej časti tejto práce.

Na ilustráciu uvedeného všeobecného postupu možno použiť následovný príklad.

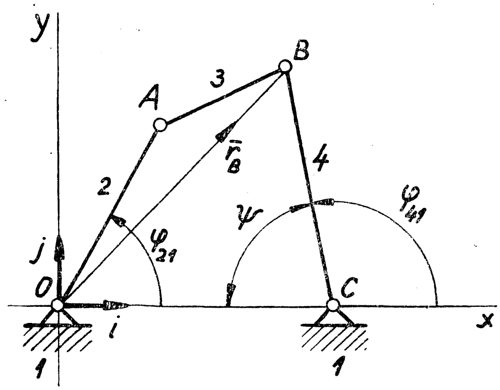
Treba určiť chybu smeru rýchlosti bodu B rovinného kĺbového štvoruholníka (obr. 1); štrukturálne rozmery príslušného ideálneho rovinného mechanizmu sú: $\overline{OA} = R = 3$ cm, $\overline{AB} = l = 2$ cm, $\overline{BC} = R_1 = 3{,}5$ cm, $\overline{OC} = b = 4$ cm. Po realizácii tohoto mechanizmu boli namerané takéto skutočné štrukturálne rozmery: $R_s = 3{,}07$ cm, $l_s = 2{,}08$ cm, $R_{1s} = 3{,}59$ cm, $b_s = 3{,}99$ cm; člen 2 je hnacím členom, člen 4 – hnaným. Člen 2 vykonáva vzhľadom na rám 1 rotačný pohyb, pričom v čase t je

$$\varphi_{21} = \frac{\pi}{3} t ;$$

v čase $t_0 = 0$ je $\varphi_{21} = 0$. Chyba smeru rýchlosti bodu B treba určiť v čase $t_1 = 1$ s.

Určia sa polohové vektory $\boldsymbol{r}_B$ a $\boldsymbol{r}_{Bs}$, pomocou ktorých sa určia hodnoty $\delta^{\cdot}$ a $\delta_s^{\cdot}$; sú:

(38)
$$\delta^{\cdot} = R_1 \psi^{\cdot} , \quad \delta_s^{\cdot} = R_{1s} \psi_s^{\cdot} ;$$



Obr. 1.

potom pomocou vektorov $\boldsymbol{r}_B$ a $\boldsymbol{r}_{Bs}$ určí sa $\Delta \boldsymbol{r}_B$; potom sa určí $(\Delta\delta)^{\cdot}$. Hodnoty uhlov ψ a ψ_s možno podľa [7] určiť zo vzťahu

$$\varphi_{41} = \pi - \arcsin \frac{A}{2\lambda_3 \lambda_4^2} ,$$

teda po prihliadnutí k obr. 1 bude

(39)
$$\psi = \arcsin \frac{A}{2\lambda_3 \lambda_4^2} ,$$

kde

(40)
$$A = \lambda_1 D \sin \varphi_{21} + (1 - \lambda_1 \cos \varphi_{21}) \sqrt{4\lambda_3^2 \lambda_4^2 - D^2} ,$$

(41)
$$\lambda_1 = R/b, \; \lambda_2 = l/b , \; \lambda_3 = R_1/b , \; \lambda_4 = (1 + \lambda_1^2 - 2\lambda_1 \cos \varphi_2)^{\frac{1}{2}} ,$$
$$D = \lambda_3^2 + \lambda_4^2 - \lambda_2^2 .$$

Po uvážení zadaných hodnôt a vzorcov (39) až (41) v čase t_1 bude

$$\sin\psi = 0{,}98082\,, \quad \cos\psi = 0{,}19491\,, \quad \dot\psi = -0{,}36892\ \mathrm{s}^{-1}\,,$$

$$\sin\psi_s = 0{,}98719\,, \quad \cos\psi_s = 0{,}15952\,, \quad \dot\psi_s = -0{,}26684\ \mathrm{s}^{-1}\,;$$

potom po uvážení rovníc (38) a vyššie uvedených hodnôt bude

$$\dot\delta = -1{,}29122\ \mathrm{cms}^{-1}\,, \quad \dot\delta_s = -1{,}25653\ \mathrm{cms}^{-1}\,, \quad (\Delta\delta)^{\cdot} = 0{,}05131\ \mathrm{cms}^{-1}\,;$$

potom podľa rovníc (30) a (31) bude

$$\tau = -25{,}16405\,, \quad \tau_s = -24{,}48807\,. \tag{42}$$

Po dosadení hodnôt z rovníc (42) do rovníce (36) a po vyčíslení bude

$$\cos\Theta = 0{,}99955\,.$$

O zmysle odklonu rýchlosti $\mathbf{v}_{Bs}$ od rýchlosti $\mathbf{v}_B$ možno rozhodnúť podľa znamienka vektorového súčinu rýchlostí $\mathbf{v}_B$ a $\mathbf{v}_{Bs}$; ak bude

