



LINIJINIŲ POSLINKIŲ ĮTAISŲ SU ŽINGSNINIAIS VARIKLIAIS TYRIMAS

Dmitrij KOMISSAROV¹, Artūras KILIKIČIUS², Artur PIŠČALOV³

Vilniaus Gedimino technikos universitetas, Vilnius, Lietuva

El. paštas: ¹dmitrij.komissarov@vgtu.lt; ²arturas.kilikevicius@vgtu.lt; ³artur.piscalov@vgtu.lt

Santrauka. Siekiant užtikrinti linijinių poslinkių įtaisų tikslumą, buvo atlikti linijinio poslinkio įtaiso su žingsniniu varikliu teoriniai ir eksperimentiniai dinamikos tyrimai. Buvo nustatytas judamosios platformos virpesių lygis priklausomai nuo darbo režimų (skirtingų greičių) ir mazge naudojamo tepalo. Tepalai skiriasi savo klampumu. Šis parametras turi įtakos įtaiso judėjimo sklandumui ir virpesių lygiui mazge.

Reikšminiai žodžiai: žingsninis variklis, virpesiai, pozicionavimas, linijinio poslinkio įtaisas.

Įvadas

Kiekvienas eksperimentas (skaičiavimų ar matavimų) reikalauja kuo didesnio tikslumo. Atliekant eksperimentus jau seniai naudojami linijinio poslinkio įtaisai, kurie suteikia galimybę pozicionuoti objektą tam tikru tikslumu. Šiame darbe nagrinėjamas pozicionavimo įtaisas 8MT175-100 (gamintojas UAB „Standa“). Jis gali būti panaudotas norint tiksliai pozicionuoti lazerio galvutę, fotografuoti, skenuoti objektą, pozicionuoti veidrodžius ir lęšius bei atlikti įvairius matavimus.

Šio darbo tikslas – išsiaiškinti, su koku tepalu ir koku darbo režimu veikdamas šis linijinis įtaisas gali pasiekti pačius geriausias darbo parametrus, t. y. mažiausią virpesių lygį. Nuo virpesių lygio priklauso įtaiso veikimo trukmė, kai jis rodo nustatytus veikimo parametrus, nes padidėjęs virpesių lygis pagreitina guolių, movos, sraigtinės pavaros ir kreipiklių dilimą. Kiekvienas tepalas turi savo klampumo rodiklį, darantį įtaką sistemos virpesių lygiui: kuo klampumas didesnis, tuo didesnis slopinimo koeficientas, tuo mažiau virpesių ir mažesnis triukšmo lygis veikiant sistemai. Straipsnyje nagrinėjami tokie tepalai: *Loctite 8103* ir *Braycote 601EF*. Pirmo tepalo klampumas mažesnis negu antro. Antras tepalas skirtas naudoti vakuume.

