

**ISSN 1822-8283**

**Kaunas University of Technology  
Lithuanian Academy of Sciences  
IFTtoMM National Committee of Lithuania  
Vilnius Gedimino Technical University**

**MECHATRONIC SYSTEMS AND  
MATERIALS**

**SCIENTIFIC PAPERS**

**TECHNOLOGIJA  
Kaunas · 2008**

Edition supported by:

Lithuanian State Science and Studies Foundation

Kaunas University of Technology

## **SCIENTIFIC EDITORIAL COMMITTEE**

### **Chairman**

R. Bansevicius, Lithuania

### **Members**

B. Bakšys, Lithuania

A. Bubulis, Lithuania

A. Daugėla, USA

E. Dragašius, Lithuania

A. Fedaravičius, Lithuania

R. Fourounjiev, Belarus

A.M. Gousskov, Russia

J. Holnicki-Szulc, Poland

R. Jonušas, Lithuania

H. Kawasaki, Japan

E. Korobko, Belarus

H. Loose, Germany

A. Marcinkevičius, Lithuania

V. T. Minchenya, Belarus

M. P. Mukhina, Ukraine

A. E. Panich, Russia

G. Ya. Panovko, Russia

G. Petriaszwili, Poland

V. P. Royzman, Ukraine

J. Skliba, Czech Republic

J. Viba, Latvia

V. Volkovas, Lithuania

P. Žiliukas, Lithuania

W. Zwierzycki, Poland

### **Editors**

J. Baskutienė, E. Dragašius (editor in chief), V. Jūrėnas, K. Juzėnas, A. Lipnickas,  
I. Skiedraitė,

K. Tarasevičius, A. Vilkauskas

### **Address**

Mechatronic Systems and Materials

Faculty of Mechanical Engineering and Mechatronics

Kaunas University of Technology

Kęstučio str. 27 – 321, LT-44312 Kaunas, Lithuania

ph.: +370-37-300 901

E-mail: [msm@ktu.lt](mailto:msm@ktu.lt)

<http://www.ktu.lt/mechatronics/msm>

## **PREFACE**

This issue contains scientific papers from the 3<sup>rd</sup> International Conference Mechatronic Systems and Materials (MSM 2007) and International Conference Mechatronics for Hi-Tech Devices (MHTD 2008).

Conferences were dedicated to relevant mechatronics problems as:

- Robotics: Industrial, Microrobotics, Mobile Robots
- Sensors and Actuators in Mechatronics
- Control of Mechatronic Systems
- Vibration Analysis
- Applications of Artificial Intelligence
- Multifunctional and Smart Materials

## CONTENT

Optical Interferometry for Displacement Measurement of a Microelectromechanical Membrane <b>Ieva MILAŠAUSKAITĖ, Viktoras GRIGALIŪNAS, Darius VIRŽONIS</b>	8
Novel Surface Micromachining Films for Microelectromechanical Switch Technology Development <b>Algirdas LAZAUSKAS, Viktoras GRIGALIŪNAS</b>	10
Adaptiviųjų dinaminių slopintuvų analizė, taikymo uždaviniai ir jų sprendimai rotorinėse sistemose <b>Simonas STANIUKYNAS, Vitalijus VOLKOVAS</b>	15
Magnetoreologinio stabdžio darbo režimų analizė <b>Viktorija RUGAITYTĖ, Egidijus DRAGAŠIUS</b>	22
Baigtinių elementų analizės taikymas vamzdžių lenkimo procesui <b>Jurgis MIKOLAINIS, Abel DIAS DOS SANTOS</b>	27
Elektreologinių skysčių pritaikymas movose <b>Sigita NAVICKAITĖ, Egidijus DRAGAŠIUS</b>	32
Dyzelinio variklio įpurškimo sistemos tobulinimas <b>Raimundas LAURINAVIČIUS, Alvydas KONDRATAS</b>	36
Design of Manipulator with Two Degrees of Freedom <b>Karolis ŠILEIKA, Arūnas LIPNICKAS</b>	40
Threshold Methods in the Visual Tracking of Contrast Objects <b>Yulia PODOGOVA, Maryna MUKHINA</b>	46
Nanosphere Lithography Use for NEMS Creation <b>Alfredas BRUNIUS, Asta GUOBIENĖ</b>	50
Grūdų kokybės parametrų nustatymas <b>Justinas VADLUGA, Inga SKIEDRAITĖ</b>	56
Ilgio kalibravimo sistemos tyrimas <b>Dalius UŽAMEDZKIS, Saulius KAUSINIS</b>	60
MEMS struktūrų dinaminių savybių bandymai taikant holografinę interferometriją <b>Edvardas SADAUSKAS</b>	64
Dinaminių mikrometrinių postūmiu stebėjimo ir matavimo sistema <b>Sergej KITOV, Vladas JUŠKA, Andrius CHAZIACHMETOVAS</b>	68

Optical Properties Evaluation of Silver Nanocompound <b>Oksana KOSTIUČENKO, Asta GUOBIENĖ</b>	75
Elektros energijos vartojimas magnetoreologiniuose slopintuvuose <b>Darius MAŽEIKA, Egidijus DRAGAŠIUS</b>	80
Detalių sujungimas su garantuota įvarža <b>Jurgis MIKOLAINIS, Bronius BAKŠYS</b>	83
Diamond-Like Carbon Coatings. Formation and Analysis of Optical Properties <b>Jekaterina ŠČERBAKOVA, Asta GUOBIENĖ</b>	87
Algorithm of Object Motion Prediction at its Visual Tracking <b>Olga KAVUN, Maryna MUKHINA</b>	92
Birių dalelių dozatorius – separatorius <b>Rimas BAIKAUSKAS, Inga SKIEDRAITĖ</b>	97
Dynamical Analysis of the Prototype Construction of Passive Gravity Stabilizer <b>Artūras BAGAJEVAS, Algimantas BUBULIS, Inga SKIEDRAITĖ</b>	101
Elektroreologinės movos valdymo sistema <b>Sigita NAVICKAITĖ, Egidijus DRAGAŠIUS</b>	104
Šlyties įtempimai atsirandantys magnetoreologinio stabdžio darbo režimuose <b>Viktorija RUGAITYTĖ, Egidijus DRAGAŠIUS</b>	107
Computer-Aided Modeling of the Adaptive Intelligent Vehicle Safety System <b>Aidara NIKOLA</b>	111
New Conception and Method of Identification and Control of the Intelligent Vehicle Safety Systems <b>Ilya LETKOVSKI, Yulij SLABKO, Reshat FOUROUNJIEV</b>	120
The New Concept and Method of Identification and Management of Intellectual Systems of Safety of the Vehicle on Example Ars <b>Vladislav MANIKOV, Yulij SLABKO, Reshat FOUROUNJIEV</b>	126
Robotizuotas vibracinis cilindrinų detalių centravimas <b>Andrejus CHADAROVICIUS, Bronius BAKŠYS</b>	130

Jautraus paviršiaus ekranų lietimosi taškų atpažinimo principai <b>Marius GUDAUSKIS, Ramutis BANSEVIČIUS, Arūnas ŽVIRONAS</b>	134
Intellectual Active Safety Systems: State and Prospects <b>Maryia HANCHARYK, Yulij SLABKO, Reshat FOUROUNJIEV</b>	139
Įrenginių techninės būklės stebėseną naudojant vibrodiagnostinius metodus <b>Raimondas ŠILEIKA, Vytautas JŪRĖNAS</b>	143
Mechatronics Solutions for Automated Warehousing <b>Aurimas MIEŽELIS, Egidijus DRAGAŠIUS</b>	151
Passive Gravity Stabilizer Mechanism with Piezoelectric Drive <b>Artūras BAGAJEVAS, Algimantas BUBULIS, Inga SKIEDRAITĖ</b>	156
Vehicles Adaptive Mechatronics Systems: State and Perspectives <b>Tatsiana VERKHOVA, Yulij SLABKO, Reshat FOUROUNJIEV</b>	160
Plokščių padengimo konservantu įrangos patobulinimas <b>Paulius MASKELIŪNAS, Vytautas JŪRĖNAS</b>	164
Aerostatic Spherical Bearings High Precision Spindle Dynamics <b>E.A KOROVAITSEVA, Alexander GOUSKOV</b>	168
The Design of a Three Degree of Freedom Human Body and Vestibular Aparatus Trainer <b>Mindaugas TUMAITIS, Alvydas KONDRATAS</b>	176
Modeling of Fuzzy Logic Controller Support for Air Heating System of Railway Coach <b>Ivars BEINARTS, Anatoly LEVCHENKOV</b>	179
Pjezo-magnetostrikcinio jutiklio kūrimas ir tyrimas <b>Mindaugas PALUBINSKAS, Valdas GRIGALŪNAS</b>	185
Analysis of High Speed Insertion Process in Automatic Assembly <b>Sigitas KILIKEVIČIUS, Bronius BAKŠYS</b>	191
Fuzzy Control of Robots <b>Arkady S. YUSCHENKO</b>	197
<b>INDEX</b>	202

# OPTICAL INTERFEROMETRY FOR DISPLACEMENT MEASUREMENT OF A MICROELECTROMECHANICAL MEMBRANE

Ieva MILAŠAUSKAITĖ

Studies programme of Mechatronics, Kaunas University of Technology

Assoc. Prof. Dr. Viktoras GRIGALIŪNAS

Institute of Physical Electronics, Kaunas University of Technology

Dr. Darius VIRŽONIS

Institute of Panevezys, Kaunas University of Technology

**Aim:** Nowadays there is a great need for development of systems that can perform parallel single – molecule measurements on many different molecular pairs. This would enable to study single molecule mechanics characterizing both intramolecular and intermolecular forces [1, 2]. In order to collect statistically significant data, measurements need to be repeated many times. A novel micromachined membrane – based probe is going to be developed to enable parallel measurements and serve as a durable sensor.

**Main idea:** An active micromembrane is going to be the main part of targeted high resolution system. The idea lies within integrating optical interferometric displacement detection capability to the membrane by patterning the bottom side of the membrane’s substrate as a diffraction grating.

As the membrane is going to be illuminated from the backside with a coherent light source, the reflected light is going to be separated into diffraction orders. Moreover, some of the light reflected directly from the diffraction grating is going to interfere with the light reflected from the membrane. Therefore the intensity of light at the diffraction orders should vary sinusoidally as a function [2] of the gap between the membrane and the grating:

$$I_0 = I_{in} \cos^2\left(\frac{2\pi d}{\lambda}\right), \quad I_{\pm 1} = \frac{4I_{in}}{\pi^2} \sin^2\left(\frac{2\pi d}{\lambda}\right),$$

where  $I_{in}$  and  $\lambda$  are the intensity and wavelength of incident light, respectively, and  $d$  is the gap height. Separate photodetectors should measure the intensities of the zeroth ( $I_0$ ) and first ( $I_{\pm 1}$ ) diffraction orders; thus it should be possible to implement differential detection architecture with high accuracy displacement detection capabilities.

**Results:** The investigation of currently available membrane designs was performed and particular surface micromachining fabrication process for the



micromembrane was developed. The comparison of currently available membranes [1, 2] and developed micromembrane was outlined. The difference between membranes is not only location of diffraction grating (for the currently available model the grating is formed within the gap between the substrate and membrane, and for new design – at the bottom part of the substrate), but fabrication technique as well. Both structures are formed on the quartz's substrates, membranes are formed out of silica nitride, but fabrication technique differ due to design peculiarities and materials used to form gaps within structures (e.g., sacrificial layers of Unity – 400 polymer film and copper (Cu) layer, respectively).

Nevertheless, the manufacturing technology of micromembrane still calls for the improvement since not all of the fabricated membranes were qualitative.

Yet the optical stand, where membrane is going to be integrated should comprise of laser, which is a source of coherent light. The power of laser beam is going to be adjusted and deflected by mirror and focused on the membrane grating with focusing lens. The light intensities of diffraction orders are going to be captured and collimated by a lens before they are directed onto the photodiode array by other adjustable mirror. The photocurrent from the PD array is going to be converted into a readout signal by transimpedance amplifiers. This readout signal may then be fed into oscilloscope from which signals are going to be monitored, and to spectrum analyser for further investigations.

**Conclusions:** The implemented optical stand is going to enable the optical interferometry for displacement measurement with future focus on measuring intramolecular and intermolecular forces.

## References

1. **Jemmy Sutanto, Peter J. Hesketh, Yves H. Berthelot.** Static and dynamic responses of an electromagnetic bistable–bidirectional microactuator on a single silicon substrate. – Sensors and Actuators A 132, 2006, p. 701–713.
2. **H. Torun, J. Sutanto, K.K. Sarangapani.** A micromachined membrane – based active probe for biomolecular mechanics measurement. – Nanotechnology 18, 2007.

# NOVEL SURFACE MICROMACHINING FILMS FOR MICROELECTROMECHANICAL SWITCH TECHNOLOGY DEVELOPMENT

**Algirdas LAZAUSKAS**

Studies programme of Mechatronics, Kaunas University of Technology

**Assoc. Prof. Dr. Viktoras GRIGALIŪNAS**

Institute of Physical Electronics, Kaunas University of Technology

*Aim.* In this work an attempt was made to improve micro-electromechanical switch (MEMS) fabricated using surface micromachining technology. MEMS are configured with three terminals, a source, a drain, and a gate. A voltage applied between the gate and source closes the switch, connecting the source to the drain. [1] Surface micromachining is used to build up structures by adding materials, layer by layer on the surface of the substrate. Dry etching is usually performed in order to obtain definite shape of the structure layers. The supporting sacrificial layer is removed using wet etching to release the shaped layers. One of the problems arises when the sacrificial layer is removed using wet etching. After this step the sample is dried. The meniscus created by the receding liquid/air interface tends to pull the structure against the substrate. This intimate contact give rise to other surface forces like Van der Waals force, which will irremediably pin the structure to the substrate when the drying is complete, effectively destroying the device. This phenomenon is referred as stiction [2,3]. Previously electrostatically actuated microelectromechanical switch (MEMS) has been fabricated (see Fig. 1) from electroplated nickel using surface micromachining technique [2]. During testing of MEMS it was determined that because of the presence of stiction phenomenon the „ideal“ voltamperic characteristics of MEMS was not reached. The aim of this work was to suggest technology improvements for MEMS fabrication technology in order to eliminate or reduce the particular problem.

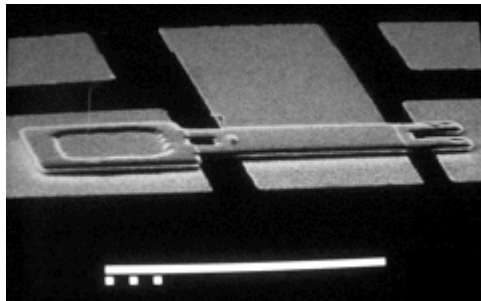


Fig. 1 SEM microphotograph illustrating fabricated device

*1. Experimental setup.* For the problem solution and technology improvement the following procedures were investigated:

- Silicon probe (commercially available crystalline Si <100>) was processed using ion-plasma preparation method: the probe was exploited 1 min in oxygen (95%) and nitrogen (5%) gas mix plasma in the chamber of “Plasma-600 T” device at 50 Pa pressure (radio frequency  $RF=13.56\text{ MHz}$ ,  $P=0.3\text{ W/cm}$ ,  $t=5-60\text{ s}$ ).

- Silicon probe (commercially available crystalline Si <100>) was boiled in acetone for 2 min and dried with air pressure.

- Silicon probe (commercially available crystalline Si <100>) was coated with photoresist MA1225. Afterwards photoresist was removed. After photoresist removal silicon probe was boiled in acetone for 2 min and dried with air pressure.

- Silicon probe (commercially available crystalline Si <100>) was coated with diamond like carbon (DLC) film using direct low energy beam deposition. Si with DLC coating was boiled in acetone for 2 min and dried with air pressure.

The films were investigated and analyzed using atomic force microscopy (AFM), contact angle (CA) measurements, scanning electron microscopy (SEM) and x-ray photoelectron spectroscopy (XPS).

Secondly, the technological micro-fabrication process for MEMS was generated evaluating the equipment required and additional technological steps needed.

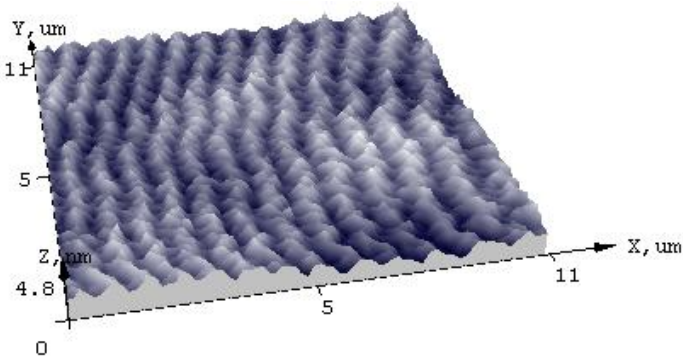
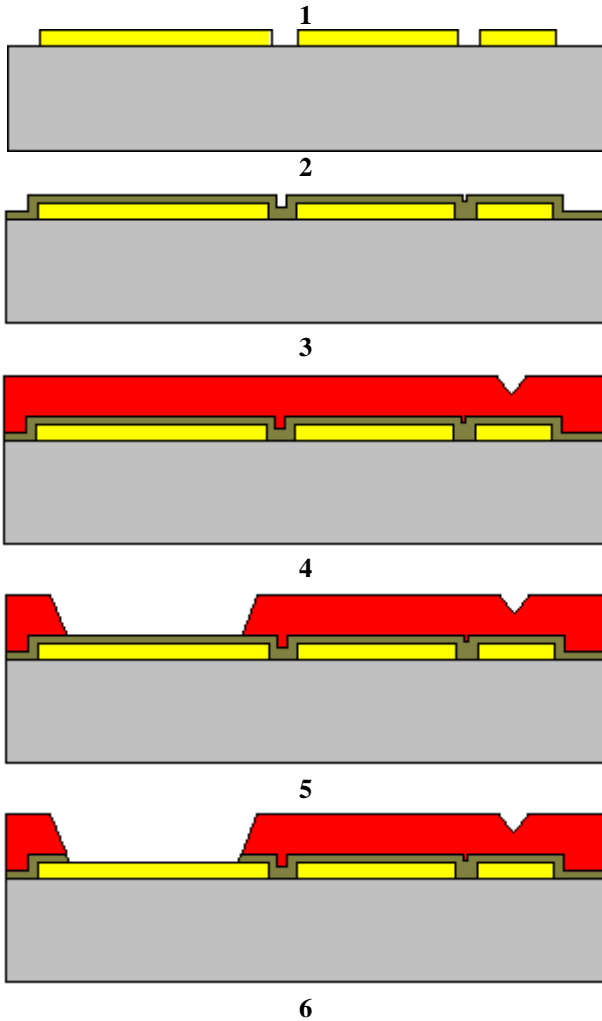


Fig. 2. AFM 3D view of Si with DLC coating before acetone treatment: Scanning area  $11.0\ \mu\text{m} \times 11.0\ \mu\text{m}$ , highest peak  $4.8\ \text{nm}$ , average roughness  $R_a=0.5\ \text{nm}$ , root mean square roughness  $R_q=0.6\ \text{nm}$ .

**2. Results.** Analyzing results obtained using atomic force microscopy, contact angle measurements, scanning electron microscopy and x-ray photoelectron spectroscopy, the probes with DLC film not boiled in acetone were observed as the most suitable candidate for the use towards improvement of MEMS technology. It has good hydrophobic properties (i.e.  $CA=66.4^\circ$  very good surface roughness in terms of surface roughness parameters (i.e.  $R_a=0.5\ \text{nm}$ ,  $R_q=0.6\ \text{nm}$  (see Fig. 2 for AFM analysis)). Also, as observed from quantitative XPS analysis, DLC films does not require treatment with acetone after being

fabricated (i.e.  $O/Si$  ratio remains practically the same – for boiled in acetone DLC coating ratio is 1.14 and for not affected coating ratio is 1.1).

Finally, the insertion of DLC film into MEMS fabrication will require three additional steps (see Fig.3 for improved technological path for MEMS micro-fabrication). They all can be performed with the same equipment (due to the fact that only DLC oxygen ion beam etching operation is required).



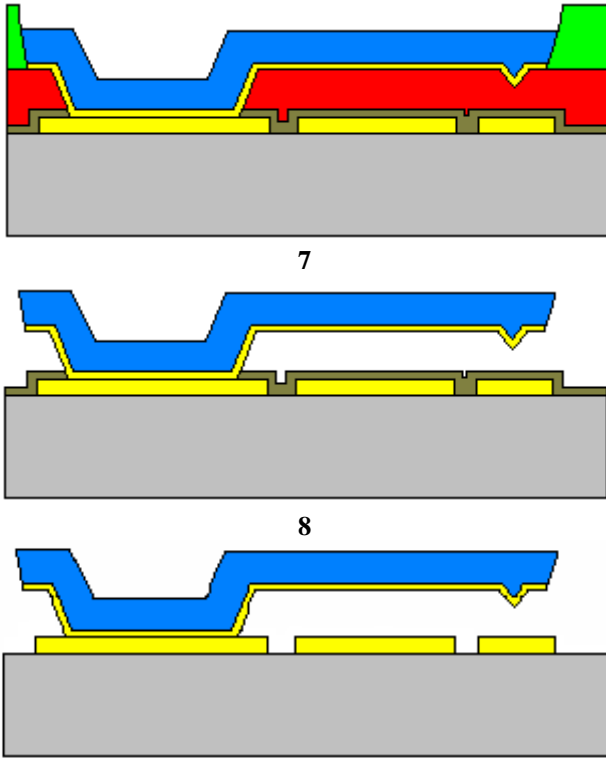


Fig. 3 Technological path for MEMS micro-fabrication: 1. Electron beam evaporation of Cr film on the surface of the substrate (for improvement of adhesion properties), electron beam evaporation of Au layer using. Patterning using “lift-off” lithography. 2. Deposition of thin DLC film. 3. Electron beam evaporation of cu film. Contact tip fabrication using chemical etching. 4. Cantilever beam support opening using deep Cu etching. 5. Oxygen ion beam etching of DLC for cantilever beam support opening. 6. Cantilever beam patterning using Au vacuum evaporation, “lift-off” lithography and Ni electrochemical deposition. 7. Cu selective chemical etching. 8. DLC selective oxygen ion beam etching.

**Conclusions.** It is expected that DLC film layer having its good hydrophobic properties and good surface roughness in terms of surface roughness parameters will reduce stiction phenomenon during Cu etching (wet release of cantilever), because during the drying process the liquid molecules will spread faster from DLC film. The suggested MEMS technology is now under testing.

## References

1. **A Paul M. Zavracky, Sumit Majumder, and Nicol E. McGruer.** Micromechanical Switches Fabricated Using Nickel Surface Micromachining. – Journal of Microelectromechanical Systems, vol.6, No.1, March, 1997.
2. **V. Ostaševičius, S. Tamulevičius, V. Grigaliūnas, V. Kopustinskas, A. Palevičius, A. Gudonytė, R. Daukševičius.** Design and Fabrication of a Microelectromechanical Switch.- Materials Science (Medziagotyra), vol. 10, No. 4, ISSN 1392-1320, Kaunas: Technologija, 2004.- p.313-316.
3. **F. Chollet, HB.Liu.** A (not so) short introduction to Microelectromechanical Systems.- MicroMachines Centre, School of MAE, Nanyang Technological University, Singapore, ver.2.0, 2006, <http://memscyclopedia.org/IntroMEMS.html>

## Summary

The advanced MEMS surface micromachining technology using intermediate DLC film is proposed in order to avoid stiction during wet release.

# ADAPTYVIŲJŲ DINAMINIŲ SLOPINTUVŲ ANALIZĖ, TAIKYMO UŽDAVINIAI IR JŲ SPRENDIMAI ROTORINĖSE SISTEMOSE

**Simonas STANIUKYNAS**

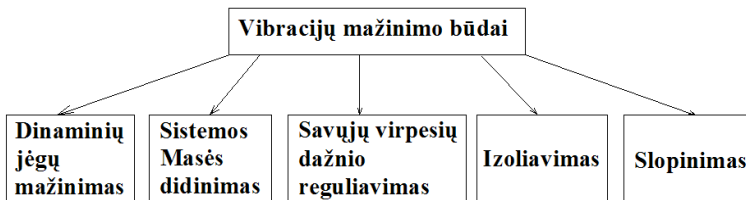
Mechatronikos studijų programa, Kauno technologijos universitetas

**Prof. Habil. Dr. Vitalijus VOLKOVAS**

Kauno technologijos universitetas

**Darbo tikslas.** Šio darbo tikslas yra: sukurti dinaminį slopintuvą su grįžtamoju ryšiu, kuris galėtų slopinti vibracijas ne tik esant vienam rezonansiniam dažniui, o apimtų tam tikrą dažnių juostą, taip išplėsdamas dinaminių slopintuvų panaudojimo galimybes.

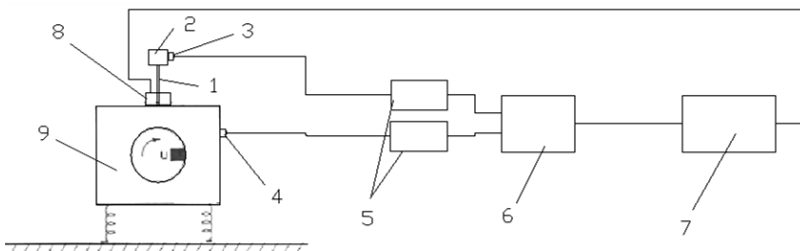
**Ivadas.** Mechanikoje kritinis greitis yra teoriškas kampinis greitis, kuris žadina savąjį įrenginio dažnį. Paleidžiant rotorinę mašiną, kai jos įsisukimo laikas gana ilgas, mašina gali pereiti kelis kritinius greičius. Tai reiškia, kad pasiekiamas rezonansas ir padidėja vibracijos iki nepageidaujamo lygio. Tuomet veleną veikia išcentrinės jėgos ir jį deformuoja. Yra penki svarbiausi vibracijų mažinimo būdai pateikti 1 pav. Šiame darbe nagrinėjamas virpesių izoliavimas dinaminiais slopintuvais turboagregato paleidimo – stabdymo metu.



1 pav. Vibracijų mažinimo būdai

**Rotorinių sistemų adaptyvaus dinaminio slopintuvo struktūra.** Galima pasirinkti klasikinį dinaminio slopintuvo variantą, t.y. strypą, kurio viename gale bus pritvirtinta masė. Tačiau tai nėra adaptyvus slopintuvas. Pritaikius valdymo sistema su grįžtamoju ryšiu 2 pav., jis taptų pilnai prisitaikantis ir nereikalaujantis žmogaus pagalbos darbo metu.

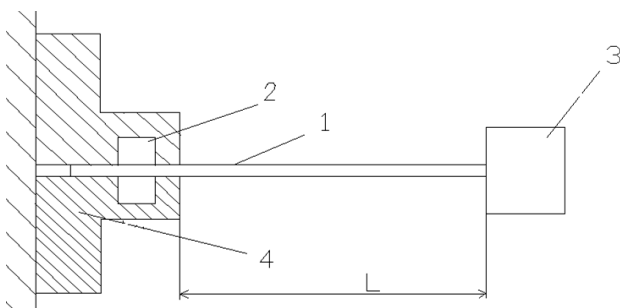
Schemoje nuolatos yra matuojamas fazių skirtumas ir nuolatos užtikrinamas geriausias slopinimas, nes pavaros valdymas suderintas pagal pavaros valdymo dėsnį, t.y. masės atstumas nuo įtvirtinimo  $l$  parenkamas toks, kad slopintuvo savieji dažniai sutaptų su objekto dažniais ir juos slopintų slopintuvo valdymo ribose.



2 pav. Klasikinės konstrukcijos dinaminio slopintuvo su grįžtamoju ryšiu schema: 1 – dinaminio slopintuvo strypas, 2 – masė, 3, 4 – keitliai, 5 – stiprintuvai, 6 – fazės matavimo prietaisas, 7 – valdomos pavaros maitinimo šaltinis, 8 – valdoma pavara, 9 – rotorinė sistema

Kitas būdas organizuoti valdymą yra keisti laike slopintuvo ilgį, tuo pačiu ir standumą, pagal iš anksto nustatytą dėsnį. Šis būdas taikomas tik mašinoms, kurios paleidimo metu turi stabilius rezonansus laiko atžvilgiu. Paleidimo metu matuojami mašinos parametrai ir gaunama kontroliuojamo objekto dažnio priklausomybė nuo laiko. Tuomet, pagal šį dėsnį suderinama valdoma pavara. Praėjus tam tikram laikui nuo mašinos paleidimo sistema aptinka rezonansą. Slopintuvo masė pasislenka atstumu kuris paskaičiuojamas pagal valdymo dėsnį, tai kad slopintų rotoriaus virpesius. Kurį būdą pasirinkti priklauso nuo to, kokie yra saugomo objekto parametrai. Pirmas būdas yra gerokai tikslesnis, tačiau brangesnis, nei antras.

Galima rinktis vieną iš dviejų variantų ką reguliuoti: tai gali būti kintama masė strypo gale ir nekintantis strypo standumas arba gali būti kintamas strypo standumas ir nekintama masė. Šiuo atveju panaudotas kintamas strypo standumas, o masė išliks pastovi, todėl, kad standumą pakeisti paprasčiau nei masę. Šio slopintuvo siūloma struktūra pavaizduota 3 pav.



3 pav. Dinaminio slopintuvo struktūra. 1 – strypas, 2 – valdoma pavara, 3 – masė, 4 – masyvus slopintuvo korpusas, L – strypo ilgis



Vienas iš didžiausių šios struktūros privalumų yra tai, kad pavara yra sumontuota nejudamai slopintuvo korpuse, o ne masėje, kaip yra kitoje galimoje struktūroje.

**Slopintuvo skaičiavimo uždavinys.** Tarkim, slopintuvas taikomas rotorinei sitemai, kuri išibėgėdama turi sukintis gana ilgai, kad pasiektų nominalų greitį. Tuo metu, kai rotoriaus greitis didėja, sistema patenka į kelis rezonaso dažnius, kuriems esant padidėja vibracijos. Mūsų tikslas yra suskaičiuoti adaptyvaus dinaminio slopintuvo parametrus taip, kad jis esant tiems dažniams slopintų vibracijas. Reikia atlikti matavimus, kad būtų galima nustatyti pikines vibracijų vertes rotorinėje sitemoje. Tam atliekamas specialus tyrimas arba naudojama monitoringo sistema, kai turime virpesių spektrą ir matome kokio dažnio yra pikinės vertės, galime pradėti skaičiuoti slopintuvo parametrus, kuriems esant savasis slopintuvo dažnis būtų lygus vibracijų dažniui. Vibracijos buvo matuotos specialiai modernizuotu TSDI laboratoriniu stendu (žr. 4 pav.), imituojančiu rotorinės mašinos paleidimo procesą.



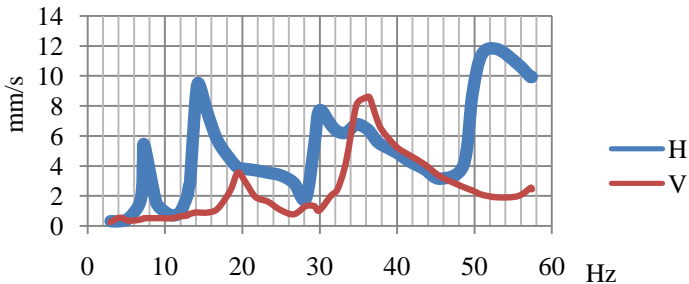
4 pav. Specialiai modernizuoto TSDI laboratorinio stendo bendras vaizdas ir danų firmos Bruel & Kjar virpesių matuoklis Vibrotest 60

5 pav. pavaizduota, kokiems sukimosi dažniams esant yra pikinės vibracijų greičio vertės.

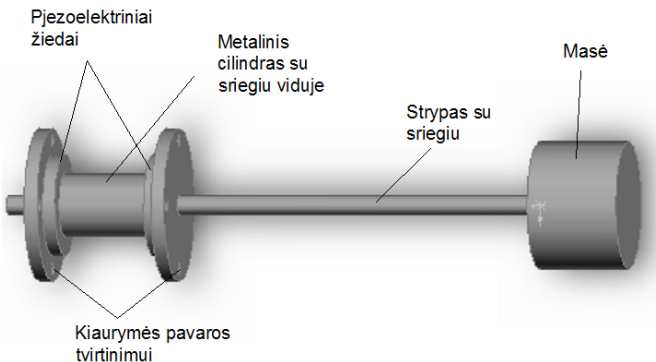
Šiam slopintuvui siūloma naudoti pjezoelektrinę sraigtinę vibropavara (6 pav.), kadangi slopintuvą planuojama montuoti vertikaliai. Slopintuvą montuojant horizontalioje padėtyje, galima naudoti ir paprastą linijinį vibrovarklį ar žingsninį variklį, nes strypo neveikia svorio jėga ir nereikia didelės jėgos norint jį fiksuoti.

Sraigtinė vibropavara nėra naujas išradimas, o žinomas jau gana seniai [2]. Ši pavara yra paprastos konstrukcijos. Ją sudaro metalinis cilindras, kurio viduryje yra kiaurymė su sriegiu. Cilindro, galuose yra du pjezoelektriniai žiedai,

kurie sukelia taip vadinamą bėgančią bangą metale ir taip priverčia per cilindą einantį strypą sukintis į vieną ar kitą pusę, bei reguliuoja atstumą tarp masės ir pavaros. Šios pavaros konkretūs skaičiavimai ir gamyba numatomi kitame etape.



5 pav. Specialaus laboratorinio stendo horizontalių ir vertikalų virpesių pasikeitimas esant įvairiems sukimosi dažniams



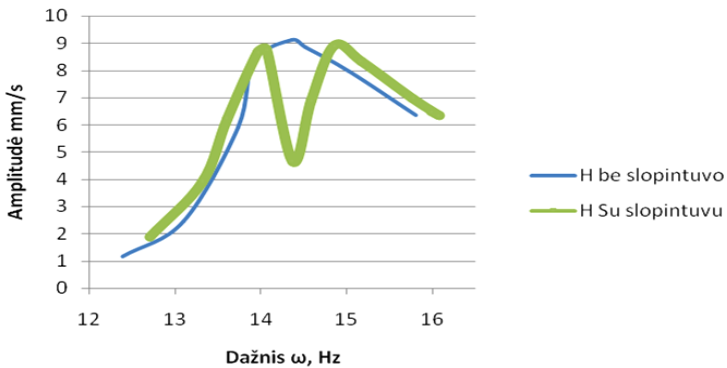
6 pav. Pjezoelektrinė sraigtinė vibropavara

Buvo išmatuotas specialiai modernizuoto TSDI laboratorinio stendo virpesių pasikeitimas, esant įvairiems sukimosi dažniams, ir nubraižytos kreivės. Stendas yra laboratorinis ir gerokai mažesnis nei reali rotorinė sistema, todėl buvo pasirinktas taip pat mažesnis slopintuvas, nei realiai sistemai, atitinkantis laboratorinio stendo virpesių parametrus. Slopintuvas buvo pagamintas be valdomos pavaros ir tokių parametrų: masė  $m = 0,277$  kg, virpesių dažnis, kurį turėtų slopinti slopintuvas yra 14,3 Hz, strypo skerspjūvis  $D = 0,005$  m, tamprumo modulis  $E = 200000$  Mpa. Tikslas - įsitikinti ar slopintuvas slopina virpesius ties rezonanso dažniais.

Kad būtų tikslesni duomenys, slopintuvo strypo ilgis buvo parinktas eksperimentiškai, t.y. buvo pasinaudota TSDI vibro stendū. Buvo matuojamas savasis slopintuvo dažnis, slopintuvo strypo ilgis buvo keičiamas rankiniu būdu. To tikslas buvo suderinti slopintuvą su viena iš pikinių laboratorinio stendo

rezonansinių dažnių reikšmių, kuriai esant būtų galima pritaisyti slopintuvą prie laboratorinio stendo ir realiai patikrinti, kaip slopintuvas slopina rezonansinius dažnius. Buvo pasirinkta viena iš didesnę amplitudę turinčių horizontalių skersinių virpesių dažnių reikšmių 14,3 Hz, strypo ilgis esant šiai dažnio reikšmei yra 0,19 m.

Vertikalia kryptimi pritvirtinus slopintuvą prie laboratorinio stendo guoliavietės ir paleidus variklį sukčius, buvo išmatuoti virpesių parametrai. Rezultatai pavaizduoti 7 pav. Matome, kad slopintuvas su kontroliuojamu objektu buvo suderintas tinkamai, nes ties pikine reikšme slopintuvas sumažino virpesių amplitudę daugiau, nei dvigubai. Tai reiškia, kad slopintuvas realiai turi slopinimo efektą ir tas efektas būtų didesnis ar mažesnis per visą slopinimo intervalą tarp mažiausios ir didžiausios dažnio pikinių verčių. Jei būtų pritaikytas grįžtamasis ryšys ir valdoma pavara, tuomet visą laiką slopintuvas būtų suderintas su kontroliuojamu objektu.



7 pav. Specialaus laboratorinio stendo horizontalių virpesių pasikeitimas esant slopintuvui ir be jo

Slopintuvui buvo parinktas išskirstytų parametru modelis. Jį aprašanti lygtis skersinių virpesių atveju [3]:

$$\frac{\partial^2}{\partial x^2} \left( EJ \cdot \frac{\partial^2 \omega}{\partial x^2} \right) + \rho F \cdot \frac{\partial^2 \omega}{\partial t^2} = 0 \quad (1)$$

Kraštinės sąlygos: kai  $x = 0$ ,  $\omega = 0$ ,  $\frac{\partial \omega}{\partial x} = 0$  kai  $x = l$ ,

$$EJ \frac{\partial^2 \omega}{\partial x^2} = I \frac{\partial^3 \omega}{\partial x \partial t^2} \quad (2)$$

Savųjų dažnių lygtis skersinių virpesių atveju atrodo taip [4]:

$$\omega = 1,23 \sqrt{\frac{E \cdot J}{F \cdot \rho \cdot l^4}} \quad (3)$$

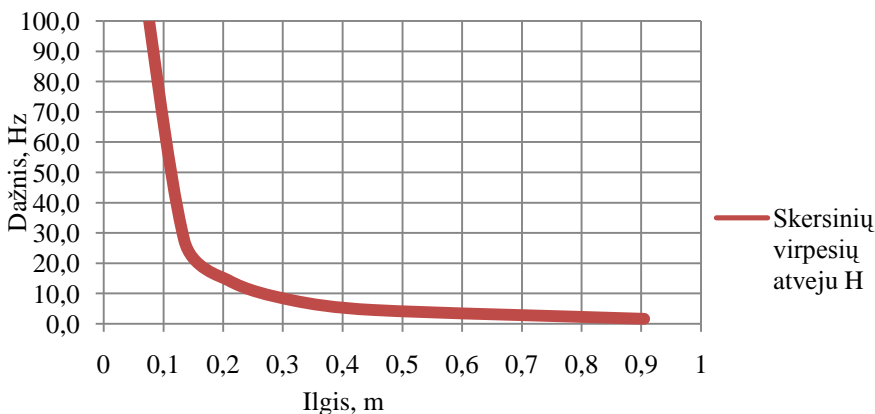
čia  $J$  – apvalaus strypo inercijos momentas.

Teorinė slopintuvo dažnio priklausomybė nuo strypo ilgio išilginių virpesių atveju apskaičiuota ir parodyta 1 lentelėje. Naudojant šiuos duomenis buvo nubrėžtas grafikas (8 pav.), rodantis, koks yra slopintuvo valdymo dėsnis skersinių virpesių atveju. Lentelėje galime matyti, kad kai dažnis yra 14,3 Hz tai strypo ilgis yra 0,209 m. Atliekant bandymą su slopintuvu, toks dažnis buvo gautas esant 0,19 m. Tai reiškia, kad praktiškai išmatuota valdymo dėsnio kreivė turėtų mažai skirtis nuo teoriškos, iš formulių apskaičiuotos valdymo dėsnio kreivės. Tokiu atveju galima teigti, kad skaičiavimai atlikti teisingai, o rezultatai skiriasi dėl įsivėlusių paklaidų.

Lentelė 1

Dažnio priklausomybė nuo strypo ilgio

$l, m$	0,045	0,135	0,209	0,317	0,452	0,905
$\omega_s, Hz$	143,4	27,6	14,3	7,7	4,5	1,6



8 pav. Slopintuvo valdymo dėsnis

Šio laboratorinio slopintuvo strypo masės nepaisom, nes ji žymiai mažesnė, nei strypo gale esanti masė. Tai yra vienas iš išskirstytų parametrų dinaminio modelio kraštinių atveju, kurio savųjų dažnių lygtis [3]:

$$\omega = \sqrt{\frac{3 \cdot E \cdot J}{m \cdot l^3}} \quad (4)$$

### ***Išvados***

- Pasiūlytas rotorinių sistemų kritinių greičių vibracijų problemos sprendimas, naudojant adaptyvų dinaminį slopintuvą.
- Pateikta lyginamoji grįžtamojo ryšio, slopintuvų struktūrų analizė, išnagrinėti tokių slopintuvų valdymo principai.
- Dinaminiam slopintuvui parinktas matematinis modelis, bei esant konkrečioms kraštinėms sąlygoms nustatyta savųjų dažnių lygtis ir slopintuvo valdymo dėsnis. Valdymo dėsnį pasiūlyta realizuoti su pjezoelektrine vibropavara.
- Pagamintas ir išbandytas laboratorinio stendo vibracijų dinaminis slopintuvas.
- Eksperimentiškai nustatyta, kad teoriškai apskaičiuotas slopintuvo valdymo dėsnis atitinka eksperimento metu gautus rezultatus. Dažnių nesutapimas mažiau 10 %.
- Numatyta vystant tematiką praktiškai pagaminti vibropavara dinaminiam slopintuvui ir pasiekti slopintuvo adaptyvumo funkciją.

### **Literatūra**

1. <http://en.wikipedia.org/wiki/Criticalspeed>
2. **R. Kurila, V. Ragulskienė.** Двумерные вибрационные приводы: Вилнюс: Мокслас, 1986, 134р.
3. **В.В.Болотина.** Колебания линейных систем. – Москва: Машиностроение, 1978, 352р.
4. **А.П.Филиппов.** Колебания деформируемых систем: Москва: Машиностроение, 1970,733р.

### **Reziumė**

Viena iš didelių problemų rotorinėse sistemose yra vibracijos. Kadangi, ši problema nėra dar pilnai išspręsta, aktuali, todėl ji buvo pasirinkta tyrimams. Vibracijų mažinimo būdų yra keletas, tačiau buvo pasirinktas vibracijų slopinimas dinaminiais slopintuvais ir ne bet kokiais dinaminiais slopintuvais, o adaptyviais, nes dažnai reikia organizuoti vibracijų slopinimą mašinos su kintančiais parametrais, pvz. kintančiu sukimosi greičiu. Adaptyviu slopintuvas bus tuomet, jei turės galimybę keisti savo parametrus, pavyzdžiui, slopintuvo savuosius virpesių dažnius. Šiame darbe slopintuve siūloma taikyti pjezoelektrinę vibropavara, kurios pagalba galima keisti slopintuvo parametrus, tuo pačiu savąjį dažnį suderinti su kontroliuojamo objekto virpesių dažniu, išsklaidyti dalį virpesių energijos ir to pasekoje, tam tikram dažnių juostos intervale, sumažinti kontroliuojamo objekto vibracijas.

# MAGNETOREOLOGINIO STABDŽIO DARBO REŽIMŲ ANALIZĖ

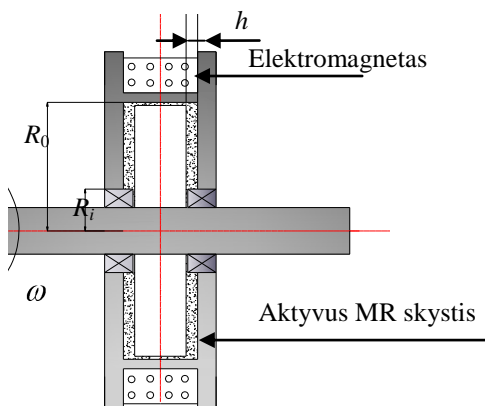
**Viktorija RUGAITYTĖ**  
Kauno technologijos universitetas  
**Doc. Dr. Egidijus DRAGAŠIUS**  
Kauno technologijos universitetas

**Darbo tikslas.** Išanalizuoti cilindrinio MR stabdžio darbo režimus. Pateikti MR stabdžio parametrų įtaką jo veikimui. Pateikti optimalius MR stabdžio geometrinius parametrus.

**1. Magnetoreologinis (MR) stabdis.** Siūloma MR stabdžio konstrukcija yra pavaizduota 1 paveiksle. Stabdis yra vieno disko formos ir veikia šlyties režimu. MR skystis užpildo tarpelį tarp rotoriaus ir dviejų gaubtų. MR stabdžio efektyvumą apsprendžia dviejų parametrų santykis  $R_i / R_0$  (2 pav.). Vienas iš svarbiausių fizikinių dydžių yra šlyties įtempimai, kurie matematiškai išreiškiami:

$$\tau = \tau_{yd}(B) + \mu \frac{\omega_r}{h} \quad (1)$$

čia:  $\omega$  - kampinis veleno sukimosi greitis;  $h$  – tarpelis [1,3,5].

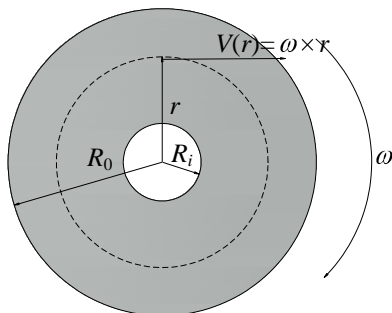


1 pav. MR stabdis [2,4]

Atsižvelgiant į praktines MR stabdžio veikimo sąlygas, bendras perduodamas sukimo momentas  $T_{total}$  susideda iš trijų komponentų:  $T_{fric}$  – tai

sukimosi momentas, kuris atsiranda nuo trinties (pavyzdžiui nuo sandarinimo),  $T_{yd}$  – tai sukimosi momentas atsirandantis nuo dinaminių takumo įtempimų MR skystyje,  $T_{vis}$  – tai sukimosi momentas atsirandantis nuo MR skysčio klampos. Bendra matematinė išraiška fizikinio dydžio  $T_{total}$  [6,7]:

$$T_{total} = T_{fric} + T_{yd} + T_{visl} \quad (2)$$



2 pav. MR stabdžio schema

Paskutiniai du šios išraiškos komponentai  $T_{yd}$  ir  $T_{vis}$  gali būti apskaičiuojami sekančiais, panaudojant integralą:

$$T_{yd} + T_{vis} = 2\pi \int_{R_i}^{R_0} (r\tau(r))rdr \quad (3)$$

Sukimosi momentai  $T_{yd}$  ir  $T_{vis}$  yra gaunami iš :

$$T_{yd} = \frac{2}{3} \pi \tau_{yd} (R_0^3 - R_i^3) \quad (4)$$

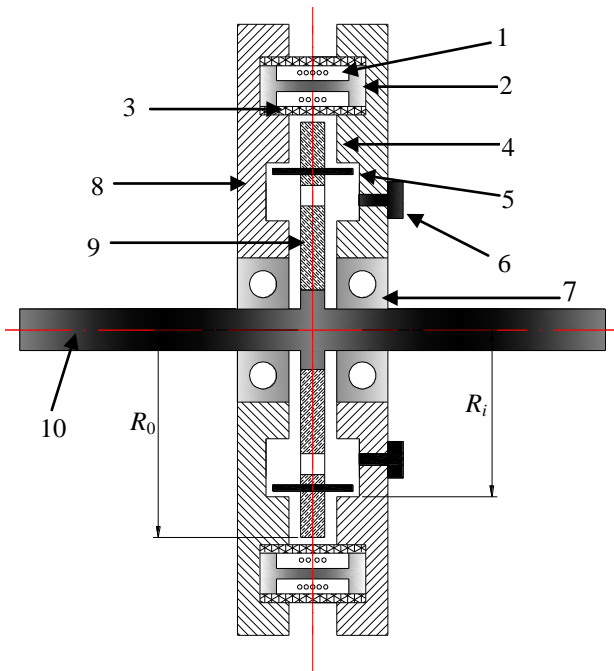
$$T_{vis} = \frac{\pi \eta \omega}{2h} (R_0^4 - R_i^4) \quad (5)$$

**2. Konstrukcijos ir MR skysčio tarpelio reikšmė.** Projektuojant MR stabdžio konstrukciją būtina atsižvelgti į keletą faktorių ir kai kuriuos dydžius reikia parinkinėti itin preciziškai (Lentelė 1). Labai svarbios reikšmės: tarpelio geometriniai parametrai, kuriame talpinamas MR skystis, skysčio cheminė bei fizikinė būsena, MR skysčio sandarinimas. Kaip matome 3 paveiksle, MR skystis stabdyje talpinamas dviejose tarpeliuose. Tarp dviejų angų, visa tai riboja kamera, kuri yra suformuota iš gaubto, rotoriaus lėkštės ir sandarinimo žiedo, kuris

neleidžia skysčiui patekti į aplinką. Magnetinio lauko stipris yra tiekiamas iš dviejų I formos elektromagnetų. Rutuliniai guoliai konstrukcijoje yra parenkami tokie, jog iš karto būtų su sandarinimu MR skysčiui [4,6].

Norint pasiekti maksimaliai efektyvų MR skysčio efektą labai svarbus faktorius yra tarpelio geometrija. Remiantis teoriniais duomenimis žinome, kad oro tarpelio plotis yra tiesiogiai susijęs su magnetiniu lauku. Didėjant oro tarpeliui magnetinio srauto tankio reikšmė mažėja. Mažesnis pastovus tarpelis tiesiogiai įtakoja magnetinio srauto tolygų pasiskirstymą veikimo zonoje. Be to, tarpelio geometriniai parametrai turi didelę įtaką šlyties įtempimams, tai atsispindi formulėje:  $\tau = \tau_{yd}(B) + \mu \frac{\omega_r}{h}$ , kurioje  $h$  ir yra tarpelio plotis.