$$\operatorname{sgn}(\mathbf{v}_B \times \mathbf{v}_{Bs}) = +\,,$$

potom sa rýchlosť $\mathbf{v}_{Bs}$ vychýlila od rýchlosti $\mathbf{v}_B$ v zmysle proti pohybu ručičiek hodinových; ak bude

$$\operatorname{sgn}(\mathbf{v}_B \times \mathbf{v}_{Bs}) = -\,,$$

potom sa rýchlosť $\mathbf{v}_{Bs}$ vychýlila od rýchlosti $\mathbf{v}_B$ v zmysle pohybu ručičiek hodinových; v našom prípade v čase t_1 je

$$\mathbf{v}_B = -(\mathbf{i}1{,}26645 + \mathbf{j}0{,}25167)\,,$$

$$\mathbf{v}_{Bs} = -(\mathbf{i}0{,}94569 + \mathbf{j}0{,}25562)\,;$$

potom v čase t_1 je

$$\operatorname{sgn}(\mathbf{v}_B \times \mathbf{v}_{Bs}) = +\,,$$

teda v čase t_1 sa rýchlosť $\mathbf{v}_{Bs}$ vychýlila od rýchlosti $\mathbf{v}_B$ v zmysle proti pohybu ručičiek hodinových.

Poznámky

a) Pomocou uhla Θ, ktorý je možno určiť na základe rovnice (37), možno určiť nielen chybu smeru rýchlosti bodu hnaného člena v čase t, ale aj chybu smeru zrýchlenia bodu hnaného člena v čase t, lebo, ako je známe z kinematiky, zrýchlenie bodu má dve zložky, a to tangenciálnu a normálovú, pričom smer tangenciálnej zložky zrýchlenia bodu je zhodný zo smerom rýchlosti uvažovaného bodu, teda ak poznáme chybu smeru rýchlosti bodu hnaného člena poznáme aj chybu smeru tangenciálnej zložky zrýchlenia uvažovaného bodu hnaného člena.

Taktiež je známe, že normálová zložka zrýchlenia bodu je kolmá na tangenciálnu zložku zrýchlenia uvažovaného bodu; ak je teda známa chyba smeru tangenciálnej zložky zrýchlenia bodu, známa je aj chyba smeru normálovej zložky zrýchlenia uvažovaného bodu v čase t.

b) Podľa rovníc (30) a (31) bude

$$\tau_s = \frac{\delta_s^{\cdot}}{(\Delta\delta)^{\cdot}}, \tag{30}$$

$$\tau = \frac{\delta^{\cdot}}{(\Delta\delta)^{\cdot}}, \tag{31}$$

kde podľa [4], [5] a [6] určuje sa poloha bodu skutočného rovinného mechanizmu pomocou hodnoty δ_s, kde

$$\delta_s = \delta + \Delta\delta', \tag{a}$$

kde δ_s — funkcia polohy bodu skutočného rovinného mechanizmu,
δ — funkcia polohy bodu príslušného ideálneho rovinného mechanizmu,
$\Delta\delta'$ — chyba polohy bodu.

Hodnota $\Delta\delta'$ sa vo všeobecnosti môže líšiť od hodnoty $\Delta\delta$, ktorá vystupuje v rovnici (21) a ďalších rovniciach, lebo

$$\Delta\delta' = \sum_i \frac{\partial\delta}{\partial q_i} \Delta q_i, \tag{b}$$

kde podľa predpokladu urobeného v úvode $i = 2, 3, \ldots, n$.

Prvá derivácia rovnice (a) podľa času t v čase t bude

$$\delta_s^{\cdot} = \delta^{\cdot} + (\Delta\delta')^{\cdot}. \tag{c}$$

Po dosadení z rovnice (c) do rovnice (30) bude

$$\tau_s = \frac{\delta^{\cdot} + (\Delta\delta')^{\cdot}}{(\Delta\delta)^{\cdot}} = \frac{\delta^{\cdot}}{(\Delta\delta)^{\cdot}} + \frac{(\Delta\delta')^{\cdot}}{(\Delta\delta)^{\cdot}},$$