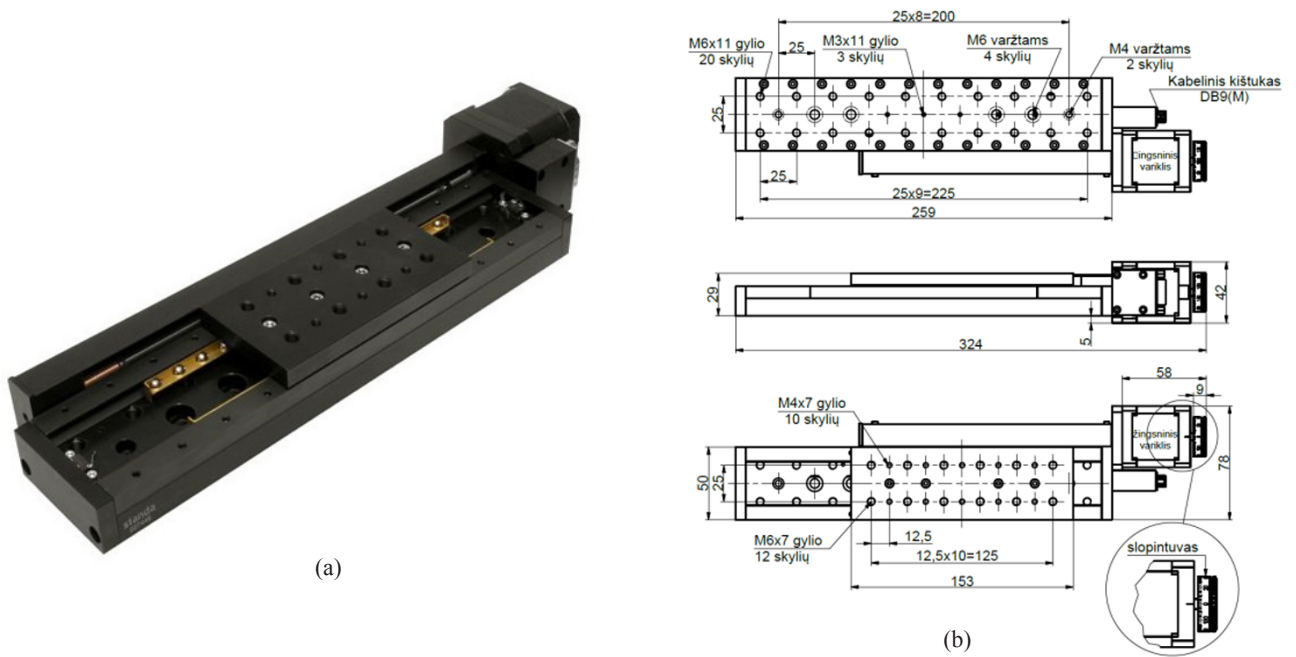
Atlikus literatūros apžvalgą matyti, kad dažniausiai nagrinėjami pozicionavimo įrenginiai, esantys CNC staklėse (Ching *et al.* 2010; Colby *et al.* 1996; Hung 2009). Jų konstrukcija analogiška šiame darbe tyriamam linijinio poslinkio įtaisui. Tyrimai atlikti su kreipikliais, turėjusiais išankstinę apkrovą (Mi *et al.* 2012; Rubio, Jauregui 2011). Darbai yra aktualūs, nes CNC staklėse naudojamus kreipik-

lius ir visus kitus konstrukcijos elementus sudaro skirtingi elementai, sujungiami tarpusavyje varžtais. Linijiniams poslinkio elementams naudojami kreipikliai su kariatėlėmis, kurios dažniausiai turi griovelius su rutuliukais. Šios jungtys turi tarpus ir elementai gali per juos judėti, o tai gerokai sumažina jungties ir visos sistemos standumą. Mažas standumas gali sumažinti jungties naudojimo trukmę, tikslumą ir patikimumą. Norint sumažinti tokius poveikius, linijiniams rutuliniams kreipikliams suteikiama išankstinė apkrova.

Darbe nustatytas virpesių lygis priklausomai nuo variklio žingsnio. Pozicionavimo sistema buvo tyrinėta be apkrovos, esant skirtingiems greičiams ir žingsnio režimams, bei su skirtingomis apkrovomis.

Tiriamasis objektas ir matavimo stendas

Eksperimentas buvo atliktas naudojant 8MT175-100 linijinį poslinkio įtaisą (1 pav.). Jis buvo prisukamas prie optinio stalo. Techniniai įtaiso parametrai: sriegio žingsnis – 0,5 mm; viso žingsnio rezoliucija – 2,5 μm; didžiausias greitis – 10 mm/s; eiga – 100 mm; horizontalioji apkrova – 8 kg; vertikaloji apkrova – 3 kg; naudojamas žingsninis variklis – 4247. Žingsninis variklis ir mikrojungikliai buvo valdomi valdikliu 8SMC4-USB-B8-1 (gamintojas UAB „Standa“) taikant XILab programą. Įtaisas sujungiamas su valdikliu naudojant laidą su DB9(M) ir HDB15(M) jungtimis, o pats valdiklis – USB laidu su PC. Papildomai buvo panaudotas 36 V maitinimo blokas. Virpesių parametrams