Praktikoje gaminant tokį stabdį dažniausiai tarpelio plotis kinta ribose: nuo 0,25 mm iki 2 mm. Toks tarpelio plotis yra optimalus ir konstrukcijos surinkimo atžvilgiu. Šioje konstrukcijoje tarpelio dydis yra siūlomas 0,5 mm.



3 pav. Magnetoreologinis stabdis

Palengvinti MR stabdžio gamybą ir projektavimą MR stabdis yra projektuojamas simetriškas ir jei korpusą padalintume į dvi dalis, tai abi jos dalys būtų identiškai vienodos. Maišymo smeigtukas 5, kuris yra pritvirtintas prie rotoriaus yra skirtas MR skysčio permaišymui, kad nevyktų sedimentacija. MR

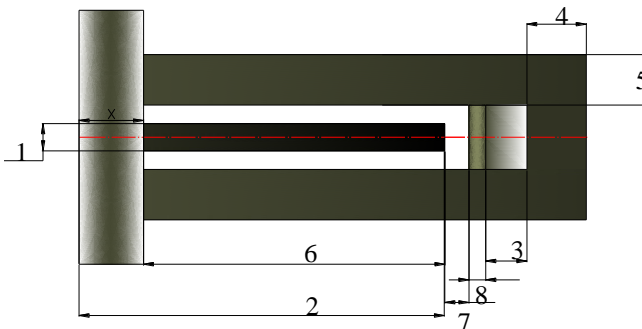


stabdys yra mažesnių matmenų ir svorio, nei mums įprasti stabdžiai, todėl labai svarbus yra santykinis dydis  $R_i/R_0$ . Šio santykio optimaliausia reikšmė yra ribose nuo 0,7 iki 0,99. Viso šito didžiausias privalumas yra magnetinio lauko optimizavimas [7].

Lentelė 1

MR stabdžio elementų sąrašas

Nr.	Elemento aprašas	Elemento medžiaga
1	Ritė apvijos	Varis
2	Ritės šerdies velenas	Mažaanglis plienas (AISI 1018)
3	Gaubtas	Aliuminio lydinys (T6-6061)
4	Dešinysis korpusas	Mažaanglis plienas (AISI 1045)
5	Maišymo smeigė	Aliuminio lydinys (T6-6061)
6	Sandarinimo kaištis	-
7	Rutulinis guolis	-
8	Kairysis korpusas	Mažaanglis plienas (AISI 1045)
9	Rotorius	Mažaanglis plienas (AISI 1045)
10	Velenas	Standartinis plienas



4 pav. Grafinė optimalių geometrinių parametru analizė

Lentelė 2

Optimalūs siūlomi geometriniai parametrai

Geometrinis stabdžio atskiros dalies parametras	Leistinos optimaliausios reikšmės (cm)
1 – rotoriaus storis	1 – 5 (1 disko MR stabdis) 0,5 – 2,5 (2 diskų MR stabdis)
2 – rotoriaus diametras	13 – 18,5
3 – ritės storis	0,25 – 2,5
4 – rad. korpuso storis	1 – 5 (1 disko MR stabdis) 0,5 – 2,5 (2 diskų MR stabdis)

5 – ax korpuso storis	0,25 – 2,5
6 – rotoriaus ilgis	3 – 8
7 – atstumas nuo rotoriaus iki sandarinimo žiedo	0,1
8 – sandarinimo žiedas	Pagal spec. žiedą ir matmuo
X	Laisvas matmuo

Praktikoje pasitaiko magnetoreologinių stabdžių daugiau nei su vienu disku, tai gali būti su dviem trim ir daugiau diskų. Šiuo nagrinėjamu atveju MR stabdis yra su vienu besisukančiu disku. 4 paveikslėlyje ir lentelėje 2 yra pateikiama optimali grafinė geometrinių parametrų analizė.

**Išvados.** Projektuojant MR stabdį yra labai svarbu atsižvelgti į MR skysčio sudedamąsias dalis. Taip pat ne ką mažiau svarbūs faktoriai yra ir optimalūs geometriniai parametrai. Tinkamai parinkta sandarinimo sistema ir daugelis kitų faktorių.

## Literatūra

1. **Jolly, M. R., J.W. Bender and J. D. Carlson.** Properties and Applications of MR Fluids. - SPIE 5th Annual Int. Symposium on Smart Structures and Materials, San Diego, CA, 15 March, 1994
2. **Carlson J.D., Spronston J.L.** Controllable Fluids in 2000 Status of ER and MR Fluid Technology, "Actuator 2000"- 7-th International Conference on New Actuators, 19-21 June 2000
3. **S. Bydoń.** Construction and Operation of Magnetorheological Rotary Brake.- Proceedings of STOC'2002, Ostrava, 2001, April 26-27
4. [www.mrf.com](http://www.mrf.com)
5. **D. J. Inman.** Smart structure and materials.
6. <http://rclsgi.eng.ohio-state.edu/~gnwashin/parts/MR.html>
7. [http://rclsgi.eng.ohio-state.edu/~gnwashin/parts/MR\\_Characterization.html](http://rclsgi.eng.ohio-state.edu/~gnwashin/parts/MR_Characterization.html)

# BAIGTINIŲ ELEMENTŲ ANALIZĖS TAIKYMAS VAMZDŽIŲ LENKIMO PROCESUI

**Jurgis MIKOLAINIS**

Kauno technologijos universitetas

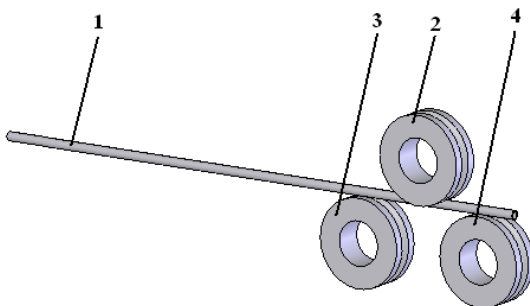
**Prof. Abel DIAS DOS SANTOS**

Porto Universitetas, Portugalija

**Darbo tikslas.** Šiuolaikinė gamybos įmonė turi lanksčiai reaguoti į rinkos paklausą ir sugebėti pagaminti įvairius mechaninius komponentus be didesnių problemų. Siekiant procesų lankstumo vamzdžių lenkimo operacijoje, gamybos įrengimai turi būti pritaikyti, kad būtų galima lenkti iš skirtingų medžiagų pagamintus vamzdžius, lengvai keisti vamzdžio skersmenis, sienelės storius bei kitus lenkimo parametrus – lenkimo spindulį, sulenkimo kampą.

Šiame darbe nagrinėjamas vamzdžių lenkimo dideliu spinduliu procesas. Tokiu būdu gali būti gaminami metaliniai lankai, didelio skersmens spirалės, kiti dizaino elementai. Pagrindinis darbo tikslas - imituoti ir išanalizuoti problematiškas vamzdžių lenkimo proceso vietas.

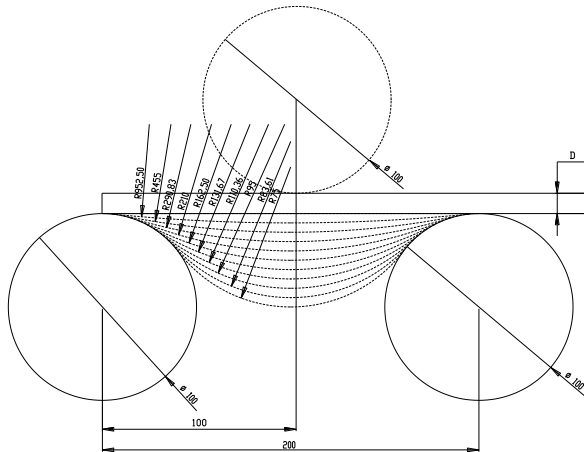
**Tyrimai.** Vamzdžių lenkimo dideliu spinduliu procese dažnai naudojamas iš trijų arba daugiau apskritų ritinėlių sudarytas modelis, pavaizduotas žemiau:



1 pav. Vamzdžių lenkimas trimis ritinėliais: 1 – vamzdis; 2 – viršutinis ritinėlis; 3, 4 – apatiniai ritinėliai

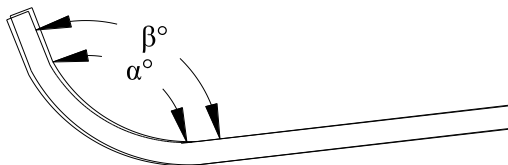
Lenkimo procesas susideda iš dviejų etapų: pirmiausiai viršutinis ritinėlis 2 spausdamas vamdį 1 suformuoja pradinį įlinkį, o vėliau, sukantis kartu ir apatiniais ritinėliams 3 ir 4, vamzdis 1 sulenkiamas reikiamu spinduliu (1 pav.).

Tyrimo metu sudarytas vamzdžių lenkimo proceso modelis bei nustatytos įrankių padėties, norint gauti reikiamą vamzdžio lenkimo spindulį (2 pav.).



2 pav. Vamzdžio lenkimo kampo priklausomybė nuo ritinėlių padėčių

Vėliau, vamzdžių lenkimo baigtinių elementų imitacijos pagalba, buvo atlikta palyginamoji vamzdžių atsilenkimo, pašalinus apkrovas, efekto analizė skirtingoms vamzdžių medžiagoms (3 pav.):



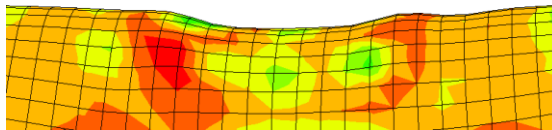
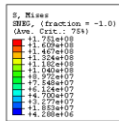
3 pav. Vamzdžių sulinkimo kampas prieš įrankių atitraukimą ir po jo:  $\alpha$  - lenkimo kampas lenkimo metu,  $\beta$  - lenkimo kampas atitraukus įrankius,  $\Delta\theta$  – skirtumas tarp šių kampų

Gauti rezultatai pagrindžia ankstesnius kitų autorių tyrinėjimus, kad vamzdžiai, pagaminti iš medžiagos su didesniu Jungo moduliu, pašalinus įrankius atsilenkia mažiau. Rezultatų suvestinė pateikta Lentelėje 1:

Lentelė 1

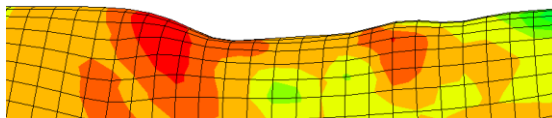
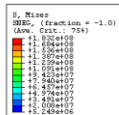
	Aliuminis	Aliuminis	Plienas	Plienas	Plienas
	Al5182	Al6016	DC06	ZSTE340	DP600
$\alpha^\circ$	104,15	104,14	105,29	102,91	103,84
$\beta^\circ$	105,42	105,12	105,38	103,34	105
$\Delta\theta^\circ$	1,27	0,98	0,09	0,43	1,16

Kitoje tyrimo dalyje nustatyta šiuo lenkimo metodu sulenktų vamzdžių sienelės susiraukšlėjimo riba, kuri palyginta su kitų autorių atliktų eksperimentų duomenimis. Tirtas 40 mm skersmens, 0,8 mm storio sienelės vamzdis, kurio skersmens ir sienelės santykis  $D/t$  lygus 50. Raukšlės paviršiuje pradeda atsirasti nuleidus viršutinį ritinėlį 10,5 mm (4 pav.):

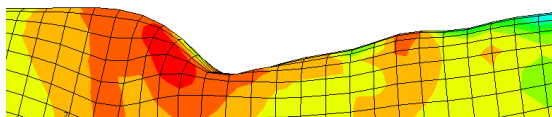
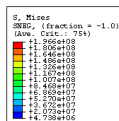


4 pav. Vamzdžio sienelės suraukšlėjimas, kai ritinėlis nuleistas žemyn 10,5 mm

Nuleidus viršutinį velenėlį dar daugiau, vamzdžio sienelė deformuojasi ir vamzdis galutinai sugniuždomas (5 ir 6 pav.):

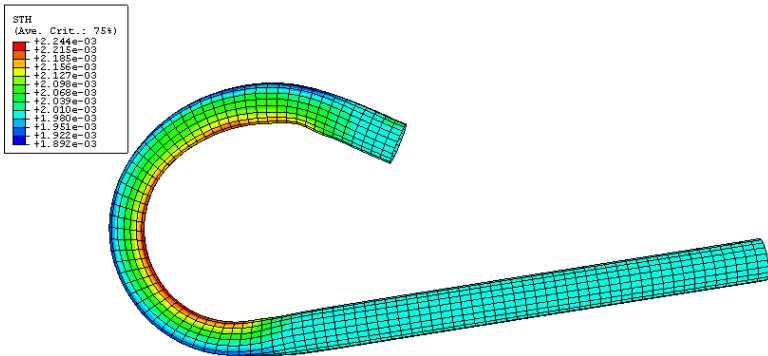


5 pav. Vamzdžio sienelės suraukšlėjimas, kai ritinėlis nuleistas žemyn 12 mm



6 pav. Vamzdžio sienelės suraukšlėjimas, kai ritinėlis nuleistas žemyn 24 mm

Atlikus kelių lenkimo proceso stadijų: klūpdyimo, vamzdžio sienelės storėjimo, plonėjimo bei suplokštėjimo imitacijas, nustatytas deformuoto vamzdžio sienelės storis (7 pav.).



7 pav. Sienelės storio nustatymas naudojant baigtinių elementų modelį

**Išvados.** Naudojant baigtinių elementų analizę, galima, negaminant brangių testavimo įrengimų, imituoti vamdžių lenkimo procesą bei nustatyti kritinius lenkimo parametrus. Šio tyrimo metu buvo sudaryta vamdžių lenkimo proceso imitacija bei nustatytos įrankių padėty, norint gauti reikiamą vamzdžio lenkimo spindulį. Vėliau, vamdžių lenkimo baigtinių elementų imitacijos pagalba, buvo atlikta palyginamoji vamdžių atsilenkimo, pašalinus apkrovas, efekto analizė iš skirtingų medžiagų pagamintiems vamdžiams. Nustatyta šiuo lenkimo metodu sulenktų vamdžių sienelės susiraukšlėjimo riba kuri palyginta su kitų autorių atliktų eksperimentų duomenimis. Nustatytas lenkimo metu deformuoto vamzdžio sienelės storis.

## Literatūra

1. **R.H. Wagoner, M. Li.** Simulation of springback: Through-thickness integration.- International Journal of Plasticity, 2006, p. 235-240
2. **Ken-Ichiro Mori, Gang Yang, Kozo Osakada.** Determination of optimal motion of tools in metal forming processes by controlled FEM simulation.- Int. J. Mach. Tools Manafact. Vol. 35, No. 6, 1995 p. 851-859
3. **M. Hua, K. Baines, I.M. Cole.** Large deflection analysis of elastoplastic plate in steady continuous four-roll bending process.- International Journal of Mechanical Sciences 41, 1999, p. 1461-1483
4. **H.A. Al-Qureshi.** Elastic-plastic analysis of tube bending.- International Journal of Machine Tools & Manufacture 39, 1999, p. 87–104

5. **Yang He, Gu Rui-jie, Zhan Mei, Li Heng.** Effect of frictions on cross section quality of thin-walled tube NC bending. Trans. Nonferrous Met. SOC. China 16, 2006, p. 878-886
6. **He Yang, Yan Lin.** Wrinkling analysis for forming limit of tube bending processes. Journal of Materials Processing Technology 152, 2004, 363–369

### **Reziუმė**

Šiame darbe nagrinėjamas vamzdžių lenkimas dideliu spinduliu procesas. Pagrindinis darbo tikslas - imituoti ir išanalizuoti problematiškas vamzdžių lenkimo proceso, naudojant apskritus ritinius, vietas. Tyrimo metu buvo sudaryta vamzdžių lenkimo proceso imitacija bei nustatytos įrankių padėtys, norint gauti reikiamą vamzdžio lenkimo spindulį. Vėliau, vamzdžių lenkimo baigtinių elementų modeliavimo pagalba, atlikta palyginamoji vamzdžių atsilenkimo, pašalinus apkrovas, efekto analizė skirtingoms vamzdžių medžiagoms. Gauti rezultatai pagrindžia ankstesnius kitų autorių tyrinėjimus, kad vamzdžiai, pagaminti iš medžiagos su didesniu elastingumo moduliui, pašalinus įrankius atsilenkia mažiau. Nustatyta šiuo lenkimo metodu sulenktų vamzdžių sienelės susiraukšlėjimo riba bei palyginta su atliktų eksperimentų duomenimis. Taip pat po atliktų keleto lenkimo proceso stadijų kaip klupdymo, vamzdžio sienelės storėjimo, plonėjimo bei suplokštėjimo imitacijų, buvo nustatytas vamzdžio sienelės storis.

# ELEKTROREOLOGINIŲ SKYSČIŲ PRITAIKYMAS MOVESE

**Sigita NAVICKAITĖ**

Kauno technologijos universitetas

**Doc. Dr. Egidijus DRAGAŠIUS**

Kauno technologijos universitetas

**Darbo tikslas.** Išanalizuoti elektreologinio (ER) skysčio pritaikymo galimybes movose, išskirti įrenginio privalumus bei trūkumus, suformuluoti reikalavimus ER movoms ir ištirti šių movų veikimą.

**1. Teorinė dalis.** Movomis vadinami įtaisai, kurie skirti velenams arba kitoms besisukančioms detalėms sujungti ir tarp jų sukimo momentui perduoti, nekeičiant greičio. Movos klasifikuojamos pagal konstrukciją, paskirtį bei darbo sąlygas. ER movos priklauso valdomų movų grupei. Jos ypatingos tuo, kad perduodamą sukimo momentą galima valdyti. Jų veikimo principas pagrįstas reologinėmis ER skysčių savybėmis [1 – 4].

ER skystis – tai elektriškai poliarizuojamos dalelės patalpintos tekančiame skystyje. Dielektrinis neatitikimas tarp dalelių ir tekančiojo skysčio sukelia elektreologinį (ER) efektą. Paveikus ER skystį elektros lauku jo klampumas pakinta. Reologinis reiškiny apibrėžiamas kaip santykis tarp šlyties įtempių ir medžiagos šlyties deformacijos.

**2. ER movos veikimo principas.** Projektuojamą ER movą sudaro korpusas 1 ir varomasis velenas 4, tarp kurių yra tarpelis (1 pav.). Jie veikia kaip elektrodai. Tarp elektrodų yra talpinamas ER skystis 3. Konstrukcijos stabilumui užtikrinti naudojama tarpinė 5. Movoje montuojami rutuliniai guoliai 2, kurie parinkti tokie, kad iškart būtų su sandarikliais ir taip užtikrintų įtaiso sandarumą. Dangtelis 6 prispaudžia guolį ir taip užtikrina ER movos standumą. Elektrodai izoliuojami tekstolitinėmis įvorėmis 7. Visa mova sutvirtinama varžtais 8.

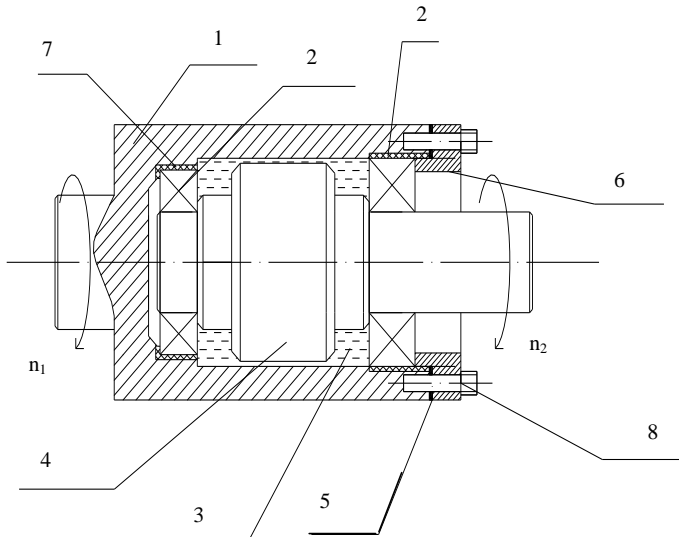
Šios movos veikimo principas yra pagrįstas ER skysčio reologinėmis savybėmis. Skysčio neveikiant elektros lauku, skystyje esančios dalelės yra išsidėsčiusios chaotiškai ir teka kartu su dielektriniu skysčiu, ER mova sukimo momento neperduoda.

Tačiau, kai mova ima tekėti aukštos įtampos elektros srovė, tarp elektrodų sukuriama elektros laukas, kuris veikia reologinį skystį (pasireiškia ER reiškiny). Pridėjus elektrinį lauką, dalelės išsidėsto į linijines grandines. Tekant skysčiui jos jau neteka kartu su juo ir taip stabdo skysčio tekėjimą – pakinta skysčio klampumas [1, 2, 4].

Per movą perduodamo sukimo momento dydis priklauso nuo pakitusio skysčio klampumo ir taip pat yra proporcingas ER skystį veikiančio elektrinio



lauko stipriui. Taigi, keičiant valdymo įtampą, kinta elektrinio lauko stipris, o tuo pačiu ir perduodamas sukimo momentas.



1 pav. ER mova

**3. Įrenginio privalumai ir trūkumai.** ER movų privalumai ir trūkumai labai priklauso nuo skysčio naudojamo konstrukcijoje ir yra artimi pačių ER skysčių privalumams ir trūkumams [1 – 4].

ER movos išsiskiria šiais privalumais:

- Greitaveika.
- Valdymui reikalingos mažos energijos sąnaudos
- Gali būti naudojamos plačiame temperatūrų diapazone.
- Gali būti valdomas ir keičiamas per movą perduodamas sukimo momentas.
- ER movos gali atlikti apsauginę funkciją.

Tačiau neskaitant visų paminėtų privalumų šios movos turi trūkumų:

- Žmogui pavojinga valdymo įtampa.
- Būtina tiksli gamyba ir surinkimas( 7-9 IT).
- Movą sudaro pakankamai daug elementų, todėl didėja gedimo tikimybė.
- ER skysčio netobulumas (ilgesnį laiką nenaudojant skysčio jame esančios dalelės nusėda).

**4. Reikalavimai keliami ER movoms.** Movoms, kuriose naudojamas ER skystis, keliami tokie reikalavimai:

- Saugumas. ER skysčio valdymui reikalinga aukšta įtampa, kuri yra pavojinga žmogaus sveikatai ar net gyvybei. Todėl elektrodai turi būti gerai izoliuoti. Reikalingas įžeminimas.

- Hermetiškumas. Iš movos ER skystis turi nenutekėti.
- Kompaktiškumas. Movos gabaritai turi būti kaip galima mažesni.
- Mažos energijos sunaudos. ER skysčiui (o tuo pačiu ir movai) valdyti turi būti sunaudojama kaip galima mažiau energijos, siekiant kuo aukštesnių ekonominių įrenginio eksploatacijos rodiklių.
- Greitaveika.
- Patikimumas. Visos ER movos sudedamosios dalys turi būti pagamintos ir surinktos tiksliai.
- Pakeičiamumas. Avariniu atveju sugadintos movos sudedamosios dalys turi būti kuo lengviau pakeičiamos.

**5. ER movos veikimas.** ER movos įėjimo veleną veikiantis variklio sukuriama sukimo momentas  $T_1$  yra išanksto žinomas iš elektros variklio charakteristikų. Siekiant sužinoti išėjimo veleno sukimo momentą užrašoma visos sistemos galios lygtis (1). Joje laikoma, kad ER movos veikimą, kuomet įtaise naudojami guoliai, variklio sukuriama galia įtakoja tik 1%. Likę 99% galios naudojami šlyčiai ER skystyje kurti [2]:

$$0,01 \cdot T_1 \cdot \omega + P_3 \cdot K = T_2 \cdot \omega \quad (1)$$

čia  $P_3$  – įeinanti ER movos elektrinė galia;  
 $K$  – elektromechaninė konstanta, priklausanti nuo poliarizuojančių dalelių procentinės koncentracijos ER skystyje.

$$K = 1 \cdot 10^{-5} \cdot \% ; \quad (2)$$

Įeinanti movos galia  $P_3$ :

$$P_3 = 2\pi \cdot lEJ ; \quad (3)$$

čia  $E$  – elektros lauko stipris, kV/mm;

$J$  – elektros srovės tankis,  $\mu\text{A}/\text{cm}^2$ .

Skaičiavimuose srovės tankio reikšmė imama iš gamintojo pateiktų ER skysčio parametrų. Surašius žinomus parametrus į sistemos galios lygtį gauname:

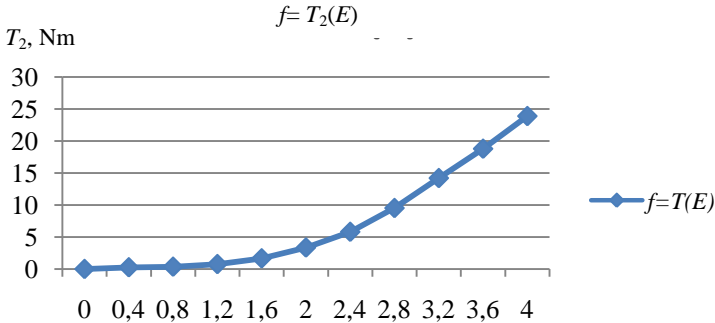
$$T_2 = \frac{0,01 \cdot T_1 + 2\pi \cdot r_1^2 lEJK}{\omega} . \quad (4)$$

Skaičiavimų rezultatai pateikiami Lentelėje 1.

Išėjimo veleno sukimo momento priklausomybę nuo veikiančio elektros lauko iliustruoja 2 pav.

Lentelė 1

$E$ , kV/mm	0	0,4	0,8	1,2	1,6	2,0	2,4	2,8	3,2	3,6	4,0
$T_2$ , Nm	0	0,26	0,35	0,76	1,66	3,35	5,80	9,52	14,2	18,8	23,9



2 pav. Išėjimo veleno sukimo momento priklausomybė nuo veikiančio elektros lauko

**Išvados.** Išanalizavus patentinę medžiagą ir literatūrą, suprojektuota mova, kurioje pritaikomas ER skystis. Atsižvelgiant į šių movų privalumus, trūkumus ir veikimą galima teigti, kad jos gali būti naudojamos visuose įrenginiuose, kuriuose reikalaujama greitaveikos ir atsakingumo.

## Literatūra

1. **Conrad, H.** Properties and design of electrorheological suspensions.- MRS Bulletin, Vol. 23, No. 8, August 1998.
2. **Tan, K. P., Stanway, R., Bullough, W. A.** Shear mode ER transfer function for robotic applications.- University of Sheffield, UK, 2005.
3. <http://free.patentfetcher.com/>, žr. 2008 03 20
4. ER Fluids Developments Ltd, Electro-Rheological Fluid LID 3354, Technical Information Sheet, UK, 1998.

# DYZELINIO VARIKLIO ĮPURŠKIMO SISTEMOS TOBULINIMAS

**Raimundas LAURINAVIČIUS**

Eksporto inžinerijos studijų programa, Kauno technologijos universitetas

**Prof. Dr. Alvydas KONDRATAS**

Kauno technologijos universitetas

**Darbo tikslas:** Sumažinti laivų variklių kenksmingų išmetamųjų medžiagų kiekį į aplinką, modernizuojant dyzelinio variklio įpurškimo sistemą.

**1. Įvadas.** Dyzeliniai varikliai dėl savo paprastos konstrukcijos ir eksploatacijos yra plačiai paplitę transporte. Kai kuriuose srityse pavyzdžiui sunkiajame transporte ir laivininkystėje jie sudaro apie 95%. Brangstant kurui, padidėja jų eksploatacijos išlaidos ir todėl yra pradėta ieškoti jam alternatyvų, bei tobulinti variklių konstrukcijas.

Pradedami vis dažniau naudoti pigesni alternatyvūs kuro pakaitalai: nevalytas dyzelinas ir tensidas, kurie naudojami dėl žemos kainos rinkoje. Tačiau šis kuras labai teršia gamtą. Dėl šios priežasties, šios rūšies kuras rekomenduojamas naudoti vietose, kur nėra gyventojų ir neauginamos augalinės kultūros.

Kadangi laivų variklių darbui yra naudojamas nevalytas dyzelinas, kuriame daugiau anglies, nei valytame dyzeliniame kure, nuo 2000 metų IMO (International Maritime Organisation) variklio darbui nustatė išmetamo į atmosferą CO ir NO<sub>x</sub> kiekio apribojimus [1].

Pagal ISO 8217 (2005-11-01) standartą, nevalytas dyzelinas yra leidžiamas naudoti laivininkystės transportui kaip dyzelino pakaitalas, tačiau dėl didelio kiekio išmetamųjų kenksmingų medžiagų į atmosferą šis kuras yra privalomas naudoti tik atviroje jūroje [2].

Norint sumažinti oro taršą yra naudojami kuro ir išmetamųjų dujų filtrai. Taip sumažinamos kietosios dalelės, išmetamosios dujos 8-10%. Tačiau tai nėra labai efektyvus būdas dėl nustatyto ES CO ir NO<sub>x</sub> limito. Todėl ieškoma kitų techninių ir technologinių sprendimų, pavyzdžiui modernizuoti įpurškimo sistemą, t.y. mechaninį įpurškimo valdymą, pakeičiant elektroniniu [3].

Taikant šias technologijas galima sumažinti anglies viendeginį (CO), azoto oksidus (NO<sub>x</sub>), bei kietąsias išmetamąsias daleles, kurios taip pat turi būti įvertintos, mažinant oro užterštumą [4].

**2. Įpurškimo sistemos modernizavimo tikslas ir realizacija.** Šiuo metu labiausiai paplitęs yra mechanškai valdomas laivų dyzelinių variklių kuro įpurškimas t.y. kuro įpurškimo mechanizmas kinematiškai susietas su pagrindiniu variklio velenu, ir kuras yra įpurškiamas tik viena kartą darbinio ciklo metu.

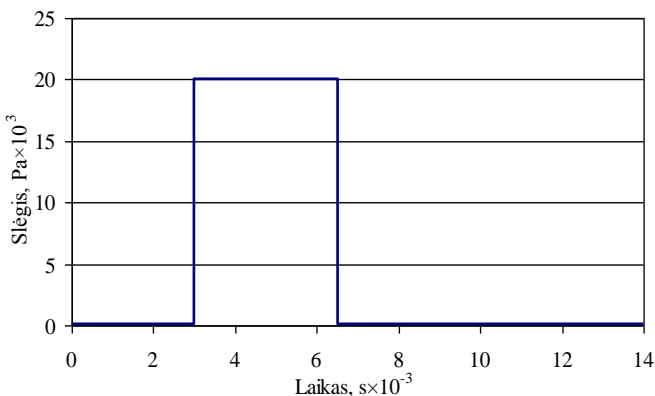
Pakeitus kuro įpurškimo sistemos valdymą elektroniniu galima lengviau valdyti kuro įpurškimo procesą, reguliuoti jo trukmę, įpurškimo momentą, bei kuro įpurškimo procesą skaidyti į kelias dalis.

Norint optimizuoti variklio darbą yra būtina ištirti, suderinti ir sureguliuoti kuro purkštukų darbo parametrus.

Tokių procesą tirti variklyje praktiškai yra sudėtinga. Tokiems tyrimams reikalinga aukšto slėgio kuro įpurškimo modeliavimo kamera, kurioje aukšto slėgio aplinkoje per skaidrią pertvarą galima būtų stebėti kuro pasisiskirstymo ir susimaišymo procesą, apšvietus lazeriu, bei procesą registruojant greitaveike filmavimo kamera. Taip galima nustatyti slėgio ir elektronikos sistemos parametrus.

Taikant šias technologijas variklyje, vienas kuro įpurškimas yra dalinamas į kelis. Prailgėjus kuro degimo procesui, kurio metu kuras yra geriau sudeginamas, taip beveik nėra sočiųjų, mažiau išmetama anglies viendeginio, bei azoto oksidų.

Įpurškiant kurą vienu impulsu 1 pav. reikiamu momentu yra užtikrinamas klasikinis dyzelinio variklio veikimas, tačiau variklio parametrų reguliavimas lieka minimalus. Sudegus kurui, didelės koncentracijos CO ir NO<sub>x</sub> dujų dalis patenka į aplinką, kurios teršia gamtą.

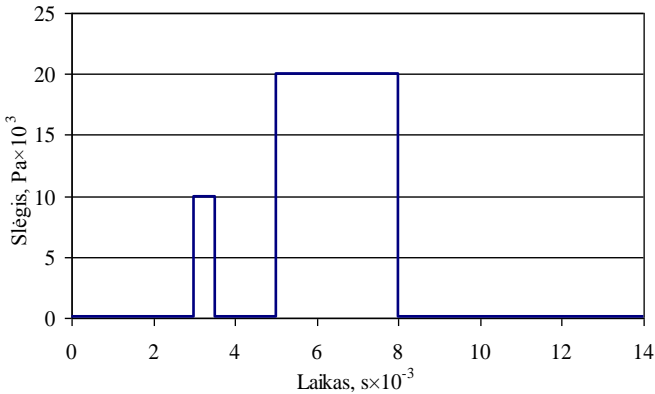


1 pav. Vieno kuro įpurškimo technologija

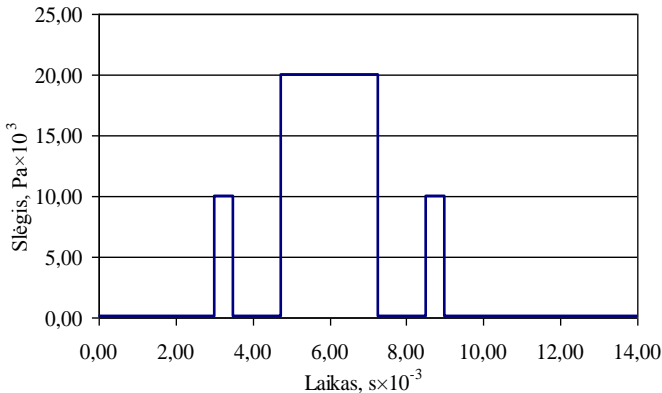
Keičiant įpurškimo sistemą ir prailginus įpurškimo laiką dviem įpurškimais 2 pav., naudojant elektromagnetinius purkštukus su atskira aukšto slėgio talpa yra prailginamas kuro degimas, variklio darbas yra tolygesnis, taip pat įpurškiant kurą dviem įpurškimais po arba prieš pagrindinį kuro įpurškimą, vyksta cheminė reakcija, taip dalinai yra sumažinamas CO arba NO<sub>x</sub> kiekis. Šis įpurškimo būdas nėra plačiai taikomas, nes sumažinus CO kiekį padidėja azoto oksidų išmetamasis kiekis į aplinką.

Naudojant trijų įpurškimų technologiją 3 pav. ir prailginus įpurškimo laiką - prailgėja degimo procesas, kurio metu geriau sudega suodžiai. Taikant šią

technologiją, vykstant degimo procesui - vyksta kelios cheminės reakcijos. Pagrindinis kuro įpurškimas - degimo energijai išgauti, o trumpi kuro įpurškimai mažina išmetamųjų dujų CO ir NO<sub>x</sub> kieki į atmosferą. Nes įpurškus prieš pagrindinį įpurškimą atitinkamą kuro kiekį į degimo kamerą - variklio darbas tampa tylesnis, bei vykstant cheminei reakcijai sumažėja CO kiekis. Antruoju pagrindiniu įpurškimu išgauna degimo energija. Baigiantis degimo procesui, įpurškiamas trumpas trečiasis kuro įpurškimas, kad sumažinti NO<sub>x</sub> kieki. Tačiau taikant tokį įpurškimą - greitai užsiteršia išmetamųjų dujų vamzdžio katalizatorius.



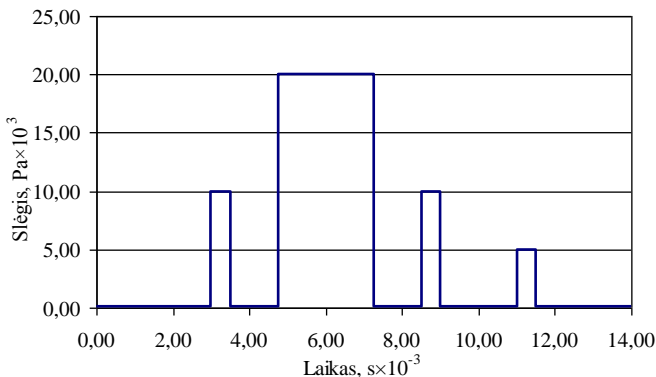
2 pav. Dviejų kuro įpurškimų technologija



3 pav. Trijų kuro įpurškimų technologija

Kad neužsiterštų išmetamųjų dujų katalizatorius naudojama 4 pav. keturių įpurškimų technologija. Sumontavus papildomą purkštuką išmetamajame dujų vamzdyje, kur yra įpurškiamas atitinkamas kuro kiekis, nes besibaigiančiam

degimo procesui yra reikalingi keli cheminiai elementai katalizatoriui valyti, todėl galima naudoti paprastesnius ir pigesnius kenksmingų išmetamųjų dujų filtrus.



4 pav. Keturių kuro įpurškimų technologija

### *Išvados*

1. Modernizuota dyzelinio variklio kuro įpurškimo sistema.
2. Pasiūlyta galimybė sumažinti variklio kainas aukšto slėgio siurbliuką, kuris yra brangiausia variklio detalė, pakeičiant individualiais purkštukais.
3. Užtikrinamas tolygesnis variklio darbas bei pigesnė jo eksploatacija.
4. Neužsiteršia greitai išmetamųjų dujų vamzdžio katalizatorius bei naudojami paprastesni ir pigesni išmetamųjų dujų filtrai.

### **Literatūra**

1. International Maritime Organisation, MP/CONF. 3/35, Annex. Technical code on Control of Emission of Nitrogen Oxides from Marine Diesel Engines. - October 1997.
2. Shell Marine Products. ISO 8217–2005 new ISO specification for marine fuels.1/3. - December 16th 2005.
3. **Aoyagi Y., Kunishima E., Asaumi Y., Aihara Y., Odaka M., Goto Y.** Diesel combustion and emission using high boost and high injection pressure in a single cylinder engine. Advanced combustion technology in internal combustion engines. - International Symposium on Diagnostics and Modeling of Combustion in Internal Combustion Engines (COMODIA 2004) No.6, Japan, (05/08/2004) 2005, No.4, pp.648-655.
4. **C.Fink, B.Buchholz, M.Niendorf, H.Harndorf.** Injection spray analyses medium speed engine using marine fuels. - ILASS 2008, Como Lake, Italy, Sep. 8-10, 2008.

# DESIGN OF MANIPULATOR WITH TWO DEGREES OF FREEDOM

**Karolis ŠILEIKA**

Studies programme of Mechatronics, Kaunas University of Technology

**Assoc. Prof. Dr. Arūnas LIPNICKAS**

Mechatronics Centre for Research, Studies and Information,  
Kaunas University of Technology

**Introduction.** In this paper the design of manipulator with two degrees of freedom, run by two stepping motors, is proposed.. While it has two axes that are actually in use, the construction is calculated as for three axis manipulator. The third link is present only in calculations, as part of manipulators link's mass, leaving it as a feasible possibility for further device's improvement.

The applications of similar industrial manipulators span over most of industries: food, car, industrial vehicles, chemistry, building, electro-mechanics, wood, mechanics, textile, medicine and many others. This manipulator would be best fit to use with conveyor systems, consisting of one or two conveyors carrying low mass objects, with certain shape futures.

**1. Prototype design.** In sense of construction and operation principles prototype design is similar to SCARA type robot design which is built with 2 parallel rotary joints, *Joint 1* and *Joint 2*, (Fig. 1) to provide compliance in a plane, work in the XY-plane and have Z-movement, *Joint 3* (Fig. 1).

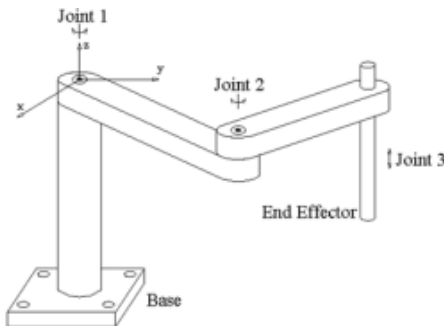


Fig.1 SCARA type robot principal construction [1]

Advantages of presented prototype design compared to serial SCARA robots are simple design, inexpensive constructional elements, inexpensive and simple control elements, simple control [1].



**2. Prototype working area.** In the presented work values of manipulator dimensions, directly influencing area of workspace (lengths of links, overall length of arm, bending angle between links, maximum turn angle of whole arm, maximum turn angle of whole arm), were assigned.

Afterwards lengths of links were assigned after analyzing data on existing serial SCARA robots of various manufacturers (Toshiba machine, Kuka, Adept, Yamaha, Epson and others). The working area drawing (Fig. 2) was drawn using *AutoCAD 2007* program and subsequently available area of  $0.94 \text{ m}^2$  was calculated.

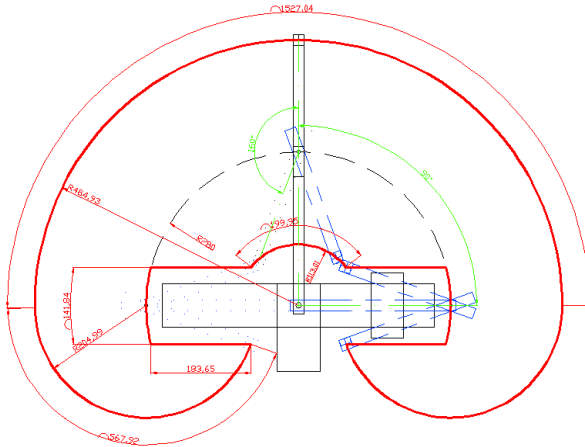


Fig.2 Prototype working-area

**3. Prototype mass.** Having necessary initial dimensions defining prototype size (in horizontal plane), limited edition aluminium profiles (MB Building Kit System profiles), were selected as construction material. After all the necessary elements were selected mass calculations were done. Some elements masses were determined by weighing them. Overall mass includes mass values of elements which directly influence performance of the prototype's arm. The calculated value was  $m=1.314 \text{ kg}$ . The mass of the arm was calculated including the maximum allowable mass of transferred object (which was set in accordance to the possible mass of an object (-s) to be used with a transferring unit).

**4. Dynamics and kinematics.** Designing of prototype included a brief study on manipulators' dynamics. While the forward dynamics problem is concerned with computing the joint accelerations given the actuator forces and torques [2], the Inverse dynamics is used to compute the associated moments (joint torques) that lead to that movement, under a special set of assumptions (given the joint positions, velocities, and accelerations).

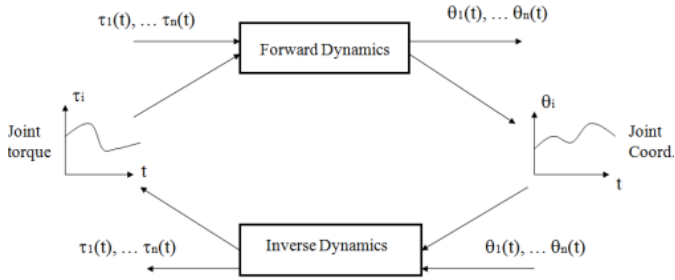


Fig.3 Representation of Forward and Inverse dynamics relation [3]

Because of grate complexity involved in the Forward or Inverse dynamics theory and direct practical application, neither of these methods were applied directly, but rather taken the basic of the concepts and evaluated based on the situation. Theoretical velocity and acceleration calculations were made to evaluate prototype dynamics.

For evaluation of manipulator's dynamics moments of inertia of separate components were calculated when arm was in straight and at maximum bent-angle positions.

General expression for moment of inertia is

$$J = ml^2, \quad (1)$$

where  $m$  is mass of an object in kg and  $l$  is the (perpendicular) distance of the point mass to the axis of rotation in m.

Moments of inertia of straight and bent arm were calculated using principle of additivity [4] represented by formula

$$J_z = \sum_{i=1}^n J_{z_i}, \quad (2)$$

where  $J_{z_i}$  is moment of inertia of  $i$ -th body and  $J_{z_i}$  is calculated using Heigens and Steiner theorem (theorem of parallel axis)

$$J_{z_i} = J_{c_i} + ml^2, \quad (3)$$

where  $J_{c_i}$  is moment of inertia of a body with mass  $m$  with respect to the axis going through the centre of mass of that body and  $l$  is perpendicular distance from centre of mass of a body axis to the parallel shaft  $z$  (axis of moment of inertia for arm as a system).

Afterwards motor starting min and max velocity at minimum and maximum pull in frequency , maximum and minimum frequency at which motor can be started, were calculated to evaluate angular acceleration

Formula for angular acceleration

$$\alpha = \frac{w_n}{t_{st}}, \quad (4)$$

where  $w_n$  is nominal velocity and  $t_{st}$  is angular acceleration.

From obtained results, change in overall moment of inertia or arm was evident. Thus it implies that prototype will perform faster at lesser angle between links.

Considering kinematics in robotics a combination of forward and inverse kinematics was used in making up the control code for controlling the work of prototype arm.

**5. Prototype assembly.** Before assembly necessary electrical elements were selected; hybrid stepper motors [Model 23HS2\_] were selected as a driving unit for both links. Fully Sealed Container Cermet Potentiometer enabled to track the exact position (rotated angle produces definite voltage output change) of manipulators “arm” and was monitored on the PC display. Other essential elements were: position (resistance) to voltage converter microchip, dual full-bridge stepper motor driver and ATmega16 microcontroller.

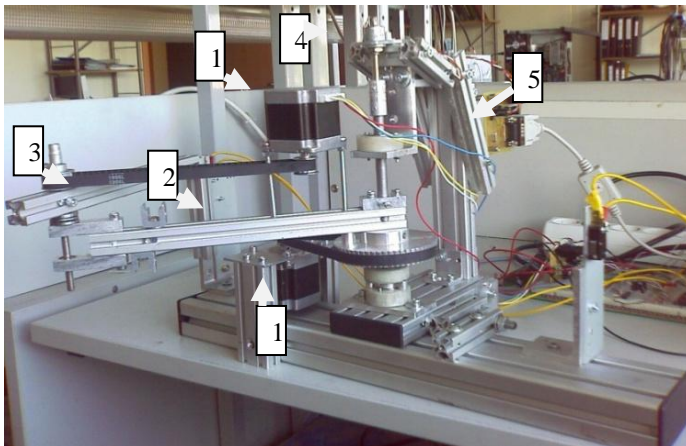


Fig.5 Prototype of manipulator: 1- hybrid stepper motors [Model 23HS2], 2- first link, 3- second link, 4- fully sealed container cermet potentiometer, 5- position (resistance) to voltage converter microchip

Having selected all necessary components for prototypes assembly, and having drawn working drawings prototype was assembled (Fig. 5).

**6. Prototype control.** The control algorithm for stepper motor is realized in such a way, that would need four parameters describing a speed profile, shown in Figure 6 (the motor is given impulses for one of the parameters until timer check (every 4 microseconds) verifies that destined position/number of impulses is reached). It starts at zero speed and accelerates up to the given speed. Subsequently the speed is held constant until deceleration starts. Finally the motor decelerates to zero speed. The distance for acceleration, working speed and deceleration was expressed in impulses (Fig.6).

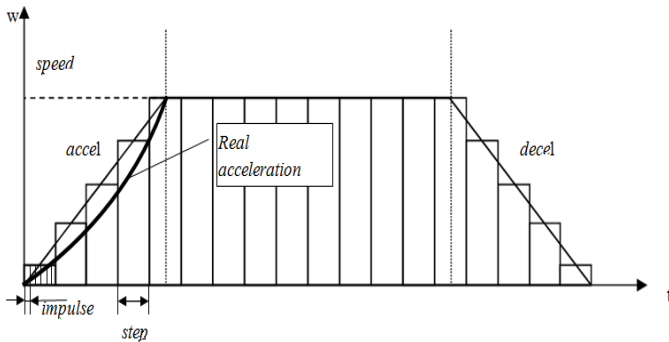


Fig.6 Speed profile

User interface allows control of acceleration, working velocity, deceleration and travelled distance independently, making it convenient and flexible to perform optimization of four working parameters. Using potentiometer position's monitoring program *Docklight V 1.7* was possible to monitor the effect of changes of four parameters to the stability of end-stopping position of arm, having precise position value (change in potentiometer resistance converted to binary or decimal code) in the monitoring program window.

### Conclusions

1. In presented work the prototype of a manipulator of 2 degrees of freedom was designed according to working principle and construction characteristics similar to SCARA type with the purpose for continuous repeated motion with possibility to extend operation to "pick-and-place".
2. Prototype was designed to be assembled from limited set of constructional elements, which made the construction light and easy to assemble.
3. All components, electrical and mechanical parts, were selected so they would be compatible one with another and allow the prototype to perform defined continuous repeated motion.

4. Manipulator's dynamics and kinematics, related to robotic arm dynamics and kinematics, were used to evaluate manipulators performance and control possibilities. Machine was assembled and tested for functionality.

## References

1. **M. F. Mendes, W. Kraus Jr., E. R. de Pieri.** Variable Structure Position Control of an Industrial Robotic Manipulator.- J. Braz. Soc. Mech. Sci. vol.24, No.3, Rio de Janeiro, July 2002.
2. **Uri M. Ascher, Dinesh K. Paiyand Benoit P. Cloutierz.** Forward Dynamics, Elimination Methods, and Formulation Stiffness in Robot Simulation.- Int. J. Robotics Res. 16 (1997), 749-758 p.
3. **Duy Nguyen-Tuong, Jan Peters, Matthias Seeger, Bernhard Scholkopf.** Learning Inverse Dynamics: a Comparison.- Proceedings of ESANN 2008, 13-18. (Eds.) Verleysen, M. d-side, Evere, Belgium, 04 2008.
4. **Rimgaudas Adolfas Bendorius ir Stanislovas Aloyzas Karpinskas.** Rinkiniai Fizikos Praktikumio Klausimai.- Vilnius "Technika", 2002.

## Summary

The two degrees of freedom manipulator was designed. In sense of construction and operation principles prototype design is similar to SCARA type robot design. Hybrid stepper motors [Model 23HS2\_] were selected as driving units for both links. The control algorithm for stepper motor is realized in such a way that would need four parameters describing a speed profile. User interface allows control of acceleration, working velocity, deceleration and travelled distance independently, making it convenient and flexible to perform optimization of four working parameters.