teda po prihliadnutí k rovnici (31) bude

$$\tau_s = \tau + \Delta\tau, \tag{d}$$

kde

$$\Delta\tau = \frac{(\Delta\delta')^{\cdot}}{(\Delta\delta)^{\cdot}}. \tag{e}$$

Po dosadení z rovnice (d) do rovnice (31) a po úprave bude

$$\cos\Theta = 1 + \frac{\Delta\tau - 1}{2\tau}. \tag{f}$$

Z rovnice (f) plynie, že ak

$$\Theta \neq 0,$$

musí byť

$$\Delta\tau < 1,$$

čo znamená, že

$$\Delta\delta' \neq \Delta\delta\,,$$

lebo ak by

$$\Delta\delta' = \Delta\delta\,,$$

bolo by

$$\Delta\tau = 1\,,$$

a potom

$$\Theta = 2k\pi\,, \quad k = 0, 1, 2, \ldots.$$

Z vyššie uvedeného plynie, že pri určovaní hodnoty $\Delta\delta$, ktorá sa rovná veľkosti $\Delta \mathbf{r}$, treba uvážiť v Taylorovom rade aspoň aj tretí člen.

ZÁVER

V úvode vytýčená úloha, tj. určenie chyby smeru rýchlosti bodu A_l, bola prevedená lebo na základe rovnice (37) možno túto chybu určiť. Na ilustráciu všeobecného postupu bol potom prevedený výpočet konkrétneho prípadu. V poznámke sú uvedené smernice pre vyčíslovanie.

Literatúra

[1] *Н. Г. Бруевич:* Точность механизмов. ОГИЗ, 1946.

[2] *V. Bárdoš:* Vývoj a súčasný stav skúmania presnosti mechanizmov. Strojírenství, sv. 13, č. 11, tiež Zborník vedeckých prác Strojníckej fakulty, č. 2, 1962.

[3] *V. Bárdoš:* Citlivosť rovinných mechanizmov na chyby v rozmeroch jeho členov. Zborník vedeckých prác Strojníckej fakulty SVŠT, č. 3, 1963.

[4] *V. Bárdoš:* Citlivosť rovinných mechanizmov, Výskumná zpráva.

[5] *V. Bárdoš:* Grafická ,graficko-početná a početná metóda na určovanie prvej prevodovej funkcie rovinných mechanizmov. Strojnícky časopis SAV, r. XIII, č. 3, 1962.

[6] *V. Bárdoš:* Geometrické charakteristiky rovinných mechanizmov a ich kinematický zmysel. Strojnícky časopis SAV, r. XII, č. 6, 1961.

[7] *V. Bárdoš:* Príspevok k skúmaniu geometrickej a kinematickej presnosti rovinných mechanizmov. Kandidátska dizertačná práca, 1962.

[8] *B. Bárdoš:* Geometrické charakteristiky rovinného kĺbového štvoruholníka. Strojnícky časopis SAV, r. XVI, 1965.

Резюме

ПРИМЕНЕНИЕ ВЕКТОРНОГО ИСЧИСЛЕНИЯ ПРИ ИССЛЕДОВАНИИ КИНЕМАТИЧЕСКОЙ ТОЧНОСТИ ПЛОСКИХ МЕХАНИЗМОВ

ВЛАДИМИР БАРДОШ, НАДЯ БАРДОШОВА (Vladimír Bárdoš, Naďa Bárdošová)

В статье при помощи методов векторного исчисления выведена формула, которая позволяет вычислить ошибку направления скорости точки ведомого свена исследуемого плоского механизма во времени t; выведенный общий метод потом применен для вычисления ошибки направления скорости плоского шарнирного четырехзвеника в определенном времени t_1. В заметке имеются указания, которые надо учитывать ради избежания ошибок при вычислении.

Zusammenfassung

ANWENDUNG DER VEKTORRECHNUNG ZUR BESTIMMUNG DER KINEMATISCHEN GENAUIGKEIT EBENER MECHANISMEN

VLADIMÍR BÁRDOŠ, NAĎA BÁRDOŠOVÁ

Im Beitrag wird mittels Vektorrechnung die Formel bestimmt, die es ermöglicht den Fehler der Geschwindigkeitsrichtung eines Punktes des getriebenen Gliedes, das dem geprüften ebenen Mechanismus gehört, in der Zeit t auszurechnen; der abgeleitete allgemeine Vorgang ist dann für die Berechnung des Fehlers der Geschwindigkeitsrichtung des Punktes des ebenen Gelenkvierecks in bestimmter Zeit t_1 anwendbar. In den Anmerkungen werden Richtlinien angeführt, die einzuhalten sind um Fehler bei der Berechnung zu vermeiden.

Adresa autorů: Inž. *Vladimír Bárdoš* C.Sc., *Naďa Bárdošová*, Strojnícka fakulta SVŠT, Gottwaldovo nám. 50, Bratislava.