1 pav. Motorizuoto linijinio poslinkio įtaisas 8MT175-100:

a – bendras motorizuoto įtaiso vaizdas; b – motorizuoto įtaiso ir tvirtinimo skylių matavimas

Fig. 1. Motorized linear stage 8MT175-100: a – motorized stage general view; b – location and dimensions of mounting holes

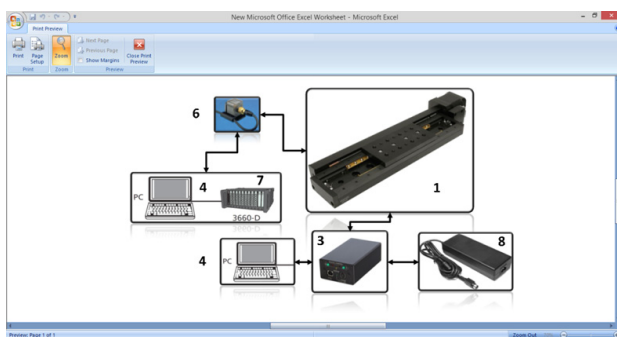
matuoti buvo naudotos Danijos firmos „Brüel & Kjær“ virpesių matavimo priemonės. 2 pav., a, pateiktas pozicionavimo staliuko dinaminis savybių tyrimo stendas, kuriame parodyta duomenų kaupimo ir apdorojimo įranga 3660D su kompiuteriu DELL, akcelerometras 4506. Virpesių matavimai buvo atliekami trimis kryptimis.

Tiriamąo objekto teoriniai tyrimai

8MT175-100 įtaiso dinaminis modelis parodytas 3 pav. Elementai k_1 , k_2 , k_3 , k_4 ir k_5 rodo sraigto, kurio standumo koeficientai yra skirtingi. $F(t)$ žadinimo jėga, kuri stumia

karietėlę (jos masė m), yra atstumu X . Dinaminio modelio elementas c_1 rodo veržlės 1 slopinimo koeficientą. Standumo koeficientas k_6 ir slopinimo koeficientas h_1 sudaro rutulinį guolį, kuris uždėtas sraigto gale.

Kaip galima matyti iš pagrindinių judamųjų elementų schemas, sistema veikia tokiu principu: žingsninis variklis generuoja sukamąjį momentą; sukamasis momentas per movą perduodamas sraigtui; sraigtas sukasi veržlės viduje (sudaro sraigtinę porą), taip jis konvertuoja sukamąjį judesį į veržlės slenkamąjį judesį; veržlę per jungiamąją pozicio-



(a)



(b)

2 pav. Matavimo ir motorizuoto linijinio poslinkio įtaiso valdymo schema (a) ir bendras eksperimentinio stendo vaizdas (b):

- 1 – motorizuotas linijinio poslinkio įtaisas 8MT175–100; 2 – pereinamoji plokštelė; 3 – 8SMC4–USB–B8–1 valdiklis; 4 – kompiuteris; 5 – optinis stalas; 6 – akcelerometras; 7 – duomenų kaupimo ir apdorojimo įranga 3660D; 8 – 36 V maitinimo blokas

Fig. 2. Measuring and motorized linear stage control scheme (a) and general view of test stand (b): 1 – Motorized linear stage 8MT175–100; 2 – Adapter; 3 – 8SMC4–USB–B8–1 controller; 4 – PC; 5 – Optical table; 6 – Accelerometer; 7 – Data storage and calculating equipment 3660D; 8 – 36 V power supply

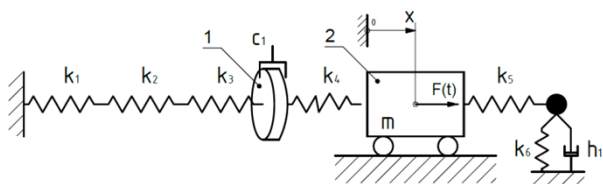
navimo dalį perduoda slenkamąjį judesį kariatėlei, kuri juda išilgai kreipiklių, padedama rutuliukų.