**Acknowledgement:** JSC "Elintos prietaisai" for the received support.

# THRESHOLD METHODS IN THE VISUAL TRACKING OF CONTRAST OBJECTS

**Yulia PODOGOVA**

National Aviation University, Ukraine

**Assoc. Prof., Ph. D. Maryna MUKHINA**

National Aviation University, Ukraine

The visual tracking of contrast objects has various applications, starting from the robotic manipulation and landmark navigation and finishing by military purposes like guidance. The visual tracking may vary up to the way of tracking object detection: either it is set apriori (e.g. by operator) or must be found by searching the matching with some templates.

But once the object is detected the visual tracking itself starts. It includes the continuous locating of the selected object at the image.

**Problem statement.** The tracked object is supposed to set by the operator as one of point that belongs to the object. The first problem is to detect all pixels of object  $Z = \{p_1, p_2, \dots p_n\}$  and construct the object model for further tracking. The next stage is to detect all objects on the video frames and identify the object with characteristics that do not sufficiently differ from the object characteristics on the previous frame.

The video consisting of frames  $390 \times 240$  pixels is presented in the grayscale, fps is 25. Let's assume that for the very first frames the point that belongs to the object is given by the human operator.

The following constraints will be applied:

- the object proportions are not greater than  $48 \times 48$  px;
- the object proportions are not less than  $4 \times 4$  px;
- the object contrast is not less than 5% from the background intensity;
- the maximal speed of object center is not over 8 px/frame.

The methods of binarization will be considered. The efficiency of threshold methods will be appreciate by criterion of calculation time of each method will be compared.

**Review of approaches.** For solving this problem there is a variety of methods possible for use. They include:

- Entropy-based thresholding algorithms [4], which compute the entropy of the foreground-background regions and the cross entropy between the original and binarized images.
- Otsu's threshold method [2], which minimizes (maximizes) the weighted sum of intra-class variances (inter-class scatter) of the foreground and background pixels to establish an optimum threshold.

The optimal threshold is the one that maximizes the between-class variance (or, conversely, minimizes the within-class variance).

Results of both methods are binary images, which give the pixels of object color and pixels of background color.

## ***Solutions***

### **I. Entropy method.**

According to Shannon's 2nd theorem [3] if the event  $i$  occurs from a set of valid events, with the probability  $p_i$  the amount of uncertainty related to the event is equal to:

$$H_i = -\log_2(p_i) \text{ (bits / Symbol)} \quad (1)$$

And also the amount of the uncertainty that the source of the events generates is equal to:

$$H = -\sum p_i \log_2(p_i) \text{ bits} \quad (2)$$

From equation (2) it can be seen that the highest amount of uncertainty from an information source is realized when the output symbols of the source are equally probable.

The idea behind local entropy method is to divide the processed image into separate regions and then to analyze each region separately as information source. The amount of entropy calculated for each region gives an overview about the level of correlation between individual blocks (bits) in the selected region.

### **II. Otsu's method.**

Otsu applies clustering analysis to the gray level data of the input image. The method models two clusters of Gaussian distribution of the pixels, one for background and the other for foreground regions. The optimal threshold value is found by minimizing the weighted sum of within-class variance of the two classes of pixels.

Otsu's thresholding method is based on selecting the lowest point *between* two *classes* (peaks).

- *between-classes* variance ( $\delta b^2$ ):

The variation of the mean values for each class from the overall intensity mean of all pixels:

$$\delta b^2 = \omega_0 (\mu_0 - \mu_t)^2 + \omega_1 (\mu_1 - \mu_t)^2,$$

Substituting  $\mu_t = \omega_0 \mu_0 + \omega_1 \mu_1$ , we get:

$$\delta b_2 = \omega_0 \omega_1 (\mu_1 - \mu_0)^2$$

$\omega_0$ ,  $\omega_1$ ,  $\mu_0$ ,  $\mu_1$  stands for the frequencies and mean values of two classes, respectively.

Threshold method was performed. So we get such results (Fig.1).

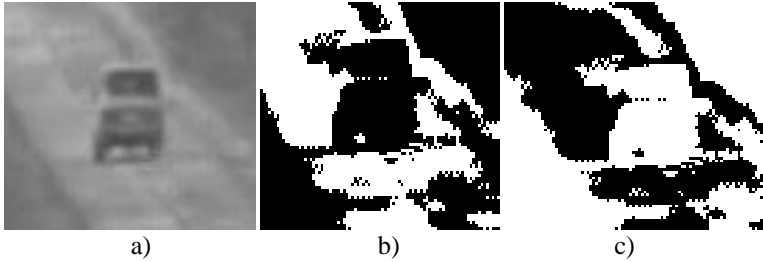


Fig.1: a) Initial frame; b) Otsu's method; c) Entropy method.

Besides this for initial frame was impose a Multiplicative noise with variance 0.08. Results are represented on the Fig.2 and Table 1.

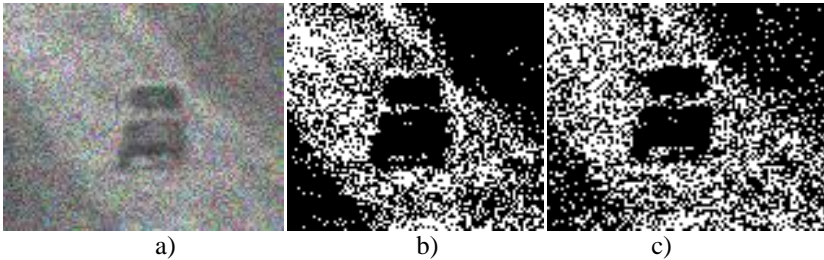


Fig.2: a) Frame with Multiplicative noise, with variance 0.08; b) Otsu's method; c) Entropy method.

Table 1

Threshold method	Time of thresholding, sec.	Time of thresholding with noise, sec.
Otsu's method	30	73
Entropy method	55	102

**Conclusions.** The different in quality and contrast video files were analyzed and processed according to the given algorithm that was realized in *MATLAB* 2007a software. Comparing results of the calculation time we can see that the Otsu's thresholding method is more quick, efficient and accurate.



## References

1. **M.P. Mukhina Assoc. Prof., PhD.** Algorithm of visual tracking of contrast moving objects. - Proceedings of the third world congress “Aviation in the XXI-st century”, “Safety in aviation and space technology”, September 22-24, 2008, Volume 2, p.32.33-32.37
2. **Otsu, N. A** Threshold Selection Method from Gray-Level Histograms. - IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics, Vol. 9, No. 1, 1979, pp. 62-66.
3. **C.Shannon.** A Mathematical Theory of Communication. - Bell System Technology Journal, 1948, vol. 27, pp. 370-423, 623-656.
4. **C.A.B.Mello** A New Entropy and Logarithmic Based Binarization Algorithm for Grayscale Images. - IASTED International Conference on Signal and Image Processing, 2004, pp. 418-423.

# NANOSPHERE LITHOGRAPHY USE FOR NEMS CREATION

**Alfredas BRUNIUS**

Studies programme of Mechatronics, Kaunas University of Technology

**Assoc. Prof. Dr. Asta GUOBIENĖ**

Institute of Physical Electronics, Kaunas University of Technology

*Aim and review.* Nanoelectromechanical systems or NEMS are similar to Microelectromechanical systems (MEMS) but smaller. They hold promise to improve abilities to measure small displacements and forces at a molecular scale, and are related to nanotechnology and nanomechanics [1]. Design and development of micro/nanoelectromechanical systems (MEMS/NEMS) requires non-adhesive surfaces. Biomimetic surfaces that utilize the lotus-effect (roughness-induced superhydrophobicity and self-cleaning) can satisfy this need. A rough superhydrophobic surface is usually made of or covered by a hydrophobic material (such as, for example, wax or teflon) and has roughness with a typical detail size ranging from one micron to dozens of microns. Hydrophobicity is characterized by the contact angle (CA) that water forms with a solid surface. Due to the roughness, the hydrophobic properties magnify, according to the Wenzel model, from the original contact angle,  $h_0$ , to  $\cos\theta = R_f \cos\theta_0$ , where  $R_f$  is the roughness factor equal to the ratio of the solid-liquid contact area to its flat projection; thus  $R_f > 1$ . Superhydrophobic surfaces have a very high CA in the range from  $150^\circ$  to  $180^\circ$  [2].

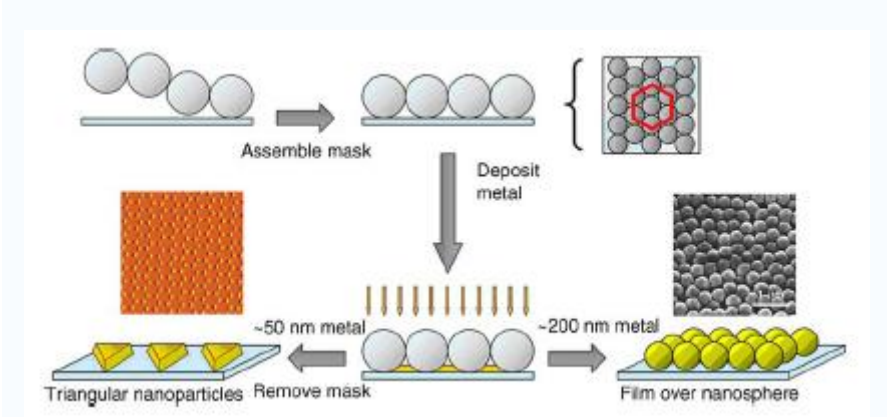


Fig. 1. Nanosphere lithographic fabrication of nanoparticle arrays and film over nanosphere surfaces.

Nanosphere lithographic techniques are easily used, yet surprisingly versatile and powerful tools for the design of nanoscale materials with size and shape tunable optical properties. The fabrication of arrays of triangular nanoparticles in the interstices between the elements of the nanosphere deposition mask and formation of metal film over nanosphere (MFON) structures by deposition of metal that completely covers the mask are the two most direct NSL procedures, and are shown in Fig. 1 [2].

Schematic illustrations of the procedure for fabricating moulds of nanoimprinting by NSL present in Fig 2. (a) arrangement of hexagonal closely packed PS spheres on a SiO<sub>2</sub> film deposited by PECVD on a glass substrate as template; (b) thinning the template by reactive ion etching (RIE) with oxygen; (c) etching the SiO<sub>2</sub> film through the PS sphere arrays to form SiO<sub>2</sub> nanoplates which serves as a mould for nanoimprinting; and (d) removing the PS template [3].

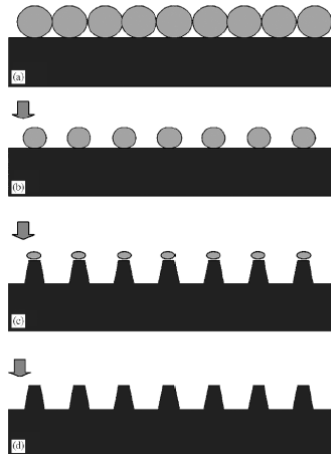


Fig. 2 Schematic illustrations of the procedure for fabricating moulds of nanoimprinting by NSL

The aim of this work is to use nanosphere lithography technology for fabrication of hydrophobic surface to produce of NEMS.

### ***Investigation***

#### **A. Pretreatment of Substrates**

The silicon (100) substrate (10x10 mm) with a resistivity of 2000  $\Omega$ /cm (p-type) was pretreated in a “piranha” solution (70% concentrated H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>: 30% H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>) for 1 h (caution: piranha solution reacts violently with organic chemicals).

#### **B. Preparation of PS Sphere Template**

Solute PS nanospheres (polystyrene latex) in water, diameter of 750nm, weight concentration 2,5%, dripped and dried in normal atmosphere conditions.

### C. Formation of Ag or Ni Dot Pattern

Pure Ag or Ni film was deposited onto the PS sphere template substrate with an electron beam evaporator system (Cubivap) at a pressure of around  $5 \times 10^{-6}$  Torr. The thickness of the deposited Ag or Ni film was controlled by the deposition time at a constant evaporation rate of 0,5 nm/s. Finally, the PS sphere template was removed by dimethylphormamide for 120 s. As a result, a triangle Ag or Ni dot array pattern was obtained. Afterwards, the samples were imaged using an atomic force microscope NT-206 and Hitachi S-4800 field emission scanning electron microscope [4].

**Results.** Before assemble nanospheres was counted what quantity nanosphere water solution we need, that they would cover crystal Si plate surface with monolayer. Quantity counted for  $1 \times 1 \text{ cm}^2$  area Si base [5]. Counted quantity equal 1,9  $\mu\text{l}$ . Results given in Table 1.

Table 1

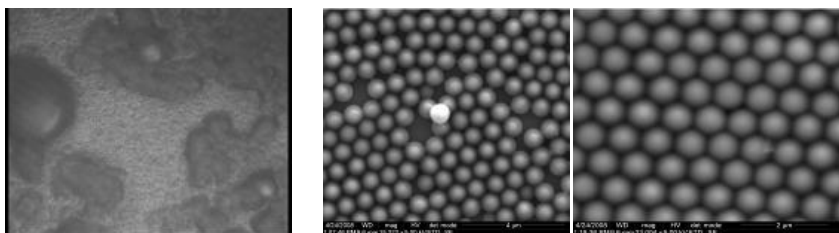
Results for covering whole area with monolayer

Plate length ( $\mu\text{m}$ )	10000
Plate width ( $\mu\text{m}$ )	10000
Sphere diameter d ( $\mu\text{m}$ )	0.75
Sphere radius r ( $\mu\text{m}$ )	0.375
Number of spheres in 1 ml	1.07842E+11
Number of spheres in line	13333.33
Number of sphere lines	15395
Number of spheres in whole area	205253838
Quantity (ml) needed to cover whole area with monolayer	0.00190328

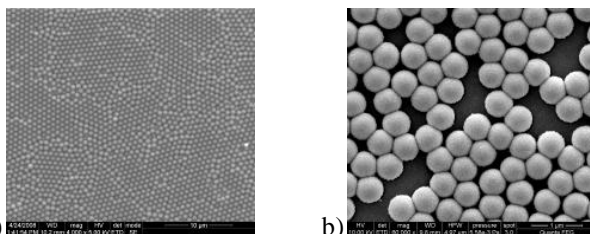
Nanosphere spreads on surface possible modify chemically using chemical materials like sulphate. During research 750 nm diameter PS nanosphere water solution was modified with natrium dedocyl sulphate solution and that improved PS monolayer on Si surface structure orderliness Fig. 3.

On first experiment was used 10% natrium dedocyl sulphate solution. As we can see on Fig. 4, a there are a lot of natrium dedocyl leftovers. According to this in later experiments we used 1% solution and results in Fig. 4, b.

On surface modified with nanospheres was deposit 50 nm Ag (Fig.4b) and 20 nm Ni layer (Fig. 5).



a) b)  
 Fig. 3 Chemically modified natrium dedocyl sulphate solution PS nanosphere; a) -using 10% natrium dedocyl sulphate solution b) - using 1% natrium dedocyl sulphate solution.



a) b)  
 Fig. 4 a) - Si surface modified with PS nanospheres; b) – PS nanospheres modified with Ag (50 nm)

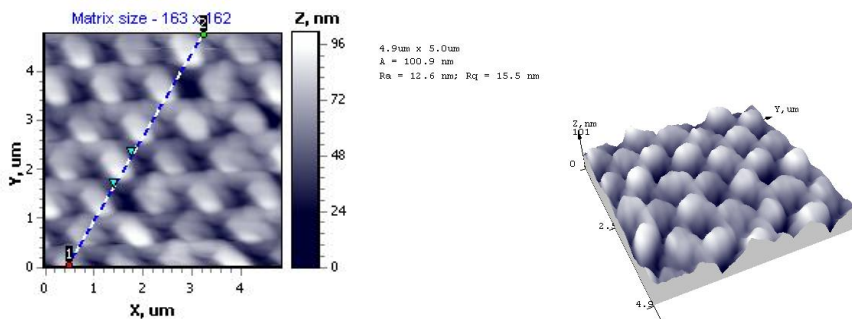


Fig. 5 PS Nanospheres modified Ni (20 nm)

After PS nanospheres covered Ag or Ni layer shapes hexagon nanospheres. For NS removing (liftoff) we use organic solution (dimethylphormamide). Expecting result was to get controllable dimension nanostructures (Fig. 6).

Si plate with PS sphere monolayer was etched in SF<sub>6</sub> plasma. As we can see in Fig. 7, a first experiments was not successful. According to this next experiment before reactive ionic etching, plate with PS sphere layer was kept for 2 min. in O<sub>2</sub> plasma and after etched in inductive plasma CF<sub>4</sub>. In Fig. 7, b we can

see results after keeping in O<sub>2</sub> plasma – on some places there is opened Si that means that spheres became smaller. In Fig. 7, c we can see successful Si etching.

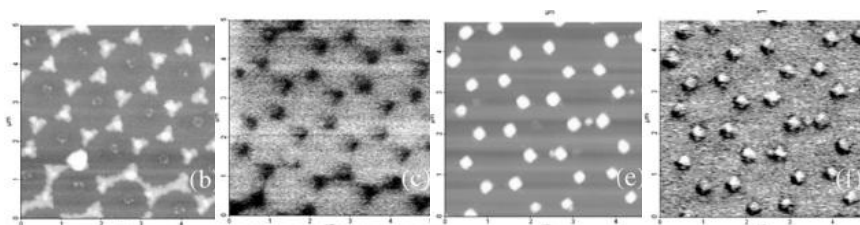


Fig. 6 Samples of modified surfaces [4].

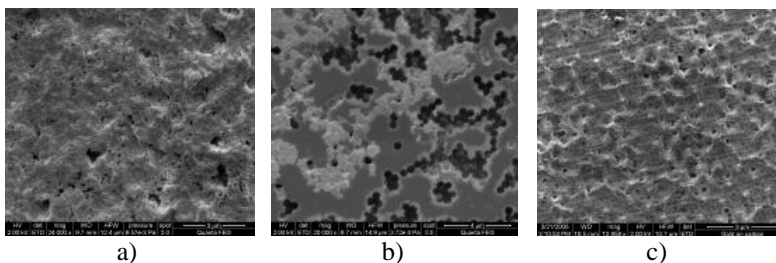


Fig. 7 Dry Si etching, using PS spheres; a – etched in SF<sub>6</sub> plasma; b – view after keeping for 2 min in O<sub>2</sub> plasma; c – Kept in O<sub>2</sub> plasma and etched in induced plasma CF<sub>4</sub>

We rated modified with nanospheres Si surface hidrofobic features ( contact angle measurement ). Results given in Table 2.

Table 2

Modified Si surface contact angle measurement

Surface	Si	After „piranha“	Modified with sulphate	Modified with PS spheres	After etching in plasma CF <sub>4</sub>
Angle, °	47	2	2	86	98

**Conclusions.** The surface of Si crystalline wafer was modified by means of nanosphere lithography. Si (100) wafers were used, that were covered with 0,75 μm diametre PS nanospheres. Methods of nanosphere application (with chemically unmodified nanospheres and nanospheres modified with natrium dedocyl sulfate) were experimented and results obtained by Scanning Electron and Atomic force Microscopy were presented.

It was used two types of metal films Ag and Ni, done experiments for nanospheres eliminating and metal nanostructure formation. Expecting results Fig. 6. Experiments still in progress.

After measuring contact angle was rated hydrophobic features (Table 2).

## References

1. <http://en.wikipedia.org/wiki/NEMS>
2. **M. Nosonovsky, B. Bhushan.** Do hierarchical mechanisms of superhydrophobicity lead to self-organized criticality?- Scripta Materialia, Vol.59 , Issue 9, 2005, p.941-944
3. [www.elsevier.com/locate/jcrysgro](http://www.elsevier.com/locate/jcrysgro)
4. **Huaqing Li, Jeremy Low, Kolin S. Brown, and Nianqiang Wu.** Large-Area Well-Ordered Nanodot Array Pattern Fabricated With Self-Assembled Nanosphere Template.- IEEE Sensors Journal, Vol.8, No.6, June 2008.
5. **McCord, M. A. & Pease, R. F. P.** Lithography with the scanning tunneling microscope.- J. Vac. Sci. Technol. B 4, 1986, p.86–87.

## Summary

Nanosphere lithography was researched for nanoelectromechanical system technology development in order to get hydrophobic surface.

# GRŪDŲ KOKYBĖS PARAMETRŲ NUSTATYMAS

**Justinas VADLUGA**

Mechatronikos studijų programa, Kauno technologijos universitetas

**Doc. Dr. Inga SKIEDRAITĖ**

Kauno technologijos universitetas

**Darbo tikslas.** Sumodeliuoti ir sukurti prietaisą, skirtą aptikti vabzdžiams ir jų lervoms esantiems grūdo branduolyje. Įtaisas turi gebėti atpažinti vabzdžius ir vabzdžių lervas įvairiose gyvavimo stadijose. Prietaisas turi būti praktiškas, kad jį būtų galima naudoti bet kuriuo transportavimo ar saugojimo metu, nenaudojant papildomų, sudėtingų laboratorinių prietaisų. Sukurtas prietaisas turės gebėti greitai, tiksliai nustatyti užkratą.

**1. Teorinė dalis.** Laikant saugyklose ar transportuojant laivais bei mašinomis, grūduose gali atsirasti kenkėjų užkrato židinių, kurie nenaikinant ir nekontroliuojant gali sumažinti grūdų kokybę ir įtakoti prekės vertę. Todėl svarbu aptikti kenkėjų užkratus ir nustatyti jų išsivystymo lygį saugojimo ar transportavimo laikotarpiu, kad būtų galima imtis veiksmų užkrato kontroliavimui ar sunaikinimui. Kadangi kenkėjai vystosi ir gyvena grūdo branduolyje, užkrato nustatymas tampa sudėtingu. Negalima naudoti tyrimų metodų, kurie trunka ilgai, nes svarbu informaciją gauti duotuoju metu. Transportuojant sudėtinga naudoti tinkamus laboratorinius prietaisus ar įrangą, kuri yra brangi ir jautri aplinkos poveikiui. Užkrato nustatymas saugojimo ir transportavimo laikotarpiu turi būti nustatomas greitai, paprastai ir tiksliai.

**2. Tyrimai.** Javų slaptąjį užkrėstumą nustatyti taikomi įvairūs metodai.

Pamatinis metodo tikslas - suskaičiuoti visus skirtingų rūšių vabzdžius (įvairių vystymosi stadijų), santykinį drėgnumą ir temperatūrą. Imamas ėminys, kuris išlaikomas tiek, kad kuo didesnis skaičius parazitų, esančių jame, išsivystytų iki suaugusiųjų vabzdžių. Pastarieji atskiriami ir nustatoma jų rūšis bei yra suskaičiuojami, kad nustatytume pradinį parazitų kiekį [1].

Ninhidrido metodas taikomas ištirti bet kokius sausus grūdus. Kiaušinėlių ir jaunų lervų skaičius gali būti nevysiškai tikslus, bet metodas yra toks pat efektyvus kaip ir kiti. Tiriamoji grūdų dalis, iš kurios pašalinti matomi gyvi vabzdžiai, yra susmulkinama ant ninhidridu išmirkyto balto popieriaus. Vabzdžių kūno skysčių amino rūgštys, išsiskyrę smulkinimo metu, reaguoja su ninhidrinu, palikdamas purpurines spalvos dėmes [1].

Floatacijos metodas taikomas nepažeistiems grūdams. Tyrimo metu nustatomas ne vabzdžių skaičius, bet rūšis. Metodas pagrįstas tuo, kad slaptasis užkrėstumas mažina grūdų masę. Tyrimas vykdomas į tirpalą panardinant sveikų ir pažeistų grūdų mišinį. Nepažeisti grūdai skęsta, o pažeisti plūduriuoja



paviršiuje. Rezultatai nėra tikslūs, nes grūdai, kuriuose yra ankstyvųjų stadijų lervų, gali skęsti, o nepažeisti - dėl ertmių ar esančių luobelėlių – iškilti [1].

Akustinis metodas taikomas gyviems suaugusiems ir lervų stadijos parazitams grūdo viduje nustatyti. Užkrėstumas vabzdžiais nustatomas pagal perduoto triukšmo lygį. Šiuo metodu negalima nustatyti žuvusių lervų, vabzdžių, gyvų lėliukių, kadangi jos nesimaitina, bei kiaušinėlių [1].

Rentgeno metodas taikomas viduje esantiems tiek gyviems, tiek žuvusiems parazitams nustatyti. Sunkiai atskiriami neseniai žuvę kenkėjai nuo vis dar gyvų. Tyrimas vykdomas paskleidžiant ėminio grūdus vieno grūdo storio sluoksniu tarp rentgeno aparato ir rentgeno plėvelės. Silpnai apšvitintus išryškintoje plėvelėje matoma, ar grūduose yra vabzdžių [1].

Išsiskyrusio anglies dioksido nustatymo metodas remiasi reiškiniu, jog vabzdžiai kvėpuoja ir išskiria anglies dioksidą. Sausų grūdų medžiagų apykaitos reakcijų greitis yra labai mažas, todėl sandariai laikomame grūdų ėminyje padidėjęs anglies dioksido kiekis rodo grūdų užkrėstumo požymį. Anglies dioksido išsiskyrimas sausuose grūduose gali būti jų užkrėstumo požymiu

Išanalizavus žinomus užkrato nustatymo metodus, sudaryta Lentelė 1 pagal kokybinius rodiklius. Iš Lentelės 1 matome, jog akustinis metodas yra optimalus pagal kokybės kriterijus.

Lentelė 1

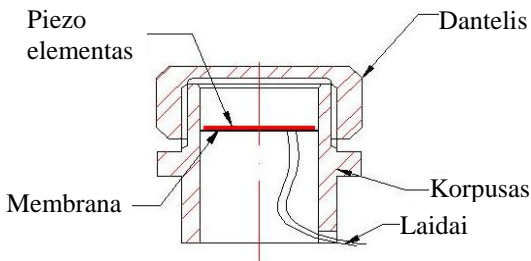
Tyrimo metodų kokybiniai kriterijai

		Kokybės kriterijus						
		Greitas nustatymas	Rezultatų tikslumas	Atskyrimas gyvų kenkėjų	Skirtingų rūšių nustatymas	Išsivystymo stadijos nustatymas	Nereikalinga sudėtinga įranga	Lengvas nustatymo procesas
Metodas	Pamatinis	-	+	+	+	+	+	+
	Anglies dioksido nustatymo	+	+	+	-	-	-	-
	Ninhidrido	+	-	-	-	-	+	+
	Flotacijos	+	-	-	-	-	+	+
	Akustinis	+	+	+	+	+	-	+
	Rentgeno	+	+	-	+	+	-	+

**3. Rezultatai.** Remiantis akustinio užkrato tyrimo metodu, prietaisą sudarys: indas, į kurį talpiname ėminį, virpesių jutiklis, imtuvus (1 pav.). Projektuojamas prietaisas bus sudarytas iš korpuso, membranos, piezo elemento ir dangtelio. Įtaisas jungsis prie signalo stiprintuvo, kuris, esant būtinumui, sustiprins analoginį

signalą. Signalas bus toliau analizuojamas, bei įrašomas į laikmeną. Tai padės nustatyti užkrato išsivystymo lygio priklausomybę nuo išėjimo signalo.

Korpusas sudarytas iš bronzinio cilindro, kurio viršutinėje dalyje yra sriegis, skirtas užsukti apsauginį dangtelį. Dangtelis apsaugo ėminį nuo išorinio poveikio bei triukšmo. Korpusė yra įtaisyta plona metalinė elastinga membrana. Ant membranos priklijuojamas skritulio formos piezo elementas, kuris atlieka jutiklio funkcijo. Prie piezo elemento prijungti laidai jungiami į imtuvą.



1 pav. Prietaiso schema

Šiame darbe kaip daviklis bus naudojamas piezo jutiklis. Toks jutiklis pasirinktas todėl, kad piezo medžiagų naudojimas yra sparčiausiai tobulėjanti sritis. Paskutiniu metu labiausiai paplitusios ir pažangiausios yra metalo oksido pagrindu pagamintos piezokeramikos. Jos yra fiziškai tvirtos, chemiškai ir temperatūriškai atsparios, nesunkiai apdirbamos. Mechanizmų su piezo medžiagomis veikimas yra preciziškas, naudojantis ne daug energijos, patikimas ir ilgaamžis. Tyrimo metu nustatyta, jog parinktas bronzinis korpusas jį liečiant sukelia didelius triukšmus. Rekomenduotina korpusą daryti iš izoliacinės medžiagos, pavyzdžiui plastmasės. Bandinio prototipui galima pritaikyti dažninius filtras ir analizuoti gaunamus signalus tik tam tikrame diapazone.

Pradiniai bandymai parodė, jog prietaiso veikimo principas parinktas tinkamai, piezo elementas reaguoja į virpesius ir generuoja analoginį signalą. Tolimesniuose tyrimuose bus stengiamasi sumažinti esamus triukšmus, bei tirti grūdų bandinius, jog nustatyti išeinamo signalo priklausomybę nuo generuojamų virpesių.

### ***Išvados***

1. Straipsnyje supažindinama su grūdų užkrėstumo būklės nustatymo metodais, jų privalumais ir trūkumais.
2. Taip pat pateikiamas vienas iš daugelio nagrinėtų ir priimtinių būdų nustatyti grūdų užkrėstumą parazitais.
3. Pateiktas projektuojamo prietaiso prototipas, skirtas grūdų kokybės tyrimui, kurio veikimas paremtas akustiniu metodu.

4. Prietaisas leis nustatyti priklausomybę tarp išėjimo signalo ir kenkėjų keliamų virpesių, atskiriant grūdus.

### **Literatūra**

1. **G. Juodeikienė, L. Bašinskienė, A. Repečkienė.** Grūdų cheminės sudėties ir technologinių savybių nustatymas:- Mokomoji knyga. Kaunas, Technologija, 2007, p. 104-120.
2. Piezoelectric Ceramics: Principles and Applications. APC International Ltd, 2003, 100p.

### **Reziumė**

Straipsnyje apžvelgiami grūdų užkrėstų parazitais nustatymo metodai. Išanalizavus privalumus ir trūkumus siūlomas prietaiso prototipas, kurio veikimo principas paremtas akustiniu tyrimo metodu. Pateiktas prietaiso konstrukcijos prototipas. Analizuojami pradiniai tyrimai atlikti su prietaiso prototipu.

# ILGIO KALIBRAVIMO SISTEMOS TYRIMAS

**Dalius UŽAMEDZKIS**

Mechatronikos studijų programa, Kauno technologijos universitetas

**Prof. Habil. Dr. Saulius KAUSINIS**

Kauno technologijos universitetas

**Darbo tikslas:** Sprendžiant ilgio kalibravimo problemas, keliami šie uždaviniai: augantys tikslumo poreikiai; ribinės ilgio kalibravimo neapibrėžties sumažinimo galimybės; praktinės brūkšninių matų kalibravimo tikslumo ribos; ilgio kalibravimo poreikiai Lietuvoje; įterptinė metrologija.

**Linijinių skalių kalibravimo sistema.** Kuriant precizines mašinas, sudarančias aukštųjų technologijų techninę bazę, esminė siekiama naujos sistemos savybė yra jos tikslumas. Sparti technologijų pažanga kelia vis aukštesnius tikslumo, našumo ir kitus reikalavimus precizinėms mechatroninėms sistemoms, tuo pačiu skatindama kurti kokybiškai naujas ir tobulinti esamas mašinas ir prietaisus. Tačiau reikia nemažai mokslinių tyrimų ir techninių inovacijų tam, kad, atliepiant mokslo ir technologijų pažangą, būtų sukurtos kokybiškai naujos sistemos, gebančios derinti prieštarigus tikslumo ir našumo reikalavimus darbo aplinkoje, artimoje gamybinei.

Ilgio ir geometrinių dydžių metrologijos galimybių riba priklauso nuo teoriškai ir praktiškai pasiekiamų matavimo neapibrėžčių, o taip pat nuo matavimo laboratorijų galimybių atliepti sparčiai didėjančius ilgio kalibravimo poreikius. Vis tikslesnio ilgio kalibravimo siekį skatina nuolat mažėjančios tolerancijos (ypač mikro- ir nanotechnologijų srityje) [1], o taip pat mokslinė tendencija ištirti šias galimybių ribas, atliekant fizikinių dydžių matavimus.

*Ribinę* ilgio matavimo neapibrėžtį įtakoja laiko vieneto (sekundės) ir temperatūros vieneto (kelvino) praktinio realizavimo galimybės. Ilgis, kaip pagrindinis SI vienetas, apibrėžtas per šviesos greitį vakuume ir laiko intervalą. Todėl ilgio matavimo neapibrėžtis susijusi su sekundės realizavimo neapibrėžtimi, kuri šiuo metu yra  $1,5 \times 10^{-15}$  eilės dydis [2].

Pagal tarptautinį susitarimą atraminė ilgio matavimo temperatūra yra 20 °C. Todėl tikslumas, kuriuo galima įgyvendinti ITS-90 skalę, esant 20 °C temperatūrai, nusako kitą pirminio etalono sąlygojamą ilgio matavimo neapibrėžties apribojimą. Šiuo metu 20 °C matavimo kartojimasis yra 0,0001 K eilės dydis.

*Praktines* ilgio kalibravimo tikslumo ribas nusako interferencinių matavimo metodų galimybės. Optinių bangų interferometrijos, kuri, esmėje, sudaro praktinę SI ilgio vieneto bazę, galimybes riboja spindulio sklaidimo terpės, dažniausia oro, lūžio koeficiento (refrakcijos indekso) kitimas [3].

**Tyrimai ir rezultatai.** Tiriamoje ilgio matavimo sistemoje naudojamas dinaminis kalibravimo režimas, t. y. matavimai atliekami mikroskopui judant. Mikroskopo kariatėlės perslinkimui išilgai kalibruojamos skalės, naudojama elektromechaninė frikcinė pavara. Ši pavara darbo metu sukelia virpesius, dėl kurių atsiranda linijos detektavimo paklaidos. Kad palyginti mikroskopo virpesius, kariatėlę perstumiant frikcinę pavara ir kariatėlei judant laisvai, buvo atlikti mikroskopo virpesių matavimai panaudojant seisminius akselerometrus. Gauti rezultatai rodo, kad sukeliamų virpesių amplitudė esant kariatėlės judesio greičiui 4 mm/s siekia 2 $\mu$ m.

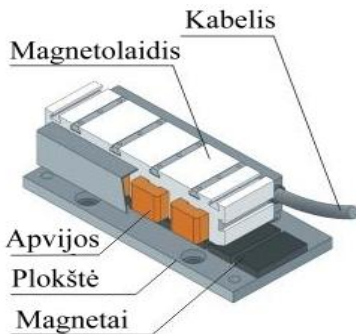
Bandymais nustatyta kad šie virpesiai atsiranda dėl sausosios trinties pavaroje. Sausąją trintį pašalinus virpesių amplitudė sumažėja iki 10 kartų.

Todėl norint sumažinti pavaros įtaką kalibravimo sistemos darbo tikslumui pirmiausia reikia eliminuoti sausosios trinties įtaką. Tam tikslui gerai tinka elektromagnetinės pavaros, užtikrinančios ryšį tarp saveikaujančių (judančių) dalių be trinties (panaudojant magnetinio lauko sukuriamas jėgas).

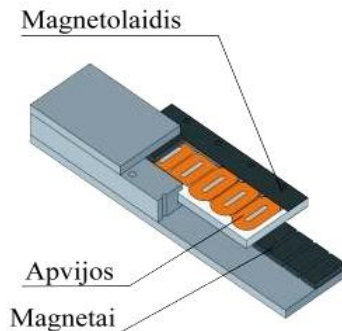
Išnagrinėjus ir palyginus linijinio judesio pavaru savybes buvo pasirinktas linijinis elektromagnetis variklis gaminamas firmos ETEL.

ETEL linijiniai varikliai [3] su feromagnetine šerdimi (žymimi raidėmis LMA, LMC, LMG ir LMP) susideda iš dviejų dalių: apvijos su feromagnetine šerdimi ir magnetinio takelio (1 pav.). Magnetinį takelį sudaro daug nuolatinių boro-neodimo-geležies magnetų, priklijuotų prie plieninės plokštės. Virš jų juda feromagnetinė šerdis su apvijomis.

Jie apsaugoti nuo korozijos epoksidinės dervos danga. Jie neturi kreipiamųjų ir poslinkio keitlių. Apvijos suvyniotos ant plieninės šerdies lakštų, jų išvadai išvesti į išorę. Yra gaminamos konstrukcijos ir su vandeniu aušinamomis apvijomis.



1 pav. Variklis su šerdimi



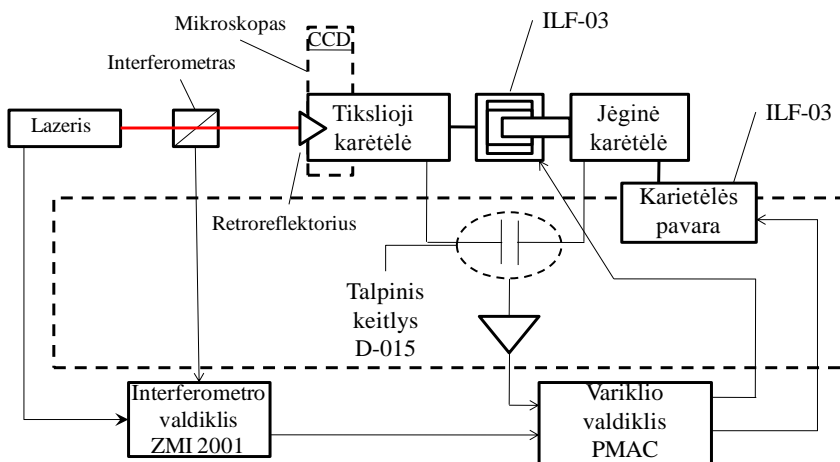
2 pav. Variklis be feromagnetinės šerdies

Varikliai be feromagnetinės šerdies (žymimi raidėmis ILF ir ILM) yra panašios konstrukcijos (2 pav.), bet jų apvijų dalyje nėra feromagnetinių detalių.

Juda tik plokščia magnetolaidžio plokštė. Šio tipo variklių kai kurios konstrukcijos numato aušinimą suspaustu oru. Jie pasižymi tuo, kad juose tarp apvijų ir magnetų nėra traukos jėgų. Ši savybė ypač svarbi kalibravimo sistemos atveju.

Linijinį elektromagnetinį variklį be feromagnetinės šerdies galima panaudoti dviem būdais:

- pakeisti standžią jungtį minėtu varikliu tarp tiksliosios ir jėginės kariatėlių paliekant esamą frikcinę elektromechaninę pavara;
- esamą pavara pakeisti linijiniu elektromagnetiniu varikliu.



3 pav. Modernizuotos sistemos schema

Abu šie būdai pavaizduoti 3 pav. modernizuotos sistemos schemoje.

### ***Išvados***

1. Mokslo ir technikos pažanga precizinių mechatroninių sistemų komponentų (optoelektroninių, skaičiavimo technikos, valdiklių, valdomų judesių sistemų, lazerinės technikos) srityje įgalina sukurti kokybiškai naujas ir patobulinti esamas sistemas.
2. Tokių sistemų tobulinimas turi būti grindžiamas išsamiais tyrimais ir sisteminiu požiūriu į mechatroninių sistemų projektavimą.
3. Išnagrinėjus nepibrėžties sandarą ir atlikus sandų tyrimus nustatyta, kad lazerinio interferometrinio linijinių skalių komparatoriaus, dirbančio dinamiame režime, pasikartojamumo paklaidą įtakoja seisminiai žadinimai ir frikcinės pavaros sukelti virpesiai.
4. Šiems virpesiams eliminuoti siūloma vietoje standžios jungties tarp jėginės ir tiksliosios kariatės panaudoti elektromagnetinę jungtį, arba vietoje

frikcinės pavaros panaudoti linijinį elektros variklį. Tai įgalintų sumažinti pavaros virpesių sukeliamas paklaidas apie 10 kartų.

### **Literatūra**

1. Evolving Needs for Metrology in Trade, Industry and Society and the Role of the BIPM. - Bureau International des Poids et Mesures, April, 2003, p. 80.
2. **Quinn T. J.** Mise en Pratique of the Definition of the Metre (1992). - Metrologia 30, 1994, p. 523-541.
3. ETEL. Linear motors handbook.

# **MEMS STRUKTŪRŲ DINAMINIŲ SAVYBIŲ BANDYMAI TAIKANT HOLOGRAFINĘ INTERFEROMETRIJĄ**

**Edvardas SADAUSKAS**

Mechanikos studijų programa, Kauno technologijos universitetas

**Darbo tikslas.** Pastarąjį dešimtmetį MEMS technologijos sparčiai skverbiasi į daugelį technikos sričių tokių kaip: telekomunikacijų, kompiuterinės technologijos, vaizdo apdorojimo technika, navigacija, robototechnika, medicina ir kt. Todėl šių sistemų patikimumo didinimas ir veikimo kokybės gerinimas yra aktuali šiandienos problema.

MEMS'ų kūrimo proceso metu, kad užtikrinti didesnę sistemos patikimumą, nustatyti procesus vykstančius veikiančiose sistemose yra atliekami statinių savybių bandymai, dinaminių savybių bandymai, aplinkos įtakos poveikio parametrų bandymai, medžiagų savybių bandymai, patikimumo bandymai ir kt.

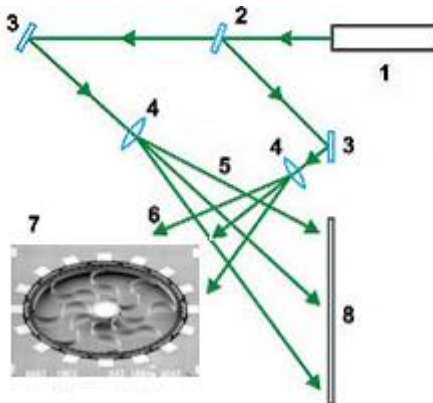
Dėl mechaninių komponentų buvimo MEMS ypač didelę reikšmę turi atskirų komponentų poslinkių/deformacijų matavimai. Jiems atlikti naudojami įvairūs nesąlytinio matavimo metodai tokie kaip lazerinis doplerinis vibrometras ar holografinės interferometrijos metodas. Kaip vieną iš nebrangių ir santykinai paprastų būdų poslinkių/deformacijų matavimui ir norėčiau išskirti pastarąjį. Toliau aptarsiu šio metodo esmę, galimybes privalumus bei trūkumus, pritaikysime metodą praktikoje matuojant pjekokeraminės plokštelės virpesių amplitudę.

**Hologramos sudarymo principas.** Suvidurkinimo laike hologramą galima sudaryti objektui, kuris žadinamas periodine funkcija. Naudojantis šia technologija galima nustatyti tiriamojo objekto virpesių pobūdį, kryptį, amplitudę. Juostos matomos hologramoje yra pastovios virpesių amplitudės kontūrai, tuo tarpu kai šviesios zonos reiškia paviršių, kuris nevirpa. Matavimo jautrumas priklauso nuo naudojamo lazerio bangos ilgio. Tuo pačiu tai yra ne kontaktinio matavimo būdas, kuriuo užfiksuojama viso paviršiaus virpesiai, o ne vieno paviršiaus taško. Hologramos sudarymo principas parodytas (1 pav.) [1].

Lazerio spindulys praeidamas pusiau skaidrų veidrodį 2, padalinamas į du spindulius: atraminį ir objektinį. Atraminis spindulys veidrodžiu 3 tiesiogiai nukreipiamas į fotoplokštelę 8, tuo tarpu objektinis spindulys kitu veidrodžiu nukreipiamas į objektą 7, kurio hologramą norima padaryti. Nuo objekto atsispindėjusi šviesa taip pat patenka ant fotoplokštelės, kurioje susitikę atraminis ir objektinis spinduliai interferuoja. Jei apšviestas objektas buvo statinis tuomet užsirašo tik jo atvaizdas, tuo tarpu jei objektas buvo dinaminis (virpantis) užsirašo tiek jo atvaizdas tiek ir interferencinės juostos.

Holografinę plokštelę apšvietus atraminio spinduliu (kurio kritimo kampas toks pats kaip hologramos sudarymo metu) yra atkuriamas daikto atvaizdas.





- 1-Lazeris
- 2-Pusiau skaidrus veidrodis
- 3-Veidrodis
- 4-Lęšis
- 5-Atraminis spindulys
- 6-Objektinis spindulys
- 7-Objektas
- 8-Fotoplokštelė

1 pav. Hologramos sudarymas

Kuomet objektas žadinamas pagal sinusinę funkciją, šviesos intensyvumas hologramoje pasiskirsto pagal Bessel'io funkciją:

$$I(a(x, y)) = \left( J_0 \left( \frac{2\pi}{\lambda} a(x, y) \right) \right)^2 = \lim_{T \rightarrow \infty} \left( \frac{1}{T} \int_0^T \exp \left( j \frac{2\pi}{\lambda} a(x, y) \sin(\omega t + \varphi) \right) dt \right)^2 \quad (1)$$

Kur:  $a(x, y)$  – parodo tiriamo objekto plokščio paviršiaus taškų amplitudes,  $\lambda$  – lazerio bangos ilgis,  $t$  – laikas,  $\omega$  – dažnis,  $\varphi$  – fazė,  $T$  – ekspozicijos laikas,  $T \gg 2\pi/\omega$ ,  $j$  – menamas narys.

Pirmos juostos centras sutampa su Bessel'io funkcijos pirmuoju nuliu, kuomet Bessel'io funkcijos argumento reikšmė lygi 2,4048. Tai reiškia, jog interferencinės juostos nesusidarys, jei virpesių amplitudė bet kuriame analizuojamo paviršiaus taške bus mažesnė už [2]:

$$a(x, y) \lesssim \frac{2,4048 \cdot \lambda}{2\pi} \quad (2)$$

Žinant, jog He-Ne lazerio bangos ilgis  $0,6328 \mu\text{m}$ , interferencinės juostos nesusidarys, kai virpesių amplitudė mažesnė nei  $0,24 \mu\text{m}$ . Jei tiriant makro sistemas tai nėra svarbu, tuomet tiriant mikro sistemas, tai tampa holografinio metodo apribojimas.

**Pjezokeraminės plokštelės virpesių matavimai.** Fizikinės Elektronikos Institute (FEI) atlikome eksperimentą su pjezokeramine plokštele. Eksperimento metu buvo bandoma nustatyti plokštelės virpesių amplitudę panaudojant holografinę interferometriją.

Sinusinį žadinimo signalą plokštei suteikė generatorius Г3-56/1. Plokštelė buvo žadinama 5000 Hz dažniu, 63,2V įtampos signalu. Kaip šviesos šaltinis hologramai naudotas He-Ne lazeris, kurio bangos ilgis  $\lambda=632,8$  nm, hologramos ekspozicijos laikas 30 s.

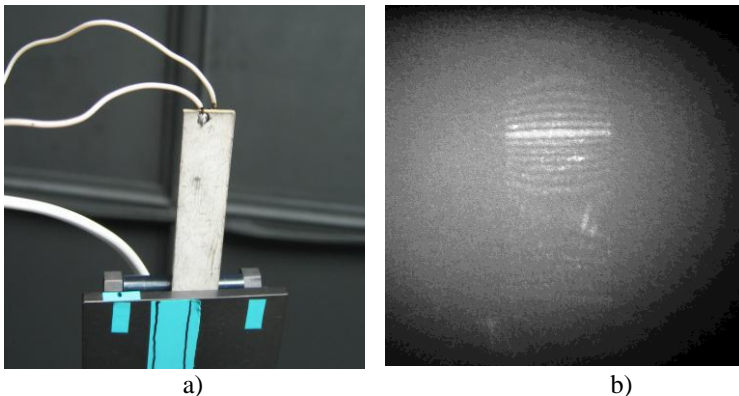
Plokštelės virpesių amplitudę galima apskaičiuoti pagal formulę:

$$W_i = \frac{\lambda \cdot \Omega_k}{2\pi (\cos \theta_1 + \cos \theta_2)} \dots i = 1, 2, \dots, m \quad (3)$$

$k$  – interferencinės juostos eilės numeris,  $\Omega_k$  - Bessel'io funkcijos koeficientas apskaičiuojamas iš formulės (4),  $\theta_1, \theta_2$  – atraminio spindulio kritimo kampas hologramos sudarymo metu ir hologramos stebėjimo kampas (mūsų atveju  $\theta_1 = \theta_2 = 30^\circ$ ).

$$\Omega_k = \left( -0,25 \right)^k + \frac{0,125}{\pi \left( -0,25 \right)^k} \quad (4)$$

**Rezultatai.** Gavome, jog plokštelės virpesių amplitudė  $W_i = 0,14 \dots 0,63 \mu m$ , tai šiek tiek prieštarauja teorijai, nes pirmoji amplitudės vertė mažesnė nei  $0,24 \mu m$ , tačiau taip galėjo atsitikti dėl paklaidų matuojant kampus  $\theta_1$  ir  $\theta_2$ . Nepaisant to eksperimentas parodė, jog holografinis metodas tinkamas mažų poslinkių (amplitudžių) matavimui, todėl jį galima taikyti ir MEMS struktūroms tirti. Be to šis metodas gana paprastas ir sąlyginai pigus. Bandyto objektas ir holografinis vaizdas parodyti (2 pav.).



2 pav. Matavimo rezultatai: a) bandomoji plokštelė ilgis 55 mm, plotis 14 mm, storis 2 mm; b) virpančios plokštelės holograma.

**Išvados.** Holografinė interferometrija, tai nesąlytinis virpesių matavimo būdas tinkamas ir MEMS struktūrų tyrimams. Naudojantis šia technologija galima nustatyti tiriamojo objekto virpesių pobūdį, kryptį, amplitudę be to yra užfiksuojami viso paviršiaus virpesiai, o ne vieno paviršiaus taško.

Mažiausia deformacija, kurią įmanoma užfiksuoti, taikant šį metodą priklauso nuo lazerio bangos ilgio ir yra lygi  $0,24 \mu m$  naudojant *He-Ne* lazerį.

Mūsų tiriamos pjezokeraminės plokštelės virpesių amplitudė (o tuo pačiu ir poslinkis), priklausomai nuo atstumo iki tvitinimo taško buvo  $W_i=0,14...0,63 \mu m$ .