Taikant šį dinaminį modelį gauta Langranžo virpesių lygtis:

$$m\ddot{x} + h\dot{x} + kx = F(t), \quad (1)$$

čia m – kariatėlės masė; h – slopinimo koeficientas; k – standumo koeficientas; x – poslinkis; \dot{x} – greitis (pirmoji poslinkio išvestinė); \ddot{x} – pagreitis (antroji poslinkio išvestinė).

Naudojant *Matlab* programinį paketą atliktas tiriamosios sistemos modeliavimas pagal 3 pav. dinaminį modelį. Gauti laikiniai pagreičio (a) signalo ir dažninės amplitudinės charakteristikos (b) grafikai, kai pozicionavimo sistema sutepta *Loctite* 8103 ir *Braycote* 601EF bei kariatėlė juda 0,25 mm/s greičiu. Šie grafikai pavaizduoti 4 ir 5 pav.



3 pav. Tiriamojo objekto dinaminis modelis:
1 – veržlė; 2 – kariatėlė

Fig. 3. Dynamic model of analyzed object:
1 – nut; 2 – moving platform

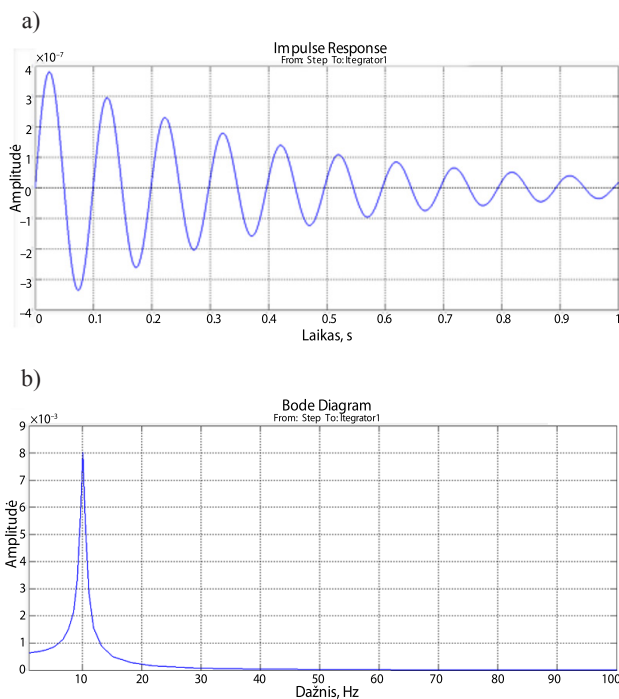
Vakuuminio tepalo *Braycote* 601EF atveju dažniai sutampa su *Loctite* 8103 tepalu, bet šių dažnių amplitudės smarkiai skiriasi. Kai greitis lygus 0,25 mm/s, didžiausia amplitudė yra 0,0161 m/s.

Tiriamąo objekto eksperimentiniai tyrimai

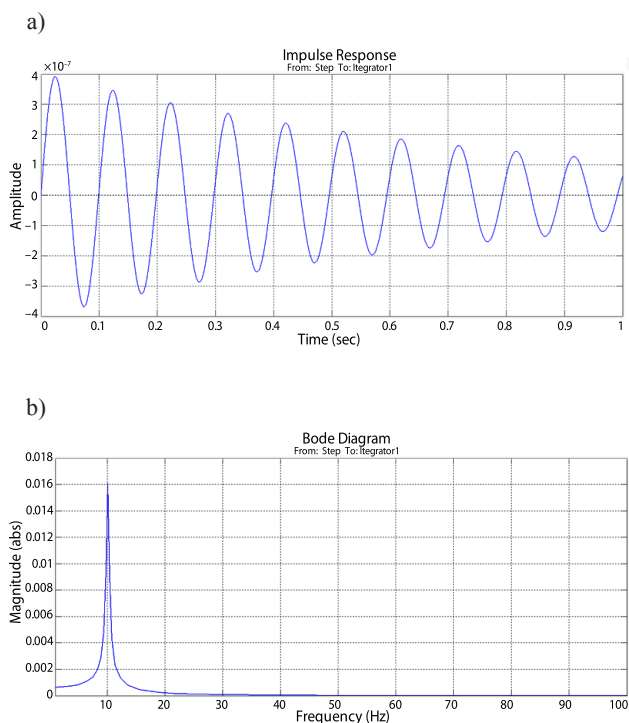
Eksperimento metu 8MT175-100 įtaisas judėjo 100, 500, 1000, 1500; 3000 ir 4000 žingsnių per sekundę greičiu, tai atitinkamai lygu 0,25, 1,25, 2,5, 3,75, 7,5 ir 10 mm/s. Bandymai buvo atlikti keletą kartų siekiant užtikrinti rezultatų patikimumą. Kaip minėta, kiekvienas darbo režimas buvo atliktas naudojant skirtingus tepalus (*Loctite* 8103 ir *Braycote* 601EF). Gauti eksperimentinių matavimų rezultatai pateikti 6 paveiksle.

Iš grafikų matyti (6 pav.), kad beveik visi pagrindiniai dažniai tam tikru darbo režimu sutampa, skiriasi tik jų amplitudės.

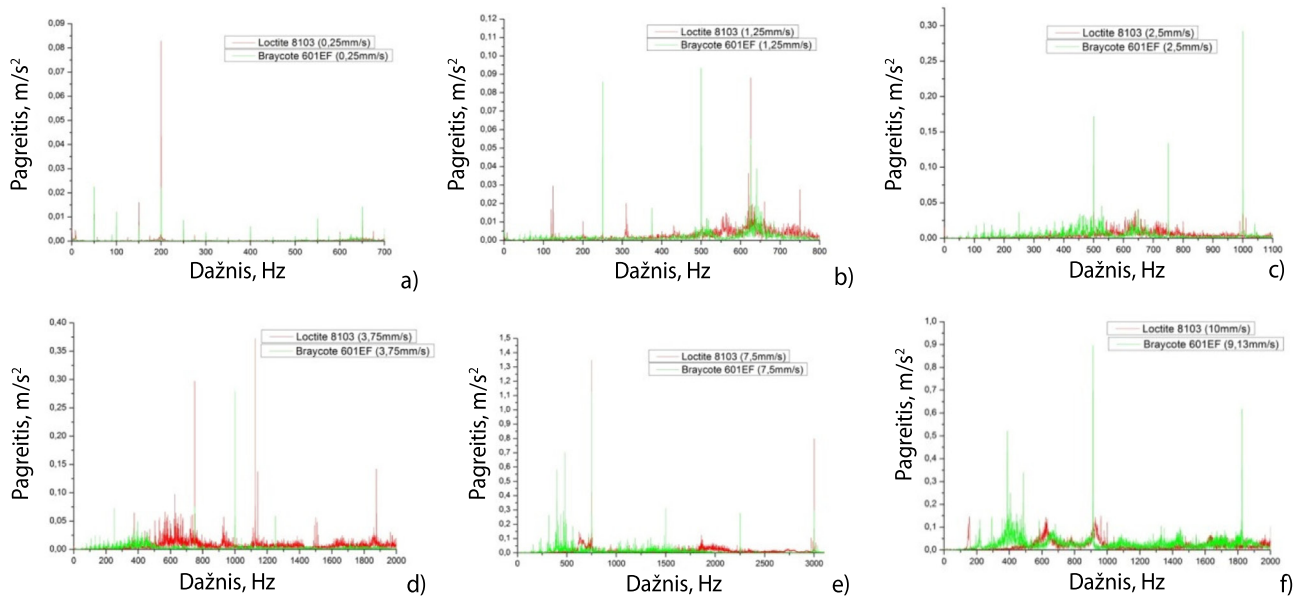
Pirmasis grafikas (6 pav., a) rodo, kad didžiausią amplitudę turi 200 Hz dažnis, bet naudojant *Loctite* 8103 tepalą amplitudė yra 0,089 m/s², o naudojant vakuuminį tepalą *Braycote* 601EF, esant tam pačiam dažniui, – tik 0,022 m/s². Kai greitis yra 1,25 mm/s (6 pav., b), jau yra