## Literatūra

1. <http://www.holography.ru/maineng.htm>, spausti nuorodą :About holography
2. **V. Ostasevičius, S. Tamulevičius, A. Palevičius, M. Ragulskis, R. Palevičius, V. Grigaliūnas.** Hybrid numerical - experimental approach for investigation of dynamics of microcantilever relay system.- Optics and Lasers in Engineering. Vol. 43, 2005, p.63-73

## Reziumė

Šiame darbe yra aprašytas hologramos sudarymo principas, bei jos pritaikymas MEMS struktūroms tirti. Metodas išbandytas praktiškai užregistruojant pjezokeraminės plokštelės virpesius.

# DINAMINIŲ MIKROMETRINIŲ POSTŪMIŲ STEBĖJIMO IR MATAVIMO SISTEMA

**Sergej KITOV**

Elektronikos inžinerijos studijų programa, Kauno technologijos universitetas

**Vladas JUŠKA, Andrius CHAZIACHMETOVAS**

Kauno technologijos universitetas

**Darbo tikslas.** Projektuojamas įrenginys skirtas nekontaktiniais metodais stebėti ir matuoti mikrometrų eilės mechaninius postūmius plačiame darbo dažnių diapazone. Šis uždavinys aktualus pjezokeraminių struktūrų ir jų pagrindu projektuojamų pavarų tyrimams. Tiriant pjezokeramikas nekontaktinio matavimo aktualumas grindžiamas tuo, kad kintant sistemos mechaniniam apkrovimui, keičiasi mechaninio rezonanso dažnis, efektyvaus judesio amplitudė bei judesio momentas. Realizavus nekontaktinį matavimo principą, matavimo priemonės mechaninė apkrova yra eliminuojama, taigi eliminuojama metodologinė matavimo paklaida. Atsižvelgiant į tiriamo objekto specifika, prietaisui keliami sekantys reikalavimai: galimybė stebėti (1–5)  $\mu\text{m}$  amplitudės virpesius dažnių ruože (20 – 300) kHz.

Galimybė operatyviai stebėti darbinių mikrovirpesių amplitudę ir formą yra ypatingai svarbi projektavimo ir mokomojo pobūdžio darbuose. Tai suteikia galimybę objektyviai parinkti žadinančio signalo parametrus ir įvertinti suminę mechaninės apkrovos įtaką. Mokomuosiuose maketuose galimybė stebėti realius virpesius žymiai palengvina pjezokeraminės pavaros veikos supratimą ir leidžia nustatyti dominuojančius įtakos faktorius.

Rinkoje siūlomi universalūs lazeriniai matuokliai, turintys aukšto dažnio vibracijų skirti tyrimo darbams, yra sudėtingi aukštos klasės techniniai įrenginiai. Kaip vieną iš tokių prietaisų verta paminėti „Polytec“ firmos OVF-551/2 lazerinį vibrometrą. Šio tipo matuoklių darbinė skyra - iki 10 nanometrų, darbo dažnių diapazonas – 1MHz, o kaina siekia (30 – 80) tūkstančių litų.

Pagrindinis projektuojamo vibrometro išskirtinis bruožas yra tai, kad, naudojant tipinius mazgus, yra smarkiai sumažinama įrenginio kaina tuo pačiu neprarandant įrenginio funkcionalumo. Panašios į projektuojamą vibrometrą paskirties įrenginiai minimi straipsniuose [2,3,4,5,6], tačiau serijiniu būdu jie negaminami.

**Dinaminių postūmių matavimo metodai.** Moksle ir pramonėje taikomi postūmio matavimo metodai, tokie kaip induktyvinis, talpuminis bei lazerinis (optinis) leidžia nesunkiai matuoti tiriamo objekto postūmį, tačiau dėl tam tikrų priežasčių yra sunkiai pritaikomi pjezokeramikos virpesių stebėjimui ir matavimui. Trumpai apžvelgsime šių metodų specifika.

- **Induktyvinis** metodas: paremtas induktyvinės ritės impedanso pokyčiu, kai ritės magnetiniame lauke juda magnetinė medžiaga. Iš čia išplaukia reikalavimas, kad pats tiriamas objektas turėtų magnetinių savybių arba judintų iš magnetinės medžiagos pagamintą šerdį. Pjezokeraminės struktūros yra nemagnetinės, taigi tenka prie tiriamo objekto tvirtinti papildomą magnetinę šerdį. Dėl šios priežasties induktyvinis metodas pjezokeramikos atveju jau nebegali vadintis nekontaktiniu, kadangi įveda papildoma mechaninė apkrova, iškraipant rezonansinės sistemos charakteristikas.
- **Talpuminis** metodas: atstumo pokyčio matavimas paremtas talpos pokyčiu, keičiantis atstumui tarp kondensatoriaus elektrodų, vienas iš kurių yra pritvirtintas prie tiriamo objekto. Šio metodo privalumas yra didelė potencialinė skiriamoji geba. Trūkumas yra toks, kad reikalingas prie tiriamo paviršiaus tvirtinamas elektrodas. Norint užtikrinti pakankama talpumo pokytį, esant mažam atstumo pokyčiui, elektrodo masė ir plotas įtakoja matavimo rezultatus, t.y. įneša neapibrėžtį.
- **Lazerinis** : lazerinis matavimo metodas gali remtis skirtingais optikos reiškiniiais, įskaitant interferenciją, difrakciją ir t.t. Atominės jėgos mikroskopuose jutiklio postūmiui nuskaityti kartais naudojamas spindulio atlenkimo metodas, kai matuojantis spindulys krenta į tiriamą objektą kampu. Tokioje sistemoje atstumo pakytis duoda kritimo kampo pokytį, kuris žinomam atstumui esančioje skalėje duoda atstumo pokytį. Optiniais reiškiniiais paremti matavimo metodai užtikrina platų darbo dažnių diapazoną bei didelę skiriamąją gebą, kuri, pritaikius skaitmeninį signalų apdorojimą gali siekti nanometrų dalis. Kaip taisyklė lazeriniai atstumo matavimo metodai reikalauja sudėtingos optinės sistemos, kuri smarkiai padidina jų kainą.

Reziumuojant galima pažymėti, jog iškeltam uždaviniui labiausiai tikslinga naudoti lazerinius (optinius) matavimo metodus. Vienas iš taikomų lazerinių poslinkio matavimo metodų naudoja aukštu dažniu moduluotą optinę bangą ir atspindėto spindulio Doplerinį dažnio poslinkį. Šuo metodu gaunamas tiriamo paviršiaus judėjimo greitis, kurį integravus laike, galima apskaičiuoti objekto koordinatę. Tokie prietaisai vadinami Dopleriniais vibrometrais. Šiuo metodu veikia Polytec firmos OVF-551/2 lazerinis matuoklis [1]. Taip išvengiama judesio krypties nevienareikšmiškumo ir rezultatas yra mažai jautrus atspindinčio paviršiaus kokybei, tačiau reikalauja sudėtingų techninių sprendimų bei signalo apdorojimo.

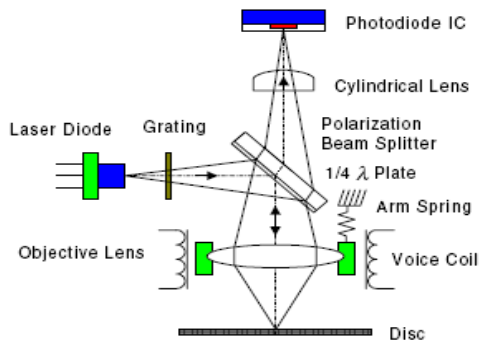
Kitas plačiai naudojamas lazeriniuose matavimuose metodas yra paremtas bangų interferencijos reiškiniu. Ši principą naudojantys prietaisai – interferometrai dėl mažo naudojamos bangos ilgio pasižymi didele skiriamąja geba bei maža matavimo neapibrėžtimi. Kalibruojant lazerį, pasiekiamas rezultatų sietis su etalonais aukščiausiam tikslumo lygmenyje.

Nagrinėtoje literatūroje keliamas uždavinys išmatuoti kampą arba atstumą žemų dažnių diapazone. Projektuojamas dinaminių mikrometrinių postūmių

matuoklis, atsižvelgiant į pjezokeramikos kaip tiriamo objekto specifiką, turės realizuoti atstumo matavimą (1-5)μm dažnių juostoje nuo 20kHz iki 300kHz.

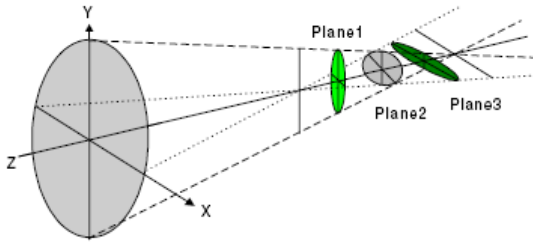
[2,3,4,5,6] šaltiniuose pateiktos CD technikos optinio bloko panaudojimo galimybės, vykdant nekontaktinius neelektrinių dydžių matavimus. Kiti autoriai naudoja panašiams uždaviniams spręsti DVD įrenginių optinius blokus [2] straipsnyje DVD lazerinė galvutė yra naudojama kampo į paviršių matavimui. Pašalinus fokusuojančią optinio bloko linzę, toks sprendimas leido pasiekti ±0.01° tikslumą ±35° matavimo diapazone. [3] lazerinė DVD galvutė yra naudojama atominės jėgos mikroskopo zondo postūmiui įvertinti. Autoriai teigia, kad panaudojus jų pasiūlytą metodą, atominės jėgos mikroskopo skiriamąją gebą pagerino 3 kartus. [4] šaltinyje lazerinė galvutė naudojama skenuojamo paviršiaus reljefo matavimui. Deklaruojamas matavimo diapazonas yra 200μm, o deklaruojamas tikslumas siekia (1-10)μm dažnių diapazone (0- 5)kHz.

**Lazerinės galvutės vidaus sandara ir veikimo principas.** Lazerinėje CD/DVD technikoje 650nm arba 780nm lazerio spindulys yra emituojamas lazerinio diodo. Vidinė CD galvutės struktūra yra pateikta 1 pav.



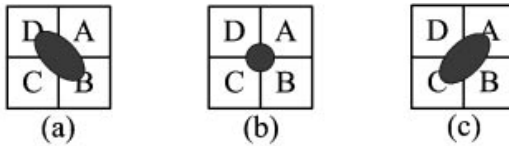
1 pav. Lazerinės galvutės vidaus struktūra [5]

Praeidamas per difrakcinę gardelę, spindulys yra skaidomas į tris spindulius. Praeidamas per pusiau skaidrų veidrodį su poliarizuojančiu elementu, spindulys yra poliarizuojamas ir skaidomas į atramini ir matuojantį spindulius. Matuojantis spindulys fokusuojančios linzės pagalba fokusuojamas į tiriamą objektą. Atspindėjęs spindulys grįžta atgal ir, praėjęs per pusiau skaidrų veidrodį yra vektoriškai sumuojamas su atraminiu spinduliu. Kadangi sumavimo metu du spinduliai turi statmenas poliarizacijos plokštumas, jų sąveikos rezultatas yra apskritimiškai poliarizuota banga. Ši banga yra nukreipiama į astigmatinį lęšį. Astigmatinis lęšis pasižymi tuo, kad turi skirtingas fokales plokštumas skirtinguose plokštumose krintančioms bangoms. Ši astigmatinio lęšio savybė iliustruota 2 pav.

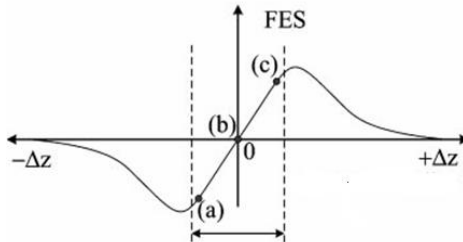


2 pav. Astigmatinio lęšio fokalines plokštumas [5]

Tokiu būdu dėl astigmatinio lęšio efekto figūra, kuria lazerio spindulys projektuojamas ant fotodetektoriaus elementų, priklauso nuo besisumuojančių dedamųjų tarpusavio fazės skirtumo, taigi priklauso ir nuo atstumo iki atspindinčio paviršiaus. Fotodetektoriaus sandara ir skirtingos lazerio spindulio projekcijos yra parodytos 3 pav.



3 pav. Lazerio spindulio projekcija į fotodetektorius (a – objektas pertoli, b – objektas fokuse, c – objektas perarti )

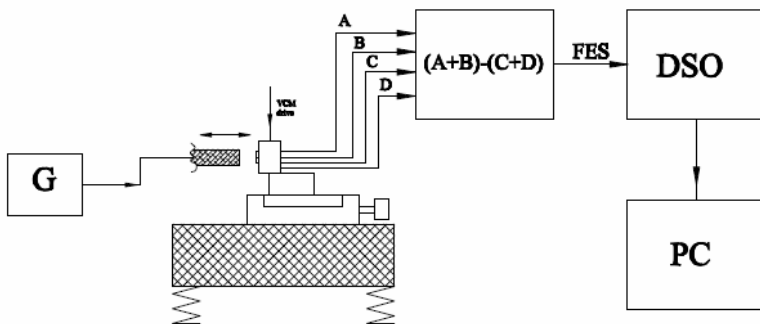


4 pav. FES priklausomybė nuo atstumo iki paviršiaus.

Apdorojant fotodiodų signalus pagal išraišką  $(U_A + U_C) - (U_B + U_D)$ , gaunamas FES signalas. FES signalas turi ruožą, kuriame yra tiesiogiai proporcingas atstumo pokyčiui. Jo priklausomybė nuo atstumo fokalines plokštumas yra pateikta 4 pav. Reikia pastebėti, kad kiekvieno iš fotodiodų signalas nuo atstumo keičiasi netiesiškai. Taikomi apdorojimo metodai ištiesina detektoriaus charakteristiką, panaikinamos nelyginės harmonikos. Tokiu būdu galima pasiekti 25nm skyrą maždaug 4μm matavimo diapazone. Siekiant sumažinti atstumo ir

kampo matavimo paklaidas, signalų apdorojimas gali būti vykdomas, įvertinant lazerio spindulio intensyvumo erdvinį pasiskirstymą, pvz. aproksimuojant lazerio spindulio apertūrą dvimačiu Normaliniu skirstiniu.

Pav. 5 yra pateikta vykdytų eksperimentu schema. CD lazerinė galvutė įtvirtinta ant Standa „0802“ postūmio aktuatoriaus. Pav. 5 yra pateikta vykdytų eksperimentu schema. CD lazerinė galvutė įtvirtinta ant Standa „0802“ postūmio aktuatoriaus. Siekiant galimai sumažinti aplinkos vibracijų įtaką į matavimo rezultatai, aktuatoriaus įtvirtintas ant masyvaus metalinio pagrindo su vibroizoliacijos elementais.



5 Pav. FES priklausomybė nuo atstumo iki paviršiaus.

Eksperimentų metu buvo stebimi pjezokeramikos strypo ( ilgio ir pločio santykis  $>10$ ) išilginiai virpesiai. Taip pat, kaip vibracinės sistemos analogas žemuose dažniuose buvo stebėti aukšto dažno garsiakalbio virpesiai. Lazerinės galvutės išėjimo signalai ( $A, B, C, D$ ) buvo sustiprinti, o FES signalas matuojamas skaitmeninio oscilografu. Matavimo rezultatai buvo analizuojami, naudojant *MATLAB* programinį paketą.

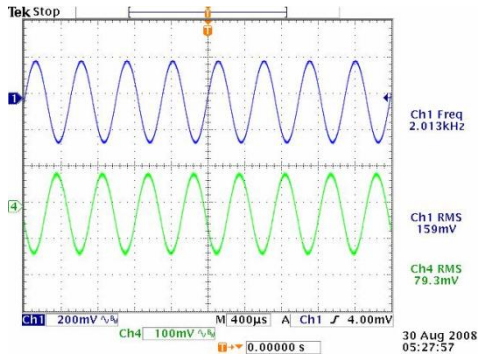
**Rezultatai.** Eksperimentų metu stebėti garsiakalbio virpesių oscilogramos yra pateiktos 6 pav. Galima pastebėti, kad garsiakalbio judesys (kreivė 4) turi fazinį postūmį žadinančio signalo (kreivė 1) atžvilgiu, kas yra normalu daugeliui rezonansinių sistemų, dirbančių nerezonansiniu dažniu. Garsiakalbio žadinimo dažnis yra 2kHz, tačiau vykdyti eksperimentai patvirtino kad optinės sistemos dažnių juosta siekia 300kHz be ypatingo tikslumo praradimo.

Pav. 7 yra pateikta oscilograma, garsiakalbį žadinant trumpais impulsais (kreivė 1). Garsiakalbio impulsinė reakcija (kreivė 4), atlikus Furje transformaciją, gali būti panaudota matuoti garsiakalbio amplitudinė- dažninę charakteristiką.

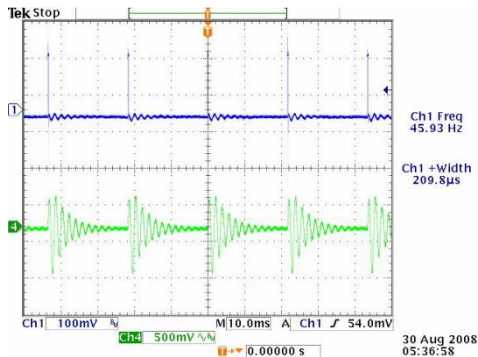
Pav. 8 pateikiami neapdoroti fotodetektoriaus išėjimo signalai. Kaip galima matyti, šių signalų forma yra artima sinusinei, tačiau yra pastebimi iškraipymai, pasireiškiantys dėl lazerio spindulio netolygaus pasiskirstymo fotodetektoriaus



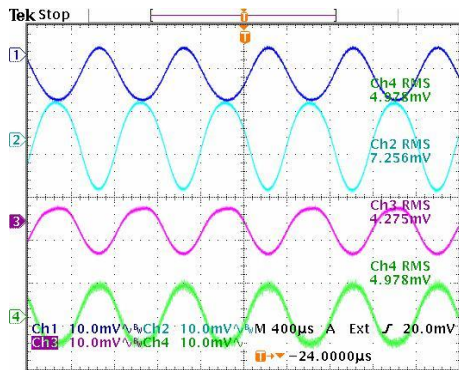
plote. Atlikus aukščiau minėtus matematinius veiksmus, gaunamas signalas, atitinkantis stebimo objekto paviršiaus momentinį postūmį.



6 pav. Garsiakalbio žadinimo (1) ir postūmio signalas (4)



7 pav. Garsiakalbio žadinimo signalas (1) ir jo reakcija(4)



8 pav. Fotodetektoriaus išėjimo signalai, stebint pjezokeramikos virpesius

Tyrimų metu nustatyta, kad pagrindinis veiksnys, įtakojantis matavimo tikslumą yra elektroniniai triukšmai, atsirandantys signalo apdorojimo grandinėse. Pradiniu įvertinimu, postūmio matavimo paklaida, sukeliama elektroninių triukšmų, gali siekti apie 25nm.

### ***Išvados***

1. Eksperimentiškai patvirtinta, kad CD optinio bloko pagrindu gali būti sukurtas prietaisas, skirtas matuoti mikrometrų eilės postūmius.
2. Eksperimentiškai parodyta, kad pasirinktas nekontaktinis postūmio matavimo būdas tinka stebėti (1-5)μm amplitudės virpesius dažnių ruože iki 300kHz.

### **Literatūra**

1. Firmos Polytec interneto svetainė Laser Vibrometry Univecity skyrius ([http://www.polytec.com/eur/158\\_942.asp](http://www.polytec.com/eur/158_942.asp))
2. **Chih-Liang Chu**. Two-dimensional optical accelerometer based on commercial DVD pick-up head. - Measurement Science and Technology 18, 2007, p.265–274.
3. **En-Te HWU**. Measurement of Cantilever Displacement Using a Compact Disk/Digital Versatile Disk Pickup Head. - Japanese Journal of Applied Physics Vol. 45, No. 3B, 2006, pp. 2368–2371.
4. **Nashtara Islam**. A Novel Surface Profile Measurement System. - AU J.T. 10(3): 203-209, Jan. 2007.
5. **Kuang-Chao Fan**. Development of a low-cost autofocusing probe for profile measurement.- Measurement Science and Technology 12, 2001, p.2137–2146
6. **Kuang-Chao Fan**. Development of a high-precision straightness measuring system with DVD pick-up head.- Measurement Science and Technology 14, 2003, p.47–54

### **Reziumė**

Projektuojamas įrenginys skirtas nekontaktiniais metodais stebėti ir matuoti mikrometrų eilės mechaninius postūmius plačiame darbo dažnių diapazone. Šis uždavinys aktualus pjekoceraminių struktūrų ir jų pagrindu projektuojamų pavaru tyrimams. Iškeltam uždaviniui labiausiai tikslinga naudoti lazerinius (optinius) matavimo metodus. Siūloma naudoti CD optinį bloką, kuris yra masinis gaminys su maža kaina. Tyrimų metu nustatyta, kad pagrindinis veiksnys, įtakojantis matavimo tikslumą yra elektroniniai triukšmai, atsirandantys signalo apdorojimo grandinėse. Sukurtas nekontaktinis postūmio matavimo būdas tinka stebėti (1-5)μm amplitudės virpesius dažnių ruože iki 300kHz.

# OPTICAL PROPERTIES EVALUATION OF SILVER NANOCOMPOUND

**Oksana KOSTIUČENKO**

Studies programme of Mechatronics, Kaunas University of Technology

**Assoc. Prof. Dr. Asta GUOBIENĖ**

Institute of Physical Electronics, Kaunas University of Technology

**Aim of the work.** Nanotechnology is one of the fast moving technologies. No matter what industry you are in, you will feel the impact of nanotech. Nanocompounds are widely used in MEMS (Microelectromechanical systems). Microelectromechanical systems (MEMS) is the technology of the very small, and merges at the nano-scale into nanoelectromechanical systems (NEMS) and nanotechnology [1].

The main task of the work is optical properties evaluation and measurement of silver colloid and silver-polymer nanocompounds. Thus, the following aims are: 1) to form silver-polymer nanocompound using the dip-coating technique, 2) to evaluate optical properties of them with SPECORD UV VIS device, 3) to process given data graphs using Get Data Graph Digitizer software, analyze and make conclusions.

**Research.** There are two stages of research: 1. Nanocompounds formation; 2. Optical properties evaluation of nanocompounds.

To form *nanocompound* the *dip-coating* method is used. Materials: two pieces of Structures = PET (Polyethylene terephthalate) + photopolymer (with 2  $\mu\text{m}$  periodic grating), colloidal solution  $\text{Ag}+\text{NO}_3+1\% \text{ NaCit}$  and the same colloidal solution diluted by half.

First piece of the Structures (base) is immersed into 1. colloidal solution  $\text{Ag}+\text{NO}_3+1\% \text{ NaCit}$  and second piece of the Structure is immersed into 2. colloidal solution  $\text{Ag}+\text{NO}_3+1\% \text{ NaCit}$  diluted by half. Wait while silver nanoparticles coat the structures.

Thickness of coating most depends on velocity of extraction and concentration of solution. Stages of dip-coating process (Fig. 1): 1 – base is being immersed into solution (Structure + Colloidal solution), 2- wait while solution silver parts are settled in, 3- base extraction, 4 – process of drying up.

To evaluate optical properties of presented nanocompounds method of spectrophotometry is used.

Optical properties evaluation is done using SPECORD UV VIS device.

Spectrometer SPECORD UV VIS is an automatic double-waves spectrophotometer used to measure optical properties of materials in ultra-violet and visible light zones of spectrum. Absorbance, transmittance and optical density as a function of wave number linearly can be measured [3].

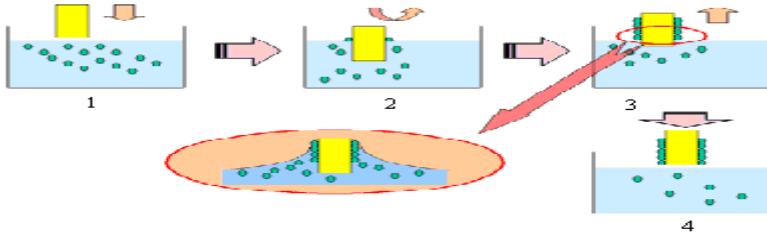


Fig. 1. Scheme of nanoparts coating formation (dip-coating technique) [2]

**Results.** Example of photopolymer diffraction grating (period  $2\ \mu\text{m}$ ) AFM images present on Fig. 2, a and b.

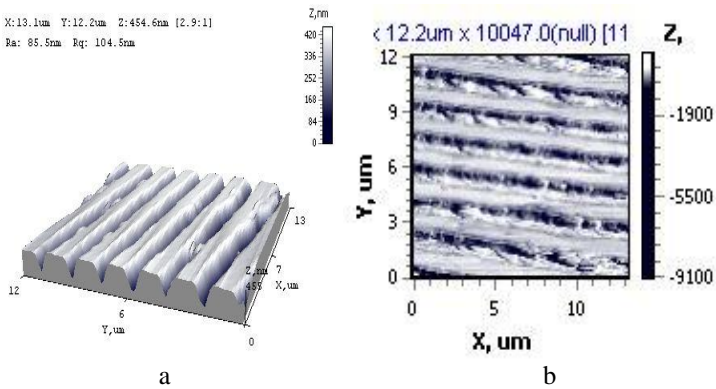


Fig. 2. Photopolymer diffraction grating (period  $2\ \mu\text{m}$ ) AFM images: a – 3d image, b – lateral force 2d image.

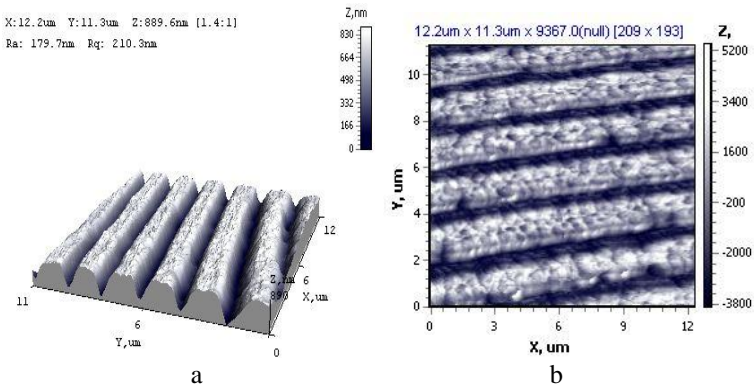


Fig. 3. Photopolymer diffraction grating (period  $2\ \mu\text{m}$ ) + Colloidal solution AFM images: a – 3d image, b – lateral force 2d image

Examples of metal-polymer nanocompound (photopolymer diffraction grating (period 2  $\mu\text{m}$ ) + Ag +  $\text{NO}_3$ +1% NaCit colloidal solution) AFM images present on Fig. 3, a and b.

Measured spectrums processed using *Get Data Graph Digitizer* (Fig. 4) and *Excel* software.

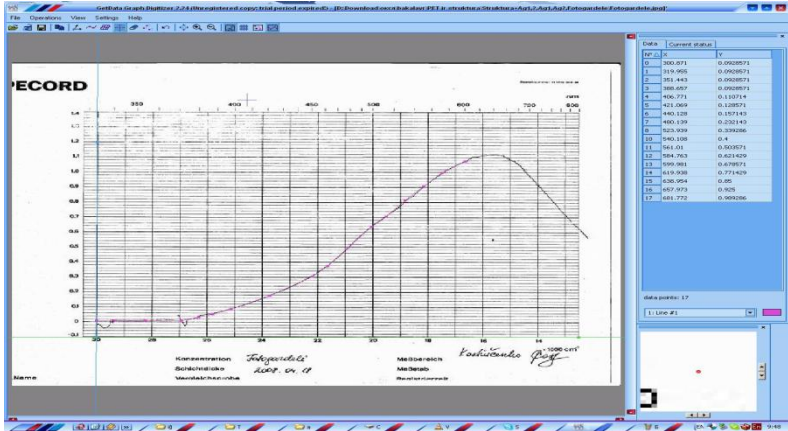


Fig. 4. Process spectrums using Get Data Graph Digitizer software

Variation of optical density in PET, PET + photopolymer under influence of UV light at wavelengths 300 nm to 800 nm was studied. Data can be observed from Fig. 5.

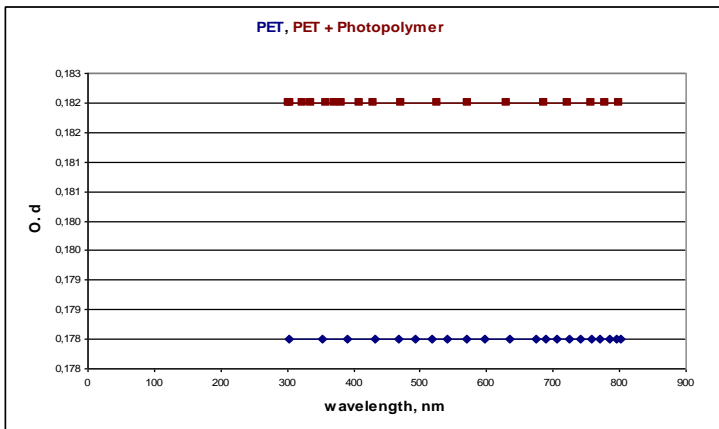
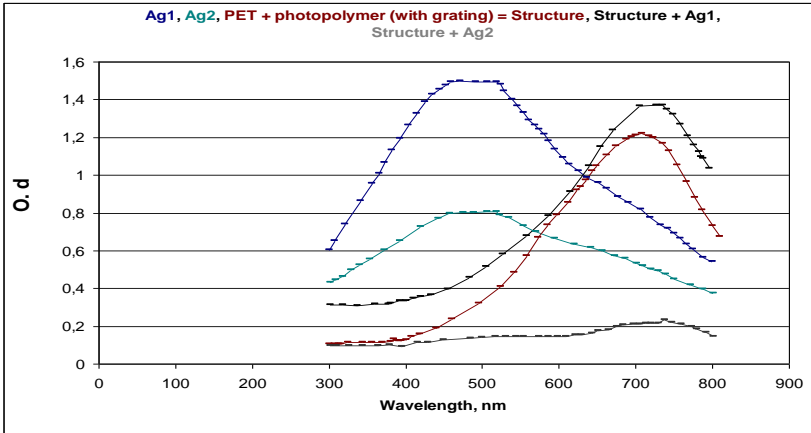


Fig. 5. UV-induced optical properties of PET, PET + Photopolymer (with 2  $\mu\text{m}$  periodic grating).

Time of the process: 11 min; scale: 300-800 nm.  
 Optical properties of silver colloid and silver-polymer nanocomposite are measured. Data is represented in Fig. 6.



6 fig. UV-induced optical properties of Colloidal solutions and Structures + Colloidal solutions (Ag).

Time of the process: 11 min; scale: 300-800 nm.

Variation of optical density in PET, PET + photopolymer under influence of UV light at wavelengths 300 nm to 800 nm was studied.

Data can be observed from the Table 1.

Table 1

PET and PET + Photopolymer (with 2  $\mu\text{m}$  periodic grating)

	<b>PET</b>	<b>PET + Photopolymer</b>
<i>Optical density</i>	0.178	0.182
<i>Wavelength, nm</i>	300-800	300-800

Table 2

Optical density values of Silver colloids and Silver polymer nanocompounds

	<b>Ag1</b>	<b>Ag2</b>	<b>Structure + Ag1</b>	<b>Structure + Ag2</b>	<b>Structure</b>
<i>Optical density</i>	1.5	0.8	1.4	0.2	1.2
<i>Wavelength, nm</i>	518	518	736	737	707

Optical properties of silver colloid and silver-polymer nanocompound are measured. Data is represented in the Table 2.

### **Conclusions**

1. Metal-polymer nanocompounds (Structure PET + Photopolymer with 2  $\mu\text{m}$  periodic grating + Silver colloidal solution) are formed using dip-coating technique.
2. Optical properties of them are evaluated using spectrometer SPECORD UV VIS device.
3. The given data is digitized with computer software *Get Data Graph Digitizer* and *Microsoft Office Excell*.
4. Colloidal solutions contain silver particles. As a result resonance peaks exist on the Fig. 6. The more concentration of these particles is, the less light amount pass through an investigating sample (nanocompound). Most of the light absorbs, scatters or reflects [4]. Measured colloidal solutions and structures + colloidal solutions have their resonance peaks. Therefore they can be approached to nanocompounds.

To compare spectrum of colloidal solutions with Structures + colloidal solutions (PET + photopolymer with 2  $\mu\text{m}$  periodic grating +  $\text{Ag}+\text{NO}_3+1\% \text{NaCit}$ ) it is noted that resonance peaks of the both Structures + colloidal solutions deviate in the right from the resonance peak of both colloidal solutions. Amount of this deviation is  $737 \text{ nm} - 518 \text{ nm} = 219 \text{ nm}$ . The wavelength of Structure + colloidal solution increases at about 219 nm.

To compare spectrum of Structure (PET + photopolymer with 2  $\mu\text{m}$  periodic grating + Ag) with spectrum of Structure it is clear that resonance peak of Structure + Ag deviates in the right from the resonance peak of Structure by amount of about  $737 \text{ nm} - 707 \text{ nm} = 30 \text{ nm}$ .

### **References**

1. <http://en.wikipedia.org/wiki/MEMS> [Viewed 2008-10-13].
2. <http://www.science.unitn.it/~gcsmf/facilities/dip-coating.htm> [Viewed 2008-10-13].
3. Spectrometer SPECORD UV VIS device instruction of exploitation book.
4. <http://en.wikipedia.org/wiki/Absorbtion> [Viewed 2008-10-13].

### **Summary**

Evaluation of silver nanocompounds optical properties by using spectrophotometry method is discussed in this paper.

# ELEKTROS ENERGIJOS VARTOJIMAS MAGNETOREOLOGINIUIOSE SLOPINTUVUOSE

**Darius MAŽEIKA**

Mechatronikos studijų programa, Kauno technologijos universitetas

**Doc. Dr. Egidijus DRAGAŠIUS**

Kauno technologijos universitetas

**Darbo tikslas.** Sumažinti elektros energijos vartojimą magnetoreologiniuose (MR) slopintuvuose.

**Teorinė dalis.** Magnetoreologinius skysčius sudaro įsimagnetinančios mikro dalelės ir tam tikros sudėties nešantysis skystis. MR skysčio slopintuvai yra induktyvūs ir jiems valdyti reikalingos nemažos srovės, o įtampa gali būti tiek maža, tiek didelė. Slopintuvai dirba 4-24V diapazone, ir vartoja vidutiniškai 5A stiprumo srovę [1]. Kadangi virpesių slopinimui gali būti panaudotas ne vienas amortizatorius, todėl elektros energijos suvartojimas gaunasi pakankamai didelis. Kad pagaminti reikiamą energijos kiekį, mes labiau apkrauname elektros generatorius ir naudojame daugiau mechaninės energijos juos sukdam.

Magnetoreologinių slopintuvų privalumai yra tokie:

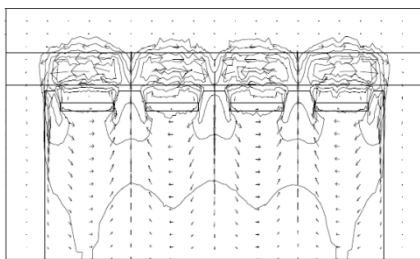
- Didelė greitaveiką,
- Didelis ilgaamžiškumas,
- Platus temperatūrinis diapozonas (temperatūra priklauso nuo panaudoto skysčio ir nuo jame panaudotų mikro dalelių);
- Galimybė keisti slopinimą realiam laike.

Magnetoreologinių slopintuvų trūkumai yra tokie:

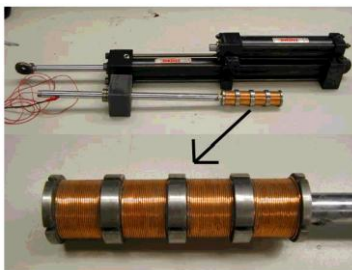
- Dėl aukštos skysčio kainos, slopintuvo kaina taip pat didelė,
- Laikui bėgant dalelės nusėda, todėl reikalingi papildomi mechanizmai kurie vartoja energiją,
- Daugumą slopintuvo detalių neturi veikti magnetinis laukas.

**Slopintuvo energijos vartojimas.** Kadangi magnetoreologiniai skysčiai valdomi magnetiniu lauku jiems reikalinga indukcinė rite, kuri kurtų magnetinį lauką. Magnetinio lauko stiprumas priklauso nuo rite tekančios srovės stiprio ir nuo vijų skaičiaus. O suvartojama galia priklauso nuo ritę veikiančios srovės ir įtampos. Aš labiausiai kreipiau dėmesį į slopintuvų vartojamą galią ir mėginau kiek galimą ją sumažinti, neprarandant slopintuvo efektyvumo. Kadangi šiuolaikinėse sistemose virpesius slopiną amortizatoriai, kurie naudoja virpesių keliamą mechaninę energiją, todėl jie atlieka darbą nenaudodami elektros energijos ir yra šiuo atžvilgiu labai ekonomiški. Tačiau jų slopinimo charakteristikos yra pastovios ir nekeičiamos.



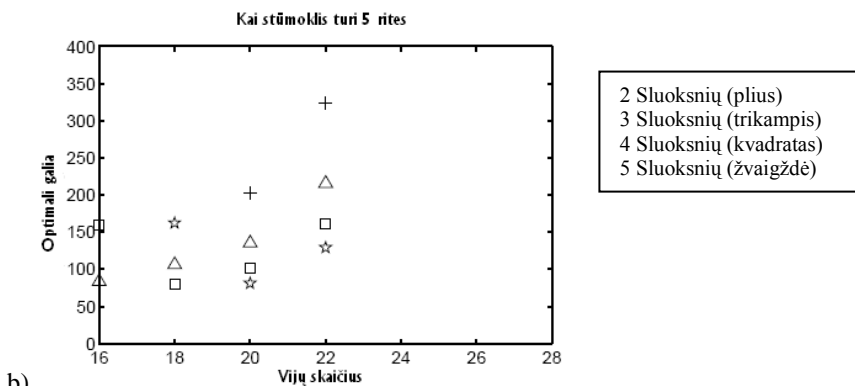
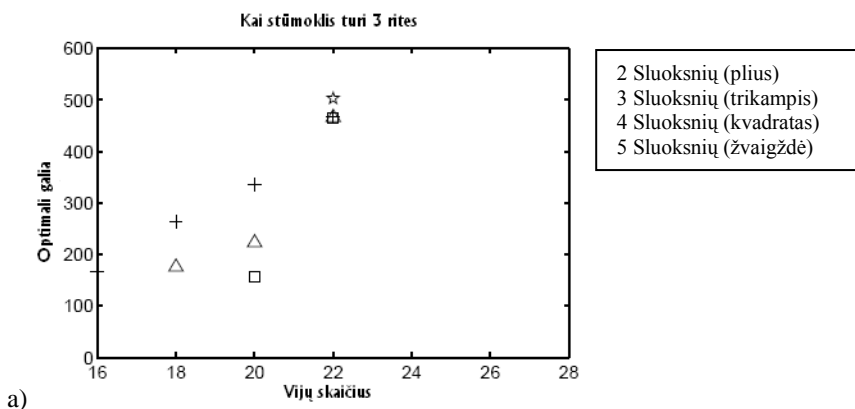


a)



b)

1 pav. a) MR slopintuvo magnetinio lauko linijos [1], b) 4-rių indukcinų ričių slopintuvo stūmoklis [1]



2 pav. a) Optimali galia priklausanti nuo vijų skaičiaus, kai stūmoklis turi 3 rites [1], b) Optimali galia priklausanti nuo vijų skaičiaus, kai stūmoklis turi 5 rites [1]

Todėl šių amortizatorių efektyvumas yra labai didelis, jei norime slopinti pastovaus dažnio keliamus virpesius. Bet realioje aplinkoje virpesių keliamas dažnis yra artimas įvairių dažnių triukšmui. Todėl panaudojus magnetoreologinius slopintuvus, realiam laike galime slopinti skirtingus žadinimo dažnius.

Svarbiausi slopintuvo energijos vartojimo mažinimo būdai yra du:

- Ploninti vijos laidą ir didinti apvijų skaičių (esant  $U=\text{const.}$ ,  $I$  mažėja,  $B$  didėja).
- Didinti indukcinį ričių skaičių.

Primasis minėtas būdas nėra labai patikimas, nes kaip  $B=1.5T$  magnetinės dalelės MR skystyje persimagnetiną [1] ir skystis praranda savo savybes. Antras minėtas būdas yra labiau patikimas nei pirmas, todėl kad galima komutuoti indukcinės rites taip, kad magnetinis laukas išliktų vienodas (pav. 1) ir vienas kito nestiprintų. Paveikslėlyje matome 4-rių indukcinį ričių slopintuvo stūmoklį, kuriame vaizduojamos kuriamos magnetinio lauko, magnetinės linijos.

Išanalizavus „Seattle“ laboratorijoje atliktų bandymų rezultatus suvartojama galia sumažėjo 4,5 karto (pav. 2). Kaip pastebėjau, tai didžiausias ekonomiškumas yra tada, kai stūmoklis sudarytas iš 5-ių indukcinį ričių, kurios turi suvytas 22 apvijas penkiais sluoksniais.

***Išvada.*** Straipsnyje supažindinama su MR slopintuvų savybėmis, privalumais ir trūkumais. Taip pat yra pateikiamas vienas iš būdų sumažinti MR slopintuvo energijos suvartojimą. Modifikuotų slopintuvų dėka yra sumažinamos energijos sąnaudos ir prailginamas tarnavimo laikas. Daug kur pritaikomos MR skysčio charakteristikos.

## Literatūra

1. [www.duke.edu/~hpgavin/papers/seattle01b.pdf](http://www.duke.edu/~hpgavin/papers/seattle01b.pdf)
2. [www.caam.rice.edu/~modelreduction/Papers/MRD.Journal.pdf](http://www.caam.rice.edu/~modelreduction/Papers/MRD.Journal.pdf)
3. [cee.uiuc.edu/sstl/papers/smart2.pdf](http://cee.uiuc.edu/sstl/papers/smart2.pdf)

# DETALIŲ SUJUNGIMAS SU GARANTUOTA ĮVARŽA

**Jurgis MIKOLAINIS**

Kauno technologijos Universitetas

**Prof. Habil. Dr. Bronius BAKŠYS**

Kauno technologijos universitetas

**Įvadas.** Detalių sujungimai su garantuota įvarža ir kiti sujungimai, pagrįsti plastinės deformacijos metodais, yra plačiai naudojami mašinų ir prietaisų gamyboje. Šie metodai tinkami automatizuojant ir robotizuojant surinkimo procesus, nes tokiems sujungimams nereikalingi sudėtingomis trajektorijomis judantys įrenginiai. Ištirta, kad svarbaus varžtų junginio amžius labai priklauso nuo pradinės sujungimo įvaržos. Įveržtas pradine 6320 N įvarža sujungimas laikė 5960 ciklų, įveržtas 32100 N – 214500 ciklų, o įveržtas 37500 N - net 5000000 ciklų. Rutulinių riedėjų guolių tarpeliui padidėjus nuo 10...15 μm iki 20 μm, guoliai laiko 1,62 karto trumpiau [1]. Todėl sujungimų su įvarža skaičiavimai yra aktualūs projektuojant automatizuoto sujungimo procesą. Šiame darbe bus apžvelgiami sujungimų su įvarža metodai.

**Detalių jungimo su įvarža būdai.** Plastinės deformacijos būdu gaunami sujungimai retai kada ardomi, nes ardamas galima sugadinti vieną ar net abi jungiamąsias detales. Nejudamųjų neišardomų sujungimų rinkimas dažniausiai vykdomas šiais būdais [3]:

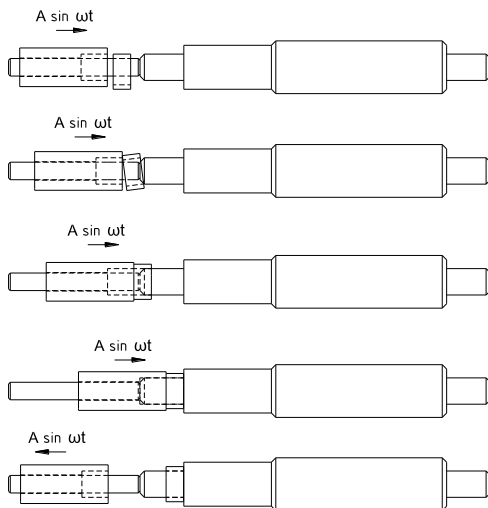
**Jungimas, įkaitinus gaubiančiąją detalę.** Tokiu būdu detalės sujungiamos su didele įvarža. Jungiant šiuo būdu įveržiama apie du kartus didesne įvarža nei presuojant. Skirtingų temperatūrų detalės sujungiamos lengvai, nenaudojant jėgos, nes tarp jų yra tarpelis. Įvarža atsiranda detalėms galutinai atvėsus. Jungiamųjų paviršių mikro-nelygumai nenuglemžiami, kaip tai atsitinka detales presuojant. Jei paviršiai šiurkštesni, tada sujungimo stiprumas tik padidėja.

**Jungimas, atšaldant gaubiančiąją detalę.** Šis būdas kartais būna pranašesnis, nei jungimas įkaitinus detales, nes neatsiranda temperatūrinių įtempių ir deformacijų. Be to, tokie junginiai apie 10-15% stipresni nei šildant detales.

**Jungimas, statiškai presuojant gaubiančiąją detalę.** Tokio sujungimo principas yra tas, kad gaubiamosios detalės skersmuo yra didesnis už gaubiančiosios skylės skersmenį. Detalės sujungiamos vienai detalei judant kitos atžvilgiu, deformuojant metalą. Detalių paviršiuje veikia įvaržos ir trinties jėgos, kurių pakanka patikimam sujungimui.

**Sujungimo procesas.** Sujungimo su garantuota įvarža proceso metu ant veleno montuojama paslanki kreipiamoji detalė, kurios vidinis profilis atitinka renkamą įvorę. Įvorė juda kartu su kreipiamąja detale, kol jų paviršiai pradeda kontaktuoti su velenu. Įvorė nuožulos pagalba sutapdinama su veleno ašimi ir ji

slenka veleno paviršiumi. Galiausiai detalės sujungiamos, o kreipiamoji detalė grįžta į pradinę padėtį, kaip pavaizduota 1 paveiksle žemiau:



1 pav. Įvorės sujungimas su velenu

**Įvaržos jėga.** Įvarža priklauso nuo detalių paviršių tarpusavio trinties jėgos, tepalo klampumo, santykinio judėjimo greičio, jungiamųjų paviršių mikro-nelygumų charakteristikos, detalių tarpusavio padėties. Faktinė įvarža apskaičiuojama pagal gaubiamosios ir gaubiančiosios detalių nominaliuosius matmenis, neįvertinant paviršių mikro-nelygumų aukščius, nors mikro-nelygumai, presuojant detales, yra sugniuždomi ir sumažina įvaržą.

**Detalių presavimo jėga.** Jungiamųjų paviršių sąlyčio plotas ir presavimo jėga priklauso nuo tų paviršių banguotumo bei formos paklaidų. Be to, sujungimo stiprumas ir presavimo jėga priklauso ir nuo presavimo greičio. Dažniausiai greitis būna 1...10 mm/s. Stipriausias sujungimas gaunamas, kai greitis nedidelis (iki 3 mm/s). Esant didesniai greičiui, reikalinga jėga sumažėja, bet kartu sumažėja ir junginio stiprumas. Sujungimų su įvarža surinkimo tikimybė, kitaip nei surinkimo su garantuotu tarpeliu, gali ir nesiekti 100% [4]. Kad sujungimas įvyktų netrukdomai, presavimo jėgą reikia padidinti 10-20%. Detalių tarpusavio užpresavimo jėga lygi:

$$P_{sur} = 1,2 P_{sur\ max} = 1,2 (P_{nuož} + P'_{sur}) \quad (1)$$

$P_{nuož}$  galima išskaidyti į tris jėgas  $F_1$ ,  $F_2$  ir  $F_3$ . O atstojamoji jėga lygi:

$$P_{mož} = 2 e f / \omega \quad (2)$$

$P_{sur}$  priklauso nuo įvaržos dydžio. Įvaržos dydis paskaičiuojamas:

$$N = pD \left( \frac{C_1}{E_1} + \frac{C_2}{E_2} \right) \quad (3)$$

čia:  $N$  - įvaržos dydis,  $p$  - jungiamosios detalės ir įvorės paviršių kontakto slėgis,  $D$  - supresuotų paviršių skersmuo, mm,  $E_1$  ir  $E_2$  - sujungiamų detalių Jungo modulis,  $C_1$  ir  $C_2$  - koeficientai

Koeficientus  $C_1$  ir  $C_2$  galima paskaičiuoti pagal formules:

$$C_1 = \frac{1 + \left( \frac{D}{d_2} \right)^2}{1 - \left( \frac{D}{d_2} \right)^2} + \mu_1, \quad C_2 = \frac{1 + \left( \frac{d_1}{D} \right)^2}{1 - \left( \frac{d_1}{D} \right)^2} - \mu_2 \quad (4)$$

čia  $d_1$  ir  $d_2$  - detalių skylių vidiniai skersmenys, o  $\mu$  - Puansono koeficientas

Jei jungiamoji detalė pilnavidurė, tada  $d_1=0$ , o  $C_1=\mu_1$ . Taigi surinkimo jėgos skaičiavimo formulė tampa:

$$P_{surmax} = \pi D l p f_1 \quad (5)$$

čia:  $l$  - sujungiamų paviršių ilgis, mm;  $f$  - trinties koeficientas, priklausantis nuo detalių medžiagų paviršių dydžio, sutepimo.

Plienams trinties koeficientas  $f=0,1$ . Jungiamosios detalės ir įvorės paviršių kontakto slėgis lygus:

$$p = \frac{N \cdot 10^{-3}}{\left( \frac{C_1}{E_1} + \frac{C_2}{E_2} \right) D} \quad (6)$$

## Literatūros sąrašas

1. **A. J. Bražiūnas.** Mašinų gamybos technologijos pagrindai. - Kaunas: Technologija, 2005, p. 240-241
2. **B. Bakšys, S. Kilikevičius.** Insertion investigation of cylindrical parts to be assembled with clearance. - Mechanika. - Kaunas: Technologija, 2006, No2(58), p.30-39

3. **Bernard J. Hamrock, Steven R. Schmid, Bo O. Jacobson.** Fundamentals of machine elements. - McGraw-Hill Higher Education, 2005, p. 349-953
4. **Harold A. Rothbart.** Mechanical design handbook: - Measurement, analysis, and control of dynamic systems, New York McGraw - Hill, 2006, p. 141-143

### **Reziუმэ**

Šiame darbe nagrinėjamas detalių sujungimas su garantuota įvarža: apžvelgiami pagrindiniai sujungimo būdai, aprašomas sujungimo procesas, nurodomas įvaržos skaičiavimų metodika.