4 pav. Laikinio vibracinio pagreičio (a) signalo ir dažninės amplitudinės charakteristikos (b) grafikai, kai pozicionavimo sistema sutepta *Loctite* 8103 ir paleista 0,25 mm/s greičiu
Fig. 4. Vibration acceleration vs time (a) and amplitude-frequency (b) graphs, when the positioning system uses *Loctite* 8103 oil and speed is 0.25 mm/s



5 pav. Laikinio vibracinio pagreičio (a) signalo ir dažninės amplitudinės charakteristikos (b) grafikai, kai pozicionavimo sistema sutepta *Braycote* 601EF ir paleista 0,25 mm/s greičiu
Fig. 5. Vibration acceleration vs time (a) and amplitude-frequency (b) graphs, when the positioning system uses *Braycote* 601EF oil and speed is 0.25 mm/s



6 pav. Skirtingų darbo režimų ir naudotų tepalų mazge dažninės amplitudinės charakteristikos grafikai: a – 100 žingsnių/s (0,25 mm/s) darbo režimas; b – 500 žingsnių/s (1,25 mm/s) darbo režimas; c – 1000 žingsnių/s (2,5 mm/s) darbo režimas; d – 1500 žingsnių/s (3,75 mm/s) darbo režimas; e – 3000 žingsnių/s (7,5 mm/s) darbo režimas; f – 4000 žingsnių/s (10 mm/s) darbo režimas

Fig. 6. Graphs of frequency-amplitude characteristics during different operating modes and used lubricant in the system: a – operating mode 100 steps/s (0,25 mm/s); b – operating mode 500 steps/s (1,25 mm/s); c – operating mode 1000 steps/s (2,5 mm/s); d – operating mode 1500 steps/s (3,75 mm/s); e – operating mode 3000 steps/s (7,5 mm/s); f – operating mode 4000 steps/s (10 mm/s)

tokie dažniai: 250, 500 ir 625 Hz. 500 Hz dažnio šaltinis yra žingsninis variklis 4243, kuris sukasi 500 žingsnių per sekundę greičiu. 250 Hz dažnis yra tik naudojant vakuuminį tepalą, kai amplitudė 0,086 m/s², o 625 Hz dažnis susidaro, kai naudojamas *Loctite* 8103 tepalas (amplitudė lygi 0,088 m/s²) ir *Braycote* 601EF tepalas (amplitudė lygi 0,055 m/s²). Kai greitis yra 2,5 mm/s (6 pav., c), žingsninio variklio dažnis yra 1000 Hz, tik naudojant vakuuminį tepalą amplitudė lygi 0,292 m/s², o naudojant *Loctite* 8103 – tik 0,035 m/s². Tai reiškia, kad variklis turi mažesnę įtaką sistemai. Esant 750 Hz dažniui gaunami panašūs amplitudžių rezultatai naudojant ir paprastą, ir vakuuminį tepalą (0,101 ir 0,134 m/s² atitinkamai). Ketvirtasis grafikas (6 pav., d) rodo, kad mazgas, suteptas *Braycote* 601EF tepalu, veikia sklandžiau. Mazgas, suteptas *Loctite* 8103 tepalu, veikdamas vibruoja aukštaisiais dažniais ir didesnėmis amplitudėmis (750 Hz, kai amplitudė 0,297 m/s², 1125 Hz, kai amplitudė 0,372 m/s², 1875 Hz, kai amplitudė 0,142 m/s²). Kai mazgas veikia 7,5 mm/s greičiu (6 pav., e), virpesiai ir esant standartiniams, ir vakuuminiam tepalui labai panašūs. Pagrindinis dažnis yra 750 Hz, amplitudės su *Loctite* 8103 tepalu yra 1,348 m/s², o su *Braycote* 601EF – 1,134 m/s². Paskutiniame grafike (6 pav., f) pateikti rezultatai, kai motorizuotas linijinio poslinkio įtaisas veikia didžiausiuoju greičiu, bet, kaip parodyta legendoje, didžiausias greitis,

naudojant *Loctite* 8103 tepalą, didesnis negu naudojant *Braycote* 601EF (10 mm/s ir 9,13 mm/s atitinkamai). Tai atsitiko dėl to, kad, greičiui kylant iki 10 mm/s, mazgas pradeda stipriai vibruoti ir užstringa. Mažinant greitį buvo nustatyta, kad didžiausias greitis lygus 9,13 mm/s, bet vis tiek įtaisas kartais užstringa. Iš grafikų matyti, kad, naudojant paprastą tepalą *Loctite* 8103, įtaisas veikia geriau. Naudojant vakuuminį tepalą, atsiranda daug aukštųjų dažnių, kurių amplitudės aukštos ir keletą kartų didesnės negu naudojant paprastą tepalą.

Išvados

Remiantis gautais eksperimento matavimais ir vidutiniu kvadratinu nuokrypiu, galima padaryti tokias išvadas: motorizuotas linijinio poslinkio įtaisas 8MT175-100 su vakuuminiu tepalu *Braycote* 601EF sklandžiau ir tiksliau veikia mažais greičiais iki 3,75 mm/s (1500 žingsnių/s). Tą rodo amplitudinės dažninės Atlikti linijinio poslinkio įtaiso su žingsniniu varikliu teoriniai ir eksperimentiniai tyrimai parodė, kad tepalą *Loctite* 8103 geriau naudoti, kai reikalingas didelis greitis – didesnis nei 7,5 mm/s (žingsnių/s). Kai greitis yra 7,5 mm/s (3000 žingsnių/s), įtaisas veikia panašiai ir su paprastu tepalu, ir su vakuuminiu. Atsižvelgiant į mechanines charakteristikas, reikalaujamą

darbo aplinką, įtaiso tikslumą ir tepalų kainas, geriausia naudoti paprastą *Loctite* 8103 tepalą (jeigu tik mazgas nenaudojamas vakuume).

Literatūra

- Ching, Y. Lin; Jui, P. Hung; Tzuo, L. Lo. 2010. Effect of preload of linear guides on dynamic characteristics of a vertical column-spindle system, *International Journal of Machine Tools and Manufacture* 50(8): 741–746. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ijmachtools.2010.04.002>
- Colby, R. S.; Mottier, F. M.; Miller T. J. E. 1996. Vibration modes and acoustic noise in a four-phase switched reluctance motor, *IEEE Transactions on Industry Applications* 32(6): 1357–364. <http://dx.doi.org/10.1109/28.556639>
- Hung, J. P. 2009. Load effect on the vibration characteristics of a stage with rolling guides, *Journal of Mechanical Science and Technology* 23(1): 92–102. <http://dx.doi.org/10.1007/s12206-008-0925-4>
- Mi, L.; Yin, G.; Sun, M.; Wang, X. 2012. Effects of preload on joints on dynamic stiffness of a whole machine tool structure, *Journal of Mechanical Science and Technology* 26(2): 495–508. <http://dx.doi.org/10.1007/s12206-011-1033-4>
- Rubio, E.; Jauregui, J. C. 2011. Time-frequency analysis for rotor-rubbing diagnosis, in Farzad Ebrahimi (Ed.). *Advances in vibration analysis research*. Mexico: Centro de Tecnologia Avanzada, 295–214. <http://dx.doi.org/10.5772/15186>

RESEARCH OF LINEAR TRANSLATION DEVICES WITH STEPPER MOTOR

D. Komissarov, A. Kilikevičius, A. Piščalov

Summary

In order to ensure accuracy of motorized linear translation stages theoretical and experimental investigations were performed, that allow to establish moving platform vibration level depending on operating modes (different velocities) and used lubricant in the system. Lubricants had different viscosity, which has effect to the system moving smoothness, sound level and vibration level of the stage.

Keywords: stepper motor, vibrations, positioning, linear translation stage.