# DIAMOND-LIKE CARBON COATINGS. FORMATION AND ANALYSIS OF OPTICAL PROPERTIES

**Jekaterina ŠČERBAKOVA**

Studies programme of Mechatronics, Kaunas University of Technology

**Assoc. Prof. Dr. Asta GUOBIENĖ**

Institute of Physical Electronics, Kaunas University of Technology

*Aim.* Diamond-like carbon (DLC) films they achieved significant interest for application of microtribological coatings for microelectromechanical systems (MEMS) and microactuators due to the low coefficient of friction and the high hardness. Optical properties of the diamond like carbon films should be controlled as well due to the development optical MEMS (MOEMS). Therefore in present work optical properties of ion beam synthesized DLC films were investigated. The influence of the ion beam current density on optical properties of DLC films has been studied. Transmittance and absorption coefficient as functions of wavelength were determined by spectrophotometer AvaSpec-2048. As a result, absorption coefficients' behavior dependence on the wavelengths was plotted. Optical band gap energy  $E_g^{opt}$  was determined from Tauc plot.

*Investigation.* For goals achievement, synthesis and analysis methods of DLC coatings were accomplished firstly.

Depending on the appliance of DLC, chemical and physical requirements, material – substrate, on which DLC is synthesized, properties various formation methods are virtual, ref. [1]. It is possible to classify formation methods in following way: a) Chemical Vapour Deposition (CVD), where the formation of the deposited film is the result of a chemical reaction of the precursors on the substrate; b) Plasma enhanced chemical vapour deposition (PECVD); c) electrochemical deposition; d) cathodic arc deposition; e) pulsed laser deposition – PLD; f) ion-beam deposition method from hydrocarbon; g) magnetron sputtering. Hydrocarbon ion beam deposition was choosed for synthesis of the DLC films due to the possibility of the independent control of the deposition process parameters.

For the problem solution DLC were synthesized on the following substrates:

- Quartz;
- Silicon.

DLC films deposited on quartz substrate were used for investigation of the optical transmittance spectra, while DLC films synthesized on monocrystalline Si substrates were used for measurement of the thickness.

For DLC synthesis was used chemically clean materials and reagents:

- Acetylene ( $C_2H_2$ )

For substrates' cleaning were used following materials:

- Acetone  $C_3H_6O$  (chemically clean);
- Dimethylformamide (DMFA) –  $C_3H_7NO$  (chemically clean).

Before the deposition of DLC films, substrates were chemically cleaned.

After chemical cleaning substrates were transferred to the DLC deposition chamber as soon as possible to avoid contamination.

In this work DLC coatings were synthesized using the direct-ion beam deposition method. Hydrocarbon gas was introduced into the electrostatic ion source. Gas has been ionized and newly formed ions were accelerated towards substrate using combination of the electric and magnetic fields. Ion beam deposition device URM3.279.052 was used, ref. [2].

DLC coatings were deposited in the room temperature 293K. In all cases ion beam energy was 800 eV; depositing samples nr.1 and nr.5 the density of ion beam current was  $50 \mu\text{m}/\text{cm}^2$ , while for the sample nr.2 –  $100 \mu\text{m}/\text{cm}^2$ , and samples nr.3 and nr.4 –  $150 \mu\text{m}/\text{cm}^2$ .

Further, UV-VIS spectroscopy measurement method was used (fiber optic UV/VIS/NIR AvaSpec-2048 spectrometer). This method is based on the analysis of absorption spectra in UV and visible light region. Ultraviolet and visible light is energetic enough to excite outer electrons to higher energy levels. Measuring the transmittance and absorbance at some wavelength and applying the Beer-Lambert law can determine the dependence of a transmission (absorption) coefficient on the wavelength, ref. [3].

While measuring, the light intensity of the incident light ( $I_0$ ) and the intensity after passing through the material ( $I$ ) is registered and the absorbance ( $A$ ) is calculated:

$$A = -\log_{10} \frac{I}{I_0} \quad (1)$$

**Results.** For an experiment implementation four different samples were used:

- quartz without DLC film;
- DLC film deposited on quartz with density of ion current of  $50 \mu\text{m}/\text{cm}^2$ ;
- DLC film deposited on quartz with density of ion current of  $100 \mu\text{m}/\text{cm}^2$ ;
- DLC film deposited on quartz with density of ion current of  $150 \mu\text{m}/\text{cm}^2$ .

By using UV/VIS/NIR optic spectrometer AvaSpec-2048 and Avasoft software program light intensity in the UV-, VIS-, and NIR- region was measured.

Further, absorption and transmittance coefficients of each sample were calculated. As it was mentioned above by Beer-Lambert law:

$$I = I_0 \cdot e^{-\alpha x} ; \quad (2)$$

here:  $x$  – thickness, equal to  $1.9 \cdot 10^{-5}$  (cm).



All of absorption and transmittance coefficients were calculated and curves of absorption coefficients' behavior dependence on the wavelengths were plotted (Fig. 1).

The next step was an investigation of the plot of optical band gap. For implementation of such a task the quantum energy of a photon ( $E$ ) was calculated:

$$E = h\nu; \quad (3)$$

where:  $h$  = Planck's constant =  $6.626 \cdot 10^{-34}$  (Joule·sec) =  $4.136 \cdot 10^{-15}$  (eV);  
 $\nu$  = frequency of radiation, sometimes written as  $f$  giving expression  $E = h\nu$ ,  
 ref. [4];

After that the Tauc plot was drawn and optical band gap energy  $E_g^{opt}$  was determined from graph (Fig. 2).

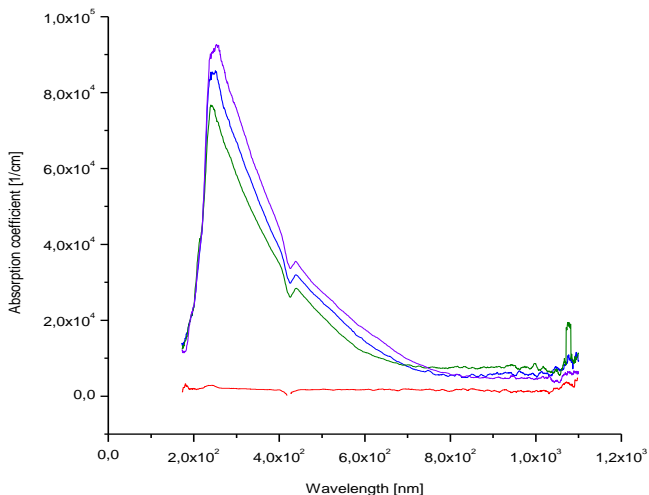


Fig. 1. Curves of an absorption coefficients. Her: blue line indicates an absorption coefficient of quartz sample with deposited DLC film and where the density of ion current is  $50 \mu\text{m}/\text{cm}^2$ ; olive line indicates an absorption coefficient of quartz sample with deposited DLC film and where the density of ion current is  $100 \mu\text{m}/\text{cm}^2$ ; violet line indicates an absorption coefficient of quartz sample with deposited DLC film and where the density of ion current is  $150 \mu\text{m}/\text{cm}^2$ ; red line indicates an absorption coefficient of quartz sample without DLC film.

It is evident that an absorption coefficient increases in the UV range rapidly and then decreases slowly till the IR range of light. What is interesting, until the wavelength passes  $\approx 2.3 \cdot 10^4$  nm the density of ion beam current, does not play any sufficient role, i.e. does not depend on the wavelength, but the different situation may be observed further:

- The peak of an absorption coefficient of the quartz sample with the density of ion beam current of  $150 \text{ mA/cm}^2$  reaches the value of  $\approx 9.2 \cdot 10^4 \text{ 1/cm}$  at the wavelength of value  $\approx 2.25 \cdot 10^2 \text{ nm}$ ;
- The peak of an absorption coefficient of the quartz sample with the density of ion beam current of  $100 \text{ mA/cm}^2$  reaches the minimum peak value  $7.75 \cdot 10^4 \text{ 1/cm}$ , in comparison with all four samples at the same wavelength;
- The peak of an absorption coefficient of the quartz sample with the density of ion beam current of  $50 \text{ mA/cm}^2$  reaches the medium value which is equal to  $8.3 \cdot 10^4 \text{ 1/cm}$  at the same wavelength.

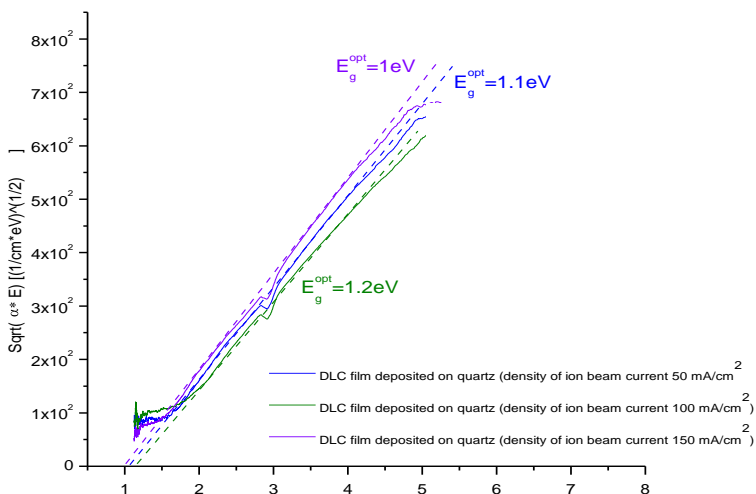


Fig. 2. Solid lines are the Tauc plot and the intercept of the dashed line with the energy axis indicates the optical band gap.

- The quartz sample with deposited DLC film with density of ion beam current of  $150 \text{ mA/cm}^2$  reaches the maximum value of optical band gap and is equal to  $1 \text{ eV}$ ;
- The quartz sample with deposited DLC film with density of ion beam current of  $100 \text{ mA/cm}^2$  reaches the minimum value of optical band gap and is equal to  $1.2 \text{ eV}$ ;

- The quartz sample with deposited DLC film with density of ion beam current of  $50 \mu\text{m} / \text{cm}^2$  reaches the value of optical band gap which is equal to 1.1 eV.

**Conclusions.** Was investigated that absorption coefficient increases in the UV range rapidly and then decreases slowly till the IR range of light. By using ion-beam deposition device URM3.279.053 and by choosing quartz as a substrate for the first experiment, particularly, for UV/VIS spectroscopy, following DLC films were synthesized:

- a. DLC film with density of ion beam current equaled to  $50 \mu\text{m}/\text{cm}^2$  having  $E_g^{opt} = 1.1 \text{ eV}$
- b. DLC film with density of ion beam current equaled to  $100 \mu\text{m}/\text{cm}^2$  having  $E_g^{opt} = 1.2 \text{ eV}$
- c. DLC film with density of ion beam current equaled to  $150 \mu\text{m}/\text{cm}^2$  having  $E_g^{opt} = 1.0 \text{ eV}$

Plots of optical band gap were investigated by drawn Tauc plot. For absorption and transmittance coefficients determination measurements of light intensity were done. Gotten data is very important for further application areas of DLC films.

## References

2. **J. Robertson. Diamond-like amorphous carbon.** Materials. Science and Enginneering R.37 (2002) 129.
3. Diamond and Related Materials 13 (2004) 311–315. **A.P. Mousinho, R.D. Mansano, P. Verdonck.** High-density plasma chemical vapor deposition of amorphous carbon films.
4. <http://www.hyperphysics.com> [Viewed on October 15, 2008] – home page.

## Resume

Acquaintance with DLC films synthesis and analysis of optical properties was performed.

# ALGORITHM OF OBJECT MOTION PREDICTION AT ITS VISUAL TRACKING

**Olga KAVUN**

National Aviation University, Ukraine

**Assoc. Prof., Ph. D. Maryna MUKHINA**

National Aviation University, Ukraine

*The work is done with support of Grant of the President of Ukraine*

A linear prediction algorithm can be used to fill in the missing data with estimates that are spectrally consistent with the data that are observed.

The necessity of prediction occurs when we need to predict the location of object. At visual tracking several problems with prediction appear at object loss from field of vision. It can happen when object become behind the obstacle [1] and even at incomplete recognition as the result of flash or poor visibility.

**Problem statement.** The tracked object is supposed to set by the operator as one of point that belongs to the object.

Then construction of object model is realized. The determination of object features can be done with the help of methods of BLOB (Binary Large Object) [2] analysis. It provides the finding of the following geometrical characteristics of object: area, center of mass, perimeter, orientation relatively image axes, etc.

The video consisting of frames  $320 \times 240$  pixels is presented in the grayscale, fps is 25. Let's assume that for the very first frames the point that belongs to the object is given by the human operator.

The following constraints will be applied:

- the object proportions are not greater than  $48 \times 48$  px;
- the object proportions are not less than  $4 \times 4$  px;
- the object contrast is not less than 5% from the background intensity;
- the maximal speed of object center is not over 8 px/frame.

The problem is formulated in the following way: to perform the prediction of tracking object parameters when it is lost, based on data, collected during normal tracking. Different methods of prediction need to be analyzed and compared.

**Review of approaches.** There are a lot of methods for solving the problem. They can be divided into 3 groups: formalized, heuristic and complex.

Formalized methods assume that in future the system will act in compliance with laws that it use in the past. Heuristic methods are based on human intellect usage to predict sudden change in system behavior. Complex methods unite formalized and heuristic methods. According to our task we use formalized method of prediction.

Formalized methods in turn include extrapolation and regression methods, group method of data handling (GMDH) etc.

The task of extrapolation can be formulated in such way. Suppose that in interval  $(t_0, t)$  values of function  $f(x)$  are known. It is necessary to define value of this function in point  $t+1$ , which doesn't belong to interval.

Extrapolation can be of different types:

- linear extrapolation means creating a tangent line at the end of the known data and extending it beyond that limit. Linear extrapolation will only provide good results when used to extend the graph of an approximately linear function or not too far beyond the known data.

If the two data points nearest the point  $x_*$  to be extrapolated are  $(x_{k-1}, y_{k-1})$  and  $(x_k, y_k)$ , linear extrapolation gives the function (identical to linear interpolation if  $(x_{k-1} < x_* < x_k)$ ),

$$y(x_*) = y_{k-1} + \frac{x_* - x_{k-1}}{x_k - x_{k-1}} (y_k - y_{k-1})$$

It is possible to include more than two points, and averaging the slope of the linear interpolant, by regression-like techniques, on the data points chosen to be included. This is similar to linear prediction.

- polynomial extrapolation. A polynomial curve can be created through the entire known data or just near the end. The resulting curve can then be extended beyond the end of the known data. Polynomial extrapolation is typically done by means of Lagrange interpolation or using Newton's method of finite differences to create a Newton series that fits the data. The resulting polynomial may be used to extrapolate the data.

High order polynomial extrapolation must be used with due care. For the example, data set and problem will possibly yield unusable values, an error estimate of the extrapolated value will grow with the degree of the polynomial extrapolation. This is related to Runge's phenomenon.

- conic extrapolation. A conic section can be created using five points near the end of the known data. If the conic section created is an ellipse or circle, it will loop back and rejoin itself. A parabolic or hyperbolic curve will not rejoin itself, but may curve back relative to the X-axis. This type of extrapolation could be done with a conic sections template (on paper) or with a computer.

- French curve extrapolation. A method of extrapolation suitable for any distribution that has a tendency to be exponential but with accelerating or decelerating factors is French curve extrapolation. This method has been used successfully in providing forecast projections of the growth of HIV/AIDS in the UK since 1987 and variant CJD in the UK for a number of years.

**Solution.** *First assumption:* the speed is not changed. So, we can write

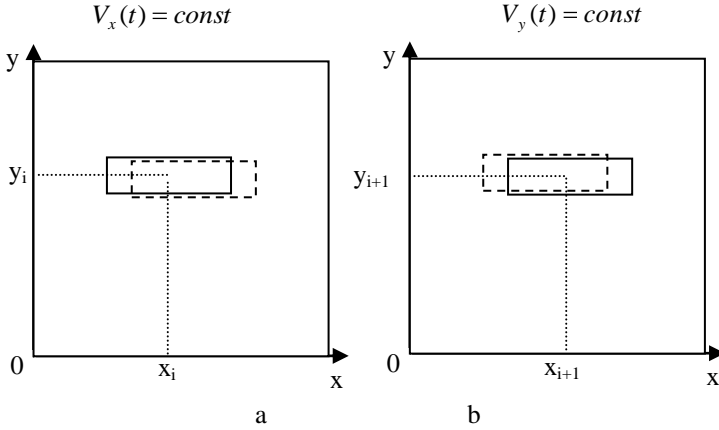


Fig 1. Frames of video with moving object. a –  $i$ -th frame, b –  $(i+1)$ -th frame.

As we can see (fig. 1)  $x_i$  is the coordinate of object's centre of mass on the  $i$ -th frame,  $x_{i+1}$  – on the  $(i+1)$ -th frame. Instantaneous speeds are calculated according to such formulas:

$$\text{For } x: V_{xi} = \frac{x_{i+1} - x_i}{\Delta t}, \quad i = 1, 2, \dots, N-1$$

$$\text{For } y: V_{yi} = \frac{y_{i+1} - y_i}{\Delta t}, \quad i = 1, 2, \dots, N-1$$

$N$  – number of frame up to the moment when the object is lost.

In the case of object lost the speed of object is supposed to be equal to average value of instantaneous speeds during the time of successful tracking.

$$V_x(t) = \frac{\sum_{i=1}^{N-1} V_{xi}}{N-1} \qquad V_y(t) = \frac{\sum_{i=1}^{N-1} V_{yi}}{N-1}$$

*Second assumption:* the speed changes linearly. For each  $x$  and  $y$  coordinates

$$V(t) = kt + b \tag{1}$$

To solve this equation for the unknown coefficients  $k$  and  $b$ , we write  $P$  as a system of  $N-1$  simultaneous linear equations in two unknowns.

$$P_x = \sum_{i=1}^{N-1} (V_{xi} - (k_x t_i + b_x))^2 \qquad P_y = \sum_{i=1}^{N-1} (V_{yi} - (k_y t_i + b_y))^2$$

Because the least squares fitting process [3] minimizes the summed square of the residuals, the coefficients are determined by differentiating  $P$  with respect to each parameter, and setting the result equal to zero.

$$\begin{aligned}\frac{\partial P_x}{\partial k_x} &= -2 \sum_{i=1}^{N-1} t_i (V_{xi} - (k_x t_i + b_x)) = 0 & \frac{\partial P_y}{\partial k_y} &= -2 \sum_{i=1}^{N-1} t_i (V_{yi} - (k_y t_i + b_y)) = 0 \\ \frac{\partial P_x}{\partial b_x} &= -2 \sum_{i=1}^{N-1} (V_{xi} - (k_x t_i + b_x)) = 0 & \frac{\partial P_y}{\partial b_y} &= -2 \sum_{i=1}^{N-1} (V_{yi} - (k_y t_i + b_y)) = 0 \\ & \sum_{i=1}^{N-1} t_i (V_{xi} - (k_x t_i + b_x)) = 0 & & \sum_{i=1}^{N-1} t_i (V_{yi} - (k_y t_i + b_y)) = 0 \\ & \sum_{i=1}^{N-1} (V_{xi} - (k_x t_i + b_x)) = 0 & & \sum_{i=1}^{N-1} (V_{yi} - (k_y t_i + b_y)) = 0\end{aligned}$$

The normal equations are defined as

$$\begin{aligned}k_x \sum_{i=1}^{N-1} t_i^2 + b_x \sum_{i=1}^{N-1} t_i &= \sum_{i=1}^{N-1} t_i V_{xi} & k_y \sum_{i=1}^{N-1} t_i^2 + b_y \sum_{i=1}^{N-1} t_i &= \sum_{i=1}^{N-1} t_i V_{yi} \\ k_x \sum_{i=1}^{N-1} t_i + (N-1)b_x &= \sum_{i=1}^{N-1} V_{xi} & k_y \sum_{i=1}^{N-1} t_i + (N-1)b_y &= \sum_{i=1}^{N-1} V_{yi}\end{aligned}$$

Solving for  $k$

$$k_x = \frac{(N-1) \sum_{i=1}^{N-1} t_i V_{xi} - \sum_{i=1}^{N-1} t_i \sum_{i=1}^{N-1} V_{xi}}{(N-1) \sum_{i=1}^{N-1} t_i - (\sum_{i=1}^{N-1} t_i)^2} \quad k_y = \frac{(N-1) \sum_{i=1}^{N-1} t_i V_{yi} - \sum_{i=1}^{N-1} t_i \sum_{i=1}^{N-1} V_{yi}}{(N-1) \sum_{i=1}^{N-1} t_i - (\sum_{i=1}^{N-1} t_i)^2}$$

Solving for  $b$  using the  $k$  value

$$b_x = \frac{1}{N-1} \left( \sum_{i=1}^{N-1} V_{xi} - b_x \sum_{i=1}^{N-1} t_i \right) \quad b_y = \frac{1}{N-1} \left( \sum_{i=1}^{N-1} V_{yi} - b_y \sum_{i=1}^{N-1} t_i \right)$$

Correspondingly to the equation (1) and known parameters  $k$  and  $b$  the predicted speeds can be considered:

$$V_{y_{predicted}} = k_y t_{i+s} + b_y \quad V_{x_{predicted}} = k_x t_{i+s} + b_x$$

$i+s$  – number of the frame

The graphs of center of mass speed are shown in Fig. 2.

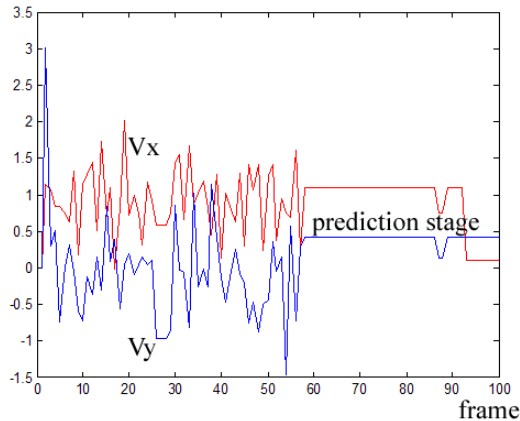


Fig. 2 Time dependencies of object speed are in the stage of tracking and prediction

**Conclusions.** The different in quality and contrast video files were analyzed and processed according to the given algorithm that was realized in *MATLAB 2007a* software. Considering formulated problem, 18 from 20 experiments show better results at first assumption. Therefore, for poor quality and contrast video the algorithm can be applied using the first assumption. But the selected video files have almost the same specific type where the object moves with constant speed and this information is apriori known. For other types of object motion known by apriori the second assumption can be used, or even more complicated model of motion may be in assistance.

## References

1. **O. Kavun.** Obstacle avoidance algorithm based on fuzzy logic.- Proceedings of the international science conference for students and young researchers “Polit”, April 10-11, 2008, Volume1, p.115
2. **M.P. Mukhina Assoc. Prof., PhD.** Algorithm of visual tracking of contrast moving objects. - Proceedings of the third world congress “Aviation in the XXI-st century”, “Safety in aviation and space technology”, September 22-24, 2008, Volume 2, p.32.33-32.37
3. **Charles L. Lawson, Richard J. Hanson.** Solving Least Squares Problems. - SIAM, 1995.



# BIRIŲ DALELIŲ DOZATORIUS-SEPARATORIUS

**Rimas BAIKAUSKAS**

Mechatronikos studijų programa, Kauno technologijos universitetas

**Doc. Dr. Inga SKIEDRAITĖ**

Kauno technologijos universitetas

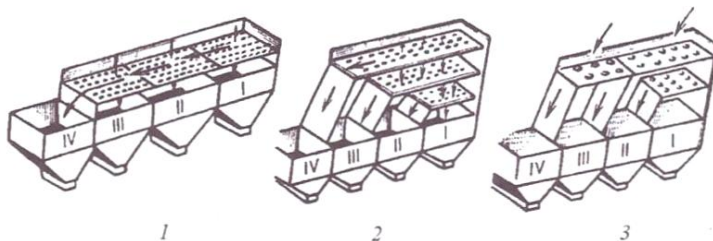
**Darbo tikslas.** Sukurti smulkių dalelių dozatorių – separatorių, panaudojant pjezovibratorių, kuris skirstytų penkių skirtingų dydžių daleles.

**1. Teorinė dalis.** Separavimas – tai procesas, kurio metu viena medžiaga yra atskiriama nuo kitos arba tos pačios medžiagos dalelės yra suskirstomos į skirtingas frakcijas pagal tam tikrą jų charakteristiką.

Separatoriai skirstomi į: a) orinius separatorius; b) hidraulinius klasifikatorius; c) sijotuvus.

Sijotuvų pagrindinis darbinis elementas vadinamas sietu. Sietai – tai ardelės, skylėti (šampuoti) lakštai ar pinti tinkleliai. Šampuotųjų sietų skylutės paprastai daromos į apačią plėtėjančios, kad sietai kuo mažiau kimštūsi.

Skiriami trys pagrindiniai sijojimo būdai pagal dalelių atsijojimo eiliškumą (1 pav.) [1].



1 pav. Sijojimo būdai pagal dalelių atsijojimo eiliškumą [1]

Pirmajame būde (1 pav., 1), pirmiausiai atsijojama smulkioji frakcija. Jo pranašumas yra paprasta konstrukcija, sietus lengva prižiūrėti ir remontuoti. Trūkumai – greitas sietų dilimas, nes stambioji frakcija iškrinta tik praėjusi per visą sietų ilgį, pati konstrukcija ilgesnė už likusius variantus.

Antro būdo (1 pav., 2) pranašumai: tikslus rūšiavimas į frakcijas, mažas sietų dilimas. Trūkumai: sunku keisti ir prižiūrėti sietus, didelis įrenginio konstrukcijos aukštis.

Trečiame būde (1 pav., 3), medžaga pirmiausiai beriama ant vidutinio sieto. Šis būdas pasižymi pirmųjų dviejų būdų pranašumais, tačiau taip pat yra sudėtingos konstrukcijos, sijojimo tikslumas mažesnis.

Sijotuvai pagal veikimo principą skirstomi [1]: a) plokštieji nejudamieji; b) plokštieji judamieji (vibraciniai, svyruojantys); c) sukamieji (būgniniai, diskiniai).

**2. Tyrimai.** Apžvelgti ir išskirti įvairių sijotuvų tipų privalumai ir trūkumai yra pateikti Lentelėje 1.

Lentelė 1

Įvairių sijotuvų tipų privalumai ir trūkumai

Sijotuvo tipas	Privalumai	Trūkumai
Plokštieji nejudamieji	Konstrukcija labai paprasta ir patvari	Nedidelis našumas ir efektyvumas, dažnai užsikemša, sijojamą medžiagą reikia stumdyti.
Plokštieji judamieji svyruojantys	Sietų judėjimo trajektorija nepriklauso nuo veleno sukimosi dažnio ir sijojamos medžiagos masės	Greitai dyla sietai, palyginti nedidelis našumas, sudėtinga konstrukcija.
Plokštieji judamieji vibraciniai mechaniniai	Aukšta sijojimo kokybė (horizontaliųjų $\eta \sim 90\%$ ), didelis našumas ir mažos energijos sąnaudos	Virpėjimo amplitudę įtakoja ant sieto esanti medžiagos masė, yra nemažai dydančių konstrukcijos dalių
Plokštieji judamieji vibraciniai elektromagnetiniai	Konstrukcija ganėtinai patikima ir ilgaamžė, didelis našumas	Reikalingas didelės kintamosios srovės generatorius
Sukamieji	Tylūs, nesukelia vibracijų. Paprasta ir ilgaamžė konstrukcija, paprasta priežiūra.	Mažas naudingumo koeficientas ir našumas. Didelių matmenų, sudėtinga sietų gamyba.

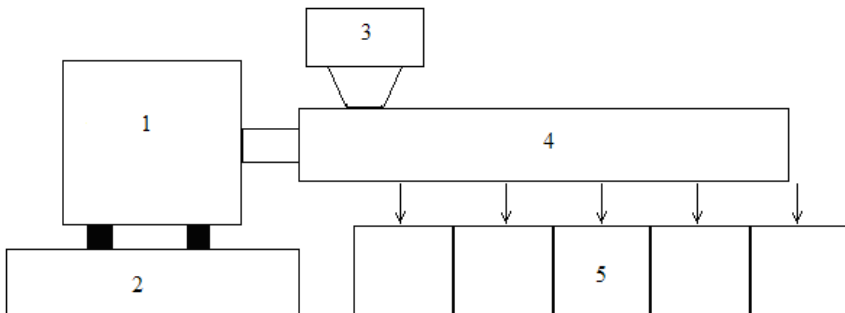
Išnagrinėjus pateiktus sijotuvų privalumus ir trūkumus priimtinausia yra vibracinių mechaninių sijotuvų rūšis. Šie sijotuvai išsiskiria tuo, kad gali medžiagas rūšiuoti tiek sausuoju, tiek šlapiuoju būdu. Taip pat vibraciniai sijotuvai pasižymi aukšta sijojimo kokybe, dideliu našumu ir mažomis energijos sąnaudomis.

Siekiant išsirinkti priimtinausią sietų konstrukciją pagal dalelių sijojimo eiliškumą, pasirinktajam vibraciniam sijotuvui, sudaryta skirtingų sieto konstrukcijų palyginimo Lentelė 2.

Skirtingų sieto konstrukcijų palyginimas

Sieto konstrukcijos tipas	Privalumai	Trūkumai
Kai pirmiausiai atsijojama smulkioji frakcija	Paprasta konstrukcija, sietus lengva prižiūrėti ir remontuoti	Greitas sietų dilimas, nes stambioji frakcija iškrinta tik praėjusi per visą sietų ilgį, ilga konstrukcija
Kai pirmiausiai atsijojama stambioji frakcija	Tikslus rūšiavimas į frakcijas, mažas sietų dilimas	Sunku keisti ir prižiūrėti sietus, sudėtinga ir aukšta įrenginio konstrukcija
Kai pirmiausiai atsijojama vidurinė frakcija	Pasižymi pirmųjų dviejų būdų pranašumais	Sudėtinga konstrukcija, mažas rūšiavimo tikslumas

**3. Rezultatai.** Susumavus Lentelėje 1 išskirtus sijotuvų privalumus ir trūkumus priimtinausia yra vibracinių mechaninių sijotuvų rūšis. Šie sijotuvai pranašesni tuo, kad jais medžiagos rūšiuojamos tiek sausuoju, tiek šlapiuoju būdu. Tokiuose sijotuvuose medžiaga susisluoksniuojama, smulkesnės dalelės atsiduria apačioje, todėl pagerėja sijojimo kokybė ( $\eta \sim 90\%$ ), padidėja našumas ir sumažėja energijos sąnaudos, kadangi dalelės bus rūšiuojamos nedideliais kiekiais, jų masės įtaka sieto virpesiams bus mažai aktuali. Sieto virpesiams žadinti vietoj ekscentrinio ar inercinio mechanizmo bus panaudotas piezovibratorius, todėl sumažės dylančių ir patikimumą mažinančių dalių ir sumažės energijos sąnaudos.



1 pav. Dozatoriaus-separatoriaus konstrukcijos prototipas: 1 – pjezovibratorius; 2 – stovas; 3 – dalelių bunkeris; 4 – separavimo lovelis; 5 – atsijotų dalelių bunkeris

Dozatoriaus-separatoriaus veikimo principas: stabiliamoje stovė įtvirtintas pjezovibratorius virpina separavimo lovelį ant kurio yra rūšiuojama medžiaga iš

dalelių bunkerio. Atsijotos dalelės, atitinkamai pagal savo dydį, patenka į suskirstytą bunkerį esantį po separavimo lovėliu.

Apibendrinus Lentelėje 2 pateiktus privalumus ir trūkumus pasirenkame pirmąjį konstrukcijos tipą, dėl paprastos konstrukcijos ir aukšto sijojimo tikslumo. Kadangi bus sijojamos sąlyginai mažos dalelės (~1 mm), tai pagrindinis konstrukcijos trūkumas susijęs su sietų dilimu šiuo atveju neaktualus. Atsižvelgiant į pasirinktą sijotuvo tipą ir sieto konstrukciją, siūlomas separatoriaus konstrukcijos prototipas pateiktas 1 pav.

***Išvada.*** Išanalizuoti skirtingų sijotuvų privalumai ir trūkumai. Pasiūlytas vibracinio sijotuvo prototipas, kurio sietus virpina pjezovibratorius.

## **Literatūra**

1. **Alfredas Balandis, Aras Kantautas, Benonas Leskauskas, Giedrius Vaickelionis, Zenonas Valančius.** Chemijos inžinerija, I knyga. Technologija. Kaunas 2006, p.380-390.
2. <http://availabletechnologies.pnl.gov/technology.asp?id=199>
3. [http://www.wilcoxon.com/vi\\_index.cfm?PD\\_ID=132](http://www.wilcoxon.com/vi_index.cfm?PD_ID=132)

## **Reziumė**

Straipsnyje išnagrinėti įvairių sijotuvų privalumai ir trūkumai, pasiūlytas dozatoriaus-separatoriaus prototipas veikiantis vibraciniu principu. Virpesiams sukelti panaudojamas pjezovibratorius.

# DYNAMICAL ANALYSIS OF THE PROTOTYPE CONSTRUCTION OF PASSIVE GRAVITY STABILIZER

**Artūras BAGAJEVAS**

Studies programme of Mechatronics, Kaunas University of Technology

**Habil. Dr. Algimantas BUBULIS,**  
**Assoc. Prof. Dr. Inga SKIEDRAITĖ**  
Kaunas University of Technology

**Introduction.** The dynamic model of the prototype construction of passive gravity stabilizer makes huge concern, because the stop mechanism of prototype motion is controlled in time. That means that the feeding of each piezoelectric ring is disconnected in a certain period of time, which would be the time when the each member of the construction rotates  $180^\circ$  to the fully deployed or fully folded position. It depends on the way of need to deploy or fold the construction.

After disconnecting the feeding of piezoelectric ring, mechanical deformation of the piezoelectric ring disappears, the rotor of piezoelectric motor remains in steady state due to friction between stator and rotor [1].

**1. Experimental approach to find approximate angular velocity of the construction.** The simplest way to estimate for example the angular velocity of the rotational motion is to make an experiment for measuring the time of shift of the one member of construction in  $180^\circ$ . For reason to approach to the real value of angular velocity the experiment was repeated 10 times.

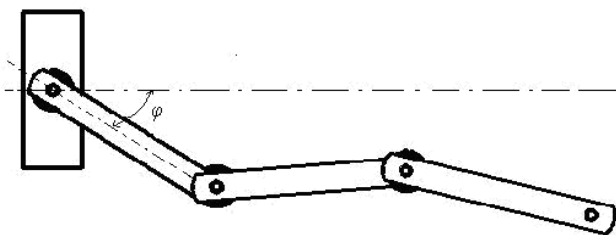


Fig.1 representation of shift angle  $\varphi$  of one member of construction

As shows the experiment after ten measurements the time value of model member shift from folded position to deployed position in  $180^\circ$  angle varies from 0.9s to 1.3s. This shows the rotation irregularities of the rotor. For finding the possible angular velocity the statistical approximation of finding mean value of time of the experiments should be made.

$$t_{mean} = \frac{\sum t.s}{n}; \quad (1)$$

Where,  $n$  is number of the experiments.

$$t_{mean} = \frac{0.9+1+1.2+1.3+0.9+0.8+1.1+1+0.8+1}{10} = 1s;$$

Table 1

Experiment results

The number of measurements	Time in seconds of one member of model shift in 180°
1	0.9
2	1
3	1.2
4	1.3
5	0.9
6	0.8
7	1.1
8	1
9	0.8
10	1

**2. Estimation of theoretical value of angular velocity.** When measured in cycles or rotations per unit time (e.g. revolutions per minute), it is often called the rotational velocity and its magnitude the rotational speed [2].

The angular velocity is measured in rad/s

$$1^\circ = 1 * \pi / 180^\circ, \text{ so } 180^\circ = \pi.$$

Taking to account this the relationship between shift angle  $\varphi$  and the angular velocity could be defined: [3]

$$\omega = \dot{\varphi} = \pi \text{ rad} / s \quad (2)$$

$$\varphi = \int \pi dt = \pi * t \quad (3)$$

where  $\varphi$ -is shift angle,  $\omega$ - is angular velocity.

So the theoretical (approximate) relationship between the shift angle of the construction can be defined in words, so that the angular velocity is equal to the first derivative of shift angle with respect to time.

Also if the bigger weight is applied on the end of construction, it reduces rotational speed of whole construction because it significantly increase friction between stator and rotor and it leads to reduction of rotational velocity. The first member of construction is slowest, because of stairway shape of whole construction, the first member must sustain all weight of the construction, so the friction between the stator and rotor of the first member is biggest

### ***Conclusions***

1. The shift angle  $\varphi$  depends on time, because the mean angular velocity  $\omega$  is equal to  $\pi$ .
2. In ideal model the angular velocity would be constant and equal (every rotor of the construction would rotate in the same manner and equally. But an experiment shows that this is not true for example if the load is applied on the end of the construction the rotation time of  $180^\circ$  increases. This appears because of increase of friction in between the rotor and stator, and increase of moment of inertia, which leads to the decrease in rotational speed.
3. The friction between stator and rotor of the first member of construction is the biggest in whole construction, because the first member must sustain whole weight of the construction. So the first member rotates slower then other two. But the approximate time of rotation in  $180^\circ$  is equal about 1s.

### **References**

1. **Spanner K.** 2006 Survey of various operating principles of ultrasonic piezomotors, White Paper for actuators 2006, Germany: 8p
2. **Edward H. Smith.** Mechanical Engineering Twelfth Edition: London:1994. 1194p
3. **Paliūnas A.** Teorinė mechanika. Kaunas: Technologija, 1994. 600p.

### **Summary**

During the experiment the approximate relationship between the shift  $\varphi$  and angular velocity  $\omega$  was estimated, due to rotational irregularities which occurs when piezoelectric stator turns the rotor, there was very difficult to estimate true angular velocity. In this case the mathematical method of finding mean value of angular velocity, through 10 experiments, was chosen. All linkages of mechanism are connected together, but rotational motion of each linkage of mechanism is in depended fro other one. The velocity of rotation depends on the weight of construction which acts on each member differently, due to increase of friction between stator and rotor, but approximate time of rotation of each member  $180^\circ$  ,to the fully deployed or fully folded, position is equal to 1s.

# ELEKTROREOLOGINĖS MOVOS VALDYMO SISTEMA

**Sigita NAVICKAITĖ**

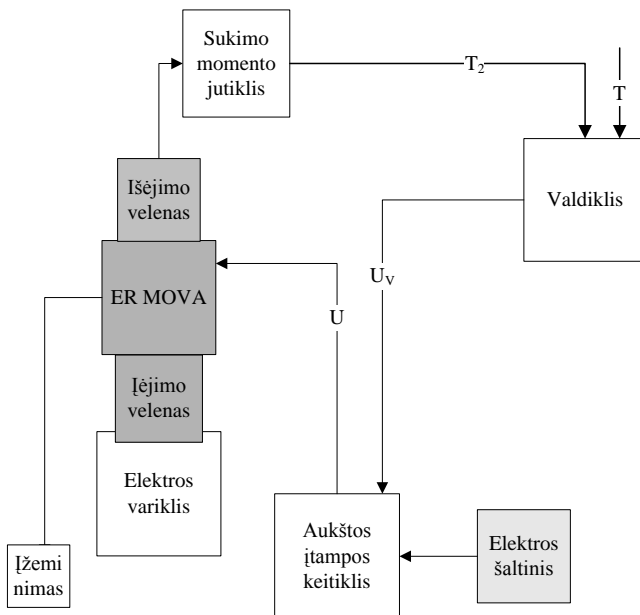
Kauno technologijos universitetas

**Doc. Dr. Egidijus DRAGAŠIUS**

Kauno technologijos universitetas

**Darbo tikslas.** Sukurti elektorreologinės (ER) movos valdymo sistemą ir įrenginio parametrus.

**Teorinė dalis.** ER movos priklauso valdomų movų grupei. Pagrindinė tokios movos paskirtis: tam tikru laiko momentu perduoti reikiamo dydžio sukimo momentą tarp dviejų velenų. Jų veikimo principas pagrįstas elektorreologinio (ER) skysčio reologinėmis savybėmis [1–4]. Paveikus movoje tarp elektrodų patalpintą ER skystį, pakinta skysčio klampumas. Būtent dėl tokios ER movos parametų kaitos, įrenginiu perduodamas sukimo momentas yra valdomas [5–8].



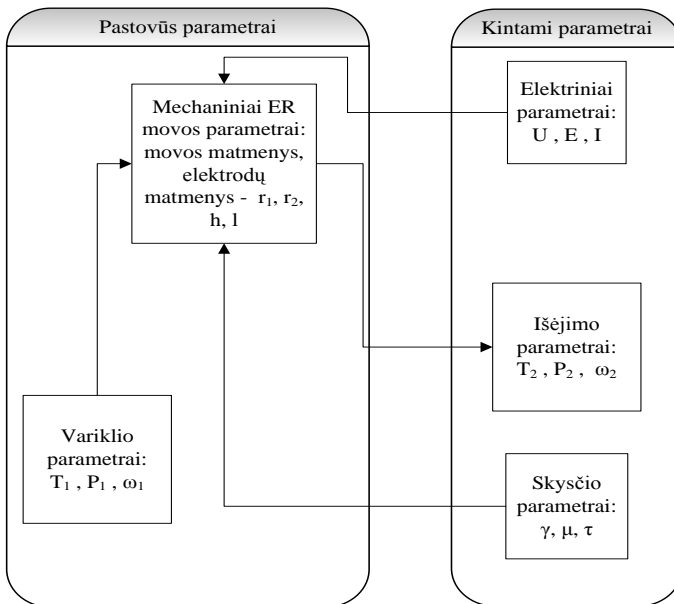
1 pav. ER movos blokinė valdymo schema



**ER movos valdymo sistema.** Uždavus reikiamą išėjimo veleno sukimo momentą  $T$  parenkama valdymo įtampa  $U_V$ , kurios reikšmė valdikliu nurodoma aukštos įtampos keitikliui. Jis padidinęs įtampą  $U_V$  iki reikiamos reikšmės  $U$ , grafitinių šepetėlių pagalba perduoda ją ER movai [4]. Tuomet tarp movos elektrodų yra sukuriamas elektros laukas, kuris pakeičia skysčio klampumą, taip valdydamas ER mova perduodamą sukimo momentą. Išėjimo veleno sukimo momentas  $T_2$  matuojamas sukimo momento jutikliu, kurio parodymai yra siunčiami atgal į valdiklį. Išmatuotoji reikšmė  $T_2$  yra lyginama su užduotąja  $T$  (1 pav.).

ER movos valdymo schemą sudaro:

- Elektros šaltinis. Teikia užduotą įtampą aukštos įtampos stiprintuvui.
- Valdiklis. Jame yra įrašyta programinė įranga, kurios dėka pagal ER movos valdymo algoritmą parenkama reikiama valdymo įtampa.
- Aukštos įtampos keitiklis. Šio įrenginio pagrindinė funkcija – Padidinti  $U_V$ .
- Sukimo momento jutiklis – įtaisas skirtas išėjimo veleno sukimo momentui matuoti.
- Elektros variklis – reikalingas sukimo momentui sukurti.



2 pav. ER movos parametrai

**ER movos parametrai.** 2 pav. pavaizduota ER movos parametų schema. Joje įėjimo parametrai yra lygūs variklio parametrams, kurie visuomet yra

pastovūs – t.y. ER movos valdymo schemoje įėjimo velenas yra sukamas variklio, pastoviu kampiniu greičiu  $\omega_1$ . Įėjimo velenas yra veikiamas variklio sukuriama sukimo momento  $T_1$ , kuris priklauso nuo variklio galios  $P_1$ . Mechaniniai movos parametrai taip pat yra pastovūs – t.y. įrenginio gabaritiniai matmenys bei elektrodų matmenys: elektrodų spinduliai  $r_1$  ir  $r_2$  bei tarp elektrodų esantis tarpelis  $h$ . Sritis tarp elektrodų, kurioje sukuriamas elektros laukas  $E$ , veikiantis aktyvųjį skystį, yra nusakoma elektrodų ilgiu  $l$ .

Prie kintamųjų parametrų priskiriami elektriniai dydžiai, kuriuos keičiant kinta skysčio savybės. Keičiant įtampą  $U$ , sukuriamas elektros laukas  $E$ , kuriam veikiant tarp elektrodų pakinta ER skysčio klampumas  $\mu$ . Kintant klampai taip pat kinta skysčio šlyties įtempiai  $\tau$  ir skysčio šlyties koeficientas  $\gamma$ . Priklausomai nuo pakitusios ER skysčio klampos  $\mu$ , pakinta išėjimo veleno kampinis greitis  $\omega_2$ . Pakitus kampiniam greičiui  $\omega_2$ , pakinta sukuriamas išėjimo veleno sukimo momentas  $T_2$ .

**Išvados.** Išanalizavus patentinę medžiagą ir literatūrą sudaryta ER movos blokinė valdymo schema. Remiantis sudaryta valdymo schema tampa akivaizdu, kaip movos išėjimo parametrai kinta eksploatuojant įrenginį.

## Literatūra

1. **Han S., Choi S.** Position control of a dual-servo stage featuring an electrorheological fluid clutch and piezostack actuator, Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part C: Journal of Mechanical Engineering Science, Volume 218, Number 12 / 2004.
2. **Conrad, H.** Properties and design of electrorheological suspensions, MRS Bulletin, Vol. 23, No. 8, August 1998 m.
3. **Tan, K. P. Stanway, R. Bullough, W. A.** Shear mode ER transfer function for robotic applications, University of Sheffield, UK, 2005.
4. <http://free.patentfetcher.com/> žiūrėta 2008 04 20.
5. **Halsey C., Martin E. J.** Development and Fundamental Characteristic of One-Shaft Type ER Clutch Electrorheological fluids. – Scientific American, October 1993 m
6. ER Fluids Developments Ltd, 1998, Electro-Rheological Fluid LID 3354, Technical Information Sheet, UK.
7. **Abu-Jdauil B., Brunn O. P.** Effect of Electrode Morphology on the Behaviour of Electrorheological Fluids in Torsional Flow.
8. **Gorodkin S., Zhuravski N.** Surface shear stress enhancement under MR fluid deformation. Heat and Mass Transfer Institute, Belarus, University of Rochester, Center for Optics Manufacturing, USA.

# ŠLYTIES ĮTEMPIMAI ATsirANDANTYS MAGNETOREOLOGINIO STABDŽIO DARBO REŽIMUOSE

**Viktorija RUGAITYTĖ**  
Kauno technologijos universitetas  
**Doc. Dr. Egidijus DRAGAŠIUS**  
Kauno technologijos universitetas

**Darbo tikslas.** Išnagrinėti magnetoreologinio stabdžio darbo režimus. Išanalizuoti MR stabdžio konstrukcijos geometrinius bei fizikinius parametrus, įtakančius MR stabdžio veikimą.

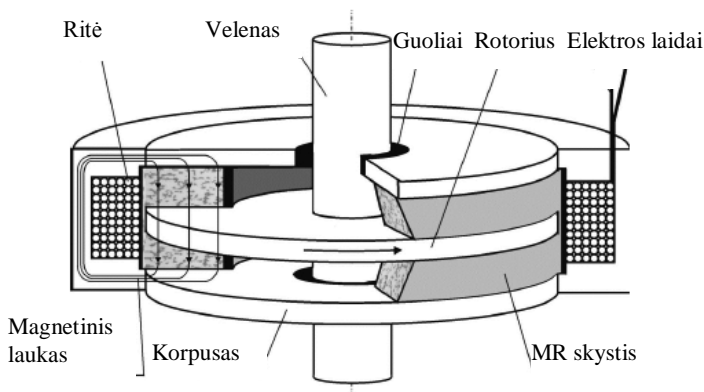
**Magnetoreologiniai stabdžiai.** MR stabdžių veikimas yra paremtas magnetoreologiniu efektu. MR efektas – tai specialiai paruošto skysčio klampos kitimas veikiant jį magnetiniu lauku. Tokių skysčių pagrindas yra įmagnetinamos dalelės, kurios paveikus skystį magnetiniu lauku išsidėsto į linijines grandines. Šių skysčių takumas yra tiesiogiai proporcingas magnetinio lauko stiprio augimui.

**Magnetoreologinio stabdžio konstrukcija.** 1 paveikslėlyje yra pateikiama MR stabdžio konstrukcijos schema. MR skystis patalpintas tarpelyje tarp korpuso ir rotoriaus. Rotorius pritvirtintas prie veleno, kuris patalpinamas tarp guolių ir turi sukamąjį judesį. Laidais teka srovė, kuri ritės apvijose sukuria magnetinį lauką. Magnetinio lauko dėka galime keisti MR skysčio fizikines savybes – t.y. skysčio klampumą, kurio dėka ši konstrukcija veikia kaip didelį valdomumo laipsnį turintis stabdis.

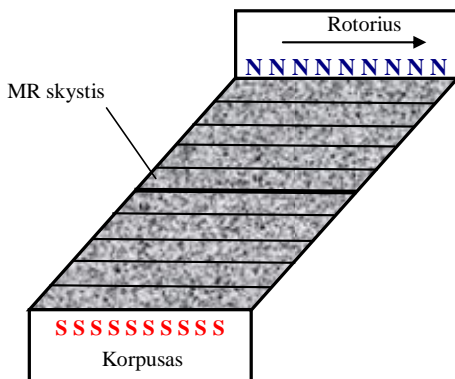
Kadangi šioje konstrukcijoje korpusas yra stacionarus, o rotorius turi sukamąjį judesį, tai atsiranda šlyties reiškinys, dėl šios priežasties atsiranda papildomos šlyties jėgos ir įtempiai. Tai pavaizduota 2 paveikslėlyje. Ir MR stabdis ir MR mova turi vieną bendrą panašumą, - tai atsirandanti šlytis. Bet jų skaitinės reikšmės šiek tiek skiriasi, nes MR movose atsirandanti šlytis yra didesnė, nei MR stabdžiuose [1,3].

MR stabdis gali veikti nepertraukiama eiga ir tuomet, kai sukimo momento reikšmė yra keičiama. Kai ritėse esanti srovė lygi nuliui, magnetinis laukas taip pat lygus nuliui. Sukimo momento reikšmė nėra lygi nuliui, minimali jos reikšmė siekia  $M_{min}=0,34$  Nm. Sukimo momento reikšmė nėra lygi nuliui. Minimali sukimo momento reikšmė, kuomet srovė tekanti ritėmis lygi nuliui, atsiranda nuo guolių, sandarinimo, nešančiojo skysčio klampumo reikšmės. Pakitus srovei iki maksimalios  $I_{max}=1$  A, MR stabdžio sukimo momento reikšmė yra tap pat maksimali  $M_{max}=5,65$  Nm. MR stabdžio konstrukcijai pakanka tokių srovės ir sukimo momento maksimalių skaitinių reikšmių šio prietaiso normaliai

eksploatacijai. Tai yra pats optimalus variantas tenkinantis ne tik precizišką ir optimalų veikimą, bet ir tenkinantis visus darbo ir žmogaus saugos reikalavimus.



1 pav. MR stabdžio schema [4]



2 pav. MR skysčiuose atsirandanti šlytis

Kaip jau žinome magnetoreologinio skysčio fizikinės savybės keičiasi, kintant, jį veriančiam magnetiniam laukui. Anksčiau aiškintuose reiškiniuose buvo kalbėta apie atsirandančius šlyties įtempimus, kurie matematiškai yra išreiškiami:

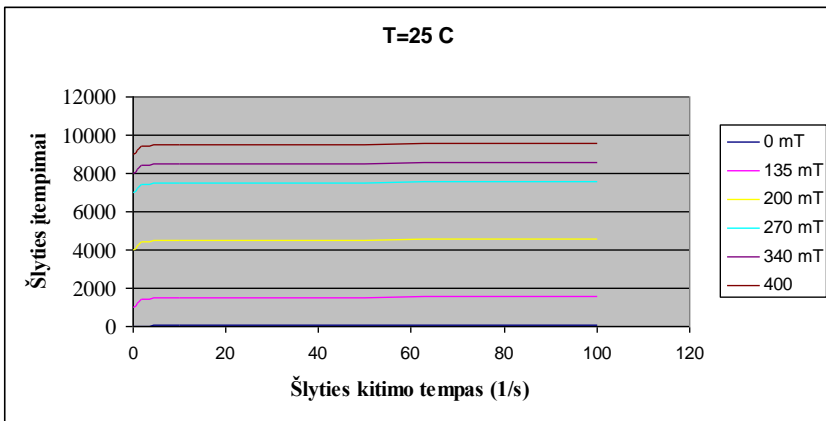
$$\tau = \tau_{yd}(B) + \eta\gamma \quad (1)$$

Ši formulė yra išvestinė „Bingham plastic model“.

Čia dydžiai :  $\tau$  - šlyties įtempimai;  $\gamma$  - šlyties kitimo tempas;  $\eta$  - klampumas;  $B$  – magnetinio lauko tankis;  $\tau_{yd}(B)$  - dinaminis takumo įtempimas. Ši formulė yra funkcija magnetinio lauko  $B$ , kuri eksponentiškai auga, stiprėjant magnetiniam laukui. Tai gaunam iš formulės [4]:

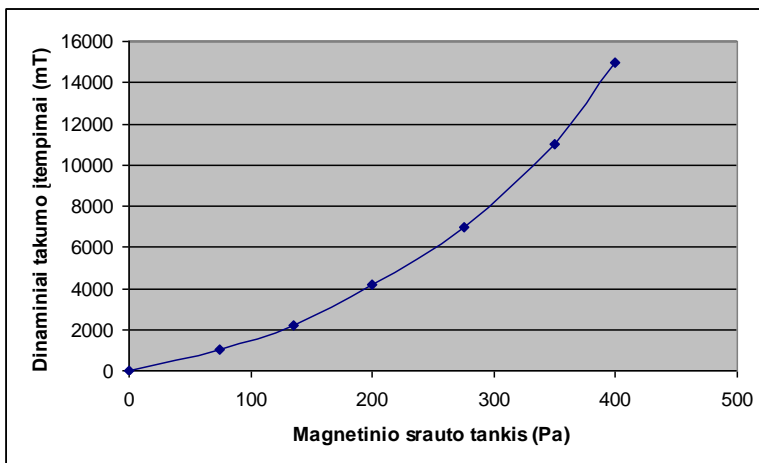
$$\tau_{yd}(B) = KB^\alpha \quad (2)$$

Čia dydžiai:  $K$  – proporcingumo koeficientas;  $\alpha$  - eksponentė, MR skysčio reikšmėms, kurios yra kaip funkcijos magnetinio lauko, magnetinių dalelių formos, koncentracijos, nešančiojo skysčio fizikinių savybių, skysčio temperatūros, magnetinio išotinio. Sudėtinės formulės  $K$  ir  $\alpha$  reikšmės gaunamos iš atliktų praktinių bandymų rezultatų. Šie rezultatai vaizduojami 3 paveiksle. Tai yra priklausomybė tarp šlyties įtempimų  $\tau$  ir šlyties kitimo tempo  $\gamma$ . Dinaminiai šlyties įtempimai yra gaunami ekstrapoliuojant šią kreivę, kuomet šlyties kitimo tempo reikšmė  $\gamma$  artėja į nulį ( $\gamma \rightarrow 0$ ).



3 pav. Šlyties kitimo kampo priklausomybė nuo šlyties įtempimų

4 paveikslas vaizduoja ryšį tarp dinamių takumo įtempimų ir magnetinio srauto tankio. Kaip matome fizikinių dydžių priklausomybėse, dinaminiai takumo įtempimai didėja, kuomet eksponentiškai auga magnetinis laukas. Dinaminiai takumo įtempimai  $\tau_{yd}(B)$  yra  $0,98 B^{1,61}$  Pa ( $N/m^2$ ), ši reikšmė apskaičiuota pasinaudojus 2 formule. Šiuose skaičiavimuose magnetinio srauto tankio matavimo vienetas yra priimtas laikyti mT [4,5].



4pav. Magnetinio srauto tankio priklausomybė nuo dinaminių takumo įtempimų, kuomet  $\tau_{yd} = 0,98B^{1,61}$  [5]

**Išvados.** Eksploatuojant MR stabdį, magnetoreologiniame skystyje atsirandantys šlyties įtempimai įtakoja MR stabdžio darbo režimą. Todėl projektuojant MR stabdžio konstrukciją labai svarbu atsižvelgti į konstrukcijos geometrinius ir fizikinius parametrus bei MR skysčio pasirinkimą, kadangi atsirandanti šlytis negali viršyti normos.

## Literatūra

1. **Rongjia Tao.** Elektrorheological Fluids and Magnetorheological fluids suspension.
2. **J. David Carlson.** What Makes a Good MR Fluid? ([literature.lord.com/root/other/rheonetic/What\\_makes\\_a\\_good\\_MR.pdf](http://literature.lord.com/root/other/rheonetic/What_makes_a_good_MR.pdf)) - Lord Corporation, USA.
3. LORD Corporation. [www.lord.com](http://www.lord.com)
4. **Phillips, R. W.** Engineering Applications of Fluids with a Variable Yield Stress.- Ph.D. Thesis, University of California, Berkeley, 1969.
5. **Jolly, M. R., J.W. Bender and J. D. Carlson.** Properties and Applications of MR Fluids.- SPIE 5th Annual Int. Symposium on Smart Structures and Materials, San Diego, CA, 15 March, 1994

# COMPUTER-AIDED MODELING OF THE ADAPTIVE INTELLIGENT VEHICLE SAFETY SYSTEM

**Aidara NIKOLA**

Belarusian National Technical University, Belarus

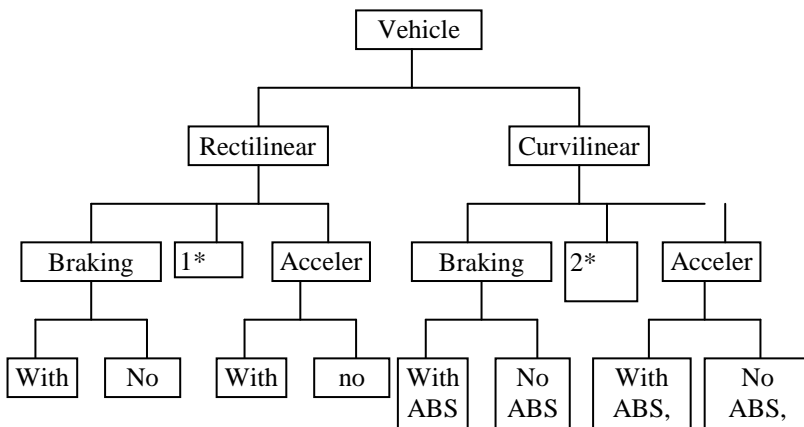
**Abstract.** In this paper type movement classification is resulted at computer-aided modeling and virtual designing of vehicles active safety systems, the algorithm of identification of the moment of transition of wheel sliding from a steady range of sliding in unstable is described, results of computer-aided modeling of the antiblocking system which are based on a force principle are resulted and perspective questions of modeling and designing active safety system in CoDeSys environment are considered.

**Introduction.** Since 80th years antiblocking systems (ABS) start to be installed serially on automobile and lorries. Since 1992 in the Europe introduction ABS for heavy lorries and long-distance buses is regulated in the legislative order. The car equipped ABS keeps controllability and course stability at braking on roads with low factor of coupling. ABS allows to increase medium-technical speeds of movement and prolongs service life of trunks. By expert estimations, obligatory use of electronic system of stabilization of movement ESP and ABS will allow to lower death rate on roads of the Western Europe on 4000 person in a year and on 100 thousand - number of serious accidents. The big number publications and patents [1, 2, etc.] is devoted to the description of principles of functioning, the theory and practice of creation of classical type. Force type ABS for the first time it is offered in work [3]. Here we shall consider active safety systems (ASS) of new generation in which basis of functioning the force principle and Fourounjiev's regulator [4, 5]. The method of ASS intellectual control of new generation, and also others mechatronic systems of vehicles, is offered by R. Fourounjiev in the patent [6]. Algorithms of identification extreme situations and ASS computer-aided modeling of new generation are considered in works [7, 8]. Works [9-14] are devoted to various aspects of algorithmic and the software of mechatronic systems modeling.

**1. Vehicles movement type.** In fig. 1 is presented type classification of rectilinear and curvilinear vehicle movement.

For each kind of movement the extreme events (EE) are characteristic. The extreme event leading loss of stability or controllability of the vehicle, can arise at sharp change of properties of an environment under wheels, at actions of the driver (on a brake pedal, on a pedal of an accelerator, on steering management, etc.), at change of a condition of the vehicle (sudden malfunctions of details and units such as, залипание pedals of an accelerator, a leak in the working brake

cylinder, etc.) or combinations of these factors. At designing of vehicles and control systems it is necessary to model the situations leading occurrence EE at it movement at various types of movement.



1\* -  $v = const$

$v = const$

2\* -  $R = const$

Fig. 1 – Type classification of vehicle movement

At modeling the user can choose any type of movement:

- Rectilinear;
- Curvilinear with constant radius of movement;
- Curvilinear with changeable radius of movement.

User can choose a mode of movement: braking and extreme braking.

**2. Identification of extreme situations.** Basic purpose of ASS is maintenance of stability and controllability of vehicle movement in any possible conditions of movement. So, problem ABS is maintenance of a braking wheel in a mode of optimum relative sliding at which the longitudinal factor of coupling of the trunk with a basic surface is in an optimum range. This problem consists of two stages:

- Identifications of the moment of approach EE leading to sliding or blocking of a basic element;
- Definitions of operating influences on executive mechanisms with the purpose of maintenance of admissible conditions of movement irrespective of a condition of an environment or action of the driver.

For the decision of the given problem into structure ABS enter:

- Sensors (forces/moments, deceleration of the vehicle body, angular speeds of wheels, etc.);



- The block of control receiving the information from sensors, processing it and forming control which then moves on an input of an actuator. In case of ABS signals of control move on modulators of pressure of a working body which, in turn, influence executive mechanisms - working brake mechanisms of wheels, etc.).

In ASS, based on a classical (kinematic) principle, process of identification of a curve of “factor of longitudinal coupling-sliding of a wheel” (in the further curves  $\mu - s$ ) and definitions of size of course (linear) speed of vehicle movement is difficult enough. In patents [1, 2] (1988, 1992) factors of coupling of wheels with the road  $\mu_{il}(K)$ ,  $i = 1, \dots, n$ ;  $l = 1, 2$ , systems describing a condition "road-trunk-car", pay off during the consecutive moments of time  $(T - 1), T, (T + 1), \dots$  on the basis of the measured sizes of angular speeds of wheels  $\omega_{kil}$ , settlement course speed of the vehicle, brake pressure and some other sizes, using the various equations and known, difficult enough, algorithms of identification. The factors of coupling  $\mu_{il}(K)$  received thus are used for definition during each moment of time of an inclination  $K_{\mu il}$  of curves  $\mu - s$ :

$$K_{\mu il} = d\mu_{il} / ds_{il},$$

which are used for optimum control angular speed each wheel. For regulation of an inclination  $K_{\mu}$  the PI-regulator which factor of amplification during the consecutive moments of time  $(T - 1), T, (T + 1), \dots$  varies according to the calculated factor of coupling  $\mu(K)$  is used. Adaptability of a control system is as a result achieved.

This factor in many respects defines a working range of speeds vehicle movement. Though on the other hand every year there is a perfection of elements, increase in speed of executive mechanisms, increase of accuracy of measurement of angular speed of rotation, optimization of algorithms of identification, that as a whole leads to improvement of quality of work. Thus difficult algorithms of identification and the expensive equipment are used. Complexity modern ASS causes its high cost which can make up to 5...10 % of cost of the vehicle depending on its class.

In the present work the new approach based on a force principle to identification of the event leading to blocking/sliding of the trunk concerning a basic surface is offered. This approach consists in supervision by sensors and the analysis of derivative actual brake force/moment in contact of system «wheel-basic a surface-car».

On the basis of the measured actual values of brake force/moment  $M_f$  and-or its derivative it is identified EE. If during the any moments of time  $t_i$  brake pressure in

the main brake cylinder  $p(t_i) > 0$  and  $\dot{p}(t_i) \geq 0$  (that corresponds to pressing, deduction by the driver of a pedal of a brake or amplification of pressing a pedal) and an observable derivative of actual brake force  $\dot{M}_f = 0$ , during this moment  $\varphi$  – the factor of coupling in a longitudinal direction will be maximal. Then during the subsequent moment of time  $t_{i+1}$  when  $\dot{M}_f \leq 0$ , the factor of coupling will start to decrease up to value of factor of coupling at full sliding, and sliding of a wheel will pass in a unstable range of relative sliding. In fig. 2 dependence of factors of coupling of wheels with road to longitudinal and cross-section directions, and also actually sold force/moment and its derivative, from sliding a wheel is shown.

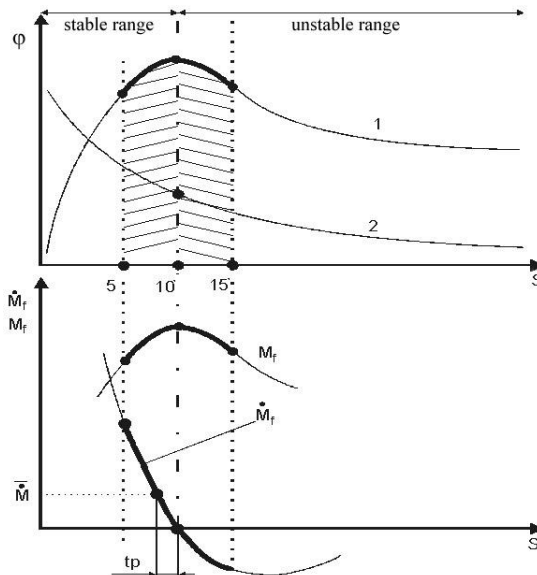


Fig. 2 - Dependence of factors of coupling of wheels with road and actually sold force and its derivative of sliding wheel: 1- factor of coupling in a longitudinal direction; 2- factor of coupling in a cross-section direction.

**3. Formation of control U.** In classical ABS at initial braking pressure in a drive increases; the size of sliding of a wheel in a spot of contact to road increases and achieved border of steady and instable ranges of wheels roll. From this time, any further increase in pressure in a drive or the brake moment does not cause any further increase of size of brake force ( $F_T$ ). In a steady range, sliding of a wheel is more likely deformation sliding, it has the increasing tendency in an unstable range.

Formation of an operating signal in classical ABS is assigned to a PID-regulator for which exact option of parameters is necessary. If in movement one of

wheels there are attributes of blocking, deceleration of rotation of a wheel and its sliding sharply increase. If they exceed critical values the block of management sends signals to the solenoid distributive valve for the termination of growth or reduction of pressure in the brake mechanism before the termination of danger of blocking. Then pressure should be restored for prevention feeble retardation wheels. During automatic control of braking it is necessary to define constantly ranges steady and unstable wheels roll and to modulate brake pressure, creating the maximal brake effort.

By development ABS consider following factors: variants of coupling between the trunk and road; the roughness of a road covering causing fluctuations of wheels and axes; a brake hysteresis; changes of pressure in the main brake cylinder at influence of the driver on a pedal of a brake; changes of radius of a wheel, for example, at installation of a spare wheel, etc.

Criteria of quality of control:

- maintenance of course stability during management of the car by maintenance of sufficient size of cross-section force of coupling on back wheels;
- maintenance of controllability of the car by maintenance of sufficient cross-section force of coupling on forward wheels;
- reduction of a brake way in comparison with braking with blocked wheels;
- fast change of the brake moments for various factors of coupling, for example, when the car moves through small sites of an ice on a road covering;
- the control of low amplitudes of change of the brake moment over the warning of vibrations in tooth gearings;
- a high level of comfort of movement as a result of insignificant influence of a feedback on a pedal of a brake and application of silent executive mechanisms.

In the new approach based on a force principle, the operating signal is produced according to [3, 4].

Results of computer-aided modeling of brake dynamics of the vehicle without ABS on a covering "ice" are presented in fig. 3, and with ABS - in fig. 4. From figure 3 it is shown, that the vehicle brake distance without ABS has made 56,89 m, thus the established deceleration has made  $1,1 \text{ m/s}^2$ . From figure 4 it is shown, that the vehicle brake distance with ABS of new generation has made 34,81 m, i.e. was reduced to 22,09 m, that on 40 % less, than at braking without ABS, the established deceleration thus has made  $1,8 \text{ m/s}^2$ . Longitudinal factors of sliding of wheels were in "steady" area of a curve  $\mu - s$  and made 18-20 % of sliding of a wheel, providing a maximum of factor of coupling in a longitudinal direction.

**5. Prospects of ASS realization of new generation.** Creation ASS of new generation, is essentially accelerated at use of CoDeSys environment (Controller Design System). Which the decision in the form of the program has any problem is possible to realize in CoDeSys. Owing to compiler CoDeSys it is possible to

realize logic of management in the fast machine code optimized under the set hardware platform. The generated machine code is loaded further into the programmed logic controller. CoDeSys has the integrated debugger equipped by a wide set of functions for fast and effective debugging, testing and support of programmed logic of management. If the logic of management has changed, the changed fragments are compiled and loaded into the controller only.

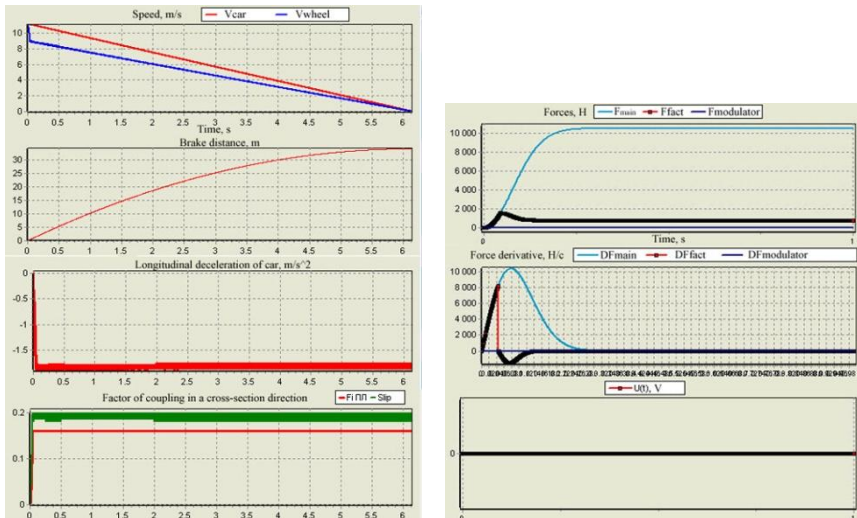


Fig. 3 - Transients at vehicle braking without ABS. Initial speed of movement  $v_0 =$  of 40 km/h (11.11 m/s)

To program ASS in CoDeSys the system of execution CoDeSys SP should be established. With its help any microprocessor device, including PC-compatible, gets PLC (Program Logical Controller) functionality with support of programming in MEC 61131-3 languages. Installation of execution system is carried out by the manufacturer of the device or experts of the 3S company. The customer does not participate in it. CoDeSys SP - scaled system, its functionality it is possible to change over a wide range, adapting to different hardware platforms and technical requirements.

CoDeSys SP can function under control of any operational system or even without it. Most often use VxWorks, Windows CE and Linux. There are adaptations under RT-OS32 RTKernel. QNX. Nucleus, pSOS, OS9, TenAsys Iteme. The manufacturer of the equipment can independently adapt CoDeSys SP under other OS.

Microprocessors family, supported by CoDeSys: Infineon C167 and TriCore, Intel 80186/80x86/Pentium x, Motorola ColclFire, PowerPC, Hitachi SH 2/3/4, Hitachi H8.

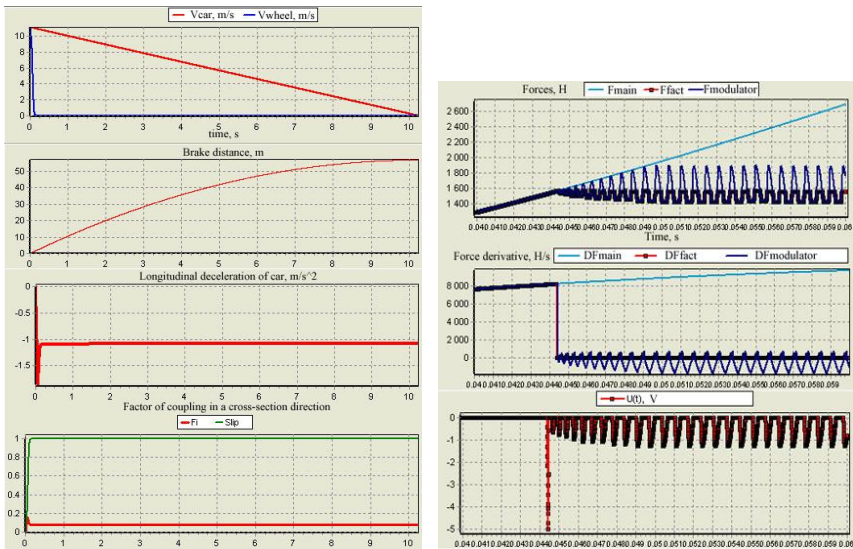


Fig 4 - Transients at vehicle braking with ABS. Speed of the two-position modulator  $t_M = 50$  micro seconds.

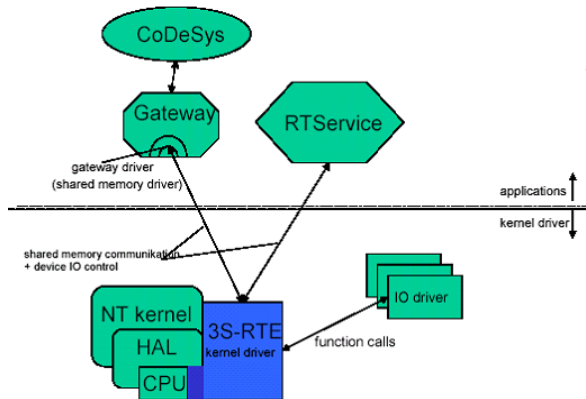


Fig. 5 - Real time system CoDeSys V2.3

In systems of real time the decision of each of numerous tasks, assigned to the built in system, as a rule, should keep within the time frameworks allocated to it. It means, that any cyclic task should be caused through in advance certain intervals of time.

The kernel of real time expansion (in abbreviated form RTE) CoDeSys environments consists of 2 parts: system service RTService.exe and the driver of

a mode of a kernel (3SRTE.sys). In a usual mode the system timer generates 2 hardware interruptions in a millisecond and thus causes planning RTE. The scheduler uses one interruption for a call of the tasks, and the second for returning the interrupted control to operational system(OS). Thus, all the tasks certain in CoDeSys, interrupt through each millisecond that OS could execute necessary for it actions. The parity of cumulative time of OS code performance and time of tasks performance of CoDeSys can be set up.

Input-output drivers (IO-drivers) shown in fig. 5, used in RTE, should have the certain interface which is described in a package of developer IO-DriverToolkit. RTE does not change a code of a OS kernel at installation and during performance.

**Conclusion.** Results of computer-aided modeling of the vehicle dynamics with ABS have shown high efficiency ABS of new generation, especially on road with low factor of coupling. Use CoDeSys and the programmed controllers operating the modulator of pressure ABS, will accelerate development of manufacture of systems of the active safety which are based a force principle.

## References

1. U.S. Patent 4,794,538 Dec.27, 1988. Cao et al. Method to Control the Operation of Wheels of a Vehicle to Prevent Slipping or Skidding, and Brake Locking.
2. U.S. Patent 5,135,290 Aug.4, 1992. Cao Chi-Thuan, An Automatic Control System for Antilocking and Antiskid Applications.
3. Patent BY №1408. Antilocking brake system of a vehicle / R. Fourounjiev, V.Kim., 1993.
4. Patent BY 3160. Regulator of Fourounjiev / R.Furunzhiev, 1996.
5. Patent RU 2153697. A way and a regulator for control of systems. / R.I. Fourounjiev., 1997.
6. Patent BY № 5182. Way Fourounjiev of vehicles movement control / R.I. Fourounjiev. 1999.
7. **Fourounjiev R., Slabco Y.** A New Conception and Method of Identification and Control of the Intelligent Vehicle Safety Systems (IVSS.) The 6th International Conference “Vibroengineering-2006” Proceedings. October 12-14 2006. Kaunas University of Technology. Kaunas. Technologia, 2006. pp.173-178.
8. Patent RUS. The Software modelling and optimization of dynamic systems ADMOS. The certificate on official registration of the computer program №2000610671 from July, 21st, 2000 / R.I. Fourounjiev, N.N.Gursky (Copyrigh of ADMOS).
9. Patent BY 9814. An intellectual control system of noise / V.M.Koleshko, R.I. Fourounjiev. October, 30th 2007.

10. **Fourounjiev R., Homich A.** A New Intellectual Control for Mechatronic Systems. Proceedings of the 6th International Conference "Vibroengineering-2006." October 12-14, 2006, Kaunas, Lithuania, Kaunas, Technologia, 2006. pp.19-26.
11. **Fourounjiev R., Gursky N.** An Algorithms and Visual Ambience for Modeling and Virtual Prototyping Mechatronic Systems. The 6th International Conference "Vibroengineering-2006" Proceedings. October 12-14, 2006. Kaunas University of Technology. Kaunas. Technologia, 2006. pp.143-151.
12. **Fourounjiev R., Homich A.** Concept and Methods an Adaptive Vibration Protection and Stabilization. Trans. of 3rd International Conference « Mechatronic Systems and Materials (MSM 2007) ». 27-29 september, 2007, Kaunas, Lithuania. pp.228-220. - ISSN 1822-8283.
13. **Fourounjiev R., Gursky N.** Methods and Computing Environment for Research and Designing of Mechatronic Systems. Trans. of 3rd International Conference « Mechatronic Systems and Materials (MSM-2007) ». 27-29 september, 2007, Kaunas, Lithuania. pp.271-272. - ISSN 1822-8283.

# NEW CONCEPTION AND METHOD OF IDENTIFICATION AND CONTROL OF THE INTELLIGENT VEHICLE SAFETY SYSTEMS

Ilya LETKOVSKI

Belarusian National Technical University, Belarus

Assoc. Prof. Yulij SLABKO, Prof. Reshat FOUROUNJIEV

Belarusian National Technical University, Belarus

**Introduction.** For provision of stability and controllability of the moving the mobile machines (the cars, plane, wheel and caterpillar carriage and others) in any road and weather condition regardless of qualifications and conditions of the driver (the pilot, mechanics-driver), machines and external ambience are intended Intelligent Vehicle Safety Systems (IVSS). With the purpose of simplification of algorithms of identification and the further improvement of quality of functioning IVSS the new ideology and methods of creation IVSS on a force principle is offered: on the basis of measurements actually sold in contact a pneumatic with road of the longitudinal/cross-section forces/moments or their derivatives. The force approach to creation IVSS for the first time was proposed en patent Forounjiev R., Kim V. [17 ](1993).

**Intelligent Vehicle Safety Systems.** The way and the algorithms of adaptive control IVSS offered(suggested) in [16], are realized by the integrated system in which according to carried out functions the basic modules (systems, components) are allocated: antiblocking system (ABS), antislipping system (ASR), the monitoring system of rate (MSR), the system preventing overturning (SPO), active vibroprotection and stabilization system (AVSS), etc. In connection with multi functionality of considered system the information - diagnostic system is provided also. All mentioned systems are interconnected and in common carry out required dynamics of the vehicle.

**The general formulation of a problem.** The condition  $k$  – module IVSS vehicle is characterized by a target variable  $x_k(t)$  and its derivatives  $\dot{x}_k(t), \dots, x_k^{(n-1)}(t)$ , and boundary conditions are set as:

$$t = t_0 : x(t_0) = x_0, \dots, x^{(n-1)}(t_0) = x_0^{(n-1)}, \quad (1)$$

$$t \rightarrow \infty : x(t) \rightarrow \bar{x}, x^{(\nu)}(t) \rightarrow 0, \nu = 1, 2, \dots, n - 1. \quad (2)$$



Here  $\bar{x}(t)$  – command value of a target variable. Target variables can have. The condition (1) reflects an initial condition, and a condition (2) - the requirement of asymptotic stability according to Lyapunov's second law. In expressions (1) and (2) for simplicity the index  $k$  is lowered.

The command size of a target variable can vary arbitrarily. In system of stabilization  $\bar{x} = const$ ; in system vibroprotection -  $\bar{x} = 0$ ; in monitoring system -  $\bar{x} = \bar{x}(t)$ . So, for example, if in ABS as a target variable it is observed a derivative actually sold in contact the pneumatic with road of the moment  $\dot{M}_\mu$ , as command value  $\bar{x}$  is accepted small positive size and brake pressure is adjusted so that  $\dot{M}_\mu \rightarrow \bar{x}$ . Thus sliding is to the left of a maximum on a curve  $\mu - s$  (a curve «factor coupling - factor of sliding»), however, very close to a maximum on a steady part of a curve.

Generally desirable properties of movement for all modules of the integrated system of active safety are set for the corresponding coordinates considered as the days off, the differential equations:

$$\ddot{x}_k = f_k(\bar{x}_k, \dot{x}_k, x_k, t), \quad k = 1, \dots, m, \quad t \geq 0: \dot{x}_k(t_0) = \dot{x}_{0k}, \quad x_k(t_0) = x_{0k}, \quad (3)$$

where the set operators, generally nonlinear. Boundary conditions correspond (1) and (2). Restrictions and are set also to function of preference  $\mu_k$  ( $k = 1, \dots, m_\mu$ ) for indistinctly certain functions and the parameters making information base of system.

It is required to construct the control  $u_k(x, \dot{x}, \bar{x})$ ,  $k = 1, \dots, m$ . for each module of system, providing desirable properties of movement (3) during each moment of time at satisfaction of restrictions and regional conditions (1) and (2).

The formulation of a problem general enough also includes control of linear and nonlinear systems, by linear and nonlinear criteria, at the precise and indistinct task of desirable properties of movement and information base of system. Thus, all problems solved by modules of integrated system of active safety, are formulated in the uniform form. Therefore creation of a control system becomes essentially simpler and reduced the price. Thus for each module it is required to concretize only target variables  $x_k(t)$  and their command values  $\bar{x}_k$ .

**Ways of the decision of a problem.** Synthesis of managing functions is generally carried out [13] on the basis of principles of calculus of variations, concepts of the decision of return problems of dynamics of controlled systems and Lyapunov's methods. Asymptotic stability of system is guaranteed by a choice of the equations of reference movement for target variables and

technology of synthesis of managing functions. Adaptability of control is provided due to use in algorithms of acceleration control of target coordinates. Intellectuality, high accuracy and speed without overcorrection are provided by Forounjiev's regulator.

**Adaptive control algorithms.** Base algorithms of adaptive control of the drives, problems corresponding to the resulted formulation, generally look like [14]:

$$u_k = \Phi_0 k_{0k} z_k + \Phi_1(f_k, \dot{f}_k, \ddot{f}_k) + \Phi_2(\bar{x}_k, x_k, \dot{x}_k, \ddot{x}_k, \ddot{\ddot{x}}_k) + \Phi_3(z_k, \dot{z}_k, \ddot{z}_k) \quad (4)$$

Here  $f_k(\cdot)$  – the set functions, generally nonlinear, describing reference properties of movement for  $k$  – module of the integrated system;  $\Phi_j(\cdot)$  – functionals received as a result of synthesis of control,  $j = 0, \dots, 3$ . A variation  $\Phi_j$  it is possible to receive a wide spectrum of algorithms of adaptive control;  $k_{0k}$  – a constant describing efficiency of a negative feedback on a target variable  $z_k$  of the force executive mechanism,  $k_{0k} \geq 0$ . If the functions  $f_k$ , describing desirable properties of movement by a variable  $x_k$ , are set analytically, derivatives  $\dot{f}_k$  and  $\ddot{f}_k$ , also can be received analytically. Parameters of controls pay off, as a rule, analytically and take into account properties of force executive drives and object of control.

Special case (4) is the algorithm:

$$u(x, \dot{x}, \ddot{x}, \bar{x}, z) = k_0 z + k f(x, \dot{x}, \bar{x}) - \ddot{x} \quad (5)$$

where  $k$  – factor of amplification of a regulator.

In work [13] the algorithm in which supervision of the second derivative of a target variable is not required is offered:

$$u(x, \dot{x}, \bar{x}, z) = k_0 z + k \int f(x, \dot{x}, \bar{x}) dt - k(\dot{x} - \dot{x}_0) \quad (6)$$

Here  $\dot{x}_0$  – initional value of the speed of output variable.

On the basis of algorithm (4) the unified regulator of new generation is realized. The control according to algorithm (4) is adequate to hardware of

modern digital technical equipment and guarantees asymptotic stability of controlled system. Thus it is not required carrying out of parametrical optimization for definition of parameters of algorithm: their values are calculated precisely without attraction of numerical methods. Also it is not required to spend time for research of stability of the system being generally essentially nonlinear. Stability is guaranteed by technology of synthesis of controlling functions and a choice of the equations of reference movement of target variables.

**Regulators for IVSS new generation.** To IVSS are demanded much on speed. On development of control signals and working off by their force executive devices it is removed the 100-th shares of second. Therefore requirements to accuracy and speed IVSS continuously grow. At use universal PI-and PID-regulators basically it is impossible to combine high accuracy and speed, and besides it is difficult to vary criteria of quality of control in the foreseeable form. Therefore the way and a regulator [14,15] deprived these lacks have been developed.

Base algorithms for separate modules IVSS are supplemented with restrictions. So, controls on the basis of expressions (5) and (6) in view of restrictions have accordingly an appearance:

$$u_k(x_k, \dot{x}_k, \ddot{x}_k, \bar{x}_k, z_k) = \begin{cases} k_{0k}z_k + k_k f(x_k, \dot{x}_k, \bar{x}_k) - \ddot{x}_k, & \text{if } E_k \notin \bar{E}_k, \\ 0, & \text{if not.} \end{cases} \quad (7)$$

$$u_k(x_k, \dot{x}_k, \bar{x}_k, z_k) = \begin{cases} k_{0k}z_k + k_k \int f(x_k, \dot{x}_k, \bar{x}_k) dt - \dot{x}_k, & \text{if } E_k \notin \bar{E}_k, \\ 0, & \text{if not.} \end{cases} \quad (8)$$

Apparently from (7) and (8), IVSS corrects a condition of the vehicle, only when the actual condition does not correspond to regulated properties of movement.

**Antiblocking system.** The problem of adaptive control ABS will consist in the following. Estimations of the actual brake forces/moments or their derivatives  $\dot{P}_{oil}$ , being functions of joint actions of the driver and ABS are calculated. On the basis of observable sizes and command value  $\dot{\bar{P}}_1$ , desirable properties of movement (3) are formed and according to algorithms (7) - (8) the controls which are carrying out these properties at set restrictions are calculated. Sliding is adjusted by a choice of command value  $\dot{\bar{P}}_1$  (where  $\dot{\bar{P}}_1$  – small enough positive value) in such a manner that it is in a zone of stability of a curve  $\mu - s$ , a little outstripping its extremum.

So, a subset of set  $\bar{E}_1$  is the set

$$\bar{E}_{11} : \{ \dot{p}_{oil}(t) \geq 0, \text{ еcл} \dot{p}(t) \geq 0 \quad \forall 0 > t \leq T ; i = \overline{1, n}; l = \overline{1, 2} \}.$$

Here  $p$  – pressure in the main brake cylinder or moving of a pedal of a brake;  $\dot{p} = dp/dt$ ;  $T$  – time of supervision;  $n$  – number of wheels from one board of the machine. In an operating conditions of braking ( $E_1 \in \bar{E}_1$ ) control is equal to zero and ABS does not render influence on functioning of brake system.

It is uneasy to see, that the reduction of the problem regulating sliding of wheels at braking of the machine, to a problem of adaptive stabilization of speed of change of actually sold brake forces/moments in contact pneumatics with road is carried out at  $E_1 \notin \bar{E}_1$ . Thus the systems functioning both on kinematic, and on a force principle can be realized. If the force principle of functioning ABS is chosen, it is not required to observe angular speeds of wheels and to calculate course speed of the vehicle, and also necessity for use enough difficult algorithms of identification of a  $\mu - s$  curve.

**Conclusions.** The way and algorithms of adaptive control by active safety of vehicles generally are developed new: they can be used both in IVSS new generation, and in IVSS classical type (using kinematic parameters).

On the basis of original a way of control by movement and an adaptive regulator providing optimum functioning on high quality can be created adaptive IVSS the new generation, at low cost.

It is expedient to use regulator of Forounjiev R. providing adaptability of control both combining accuracy and speed without overcorrection in new generation of IVSS.

## References

1. **Nefediev J.N.** Designs and characteristics of electronic antilocking systems. The survey information. CNIITEIAVTOPROM, - M.: 1979. – 60 p.
2. **Nefediev J.N.** The theory, development and research of the unified system of automatic control by antilocking braking of cargo vehicles: Diss. doctor of technical science: 05.05.03. - M.: 1987. – 307p.
3. **Lomako S.I., Gezovich E.M.** Automation of process of braking of the automobile: Ych. Posobie. – Kiev: YMKVO, 1988. – 88 p.
4. **Frumkin A.K., Alyshev I.I.** Popov A.I. Antiblocking and antislipping systems of cars. The survey information. CNIITEIAVTOPROM - M.: 1989. – 52 p.

5. Autoelectronics abroad. The information collection. - M.: NPO AUTOELECTRONICS, 1992. Rel.1. 124 p.
6. Electronic system of stabilization of movement ESP. Motor industry abroad. - 1998. - № 11-12. – p. 16-17.
7. The automobile directory. Translation with English. The first Russian edition. - M.: Joint-Stock Company KZHI « Behind a rudder ». 2002. – 896p.
8. **Butylin V.G., Vysotsky M.S., Ivanov V.G., Lepeshko I.I.** Active safety of the automobile. Minsk. NIRUP "Belavtotraktorostroenie", 2002. – 183 p.
9. **Rakomsin A.P.** Factor of quality of work ABS/EBS. A.P.Rakomsin, V.V.Korsakov, N.G.Maltsev. Motor industry. - 2002. № 4. – p. 17-18
10. **Revin A.A.** Automobile the automated brake systems: the Technical decision, the theory, properties. - Volgograd: Publishing house Inst. of qualities, 2002. – 320 p.
11. **Revin A.A.** Theor of operational properties of automobiles and lorry convoys with ABS in a mode of braking. - Volgograd: RPM "Polytechnic", 2002.–369 p.
12. **Forounjiev R., Homich A.** Methods, algorithms and programs of control of movement in vehicle's systems. Materials of the international scientific conference «Mechanics of machines on a threshold of III decade». - Minsk.: NIRUP "Belavtotraktorostroenie", 2000.
13. **Forounjiev R.** Methods and Regulator for Handle of Systems. Patent RU. Priority from 24.04.97.
14. **Kim V., Forounjiev R.** et al. Patent RU № 2131365. The device of measurement of the brake moment. Priority from 13.06.97.
15. **Forounjiev R.** Forounjiev's Regulator. Patent BY № 3160. Priority from 19.04.96.
16. **Forounjiev R.** Patent BY № 5182. Forounjiev's Method for Vehicles Motions Control. Priority from 10.03.99.
17. **Forounjiev R., Kim V.** Patent BY №1408. Antiblocking brake system of a vehicle. Priority from 01.07.93.

# THE NEW CONCEPT AND METHOD OF IDENTIFICATION AND MANAGEMENT OF INTELLECTUAL SYSTEMS OF SAFETY OF THE VEHICLE ON EXAMPLE ARS

**Vladislav MANIKOV**

Belarusian National Technical University, Belarus

**Assoc. Prof. Yulij SLABKO, Prof. Reshat FOUROUNJIEV**

Belarusian National Technical University, Belarus

**Introduction.** For provision of stability and controllability of the moving the mobile machines (the cars, plane, wheel and caterpillar carriage and others) in any road and weather condition regardless of qualifications and conditions of the driver (the pilot, mechanics-driver), machines and external ambience are intended Intelligent Vehicle Safety Systems (IVSS).

Antislipping system (ASR), is one of the basic modules, used by integrated system IVSS. The system is opened, and in case of need it can include any other modules.

**The general formulation of a problem.** The condition module IVSS vehicle is characterized by a target variable  $x(t)$  and its derivatives  $\dot{x}(t), \dots, x^{(n-1)}(t)$ , and boundary conditions are set as:

$$t = t_0 : x(t_0) = x_0, \dots, x^{(n-1)}(t_0) = x_0^{(n-1)}, \quad (1)$$

$$t \rightarrow \infty : x(t) \rightarrow \bar{x}, x^{(\nu)}(t) \rightarrow 0, \nu = 1, 2, \dots, n-1. \quad (2)$$

Here  $\bar{x}(t)$  – command value of a target variable. Target variables can have. The condition (1) reflects an initial condition, and a condition (2) - the requirement of asymptotic stability according to Lyapunov's second law.

In ASR as a target variable it is observed a derivative actually sold in contact the pneumatic with road of the moment  $\dot{M}_\mu$ , as command value  $\bar{x}$  is accepted small positive size and brake pressure and-or the submitted quantity(amount) of fuel is adjusted so that  $\dot{M}_\mu \rightarrow \bar{x}$ . Thus sliding is to the left of a maximum on a curve  $\mu - s$  (a curve «factor coupling - factor of sliding»), however, very close to a maximum on a steady part of a curve.

Generally desirable properties of movement for all modules of the integrated system of active safety are set for the corresponding coordinates considered as the days off, the differential equations:

$$\begin{aligned} \ddot{x} &= f(\bar{x}, \dot{x}, x, t), \\ t \geq 0 : \dot{x}(t_0) &= \dot{x}_0, x(t_0) = x_0, \end{aligned} \quad (3)$$

where  $f(\cdot)$  – the set operators, generally nonlinear. Boundary conditions correspond (1) and (2). Restrictions and are set also to function of preference  $\mu$  for indistinctly certain functions and the parameters making information base of system.

It is required to construct the control  $u(x, \dot{x}, \bar{x})$ . for each module of system, providing desirable properties of movement (3) during each moment of time at satisfaction of restrictions and regional conditions (1) and (2).

The formulation of a problem general enough also includes control of linear and nonlinear systems, by linear and nonlinear criteria, at the precise and indistinct task of desirable properties of movement and information base of system.

Mathematical models of object of control according to the resulted formulation of a problem for control in real time are not required. The system reproduces itself in a mode of normal functioning.

Base algorithms IVSS are supplemented with restrictions. So, controls on the basis have accordingly an appearance:

$$\begin{aligned} u(x, \dot{x}, \ddot{x}, \bar{x}, z) &= \\ &= \begin{cases} k_0 z + k f(x, \dot{x}, \bar{x}) - \ddot{x}, & \text{если } E \notin \bar{E}, \\ 0, & \text{otherwise} \end{cases} \end{aligned} \quad (4)$$

$$\begin{aligned} u(x, \dot{x}, \bar{x}, z) &= \\ &= \begin{cases} k_0 z + k \int f(x, \dot{x}, \bar{x}) dt - \dot{x}, & \text{если } E \notin \bar{E}, \\ 0, & \text{otherwise} \end{cases} \end{aligned} \quad (5)$$

Apparently from (4) and (5), IVSS corrects a condition of the vehicle, only when the actual condition does not correspond to regulated properties of movement.

**Algorithm of antislipping system.** The problem of adaptive control ASR will consist in the following. The actual traction forces/moments or their derivatives  $\dot{M}_{oil}$ , being functions of joint actions of the driver and ASR are observed. Then

on their basis, in view of command size  $\dot{M}_o$ , desirable properties of movement (3) are formed and according to algorithms (4) - (5) the controls which are carrying out these properties at set restrictions are calculated. In traction mode ASR works only when  $E \notin \bar{E}$ . Otherwise ( $E \in \bar{E}$ ) ASR. ASR does not render influence on movement of the machine (control equally to zero). So, a subset of set  $\bar{E}$  is the set:

$$\bar{E} : \{ \dot{M}_{oil}(t) \geq 0, \text{ if } \dot{p}(t) \geq 0 \forall 0 > t \leq T ; i = 1, n_v ; l = 1, 2 \}$$

Here  $p$  – moving of a pedal of an accelerator (rack of the fuel pump of a high pressure);  $\dot{p} = dp / dt$ ;  $n_v$  – number of driving wheels from one board of the machine.

It is uneasy to see, that the reduction of the problem regulating slipping of driving wheels in a traction mode at  $E \notin \bar{E}$ , to a problem of adaptive control is carried out in such a manner that functioning system in a zone of stability of a  $\mu - s$  curve with some advancing is provided.

**Conclusions.** IVSS carries out control of linear and nonlinear systems, by linear and nonlinear criteria, at the precise and indistinct task of desirable properties of movement and information base of system.

The way and algorithms of adaptive control by active safety of vehicles generally are developed new: they can be used both in IVSS new generation, and in IVSS classical type (using kinematic parameters).

On the basis of original a way of control by movement and an adaptive regulator providing optimum functioning on high quality can be created adaptive IVSS the new generation, at low cost.

## References

1. **Nefediev J.N.** Designs and characteristics of electronic antilocking systems. The survey information. CNIITEIAVTOPROM, - M.: 1979. – 60 p.
2. **Nefediev J.N.** The theory, development and research of the unified system of automatic control by antilocking braking of cargo vehicles: Diss. doctor of technical science: 05.05.03. - M.: 1987. - 307c.
3. Automation of process of braking of the automobile: Ych. Posobie / S.I. Lomako, E.M. Gezovich. – Kiev: YMKVO, 1988. – 88 c.
4. **Frumkin A.K., Alyshev I.I., Popov A.I.** Antilocking and antislipping systems of cars. The survey information. CNIITEIAVTOPROM - M.: 1989. – 52 p.



5. Autoelectronics abroad. The information collection. - M.: NPO AUTOELECTRONICS, 1992. Rel.1. 124 p.
6. Electronic system of stabilization of movement ESP // Motor industry abroad. - 1998. - № 11-12. – p. 16-17.
7. The automobile directory. Translation with English. The first Russian edition. - M.: Joint-Stock Company KZHI « Behind a rudder ». 2002. – 896 p.
8. Active safety of the automobile / V.G.Butylin, M.S.Vysotsky, V.G.Ivanov, I.I.Lepeshko. - Mн.: НИРУП "Belavtotraktorostroenie", 2002. – 183 p.
9. **Revin A.A.** Automobile the automated brake systems: the Technical decision, the theory, properties. - Volgograd: Publishing house Inst. of qualities, 2002. – 320 p.
10. Patent USA 4,794,538 Dec.27, 1988. Cao et al. Method to Control the Operation of Wheels of a Vehicle to Prevent Slipping or Skidding, and Brake Locking.
11. Patent USA 5,135,290 Aug.4, 1992 and DE-OS 35 35 843. Cao Chi-Thuan, An Automatic Control System for Antilocking and Antiskid Applications.
12. **Forounjiev R., Kim V.** Patent BY №1408. Antiblocking brake system of a vehicle. Priority from 01.07.93.
13. **Forounjiev R., Kim V.** et al. Patent BY №1415. Antiblocking device of a vehicle. Priority from 16.02.95.
14. **Forounjiev R., Kim V.** et al. A way of control of antiblocking system of braking of a vehicle. Patent Cooperation Treaty (PCT/BY 96/00005). 1211 Geneva 20, Switzerland. Priority from 03.07.96.
15. **Forounjiev R., Kim V.** et al. Patent BY № 2695. The device of control of process of braking of a vehicle. Priority from 7.02.96.
16. Patent RU №2103191. A way of control of antiblocking system of braking of a vehicle. Priority from 03.09.96. / Forounjiev R., Kim V. Et al.
17. **Kim V.** A way of regulation of modes of movement of vehicle. Patent RU № 2125517. Priority from 25.09.97.
18. **Kim V., Forounjiev R.** et al. Patent RU № 2131365. The device of measurement of the brake moment. Priority from 13.06.97.
19. **Forounjiev R.** Forounjiev's Regulator. Patent BY № 3160. Priority from 19.04.96.
20. **Forounjiev R.** Methods and Regulator for Handle of Systems. Patent RU. Priority from 24.04.97.
21. **Forounjiev R.** Patent BY № 5182. Forounjiev's Method for Vehicles Motions Control. Priority from 10.03.99.
22. **Forounjiev R., Homich A.** Methods, algorithms and programs of control of movement in vehicle's systems. Materials of the international scientific conference «Mechanics of machines on a threshold of III decade». - Mн.: NIRUP "Belavtotraktorostroenie", 2000.

# ROBOTIZUOTAS VIBRACINIS CILINDRINIŲ DETALIŲ CENTRAVIMAS

**Andrejus CHADARVIČIUS**

Mechatronikos studijų programa, Kauno technologijos universitetas

**Prof. Habil. Dr. Bronius BAKŠYS**

Kauno technologijos universitetas

**Darbo tikslas.** Nagrinėjamas veleno-įvorės tipo detalių rinkimas naudojant nutolusio paslankumo centrus ir vienos jungiamosios detalės vibracinį žadinimą sujungimo ašies kryptimi. Siekiama nustatyti veiksnius, sąlygojančius veleno įstatymo į įvorę greitį.

Viena svarbiausių šiuolaikinės gamybos charakteristikų yra darbo našumas. Siekiant pakelti našumą, taikomos pažangios technologijos, perkami nauji įrenginiai. Siekiant mažinti rankų darbo operacijas rinkimo metu gamybinėse linijose naudojami robotai (manipulatoriai). Tai leidžia padidinti rinkimo kokybę, kelti darbo našumą, mažinti kainą. Automatizuotą detalių rinkimą tyrė B. Bakšys, A. Povilionis [1]. Automatizuoto rinkimo metu naudojamų robotų pozicionavimo tikslumas priklauso nuo jo konstrukcijos, be to, būtina naudoti specialius rinkimo įtaisus – taip vadinamus rinkimo įtaisus.

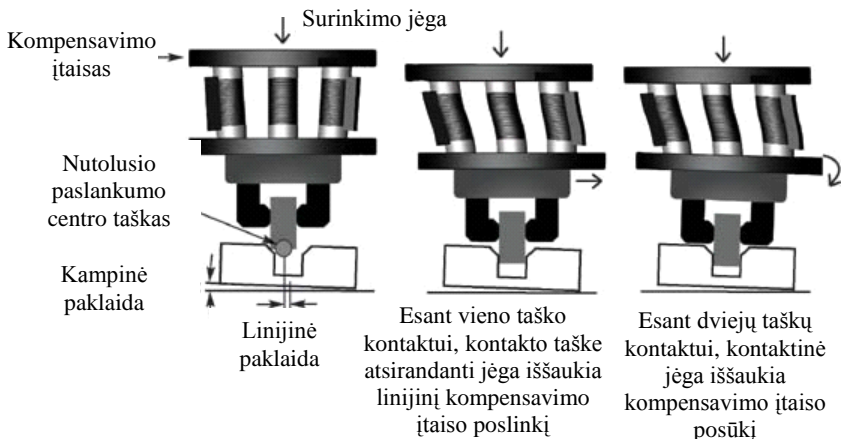
Robotizuoti rinkimo įtaisai skiriasi savo konstrukcija, paslankumo dydžiu, skirtingi yra rinkimo įrenginių gabaritai, svoris, keliamoji galia. Pasaulyje gaminami ir naudojami įvairūs kompensaciniai įtaisai, kurie leidžia sumažinti rinkimo operacijų trukmę [2].

**„Industrial Automation“** gaminamas robotizuoto rinkimo įtaisas skirtas erdvinėms paklaidoms kompensuoti rinkimo metu. Įtaisas sudarytas iš 2 diskų, 3 (6 ar daugiau) spyruoklių ir perkrovų jutiklio (neparodytas) (1, 2 pav.).

Veleno-įvorės tipo detalių sujungimo metu, esant pozicionavimo paklaidai rinkimo pozicijoje, neretai pasitaiko veleno įstrigimai. Naudojant kompensavimo įtaisus, galima panaikinti detalių tarpusavio padėties paklaidas kadangi pozicionavimo paklaida spyruoklėms deformuojantis eliminuojama. Paslankumo centras įtaise pasislenka reikiama linkme taip, kad veleno ir įvorės ašys sutaptų. Virpesių panaudojimas veleno-įvorės tipo detalių rinkimo metu leidžia išvengti veleno strigimo ir užtikrinti sėkmingą detalių sujungimą. Virpesiai sujungimo ašies kryptimi gali būti suteikiami įvorei arba veleniui.

**Reguliuojamo paslankumo rinkimo įtaisas.** Šiame renkamų komponentų, erdviųjų paklaidų kompensatoriuje galima keisti atitinkamus parametrus ir taip reguliuoti paslankumą. Tiksliau, paslankumo reguliavimo strypu gali būti keičiamas tampriųjų elementų standumas (3 pav.). Keičiant įstatyto strypo gylį, keičiamas tampriųjų elementų standumas, o tuo pačiu keičiasi tampriojo elemento

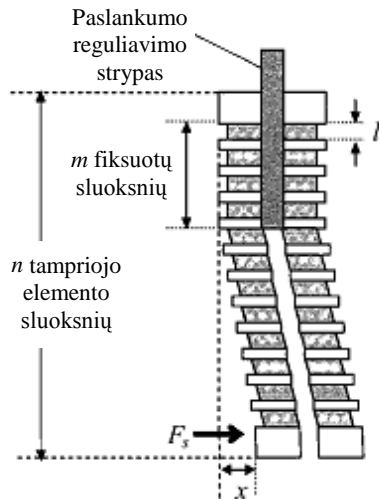
įtaka veleno poslinkiui ir posūkiui. Minėto įrenginio reguliuojamas tamprusis elementas yra pavaizduotas 3 pav.



1 pav. Robotizuoto rinkimo paklaidų kompensavimo įtaisas [4]



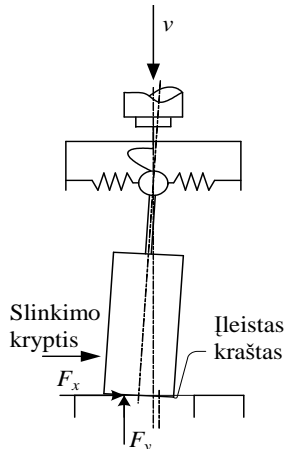
2 pav. Kompensavimo įtaiso bendras vaizdas [4]



3 pav. Kintamo standumo kompensavimo įtaiso tamprusis elementas [5]

**Robotizuoto rinkimo įtaisas su nutuliusiu paslankumo centru.** Rinkimo operacijai palengvinti, naudojami įtaisai su nutuliusiu paslankumo centru. 4 pav. pateiktas įtaisas sudarytas iš elementų, kurie visumoje suteikia įstatomam velenui

visus 6 laisvės laipsnius. Dalinai įveržtas spyruoklėmis velenas gali pasisukti, svyruoti ir pasislinkti visomis kryptimis. Pagrindiniai tokio įtaiso elementai yra paslankumą suteikiantis mechanizmas, spyruoklės, atitinkamai įtvirtintos tarp dviejų diskų, kurių vienas tvirtinamas prie roboto griebtuvo, o kitas prie veleno.



4 pav. Veleną veikiančios jėgos

Tokio įtaiso paskirtis – kompensuoti roboto pozicionavimo paklaidas rinkimo metu. 4 pav. pateikiama tarp veleno ir įvorės veikiančių jėgų schema. Vibracinio žadinimo panaudojimas detalių sujungimo procese leidžia detales sujungti išvengiant strigimo. Virpinant įvorę išilgai jos ašies, veikiamas tampriųjų elementų velenas kryptingai slenka link įvorės skylės, panaikinama detalių tarpusavio padėties paklaida ir detalės sėkmingai sujungiamos.



5 pav. Bendras veleno įstatymo į įvorę stendo vaizdas

5 pav. pavaizduotas stendas, naudotas cilindrinų detalių sujungimo eksperimentiniam tyrimui. Vertikalų judesį velenui suteikia Mitsubishi robotas.

Skaitmeniniu osciloskopu Picoscope 3424 fiksuojamas laikas, per kurį velenas įsistato į įvorę. Atlikti pradiniai detalių sujungimo eksperimentiniai tyrimai, patikrintas eksperimentinio stendo funkcionalumas.

**Tolimesni tyrimai.** Numatoma atlikti išsamesnius detalių sujungimo tyrimus, siekiant nustatyti sujungimo procesą sąlygojančių veiksnių įtaką veleno įstatymo greičiui.

**Įšvados.** Pristatomas cilindrinų detalių sujungimo būdas, naudojant kompensacinių įtaisų su nutolusio paslankumo centru ir vienos jungiamosios detalės vibracinių žadinimą sujungimo ašies kryptimi. Atlikti pradiniai eksperimentiniai detalių sujungimo tyrimai pasiūlytos konstrukcijos standu. Išsamesnių rezultatų gavimui būtini išsamesni eksperimentiniai detalių sujungimo tyrimai.

## Literatūra

1. **B. Bakšys, A. B. Povilionis.** Automatizuotojo detalių sujungimo analizė.- Mechanika - 2001: tarptautinės konferencijos pranešimų medžiaga, Kaunas, 2001 m. balandžio 5-6 d.- Kaunas, 2001, p. 260-266.
2. **B. Bakšys, A. B. Povilionis.** Automatizuotojo detalių sujungimo analizė.- Mechanika - 2001: tarptautinės konferencijos pranešimų medžiaga, Kaunas, 2001 m. balandžio 5-6 d. - Kauno technologijos universitetas, Lietuvos mokslų akademija, Tarptautinės mašinų ir mechanizmų teorijos federacijos (IFTToMM) Lietuvos nacionalinis komitetas. - Kaunas, 2001, p. 260-266.
3. **Nguyen Trong, D., Betemps, M., Jutard, A.** Analysis of Dynamic Assembly Using Passive Compliance, 1995. Proc. of the IEEE Intern. Conf. on Robotics and Automation, 21-27 May 1995, vol. 2, p. 1997-2002.
4. Industrial Automation, - <http://www.ati-ia.com>, 2008 10 22.
5. **Sangcheol Lee** Development of a New Variable Remote Center Compliance (VRCC) With Modified Elastomer Shear Pad (ESP) for Robot Assembly- IEEE transactions on Automation Science and Engineering.-2005, vol. 2, No.2, p. 193-197.

## Reziumė

Nagrinėjamas robotizuotas detalių sujungimas naudojant nutolusio paslankumo centro įtaisą ir įvorės vibracinių žadinimą sujungimo ašies kryptimi. Apžvelgtos kompensavimo įtaisų konstrukcijos. Pristatomas kompensavimo įtaisas su nutolusiu paslankumo centru ir eksperimentinis stendas naudoti detalių vibracinio sujungimo tyrimams atlikti.

# JAUTRAUS PAVIRŠIAUS EKRANŲ LIETIMOSI TAŠKŲ ATPAŽINIMO PRINCIPAI

**Marius GUDAUSKIS**

Mechatronikos studijų programa, Kauno technologijos universitetas

**Prof. Habil. Dr. Ramutis BANSEVIČIUS,**

**Dr. Arūnas ŽVIRONAS**

Kauno technologijos universitetas

Šių dienų visuomenėje įrenginių/daiktų valdymas yra aktualus dalykas. Stengiamasi jį daryti kuo paprastesnį, kompaktiškesnį. Dėl šių priežasčių pradėta jautrius ekranus diegti daugelyje įrenginių. Šio straipsnio tikslas - *išnagrinėti daugelio lietimosi taškų atpažinimo principus*. Straipsnyje apžvelgiami lietimosi atpažinimo būdai ir nagrinėjamos daugelio lietimosi taškų (*angl. multi-touch*) atpažinimo technologijos.

***Lietimosi taško atpažinimo būdai.*** Yra keli lietimosi taško atpažinimo būdai: varžos (*angl. resistive*), talpinės varžos (*angl. capacitance*), paviršiaus akustinių bangų (*angl. surface-acoustic-wave, SAW*), infraraudonųjų spindulių (*IR*), visiško vidinio atspindžio (*angl. Frustrated Total Internal Reflection, FTIR*). Pastarasis leidžia atpažinti tikrai daug lietimosi taškų, tuo tarpu būdai, minėti prieš tai, daugiau naudojami vieno lietimosi taško atpažinimo ekranuose [1, 2].

***Varžos*** analoginiai liečiamieji ekranai sudaryti iš stiklinės plokštės, kuri turi vienodą specifinės varžos apvalkalą ir poliesterio dangą. Išorinė dangos pusė padengta kietu, tvirtu apvalkalu, o vidinė – laidžiu sluoksniu. Lietimosi momentu laidus sluoksnis sukuria elektrinį kontaktą tame taške su stiklo apvalkalu, kurį registruoja analoginis kontroleris.

Ekranas yra sudarytas iš kelių sluoksnių: mechaniniams poveikiams atsparus sluoksnis, laidus sluoksnis, skiriamasis sluoksnis, varžos sluoksnis, ekrano stiklo sluoksnis.

***Talpinės varžos*** liečiamieji ekranai sudaryti iš dviejų elektrodų sluoksnių. Viršutinį sluoksnį sudaro vertikalios elektrodų juostos, apatinį – horizontalios. Šios linijos sudaro paviršiaus elektrodų tinklą – matricą. Šie elektrodų sluoksniai sujungti su integruota schema, esančia pado antroje pusėje. Ši schema matuoja abipusią varžą (*angl. mutual capacitance*) nuo kiekvieno horizontalaus iki vertikalios elektrodų. Žmogaus pirštas lietimosi taške sukuria potencialų skirtumą (žmogaus dielektrinės savybės kitokios nei oro), kurį fiksuoja integruota schema ir siunčia *X* bei *Y* ašių informaciją kompiuteriui. Šios technologijos privalumas – didesnis ekrano šviesos pralaidumas, kuris siekia iki 90%.

**Paviršiaus akustinių bangų (SAW)** ekranai turi X ir Y ašyse įmontuotus du keitiklius – perdavimo ir gavimo. Dar vienas svarbus SAW technologijos elementas yra reflektorius, kuris atspindi ultragarsinę bangą. Pirmiausia perdavimo keitiklis iš kontrolerio gauna elektrinį signalą, kurį paverčia ultragarsine banga ir tada ją reflektorius atspindi. Atspindėta ultragarsinė banga keliauja į gavimo keitiklį, kur vėl paverčiama elektriniu signalu ir siunčiama kontrolieriui. Prisilietimo taškas aptinkamas pasikeitusia ultragarsine banga – prisilietimo taške ją absorbuoja pirštas. SAW technologijos ekranai perduoda geresnės kokybės, aiškesnį ir didesnį šviesos perdavimo vaizdą, nes visa plokštė yra stiklinė, nėra jokių sluoksnių. Trūkumas tas, kad ekranas turi būti liečiamas tik pirštu arba ranka su pirštine, minkšto galiuko rašomąją lazdele, nes kieti daiktai beveik neabsorbuoja bangų. Be to, ekrano paviršius turi būti pakankamai švarus, kad nebūtų iškraipomos ultragarso bangos ir lietimui informacija būtų korektiška.

**Infraraudonųjų spindulių (IR)** technologijos ekranas paviršiuje turi infraraudonųjų bangų tinklą. Jis sudaromas iš IR diodų (*angl. LED*) X ir Y ašyse ir priešais juos esančių fototranzistorių. Kontroleris nuosekliais impulsais sukuria infraraudonųjų spindulių tinklą, kuris lietimosi taške yra suardomas. Fototranzistoriai aptinka piršto absorbuotus infraraudonuosius spindulius X ir Y ašyse, pagal kuriuos kontroleris atpažįsta lietimui taško koordinatas.

Lentelė 1

Technologijų savybių palyginimas

	Varžos	Talpinės varžos	SAW	IR
Aktyvavimas	Reikia jėgos	Reikia jėgos	Reikia jėgos	Jėgos nereikia
Skaidrumas	<82%, grafikos iškraipymas dėl dangos sluoksnių	Labai geras, >92%	Labai geras, >92%	Labai geras, >92%
Slinkimas	pastovus pertikrinimas	pastovus pertikrinimas	pastovus pertikrinimas	slinkimas negalimas
Taškų sk.	vienas	vienas	vienas	vienas
Lietimo atpažinimas	Bet koks lietimui įrenginys	Žmogaus lietimasis	Tik pirštas	Bet koks lietimui įrenginys

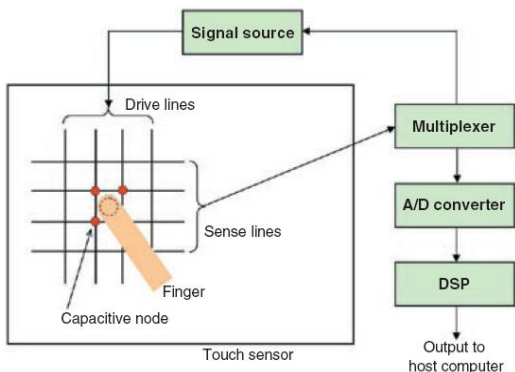
Šios technologijos privalumai: galima valdyti tiek minkštos, tiek kietos medžiagos instrumentais, ekranai yra hermetiški, galimas ankstesnis aktyvavimas (prieš paliečiant paviršių), nes spinduliai yra stiklo paviršiuje.

1 lentelėje galima rasti aukščiau aprašytų technologijų savybių palyginimą.

Lietimo aptikimui dažniausiai reikia 40-90g jėgos, lietimo įrankis gali būti pirštas, ranka su pirštine, lietimo pieštukas.

Valdymui naudojama nuolatinė 5V įtampa, 1mA srovė, izoliacinė varža 10-20MΩ arba didesnė (25V DC).

***iPhone ir iTouch įrenginiai.*** Kompanija Apple užpatentavo daugelio lietimo taškų atpažinimo ekrano principą, kurį pritaikė iPhone ir iTouch įrenginiuose. Apple patente yra aprašyti du projektuojamos talpinės varžos (*angl. projected-capacitive*) būdo įgyvendinimo principai. Pirmas, kurį Apple pavadino „vienodos talpos“ (*angl. self capacitance*), yra 24x36 paprasta pasyvių elektrodų masyvo matrica vienoje plokštumoje. Ji naudojama pramoniniuose valdymo pultuose, klaviatūros plėvelėse ir kitur, kur yra ribotas liečiamo paviršiaus plotas. Šis principas yra mažos skyrimo architektūros, todėl dabar retai naudojamas ekranuose [2-4].



1 pav. Supaprastintas Apple iPhone ekrano veikimas

Antras principas yra daug tradiciškesnės struktūros. Jį sudaro 2 lygiagrečių permatomų laidininkų rinkiniai. Vienas jų pusės pagrindas statmenas kitam. Apple tai pavadino abipuse talpa (*angl. mutual capacitance*). Kaip parodyta 1 pav., įtampų linijos (*angl. drive lines*) yra sužadintos atitinkamos amplitudės ir dažnio kintamos srovės signalo, po to vienu metu yra matuojama talpinė varža kiekviename susikirtimo taške tarp įtampų ir jautrumo (*angl. sense lines*) linijų. Multiplekserio išėjimo signalas yra išmatuotų reikšmių srautas. Taip yra matuojama kiekviena įtampų linija. Šitokiu būdu yra gaunama priliesto taško



padėtis (4 taškų koordinatės). Patente rašoma, kad šiuo būdu galima atpažinti 15 taškų (10 pirštų, 2 delnai ir 3 kiti).

**Visiškai išsklaidyto vidinio atspindžio (FTIR) ekranai.** Šis būdas pagrįstas dirbtinio stiklo paviršiuje išsklaidytų infraraudonųjų spindulių taškų aptikimu. Dirbtinio stiklo viduje yra sukuriamas IR spindulių sluoksniš, kuris gaunamas tam tikru kampu apšviečiant stiklo šoną IR diodais. Stiklo kraštas yra ižambus, ~45° kampo. Diodai įtaisomi statmenai stiklo briaunai, kad kuo daugiau jų pereitų ribą oras-stiklas, o stiklo viduje spinduliai atsispindėtų riboje stiklas-oras ir kuo mažiau išeitų už jo ribų. Spindulių kreipimo kampą galima apskaičiuoti naudojantis formule

$$\sin \alpha = \frac{n_2}{n_1} \quad (1)$$

kur  $n_1$  – dirbtinio stiklo (akrilo) lūžio rodiklis ( $n_1 = 1,48$ ), o  $n_2$  – oro lūžio rodiklis ( $n_2 = 1$ ).

Prilietus pirštą, IR spinduliai yra išsklaidomi (atsiranda riba stiklas-pirštas, kurios optinės savybės kitokios) ir taip matomas lietimo taškas.

Ši sistema yra sudarytai iš ekrano, stebėjimo kameros (su IR filtru), kompiuterio ir projektoriaus. Kamera su IR filtru fiksuoja išsklaidytus spindulius ekrano paviršiuje. Šis vaizdas yra apdorojamas programinės įrangos kompiuteryje. Ji pagal lietimo taškų koordinates ir vaizdo, projektuojamo projektoriumi ekrane, padėtį atlieka valdymo funkcijas.

Ši technologija leidžia atpažinti daug lietimosi taškų ir stebėti jų judėjimą. Pagrindinę analizavimo funkciją atlieka programinė įranga, kuri analizuoja videokameros su IR filtru perduodamą informaciją (lietimosi taškus) [5, 6].

**Microsoft Surface Table** yra FTIR principu veikiantis „protingas“ stalas, kurį sudaro ekranas/stalviršis, pagamintas iš akrilo, infraraudonųjų spindulių atpažinimo kameros, kurios fiksuoja prisilietimus prie stalo paviršiaus, centrinis procesorius ir projektorius, rodantis vaizdą ekrane/stalviršyje.

Projektoriaus rezoliucija yra 1024x768. Tai standartinis ekrano dydis. Infraraudonųjų spindulių kamerų rezoliucijos didesnės (1280x960), tai palengvina lietimo taškų aptikimą. Kameros fiksuoja 850 nm ilgio šviesos bangas, kurios plika akimi nematomos, todėl nekeičia rodomos informacijos. Į *Surface* yra integruotos WIFI bei BLUETOOTH technologijos, kurios gali komunikuoti su kitais įrenginiais, pvz. telefonu, foto aparatu, delniniu kompiuteriu [7, 8].

Šis *Microsoft* kūrinys yra ženklus technologijos progresas kasdieninėje buitinėje įrangoje.

**Išvados.** Dauguma jautrų ekranų atpažįsta vieną lietimo tašką. Išsklaidyto visiško vidinio atspindžio (FTIR) būdas leidžia aptikti daugiau lietimo taškų, kuriais galima valdyti rodomą informaciją ekrane. Šių, daug lietimo taškų atpažinimo būdų, valdymui naudojama kompiuterinė programinė įranga.

Apibendrinant galima teigti, kad ... (šios technologijos reikalingos, vis labiau tobulinamos, padeda žmonėms, paprastinamos, kad ir paprastas asmuo galėtų jomis naudotis. Diegiamos bankuose, kur dar? ... )

## **Literatūra**

1. <http://www.nextwindow.com/benefits/comparative.html>
2. <http://www.elotouch.com/Products/Touchscreens>
3. [http://www.tvielectronics.com/Touch\\_Screen.html](http://www.tvielectronics.com/Touch_Screen.html)
4. <http://electronics.howstuffworks.com/iphone.htm>
5. <http://www.informationdisplay.org/article.cfm?year=2007&issue=05&file=art4>
6. <http://cs.nyu.edu/~jhan/>
7. <http://ik.su.lt/~mariusbm/>
8. <http://www.microsoft.com/surface/index.html>

# INTELLECTUAL ACTIVE SAFETY SYSTEMS: STATE AND PROSPECTS

**Maryia HANCHARYK**

Belarusian National Technical University, Belarus

**Assoc. Prof. Yulij SLABKO, Prof. Reshat FOUROUNJIEV**

Belarusian National Technical University, Belarus

**Introduction.** Active Safety Systems (ASS) of vehicle are used to enhance the safety of vehicle driving in different weather conditions on roads with different type of micro profile at different coupling factors, sudden changes of the road situations and at actions of a driver.

ASS are systems equipped with devices of the feedback control that use for their work auxiliary Antilock System (ABS).

The task of ASS (such as ABS) is keeping of braking or driving wheels in the regime of the optimal relative sliding, when the longitudinal coupling factor of a tire and supporting surface is in the most favorable range. This task consists of two stages:

- ✓ the identification of the moment of the coming event, which leads to slipping or blocking of a supporting element;
- ✓ the determination of controlling impacts on effectors for providing of slipping or blocking of wheels in an admissible range independent on the environment conditions or actions of a driver.

To decide this task ASS include:

- ✓ sensors (forces/moments, angular wheel speeds absolute car turning sensors etc.);
- ✓ control unit, which reads the information from sensors, processes it and supplies instructions to effectors;
- ✓ effectors ( for example, modulators of the pressure of a working element of a brake system).

**The main processes of ABS feedback control.** At primary brake the pressure in actuator increases, the amount of the wheel sliding in road contact pattern the limit of resistive and instable ranges of wheels turning is achieved. Beginning at this moment any next increasing of pressure in the actuator or of the brake moment doesn't effect any next increasing of the brake force amount. In resistive range wheel sliding is rather deforming sliding, it has growing tendency in the instable range.

If in the moving of one of the wheels there are blocking signs, the deceleration of the wheel turning and sliding quickly increases. When they exceed the limit, control unit supplies signals solenoid redistributive valve to stop increasing or decreasing of the pressure in the brake mechanism until stopping of

the danger of the blocking. Then the pressure must be restored to predict not full braking. At automatic brake control you should constantly determine resistive and instable ranges of wheels turning and modulate braking pressure creating maximum braking effort.

At developing of ABS following is accounted: versions of the coupling of the tire and the road; roughness of the road surfacing, which effects oscillations of wheels and axles; changes of pressure in the main brake cylinder at the influence of a driver on the brake pedal; changes of the wheel radius, for example, at mounting of the spare wheel.

Criteria of the control quality: keeping of curs resistance at car driving by providing of sufficient amount of the cross force of the coupling of the back wheels; keeping of the car controllability by providing of sufficient cross force of the coupling of the front wheels; decreasing of the stopping way in comparison with braking with blocked wheels; quick change of braking moments for different coupling factors; control of the low amplitudes of the braking moment change to predict vibrations in tooth gearing; high level of driving comfort as result small feedback impact on brake pedal of the application of noiseless effectors.

But in ASS founded on the classical kinematical principle there are some difficulties connecting to the identification of the curve of the dependence of coupling-sliding factor and the determination of the accurate lineal speed. This factor determines much the working range of the driving vehicle speeds. Though, other hand, every year the technical realization is improved, the fastaction of effectors is increased, there are rise of the accuracy of the measuring of the angular speed of the turning and the optimization of the identification algorithms, what leads to improvement of the work quality. There are difficult identification algorithms, too, at which designing expensive equipment is used. Difficulty of the modern ASS stipulates its high value. It can be 5-10 % of the car value dependent on its class. Economical aspect is one of the main aspects, determining rates of ABS introduction. That's why the creating of ABS on new principles is functioning.

This article offers ASS and new approach to the identification of the event, which leads to blocking/slipping of a tire relative to supporting surface, founded on the power principle. This approach includes measuring of the forces of the first derivative of the actual braking moment in contact «road-wheel-mobile the machine».

At approximation of actual force/moment to as much as possible sold in contact «road-wheel-mobile the machine», the value of derivative actual force/moment starts to fall. According to the formula (1):

$$F_T = R_z \varphi , \quad (1)$$

where  $R_z$  – vertical loading on a wheel;  $\varphi$  – the factor of coupling in a longitudinal direction, at achievement of the force/moment created by a brake drive, the maximal admissible value, factor of longitudinal coupling will be maximal and derivative actual force becomes equal to zero (Fig. 1).

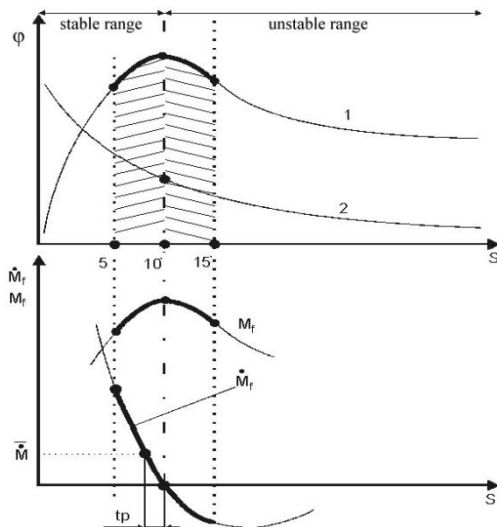


Fig. 1 - Dependence of factors of longitudinal coupling of wheels from road and factually realized force/moment and its derivative from sliding a wheel: 1 - Factor of coupling in a longitudinal direction; 2 - factor of coupling in a cross-section direction

The controller produces an operating signal which moves on the modulator for dump of pressure in the executive mechanism of brakes. If further pressure in the brake cylinder continues to grow, the derivative of actual force falls below zero, and actual force sold in contact falls up to the value defined by vertical loading on a wheel and factor of coupling at full sliding. Thus the factor of coupling decreases to the value corresponding full sliding of a wheel (wheels lock). Sliding of a wheel passes in a unstable range of sliding and continues to grow.

The offered approach allows to design ASS based on the new physical principle, which processes data read from force/moment sensors and from the derivative force/moment sensors and allows to determine the moment of the clipping/blocking coming at the driving of the mobile car in any weather conditions at different road surfaces and actions of a driver without using of the expensive equipment and the difficult algorithms of the identification.

## References

1. Автомобильный справочник BOSCH. Первое русское издание. –М.: Издательство «За рулем», 2002.
2. **Нефедьев Я.Н.** Конструкции и характеристики электронных антиблокировочных систем зарубежных фирм. Обзорная информация. –М.: Научно-исследовательский институт информации автомобильной промышленности, 1978.
3. Pat. USA 5,135,290 Aug.4, 1992 and DE-OS 35 35 843. Cao Chi-Thuan, An Automatic Control System for Antilocking and Antiskid Applications.

# ĮRENGINIŲ TECHNINĖS BŪKLĖS STEBĖSENA NAUDOJANT VIBRODIAGNOSTINIUS METODUS

**Raimondas ŠILEIKA**

Mechatronikos studijų programa, Kauno technologijos universitetas

**Dr. Vytautas JŪRĖNAS**

Kauno technologijos universitetas

**Darbo tikslas.** Šio darbo tikslas parinkti tinkamą įrenginių būklės įvertinimo metodiką, kuri remtųsi vibrodiagnostika, kuri pagrįsta virpesių matavimu, virpesių analize ir technologinio proceso parametrais.

**Įvadas.** Vibrodiagnostinis mašinos techninės būklės stebėseną yra alternatyvi stebėjimo strategija, kuri leidžia mašinai veikti be perstojo, kol gedimo simptomai nėra aptinkami. Vibrodiagnostiniu metodu galima numatyti mašinos sugedimo laiką ar likusią veikimo trukmę, silpnėjančių komponentų ar posistemų techninę būklę, anksčiau, negu mašina pasieks kritišką būseną. Naudojant šį metodą, galime užsuduoti pavojingas ar kritiškas mašinos vibracijas, kurias viršijus bus išpėta arba sustabdyta mašina. Vibracija ir garsiniai signalai yra tiesiogiai susieti, kad suformuotų mašinos dinamiką, jie turi gausią informaciją apie įrenginių techninę būklę. Vibrodiagnostika pagrįsta principu, kad visos sistemos sukelia tam tikras vibracijas. Kai mašina veikia tinkamai, paprastai vibracija yra maža ir pastovi, tačiau kai atsiranda gedimų vibracijos tampa didesnės, keičiasi vibracijos spektras. Vibrodiagnostikos technika susideda iš keitiklių, kurie matuoja mašinos vibraciją, analizatorių, kurie analizuoja keitiklių išmatuotus signalus, juos vaizdžiai pateikia ir valdiklių, kurie pagal užduotas signalų reikšmes išpėja apie galimus pavojus arba iškarto sustabdyti mašiną. Dažniausiai rotorinių mechaninių sistemų gedimų priežastis – riedėjimo guoliuose išsivystę defektai.

**Guolių vibracijos.** Defekciniai riedėjimo guolio elementai žadina keturių skirtingų dažnių virpesius. Kai riedėjimo guoliai neslysta riedėjimo takeliais, teorinės šių virpesių dažnių reikšmės apskaičiuojamos pagal formules [1]:

1. Separatoriaus sukimosi dažnis  $f_{sp}$ , parodo, kad sugedo separatorius:

$$f_{sp} = \frac{f_v}{2} \cdot \left( 1 - \frac{d_r}{d_{vid}} \cdot \cos \beta \right), \quad (1)$$

2. Rutuliukų probėgų išorinio žiedo riedėjimo takelių dažnis  $f_i$ , parodo, kad ištrupėjęs arba kitaip sužalotas guolio išorinio žiedo riedėjimo takelis:

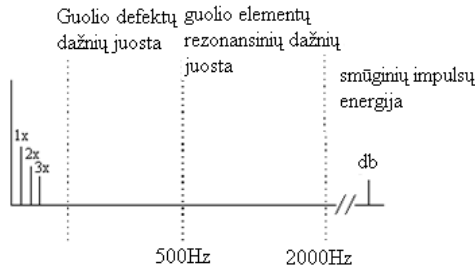
$$f_l = z \cdot \frac{f_v}{2} \cdot \left(1 - \frac{d_r}{d_{vid}} \cdot \cos \beta\right), \quad (2)$$

3. Rutuliukų probėgų vidinio žiedo riedėjimo takelių dažnis  $f_{vid}$ , parodo, kad ištrupėjęs arba kitaip sužalotas guolio vidinio žiedo riedėjimo takelis:

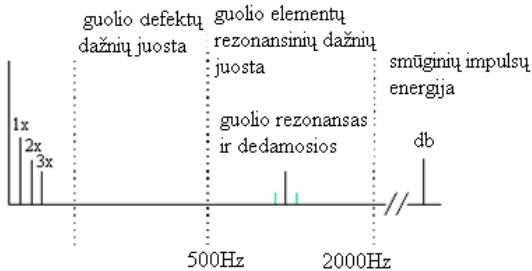
$$f_{vid} = z \cdot \frac{f_v}{2} \cdot \left(1 + \frac{d_r}{d_{vid}} \cdot \cos \beta\right) \quad (3)$$

4. Riedėjimo kūnų (rutuliukų arba ritinukų) sukimosi dažnis  $f_{rk}$ , parodo esamus defektus riedėjimo kūne:

$$f_{rk} = \frac{d_{vid}}{d_v} \cdot f_v \left[1 - \left(\frac{d_r}{d_{vid}}\right)^2 \cdot \cos \beta\right]. \quad (4)$$



1 pav. Pirminiai nedideli pažeidimai guolyje [2]



2 pav. Rezonansinės guolio riedėjimo elementų vibracijos [2]

Rotorinės mašinos darbo metu atliekant periodinius guoliavietės vibracijų matavimus, galima nustatyti keturias riedėjimo guolyje atsiradusio gedimo vystymosi fazes:

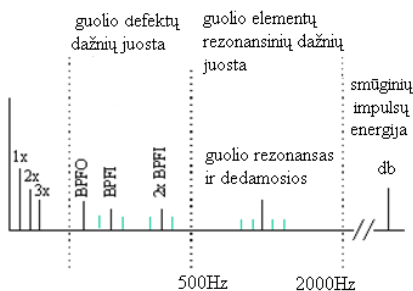
1. Pirminiai nedideli pažeidimai guolyje nustatomi naudojant smūginių impulsų metodiką ir atitinkamus prietaisus ultragarsinių dažnių diapazone nuo 20kHz iki 60kHz. Šios vibracijos pasireiškia, kaip atsitiktiniai pasikartojantys smūginiai impulsai, kurių lygis paprastai neviršija 20-25dB (1 pav.).



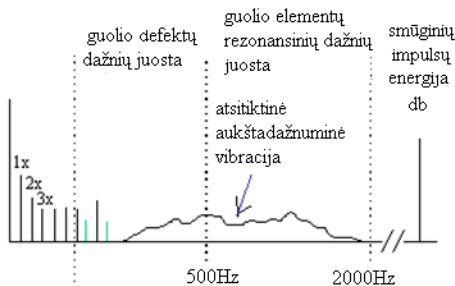
2. Didėjantis smūginių impulsų lygis ultragarsiniame dažnių diapazone iki 25-35dB, sukelia rezonansines guolio riedėjimo elementų vibracijas dažnių diapazone 500-2000Hz (2 pav).

3. Guolio pažeidimo dažniai (juos galime paskaičiuoti iš formulių (1-4) ir atitinkamos harmonikos vibracijų spektre pasirodo dažnių diapazone, kurio viršutinė riba paprastai neviršija 500-600) Hz. Smūginių impulsų lygis išauga iki 35-50dB (3 pav.).

4. Tolimesnė pažeisto guolio eksploatacija iššaukia vibracijų lygio padidėjimą rotoriaus sukimosi dažniuose, o taip pat ir atitinkamų harmonikų skaičiaus padidėjimą (4 pav.).



3 pav. Matomi aiškūs guolio pažeidimai [2]

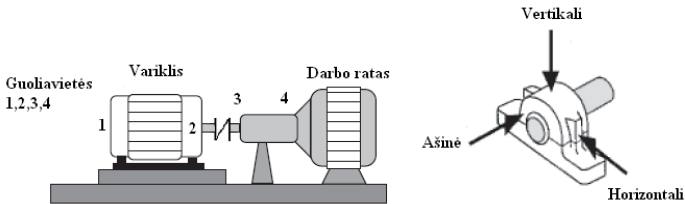


4 pav. Guolio dažnių spektras prieš avarinį sustojimą [2]

**Tyrimas.** Įmonėje, kurioje atlikau praktiką pastebėjau, kad būtų galima įdiegti vibrodiagnostikos sistemą ventiliatoriams, kurių galingumas yra nuo 320kW iki 500KW, sukimosi greitis 1488 aps/min, maitinimo įtampa ~6000V, srovės stiprumas 56,3A ir šilumos siurbliui, kurio atiduodama galia 1600kW, elektros variklio galingumas siekia 620kW, sukimosi greitis 3000aps/min, nes šie įrenginiai yra atsakingi. Ventiliatoriuje naudojami 32324M ritiniai ir 228AK rutuliniai guoliai.

**Ventiliatoriaus guoliaviečių matavimas.** Ventiliatoriaus vibracijas matavome keturiuose guoliavietėse, kaip pavaizduota (5 pav.).Kiekvienoje

guoliavietėje matavome trijuose taškuose (6 pav.): vertikalia, horizontalia ir ašine kryptimi. Matavimai buvo atlikti Diana-2M virpesių analizatoriumi. Guoliaviečių vibracijos buvo matuojamos tam, kad galėtume įvertinti mechanizmo techninę būklę.



5 pav. Ventilatoriaus blokinė schema

6 pav. Keitiklių matavimo padėtys

Viename ventilatoriuje yra dviejų tipo guoliai, rutuliniai SKF 6228 ir ritininiai NU 324.

Paskaičiavau defektinių guolio elementų sukeliamas vibracijas:

$$f_{sp\ NU\ 324} = 9,47\ Hz, \quad f_{sp\ SKF\ 6228} = 10\ Hz$$

Sukimosi dažnis  $f_{sp}$  išduoda sugedusį separatorių.

$$f_I\ NU\ 324 = 113,6\ Hz, \quad f_I\ SKF\ 6228 = 140,14\ Hz$$

Dažnį  $f_I$  parodys ar nėra ištrupėjęs arba kitaip sužalotas guolio išorinio žiedo riedėjimo takelis.

$$f_V\ NU\ 324 = 174,4\ Hz, \quad f_V\ SKF\ 6228 = 195,8\ Hz$$

Dažnį  $f_{vid}$  parodys ar nėra ištrupėjęs arba kitaip sužalotas guolio vidinio žiedo riedėjimo takelis.

$$f_{rk}\ NU\ 324 = 108,6\ Hz, \quad f_{rk}\ SKF\ 6228 = 140,8\ Hz$$

Dažnį  $f_{rk}$  parodys defektus riedėjimo kūne.

Ventilatoriaus guoliaviečių matavimo rezultatai Lentelėje 1.

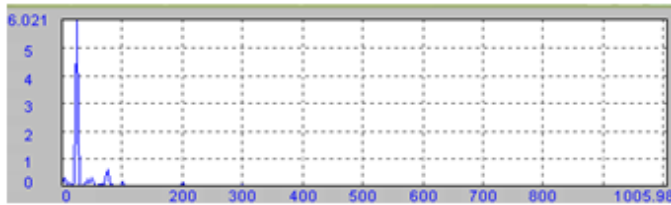
Lentelė 1

Ventilatoriaus guoliaviečių matavimo rezultatai.

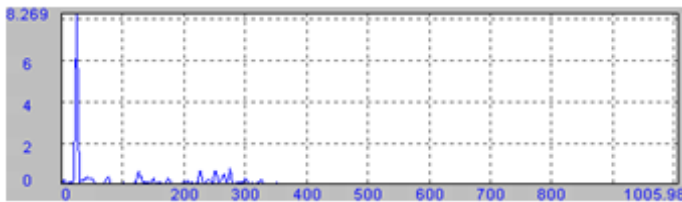
mm/s	1 guoliavietė	2 guoliavietė	3 guoliavietė	4 guoliavietė
V	2,17	1,97	8,27	1,17
H	1,91	3,31	2,61	5,40
A	6,02	3,45	4,01	3,20

Rekomenduojamos  $V_{RMS}$  reikšmės atskiroms mašinų klasėms ir jų techninei būklei įvertinti pagal virpesių intensyvumo sritis [3].

ISO 10816 standartas nusakantis mašinų techninę būklę					
Virpesių greitis $V_{RMS}$	Mašinos	1 mašinų klasė	2 mašinų klasė	3 mašinų klasė	4 mašinų klasė
	mm/s				
0.28					
0.45		Gera techninė būklė			
0.71					
1.12					
1.80					
2.80			Patenkinama		
4.50			Nepatenkinama		
7.10					
11.2					
18.0					
28.0		Eksploatuoti draudžiama			
45.0					



7 pav. Pirmos guoliavietės virpesių greičio spektras ašine kryptimi. Šiame spektre matosi sinchroninio rotoriaus dažnio harmonika  $f_{1x}=25,215$  Hz, virpesių greitis  $V_{1x}=5,962$  mm/s, antrosios harmonikos dažnio  $f_{2x}=75,637$  Hz, virpesių greitis  $V_{2x}=0,618$  mm/s.

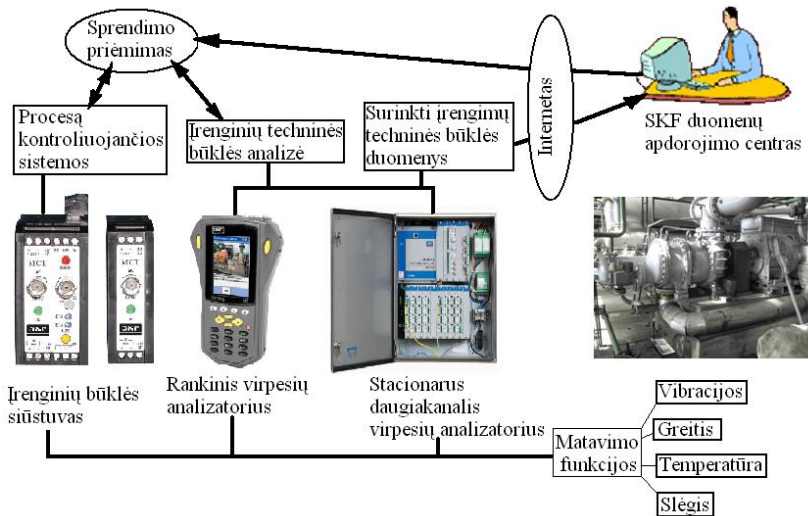


8 pav. Trečios guoliavietės virpesių greičio spektras horizontalia kryptimi. Šiame spektre matosi sinchroninio rotoriaus dažnio harmonika  $f_{1x}=25,215$  Hz, virpesių greitis  $V_{1x}=8,187$  mm/s.

Pagal ISO 10816 standartą 520 kW ventiliatorius priskiriamas prie trečios klasės mašinų. Spektrogramuose, kuriuose virpesių greitis tenkina sąlygą 1,8 mm/s - 4,5 mm/s mašinos techninė būklė yra patenkinama, jas leidžiama eksploatuoti nepertraukiamame darbo režime, o mašinose, kuriuose virpesių

greitis yra nuo 4,5 mm/s -11,2 mm/s tokio padidinto vibracinio aktyvumo mašinas nerekomenduojama eksploatuoti nepertraukiamo ilgalaikio darbo režimo sąlygomis. Trečios guoliavietės virpesių greičio spektras rodo nemažą rotoriaus disbalansą  $V_{3x}=8,187\text{mm/s}$ , pagal ISO 10816 standartą šis virpesių greitis įeina į nepatenkinamą zoną, tokį disbalansą reikėtų mažinti. Paskaičiuoti defekciniai guolių elementų dažniai nefigūravo spektrogramuose, vadinasi guolio elementai yra tinkami darbui.

**Vibrodiagnostikos sistema.** Parinkus įrengimų būklės įvertinimo metodiką pagal SKF standartus ir naudojant SKF diagnostikos įrangą, UAB “Korelita” inžinieriai galės nustatyti įrengimų būklę, numatyti galimus gedimus ir pateikia rekomendacijas jų pašalinimui. Įrengimų būklės įvertinimo metodika (9 pav.) yra ne tik nustatyti esamą įrenginio būklę ir padėti jį pataisyti, bet taip pat palaikyti geriausią jo veikimo lygį, sutrumpinti neplanuotų prastovų laiką ir garantuoti didžiausią galimą naudą. Tai padeda ne tik sumažinti netikėtų gedimų tikimybę, bet ir leidžia iš anksto užsakyti reikalingas atsargines dalis, suplanuoti darbus, sumažinti sandėlyje saugomų atsarginių dalių kiekį, numatyti kitus taisymo darbus bei pagerinti įrangos veikimą iki optimalaus lygio.



9 pav. Įrengimų būklės įvertinimo metodika [5].

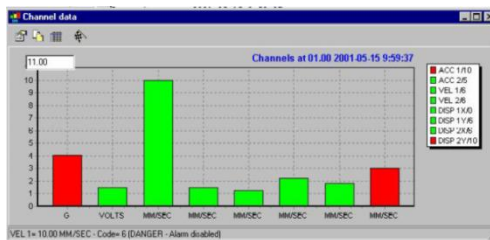
Mano nagrinėjamuose mašinos yra nenumatytas keitiklių panaudojimas. Reliatyviųjų virpesių poslinkių keitiklių sumontavimas yra gan sudėtingas, todėl geriau montuoti seisminius keitiklius. Kadangi man nereikia išmatuoti tarpelio tarp veleno kakliuko cilindrinio paviršiaus ir guolio vidinio cilindro dydį, tai todėl

pasirenku virpesių pagreičio matavimo keitiklį, nes mus labiau domina virpesių amplitudės dydis, nei tarpelio ar reliatyviojo poslinkio dydis. Veleno guolio mazgas yra standus, todėl galima naudoti virpesių pagreičio keitiklius, juos tvirtinti tiesiog prie mašinos korpuso. Vibrodiagnostikos sistemai parinkau standartinius virpesių pagreičių keitiklius CMSS 2100, jie guoliavietėse bus tvirtinami sriegiais. Keitiklyje yra padarytas metrinis sriegis M8 x 1.25. Mašinoje sriegiai turi būti padaromi remiantis ISO 1101 reikalavimais. Tvirtinimas sriegiu yra vienas iš patikimiausių tvirtinimo būdų. Keitikliui rekomenduojamas dviejų gyslų šarvuotas laidas.

Keitiklių informaciją priims daugiakanalis virpesių analizatorius - valdiklis CMMA 7710 (10 pav.). Šitas įrengimas yra tinkamas eksploatuoti gamybos sąlygomis. CMMA 7710 yra apsaugotas nuo dulkių kaupimosi ir net nuo vandens srovelių. Tai reiškia, kad CMMA 7710 gali būti įdiegtas atšiauriuose patalpose ir kontroliuoti mašinų darbą, garantuodamas matavimo kokybę. CMMA 7710 taip pat gali dirbti aukštos temperatūros aplinkose +55 °C. Įrenginių būsenos stebėjimo įrenginys ( analizatorius) turi nemažą atmintį, kuri įgalina surinkti daugiau duomenų apie mašinų būklę. Kiekvienas iš CMU 32 kanalų gali paimti daugialypes matavimo konfigūracijas. CMMA 7710 gali palaikyti iki 256 matavimo punktų, taip pat daugiau kaip 500 pavojingų matmenų. Pavojaus signalai ir matavimo sąrankos kaupiamos nekintamoje atmintyje.



10 pav. Daugiakanalis virpesių analizatorius - valdiklis CMMA 7710.



11 pav. SKF M964 programinė įranga.

Virpesių valdiklis surinktą keitiklių informaciją siunčia į personalinį kompiuterį. Norint vaizdžiai pateikti šią informaciją ir, kad ji būtų suprantama ir mažiau kvalifikuotiems darbininkams reikia įdiegti SKF M964 (11 pav.), kuri atlieka žmogaus ir mašinos interfeiso funkcijas.

### ***Išvados***

1. ‘‘Korelitos‘‘ energetiniame ūkyje išsirinkau du galingus ir atsakingus įrenginius, pasirinkau guoliaviečių matavimo taškus ir nustačiau guoliaviečių vibracijų lygį, kuri užsidavus konkrečioje programoje galima kontroliuoti vibracijas, viršijus užduotą ribą įrenginys automatiškai stabdomas arba įjungiamas perspėjimo signalas.
2. Panagrinėjau virpesių atsiradimo priežastis pasirinktose įrenginiuose, bei šių virpesių spektrogramas, pagal kurias galima atpažinti konkretaus mazgo, jo elemento defektą bei gedimą, bet ir sekti jų vystymąsi veikiančioje mašinoje.
3. Išanalizavau pirminius matavimo įtaisais naudojamus vibrodiagnostikoje - keitiklius, bei jų tipus, išsiaiškinau jų veikimą, kokiems matavimas koks keitiklis labiau tinkamas ir kaip reikia parinkti tinkamus keitiklius.
4. Paskaičiavau šilumos siurblio ir ventiliatoriaus defektinių riedėjimo guolių elementų žadinamus vibracijų dažnius, kuriuos žinant, pagal virpesių spektrą galima nustatyti kas guolyje atsitiko.
5. Iš gautų rezultatų matyti, kad išmatuotų įrengimų techninę būklę apibūdina dažnių diapazonas nuo 10 Hz iki 500 Hz.
6. Sulyginus matavimo rezultatus su ISO 10816 standartu nustačiau įrenginių techninę būklę.
7. Parinkau vibrodiagnostikos sistemą, kuris susideda iš standartinių pramoninių virpesių pagreičio matavimo keitiklių CMSS 2100, stacionaraus daugiakanalio virpesių valdiklio CMMA 7710 ir pagrindinio kompiuterio.

### **Literatūra**

1. **V. Barzdaitis, G Činikas.** Rotorinių mašinų monitoringas ir diagnostika. K: Technologija, 1998. 364p.
2. **David Stevens.** IEng vibration Analysis - Gear Related Problems. Prieiga per internetą: <http://www.vibanalysis.co.uk/vibanalysis/gears>.
3. Monarch Instrument. Prieiga per internetą: <http://www.monarchserver.com/Applying%20Examiner.pdf>.
4. SKF Vibration sensors data sheet. Prieiga per internetą: <http://www.skf.com/files/265315.pdf>.
5. Evolution Busines and Technology magazine from SKF. Prieiga per internetą: <http://evolution.skf.com/zino.aspx?articleID=560>.

# MECHATRONICS SOLUTIONS FOR AUTOMATED WAREHOUSING

**Aurimas MIEŽELIS**

Studies programme of Mechatronics, Kaunas University of Technology

**Assoc. Prof. Dr. Egidijus DRAGAŠIUS**

Kaunas University of Technology

***Aim of the work.*** Target of the paper is to give a brief introduction of automated solutions in warehousing, distribution and logistics based on industry leading global company – Dematic Ltd. Emphasis is placed on employment of smart and sophisticated machinery to sort and convey materials within a warehouse – sorters.

***1. Industry profile.*** Dematic Ltd. is a world renowned company, specializing in automated warehousing solutions, creating €800 mln. annual turnover and ranked as 4<sup>th</sup> largest materials handling suppliers [1]. It has 4 main business focus areas:

- ***Integrated systems.*** An important business area, which goes further to Planning & Consulting and Project Implementation. Basically, it is all the know-how applied to concept, design and implementation of automated warehousing solutions.
- ***Logistics IT*** – it is all about software. Order fulfilment systems, SAP integration, RFID systems and each of those are joint together and integrated by Warehouse Management System – a sophisticated piece of software that recognizes and controls every single item within the product flow.
- ***Customer Service*** – is one of the most important and profitable parts of the business. It includes on-site residential service after project implementation, 24 x 7 call centres, electrical & mechanical support, IT support and modernization (enhancement) projects.
- ***Materials handling equipment*** – the workhorse that does all the hard work. It covers Storage/Retrieval machines (cranes, multishuttle), Robotics (palletising, stacking, delayering), racking systems, case handling and pallet handling (conveyors, sorters, monorails, automated guided vehicles).

Dematic Ltd. has established a new engineering hub in Lithuania in the beginning of year 2008 [2], creating an excellent opportunity for local engineers to gain experience in a top-notch engineering company in its sites throughout Europe.

***2. Typical layout.*** Materials handling industry automating solutions came along several decades ago. There is a set of benefits they bring to manual Distribution Centre (DC). It can operate in freezer conditions (e.g. food industry),

in reduced oxygen environment (e.g. library in case of fire), area is utilized – racking can be multi-storey, human error is minimized and labour positions are much more ergonomic.

Provided that difference between manual and automatic warehousing is understood, Figure 1 shows typical plan view of automated DC.

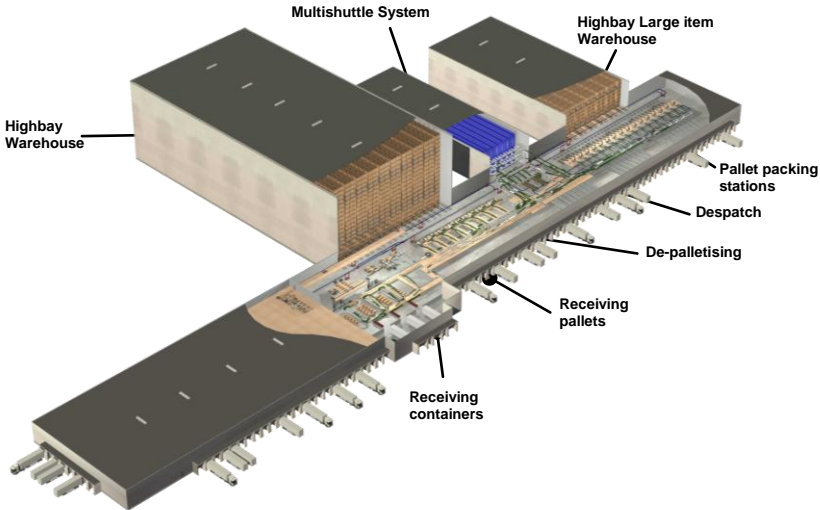


Fig. 1. Automated warehouse that includes most of the typical DC areas, fully connected by conveyors (Render of Dematic customer's site in Årslev, Denmark. *Courtesy of Dematic Ltd.*)

**3. Sorter study.** Together with technology development goes customer demand for new ways to utilize, save and speed up the process of distribution. Case and tote conveyors have characteristics of speed, great product variety and being lightweight in contrast to pallet conveyors. Case conveyors that Dematic utilizes in their projects are capable of more than 1000 cases/hour throughput at 1 m/s conveying speed but they still get bulky in terms of conveyor lines deployed. Typical, moderate to big size warehouse would have about 30 000 pallet storing locations in a highbay racking (let alone all the buffer being actually conveyed in the system) and about 800 meters of conveyors. One of the reasons warehouses spread out so widely is global logistics approach for centralized region Distribution Centres. Naturally they end up having extremely broad variety of products, creating enough challenges to engineering – and this is where the science of mechatronics steps in. The key assignment is to reduce load travel time and distance – the non-value adding activities – by suggesting innovative technology solutions.



There are many ways to do this, conveyor sortation systems being one of them. Figure 2 shows the principle.

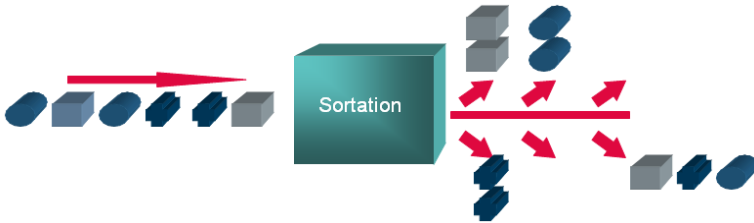


Fig. 2. Sortation. Items enter the process in a random order and are sorted according to the specified criteria.

Their function is to sort bulk products into individual orders, at rates of several hundred items per minute, thus eliminating footprint of conveyors, order picking stations and significantly reducing staff itself.



Fig. 3. Recirculating sorter platform

Dematic offers a fair variety of sorters in its range. So called *Recirculated Sorter Platform* includes horizontal and vertical **cross-belt** sorters and **tilt-tray** sorters (Figure 3). They can be applied for literally any kind of lightweight items: DVDs, books, totes, baggage, letters, trays etc. Dematic cross belt sorters operate up to 2.5 m/s speed in conjunction with a very high precision. They are designed for extremely high throughput values (up to 36 000 cells/hr). Tilt tray sorters are concave inwards for keeping heavy-duty (up to 75 kg) goods stable in extreme

conditions. Robustness is the key player here. Both recirculating sorters are driven by Linear Induction Motor with an integral air cooling system, each managed by frequency converter unit that regulates the motor speed. Feedback on velocity and position is managed by encoder – a series of photocells at a constant pitch mounted on the carriers.

Another technical solution for sortation is using **singulators**. Basically it is a manipulator converting a stream of disorganized items to one or more single-file streams as per Figure 4.

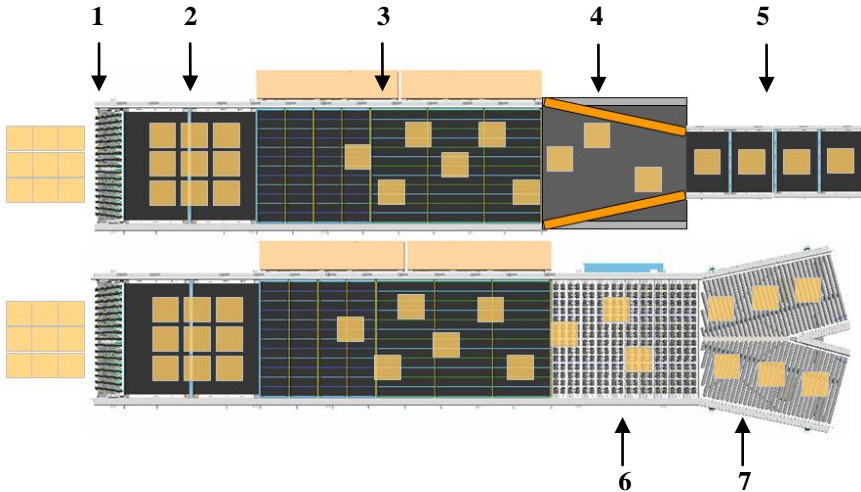


Fig. 4. Sorting with singulators. 1 – *Gapper*; 2 – *Transition belts* (Stabilizes the speed of incoming bulk goods); 3 – *Singulator beds* (Goods are extracted from the bulk through a matrix of belts independently driven by a servo motor); 4 – *Merge*; 5 – *Gapping unit*; 6 – *Flow splitter* (goods are diverted away from the singulator centreline); 7 – *Roller junction*.

Singulators have a key advantage of always providing continuous item flow. Footprint is absolutely minimal here. Drives are designed in a way to create virtually no vibrations during operation. Singulator top level architecture consists of 3 main parts:

- A distributed manipulation mechanics
- A real time vision system with associated set of sensors
- A motion controller

Singulator operation architecture is summarized in the Figure 5. Overhead cameras in conjunction with photo-eye sensors obtain the dimensions, location and orientation of parcels in real time. Motion control system consequently uses this data to manipulate the items and divert them to the right position.

Dematic is increasingly using Linear Induction Motor drives for their advanced sorters, completely eliminating AC motors/reducers, chains, sprockets, shafts and bearings and obviously oil greasing.

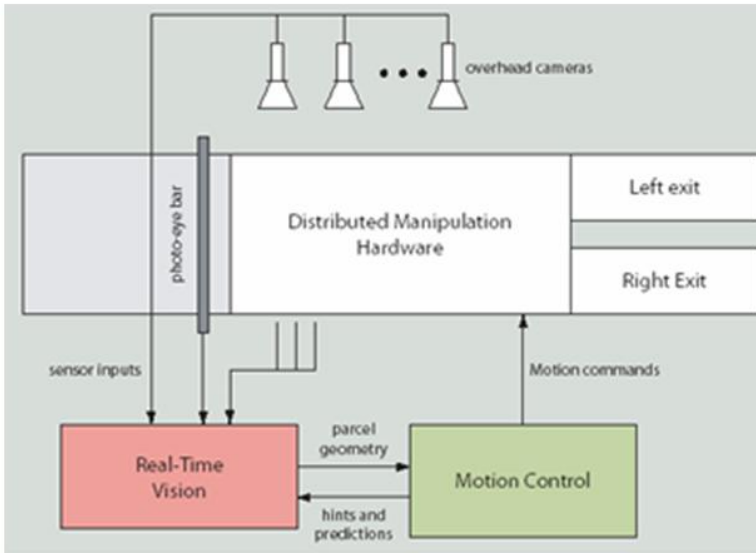


Fig. 5. Top level singulator architecture.

**Conclusions.** Sorter systems have a wide set of benefits over conventional conveyor systems. Their demand is likely to grow pulling the need for new technological solutions together. From engineering point of view they can not be treated as stand-alone units, therefore not only their design improvements are awaited but more importantly their interoperability with other in-line machinery from robotics field: stackers, tapers, layering robots etc. Integration and utilization of speed and throughputs in those machines, connected by conveyor and sorter lines, are the challenges of mechatronics within this industry.

## Literature

1. <http://www.mmh.com> – Modern Materials Handling B2B magazine, 2008.
2. <http://www.lida.lt/en/NewsDetails.html?sp=l45000000000000236>
3. Dematic Ltd. internal documents and product manuals

# PASSIVE GRAVITY STABILIZER MECHANISM WITH PIEZOELECTRIC DRIVE

**Artūras BAGAJEVAS**

Studies programme of Mechatronics, Kaunas University of Technology

**Habil. Dr. Algimantas BUBULIS,**

**Assoc. Prof. Dr. Inga SKIEDRAITĖ**

Kaunas University of Technology

**Introduction.** Space equipment very distinctly manifests its unique, compared to other analogous resources, possibilities to spread information to any point on Earth. Some aspects of human activity like transport, navigation, intercommunications and communications, meteorology and others are impossible to exist without the information provided by satellites. Through technical minimization, micro-satellites are currently of increasing interest. Their possibility as well as their scope of missions is growing steadily. Today, payloads with a mass of just a few kilograms are able to perform measurements that would have been unthinkable a few years ago. Small satellites are unusually low weights and small sizes, usually less than 500 kg. The rapid advancement of commercial and consumer micro-electronics, has catalyzed the use of smaller and more computationally capable satellites as a 'faster, cheaper, better' means of realizing space missions - complementary to conventional large satellite systems[1]. One reason for miniaturizing satellites is to reduce the cost: heavier satellites require larger rockets of greater cost to finance; smaller and lighter satellites require smaller and cheaper launch vehicles.

Contributing to lowering weight and the dimensions of separate part of the satellite was chosen the passive gravity stabilizer mechanism.

There are various ways of stabilization of satellite attitude in space which involves. The most common passive stabilization scheme requires a design that can cope with the power and temperature variations, and has to rely on omnidirectional communication antennas. Another way of passive stabilization is to use a gravity gradient boom or aerodynamic boom for satellites in a very low Earth orbit. The gravity gradient effect tends to align the spacecraft in the gravitational field along the major axis [2]. In other words passive stabilization involves deployment of gravity stabilizers for reason creating bigger moment of inertia of the satellite, minimizing its rotation and stabilizing its attitude in space.

**1. Prototype construction.** The prototype can be used as navigational equipment of the mini-satellite, for correction of location of flying object in space, to maintain the communication between flying objects and/or to maintain an automatic communication with earth operator.

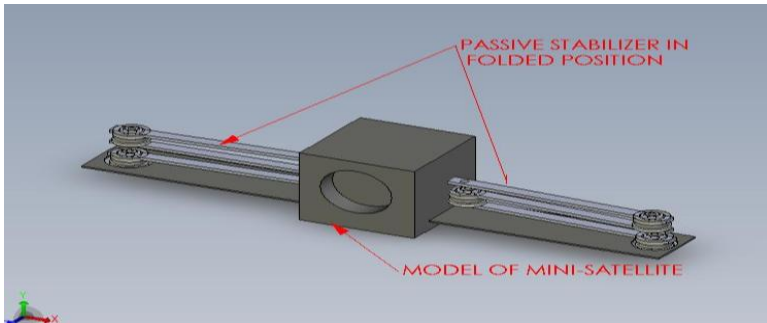


Fig.1 Representation of the prototype of passive gravity stabilizer in fully folded position.

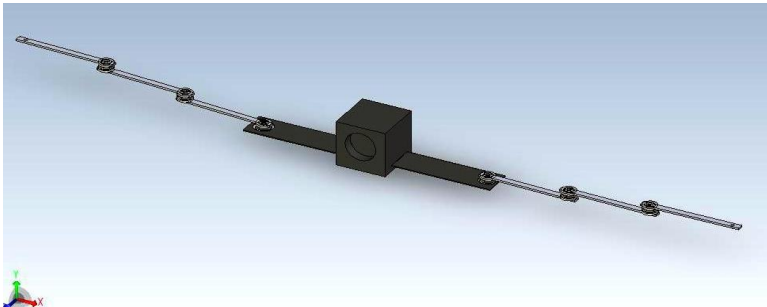


Fig.2 Representation of the prototype of passive gravity stabilizer in fully deployed position

The prototype construction of passive gravity stabilizer mechanism consist of minimum three spring steel concave shape strips which are rigidly attached to cone shape steel rotors through joints. On the ends of every spring steel strip piezoelectric ring with electrodes are attached which referred to be a stator of piezoelectric drive. The cone shape steel rotor with rigidly joined spring steel strip on it is placed to the stator and from bottom surface of spring steel strip member are joined with permanent magnet. One and of construction is attached to the surface of satellite also with permanent magnet. In this form the member of construction are joined and forms a stairway shape of prototype construction.

**2. Working principle.** The working principle of the prototype construction of the passive gravity stabilizer is based on inverse piezoelectric effect [2]. The surfaces of stator is divided and connected with electrodes in such manner that applying the AC current and reaching the resonant frequency trough the electrodes the traveling wave mechanical deformation appears on the surface of piezoelectric ring [3]. This type of mechanical deformation rotates the cone shape

steel rotor. In such rotating fashion the members of antenna deploys in all length. The friction between stator and rotor serves as the mean of transfer rotational motion and as self lock mechanism when, construction is in steady state [4].

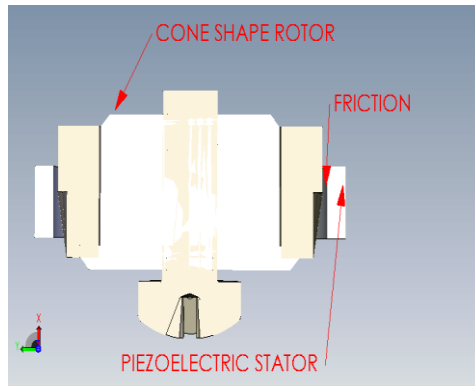


Fig.3 Representation of the prototype piezoelectric motor of passive gravity stabilizer.

### ***Conclusion***

1. The prototype construction of passive gravity stabilizer was constructed and based on working principle of the piezoelectric drive.
2. The passive gravity stabilizer deploys in rotational motion when all members of construction has the piezoelectric drives which works on the principle of traveling wave deformations of piezoelectric material.
3. Friction between the stator and rotor is necessary condition for transmitting rotational motion from stator to rotor.
4. Concave shape spring steel strips are members of passive gravity stabilizer which are attached rigidly to cone shape rotor. Due to their concave shape, concave shape spring steel strips can sustain huge weight as compared to their own weight.

### **References**

1. **Nikolova I.** Micro-Satellites advantages. Probability and return: Scientific Conference “SPACE, ECOLOGY, SAFETY” with International Participation, 10–13 June 2005, Varna, Book 1. 247p
2. **Isermann Rolf.** 2005 Mechatronic systems. London: 624 p.
3. **Spanner K.** 2006 Survey of various operating principles of ultrasonic piezomotors, White Paper for actuators 2006, Germany: 8p
4. **Edward H. Smith.** Mechanical Engineering Twelfth Edition: London:1994. 1194p

## **Summary**

The prototype construction of passive gravity stabilizer contains piezoelectric drive which lets to minimize the dimensions and lower the weight of construction, due to its efficiency. The prototype construction contains three members of spring steel strips of concave shape which are linked with each other and between them the piezoelectric drive exists. The drive consists of piezoelectric ring stator and cone shape steel rotor. Due to traveling wave deformations of piezoelectric material and the friction between stator and rotor rotational motion of members of construction appears.

# VEHICLES ADAPTIVE MECHATRONICS SYSTEMS: STATE AND PERSPECTIVES

**Tatsiana VERKHOVA**

Faculty of the Information Technologies and Robotics, BNTU, Belarus  
**Assoc. Prof. Yulij SLABKO, Prof. Reshat FOUROUNJIEV**  
Belarusian National Technical University, Belarus

***Mechatronics*** (or Mechanical and Electronics Engineering) is a field of a science and the engineering, devoted to creating and exploitation of ambulances and systems with computer controlled driving, which is based on knowledge in the field of mechanics, electronics and microprocessor technicians, informatics and computer controlled driving of ambulances and assemblies. The objects of mechatronics are vehicles and assemblies with computer controlled functional and technological movements. An instance of mechatronics systems are the vehicles equipped by the active safety systems, automatic gear boxes, drives with computer control, etc (Fig.1).

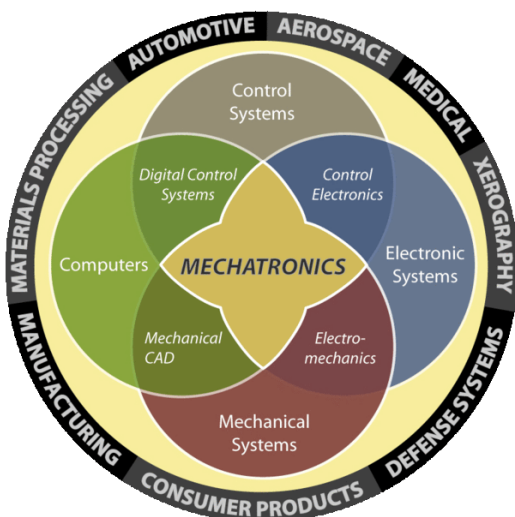


Fig.1

An experience of leading car building corporations shows: vehicles control systems explicate, in general, in one direction - aside the increasing of their adaptability, i.e. capacity to change the dynamic properties depending on control actions of the driver and road conditions. For the account of diversification of characteristics of control actions of the driver, environment and gears of the



vehicles began to be established intellectual control systems of various gears and inter-systems of the car - the drive, shafting, brakes, a suspension, a rudder control.

Instance is the system (pat. 5682868, the USA), intended for the control of engine of corporation "General Motors". Its central processor unit processes intelligence signals from following sensor units: quantity (mass flow) of air, position of the throttle valve, temperature in the barrel, oxygen contents in exhaust gases and rules position of the crankshaft. Basic control algorithms are recorded in the systems of memory and in the processor. The decision-maker with the algorithms of fuzzy logic included provides a control signal which adjusts the basic program which controls an electronic control unit steering a spray jet.

Other instance is the adaptive system of corporation "Toyota" (pat. 7110702, Japan). Here cues of sensor units of process of mixing and the sensor unit of sixth position of the throttle pedal through the information-measuring block arrive on an inlet of the control unit in which production rules are programmed. The control unit puts out a control signal completed by a drive of an air throttle. Production rules of the control unit feature a qualitative and quantitative state of process of mixing and use such linguistic variables as "very poor", "poor", "rich", "over-rich" admixture, etc. When there is a variation of characteristics of mixing gears the rules adapt control signals for new conditions. When the driver performs any action or does variation of an exterior situation the computer identifies a situation, analyses it, makes the prognosis and samples that version of joint interacting of all systems which optimizes energy consumptions and reduces surges of harmful substances.

The adaptive control systems of brakes which are ensuring the safety of driving of the car in dangerous and extreme situations have been first applied abroad and now have received the wide circulation. So, one of the systems of the emergency inhibition of the car, sensor units of which discover potentially dangerous object, obtain distance to it and relative velocity of coming together with. The processor with the processing logics of the acted information included gives an applicable cue about necessity of emergency braking to the driver. The driver may cancel the yielded solution of system or even anticipate, having pushed the brake pedal. But if he will not make it, the brake system operates automatically from a pilot signal of a computer. And in many events it is more exact, than if made by the driver. That's all because the system uses such informational variables, as concrete value of a friction coefficient of tires with a road surface, natural rate of car, total response time of brakes, i.e. that the driver can allow only approximately.

For providing of safe driving of cars in a column there is a system recognizing cues, transmitted by the leading vehicle. It takes indispensable solution on provision of inhibition of conducted vehicles in case of emergency braking of the leader-vehicle.

The adaptive systems are applied to a rudder control. At rotational displacement of a steering wheel the sensor unit built-in in a guide post, transmits information about the angle of this rotational displacement on the control unit. The latter makes an applicable control signal for the electromotor which is giving effect to a gear set which carries out an angular motion of a controlled wheel through system of tractions and rotating joints. To make one turn angle matched to other, gains on a steering wheel proportional to resistance and tempo of its variation, the control unit collects the information on actual parameters of rotational displacement of a controlled wheel. As a result the control unit, having treated the information, provides control signals for the electromotor which is giving effect to the steering gear. So that the feedback between rotational displacements of controlled wheels and actions of the driver is ensured.

Separate problems of the theory and practice of adaptive mechatronics systems of transportation facilities are discovered in activities [1-13].

## Literature

1. **Patent BY №1408.** Antilocking Brake System of a Vehicle / R. Fourounjiev, V.Kim., 1993.
2. **Patent BY 3160.** Regulator of Fourounjiev / R. Fourounjiev. 1996.
3. **Patent RU 2153697.** Method and a Regulator for Control of Systems / R. Fourounjiev. Заявл. 4/24/1997.
4. **Patent BY 5182.** Method of Fourounjiev of Vehicles Movement Control / R. Fourounjiev. 1999.
5. **Fourounjiev R., Homich A.L.** Method, Algorithms and Programs of Control of Movement in Systems of Mobile Machines. Materials of the International Scientific Conference «Mechanics of Machines on a Threshold of III Decade». - Minsk.: «Belautotractorostroenie», 2001. pp.282-291.
6. **Revin A.A.** Theory of Operational Properties of Cars and Vehicles with ABS in a Mode of Braking: Monograph / Volgograd, STU. - Volgograd, 2002. - p.372. - ISBN 5-230-040-4-0.
7. **Fourounjiev R.** New Methods of Adaptive Control of Properties of Movement of Mobile mMachines. Works of the International Conference "Problems of Control and the Appendix (Technical Equipment, Manufacture, Economy)". Minsk, May, 2005.
8. **Fourounjieva E.R., Fourounjiev R.I.** Algorithm of the Intellectual Control, Combining Accuracy and Speed. Works of the International Conference "Problems of Control and the Appendix (Technical Equipment, Manufacture, Economy)". Minsk, May, 2005.
9. **Fourounjiev R.** Traffic Active Safety System of Mobile Machines / Science works MAIT «Problems of Creation of Information Technologies». Edit. 14. - M.: Open Company "Techpoligraphcenter." 2006. pp.177-190.

10. **Slabko Y., Fourounjiev R.** Intellectual ASS: Condition and Prospects. « Science - to Education, Manufacture, Economy ». Trans. of the 5th International Scientific Conferences in 2 parts. Part 1. - Minsk, 2007. - pp. 165-168.
11. **Pat. USA 4,794,538 Dec.27, 1988.** Cao et al. Method to Control the Operation of Wheels of a Vehicle to Prevent Slipping or Skidding, and Brake Locking.
12. **Pat. USA 5,135,290 Aug.4, 1992 and DE-OS 35 35 843.** Cao Chi-Thuan, An Automatic Control System for Antilocking and Antiskid Applications.
13. **Fourounjiev R., Slabko Y.** New Conception and Method of Identification and Control of the Intelligent Vehicle Safety Systems. Trans. of 6th International conference Vibroengineering-2006, Kaunas University of Technology, Lithuania, Technologija, 2006, pp.173-178. - ISSN 1822-8283.
14. **Fourounjiev R., Slabko Y.** Computer-aided Modeling of the Adaptive Intelligent Vehicle Safety Systems. Trans. of 3rd International Conference « Mechatronic Systems and Materials (MSM-2007) ». Kaunas, 27-29 september 2007, Kaunas, Lithuania. pp.139-140. - ISSN--1822-8283.

# PLOKŠČIŲ PADENGIMO KONSERVANTU ĮRANGOS PATOBULINIMAS

**Paulius MASKELIŪNAS**

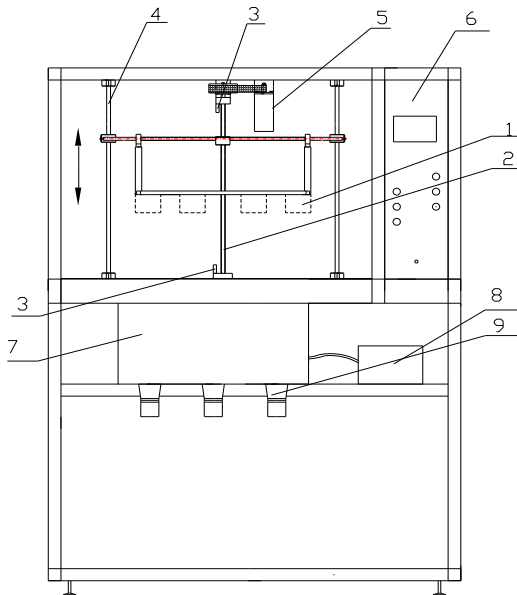
Mechatronikos studijų programa, Kauno technologijos universitetas

**Dr. Vytautas JŪRĖNAS**

Kauno technologijos universitetas

**Darbo tikslas.** Atlikti spausdintinio montažo plokščių (angl. PCB-Printed Circuit Board) padengimo konservantu įrangos patobulinimą, panaudojant ultragarsinius vykdiklius.

**Projektinė dalis.** PCB reikia padengti konservantu norint apsaugoti jas nuo aplinkos poveikio ir padidinti sumontuotų ant PCB elektroninių elementų atsparumą mechaniniam virpesiam ir smūgiams. Padengti konservantu galima keliais būdais: PCB padengimas merkiant; PCB padengimas srove; PCB padengimas sukant; PCB padengimas naudojant ritinėlius (tiesioginis ir atvirkštinis).[1]



1 pav. Įrenginio principinė schema: 1-PCB, 2-sraigtas, 3- induktyviniai jutikliai, 4- kreipiančioji, 5- variklis, 6- valdymo blokas, 7-vonia, 8- siurblys, 9- ultragarsinis vykdiklis.

Buvo pasirinktas padengimas merkiant. Šis būdas lyginant su kitais turi tokius privalumus:

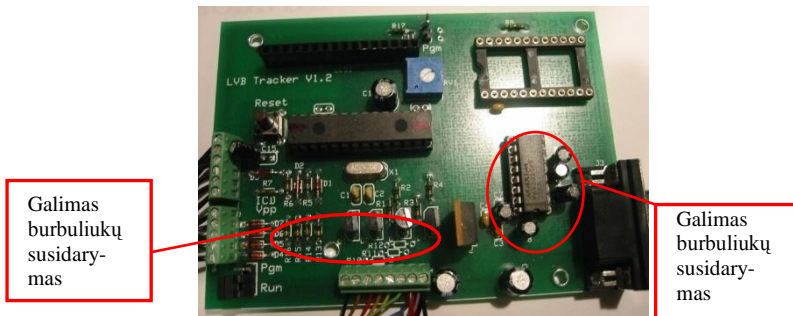
1. Nesudėtinga įrengimo konstrukcija;
2. Procesas lengvai automatizuojamas;
3. Nereikalauja ypatingų darbo sąlygų.

Mano konstruojamame įrengime PCB pamerkimui į konservantą ir ištraukimui iš jo naudojama sraigtinė pavarą. Paleidus variklį judesys yra perduodamas sraigčiai, prie kurios yra pritvirtintas skersinis plokštės kabinti. Įrengime naudojamas peristaltinis siurblys konservanto pastoviam lygiui palaikyti. Įrenginys pavaizduotas principinėje schemeje (1 pav.).

PCB pamerkimo į konservantą ir ištraukimo iš jo pavaros darbo principas sekantis. Įjungus valdymo bloką 6, signalas perduodamas varikliui 5, kuris suka sraigę 2. Prie sraigto veržlės yra pritvirtintas skersinis ant kurio kabinamos plokštės 1. Šiame įrengime yra sumontuoti du induktyviniai jutikliai 3. Viršutinis jutiklis nustato darbinį nulį (tai pradinė padėtis, nuo kurios pradeda leisti skersinis), apatinis- fiksuoja ar plokštės nenusileidžia per žemai. Pasiekus šią padėtį jutiklis siunčia signalą į valdymo bloką, kuris automatiškai sustabdo variklį.

Siurblys 8 naudojamas cirkuliacijai ir vienodam konservanto lygiui palaikyti. Ultragariniai vykdikliai 9 naudojami konservanto maišymui.

Suprojektuotas įrenginys yra patobulinimas. Merkiant PCB į konservantą, šalia sumontuotų komponentų gali susidaryti oro kišenės (2 pav.) ir ta vieta gali likti nepasidengusi konservantu (Nardinant plokštę statmenai žemyn, apačioje komponentų, pvz. varžos, gali susidaryt oro kišenės). Norint išvengti šios problemos, yra projektuojamas ultragarinis vykdiklis, kuris užtikrins konservanto maišymą ir tuo pačiu visi paviršiai bus tolygiai padengiami konservantu.



2 pav. Galimos oro kišenių susidarymo vietos PCB

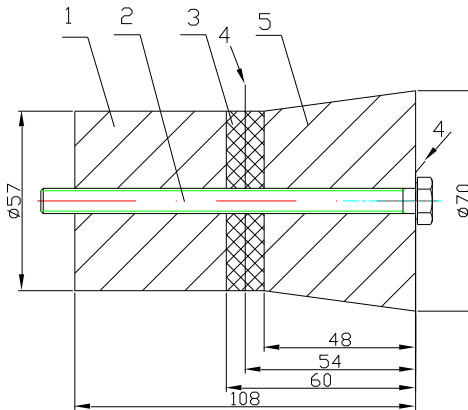
Pirmą tokio įtaiso projektavimo etapą galima suskirstyti į keletą žingsnių. Pirmasis – medžiagos parinkimas.

Vykdiklio medžiagų parinkimas susideda iš 3 etapų:

1. pjezoelektrinės pavaros medžiaga,

2. priekinių ir galinių cilindrinė dalių medžiagos,
3. varžto parinkimas.

Sekantis žingsnis – žadinimo dažnio parinkimas. Vykdiklio matmenys apskaičiuojami naudojant firmos „MorganElectroceramics“ [2] pateikiama skaičiavimo metodologija.



3 pav. suprojektuotas ultragarsinis vykdiklis: 1- galinė dalis, 2- varžtas, 3- pjezokeramikos žiedas, 4- elektrodai, 5- priekinė dalis.

Sukonstruoto ultragarsono virpesių vykdiklio konstrukcijai patikrinti ir svarbiausių parametru teorinėms reikšmėms nustatyti buvo atlikta jo analizė baigtinių elementų metodu (BEM). Tam buvo naudojama kompiuterinė modeliavimo ir analizės sistema „ANSYS“.[3]

Suprojektuotas ultragarsonis vykdiklis montuojamas prie vonios dugno. Dėl didelio vonios tūrio ( $V=36$  l), sumontuojami 3 ultragarsoniai vykdikliai. Ultragarsono vykdiklio darbinis dažnis  $f=18$  kHz; maksimali maitinimo galia – 400W; vykdiklio masė  $m=1.5$  kg. Valdymui naudojamas trijų modulių firmos „Weber ultrasonics“[4] WU 600 generatorius. Generatoriaus charakteristikos: pastovus galios išėjimas- skaitmeniniu būdu reguliuojamas; aukštas darbo našumas; kiekvienas modulis turi atskirą valdymą.

### ***Išvados.***

1. Parinktos ir apskaičiuotos PCB padengimo konservantu įrenginio pavaros.
2. Sukurta automatizuoto įrenginio konstrukcija ir sudarytas jo automatizuoto valdymo algoritmas.
3. Sukurtos PCB padengimo konservantu įrenginio pavarų automatizuoto valdymo schemas.
4. Suprojektuotas ultragarsonis vykdiklis PCB padengimo efektyvumui padidinti.

5. Suprojektuoto ultragarsinio virpesių vykdiklio konstrukcijai patikrinti ir svarbiausių parametų projektinėms reikšmėms nustatyti buvo atlikti skaičiavimai analitiniais ir baigtinių elementų metodais (programa „ANSYS“).

### **Literatūra**

1. <http://www.etfinacial.com/coatingsequip.htm>
2. [www.morganelectroceramics.com](http://www.morganelectroceramics.com)
3. **David Johnson**, Dharmendra Pal. Simulation of an ultrasonic piezoelectric transducer. <<http://imaokas.com/ansys/>>.
4. [www.weber-ultrasonics.de](http://www.weber-ultrasonics.de)

# AEROSTATIC SPHERICAL BEARINGS HIGH PRECISION SPINDLE DYNAMICS

**E.A KOROVAITSEVA**

Bauman Moscow Technical University, Russia

**Prof. Alexander GOUSKOV**

Bauman Moscow Technical University, Russia

**Abstract.** Distribution of air pressure in the gap of aerostatic spherical bearings is studied. Power, stiffness and frequency characteristics of a precision spindle are obtained. The dependence of the characteristics on geometrics of the spindle is investigated.

**Test subject.** The bearings greased by air or other gas, give the technical decision possessing significant advantages over usual friction or frictionless bearings. For instance, friction is much less in the bearings greased by air. Deterioration of the bearings greased by gas is also less than the one of the liquid friction bearings, therefore their tenure of employment increases. They work reliably in the big range of temperatures, in conditions of raised radiation, both on insignificant and on greater speeds. Owing to the listed advantages such bearings are applied in electromotor, tools for finishing operations, turbo-compressors, devices and installations of the nuclear industry, precision devices. In the given work dynamics of a precision spindle on aerostatic spherical bearings is investigated.

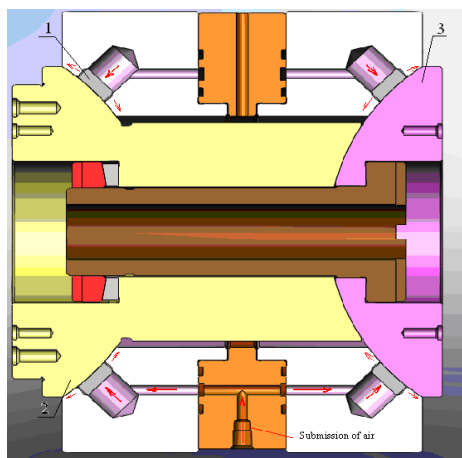


Fig. 1. The section of a spindle unit.1-graphite insert; 2-spherical part of a spindle (forward sphere); 3-back sphere.



Aerostatic spherical bearings keep a spindle on an air layer. Air moves from the compressor to the entrance to the rings under pressure in 0.5 MPa (~ 5 atm.). On an output after graphite inserts pressure decreases, since inserts possess some resistance. The nominal gap on spherical surfaces is equal to  $h_0 = 10 \cdot 10^{-6} \text{ m} = 10 \text{ mcm}$ . The rotor of the asynchronous engine with adjustable number of turns (up to 5000 rpm) is connected to a spindle. All spindle unit is manufactured with high accuracy. The machine is intended for processing precision surfaces by means of turning with diamond cutters.

In the represented work the rotor of a spindle is considered as a firm body with six degrees of freedom. The vibrations are considered small, but nonlinearity of pressure in a gap of the spherical bearing is taken into account. All surfaces are considered ideal spheres.

**The equations of dynamics of a spindle.** The design model of a spindle (for reasons of symmetry only left part is shown) has the following appearance:

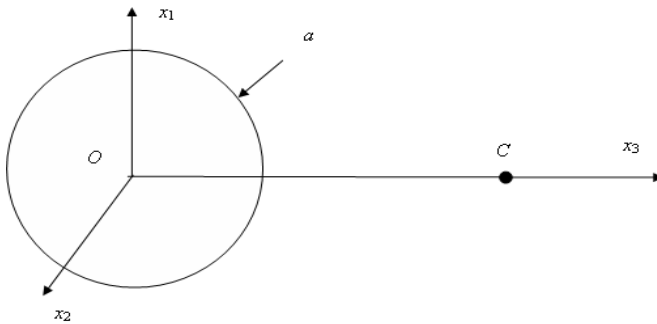


Fig.2. Principal Sphere

For calculation of projections of the main vector of forces of pressure on the left support on the axis of the Cartesian system of coordinates it is necessary to do following integration (1) on a surface of motionless sphere:

$$\begin{aligned}
 P_{11} &= - \int_0^{2\pi} d j \int_{J_1}^{J_2} p_l(h) \sin J \cos j \, d J \\
 P_{12} &= - \int_0^{2\pi} d j \int_{J_1}^{J_2} p_l(h) \sin J \sin j \, d J \\
 P_{13} &= - \int_0^{2\pi} d j \int_{J_1}^{J_2} p_l(h) \cos J \, d J
 \end{aligned} \tag{1}$$

Here  $J$  is polar distance from a pole on the axis  $x_3$ ;  $j$  is longitude counted from the axis  $x_1$ ;  $p_l(h)$  is the function of distribution of pressures on the left bearing depending on dimensionless value of a gap on a surface of sphere  $h = h/h_0$ ;  $h_0$  is a nominal gap. We have similar formulas for the right bearing. Expression for the main moment of forces of pressure on the left bearing looks like

$$L_{lc} = l \int_0^{2\pi} \int_{J_1}^{J_2} p_l(h) (-\mathbf{i}_1 \sin J \sin j + \mathbf{i}_2 \sin J \cos j) dJ \quad (2)$$

Where  $\mathbf{i}_1, \mathbf{i}_2$  are the orts of the Cartesian coordinates system. In projections to axes of the Cartesian system of coordinates we receive the following components

$$L_{lc1} = P_{l2} l, \quad L_{lc2} = -P_{l1} l, \quad L_{lc3} = 0 \quad (3)$$

Conducting similar calculations for the right bearing, we receive

$$L_{rc1} = -P_{r2} l, \quad L_{rc2} = P_{r1} l, \quad L_{rc3} = 0 \quad (4)$$

For the description of dynamics of a spindle we use Euler's equations in projections to axes of the Cartesian system of coordinates:

$$\begin{aligned} M \ddot{\alpha}_{c1} &= P_{l1} + P_{r1} \\ M \ddot{\alpha}_{c2} &= P_{l2} + P_{r2} \\ M \ddot{\alpha}_{c3} &= P_{l3} + P_{r3} \\ J_1 \ddot{q}_1 + J_3 \omega_0 \dot{q}_2 &= L_{cr1} + L_{cl1} \\ J_2 \ddot{q}_2 - J_3 \omega_0 \dot{q}_1 &= L_{cr2} + L_{cl2} \end{aligned} \quad (5)$$

Here  $M$  is the weight of a spindle;  $K_{c1}, K_{c2}$  - projections of the kinetic moment of a spindle to axis  $x_1, x_2$  accordingly,  $J_1, J_2, J_3$  - the moments of inertia of a spindle relative to the axis  $x_1, x_2, x_3$  accordingly,  $\omega_0$  - angular velocity of rotation of a spindle round the axis,  $q_1, q_2$  - small rotation angles relative to the axis  $x_1, x_2$ .

**Determination of the function of pressure in the gap.** When investigating the distribution of air pressure in the gap we substitute 18 located in regular intervals on a spherical surface inserts for one circular insert so that the area of its section is equal to the sum of the areas of sections of 18 inserts.

In the spherical system of coordinates the equation for distribution of pressure looks like [1]:

$$\frac{\partial}{\partial q} \left( h^3 \sin q \frac{\partial h}{\partial q} \right) + \frac{1}{\sin q} \times \frac{\partial}{\partial j} \left( h^3 \frac{\partial h}{\partial j} \right) = - a^2 K^2 \sin q (h_a - h) \quad (6)$$

Here  $h = p^{1+\frac{1}{\kappa}}$ ,  $h_a = p_a^{1+\frac{1}{\kappa}}$ ,  $p$  is pressure in a gap,  $p_a$  - delivery pressure,  $\kappa$  - polytropic coefficient, for isothermal process  $\kappa = 1$ ;  $K^2 = \frac{12 \times k p}{d}$ ,  $\delta$ - thickness of a graphite insert,  $k_p$  - permeability index of graphite,  $k_p = 1.4 \times 10^{-14} \text{ i}^2$ . Substituting

$$x = \ln \frac{\sin(q/2)}{q} \quad (7)$$

the equation (6) is led to

$$\frac{\partial}{\partial x} \left( h^3 \frac{\partial h}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial j} \left( h^3 \frac{\partial h}{\partial j} \right) = - a^2 K^2 (h_a - h) \quad (8)$$

or in the invariant form

$$\text{div}(h^3 \text{grad } h) = - a^2 K^2 (h_a - h) \quad (9)$$

We accept the following boundary conditions: 1) on an output from the gap air pressure is equal to atmospheric; 2) at transition through border  $j = 0$  ( $j = 2p$ ) there is no pressure difference. That is:

$$\begin{aligned} x_1 = - 1.1548 \check{Z} \quad p = 0.1 \text{ MPa}, \quad x_2 = - 0.6543 \check{Z} \quad p = 0.1 \text{ MPa} \\ j = 0 \check{Z} \quad \frac{\partial p}{\partial j} = 0, \quad j = 2p \check{Z} \quad \frac{\partial p}{\partial j} = 0 \end{aligned} \quad (10)$$

The solution of the equation (9) with boundary conditions (10) is carried out in *Matlab2007* by means of finite element method.

Examples of three-dimensional diagrams of distribution of pressure (dimension-MPa): 1) At axial movement  $u_3=0$ .

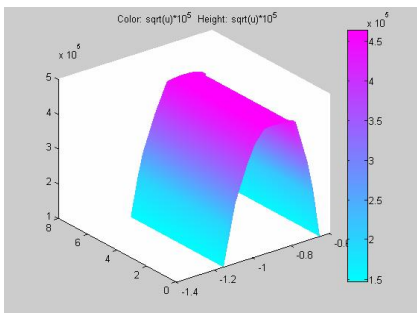


Fig.3. Air pressure distribution for the left support

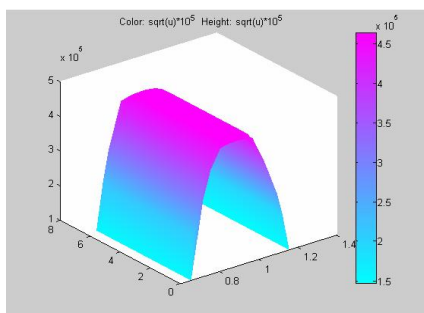


Fig.4. Air pressure distribution for the right support

2) At axial displacement  $u_3=12.2 \mu\text{m}$  (the upper bound of the displacement)

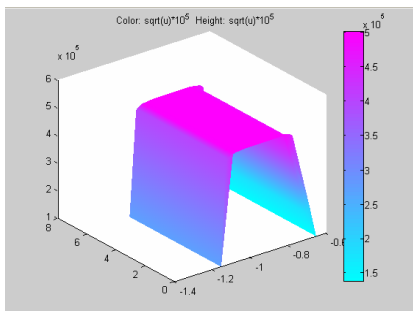


Fig.5. Air pressure distribution for the left support

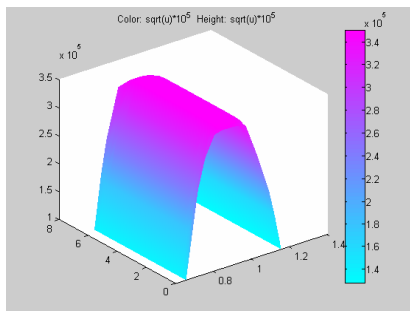


Fig.6. Air pressure distribution for the right support

**Force characteristic definition.** Integration (1) allows to define the axial force  $F_{\text{ext}}$  working on a spindle from the direction of the bearings for each value of axial movement. As a result we have the following power characteristic of a spindle.

When the value of axial movement increases, the value of the gap on one of the hemispheres also increases, while on the other one it decreases. When the axial movement reaches the value of  $10.98 \mu\text{m}$ , pressure on one of the hemispheres begins to grow rapidly because of too small gap. So the axial force

working on the spindle from the direction of the bearings also begins to grow more rapidly. Then we have a bend on the power characteristic.

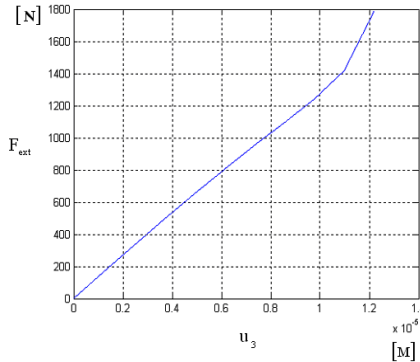


Fig.7. Force characteristic

**Definition of stiff and frequency characteristics.** The diagrams below are obtained at the following values of geometrical parameters of a spindle unit: the distance between the centers of the hemispheres \$S=304\$ mm, radiuses of spheres \$a=110\$ mm, nominal gap on spherical surfaces \$h\_0=10\$ \$\mu\$m.

The axial force of cutting works on the spindle. The equations (5) are written down in the vector-matrix form:

$$\mathbf{M}\ddot{\mathbf{q}} + \mathbf{B}\dot{\mathbf{q}} = -\mathbf{F} + \mathbf{F}_{ext}, \tag{11}$$

where

$$\mathbf{M} = \begin{matrix} \begin{matrix} \ddot{q}_n \\ \ddot{z} \\ \ddot{z}_0 \\ \ddot{z} \\ \ddot{z}_0 \\ \ddot{z} \\ \ddot{z}_0 \\ \ddot{z} \\ \ddot{z}_0 \\ \ddot{c} \end{matrix} & \begin{matrix} 0 & 0 & 0 & 0 \\ m & 0 & 0 & 0 \\ 0 & m & 0 & 0 \\ 0 & 0 & J_1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & J_2 \end{matrix} & \begin{matrix} \ddot{q}_1 \\ \ddot{q}_2 \\ \ddot{q}_3 \\ \ddot{q}_4 \\ \ddot{q}_5 \\ \ddot{q}_6 \\ \ddot{q}_7 \\ \ddot{q}_8 \\ \ddot{q}_9 \\ \ddot{q}_{10} \end{matrix} \end{matrix} \quad \mathbf{B} = \begin{matrix} \begin{matrix} \dot{q}_1 \\ \dot{z} \\ \dot{z}_0 \\ \dot{z} \\ \dot{z}_0 \\ \dot{z} \\ \dot{z}_0 \\ \dot{z} \\ \dot{z}_0 \\ \dot{c} \end{matrix} & \begin{matrix} 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & J_3 \omega_0 \\ 0 & 0 & 0 & -J_3 \omega_0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \end{matrix} & \begin{matrix} \dot{q}_2 \\ \dot{q}_3 \\ \dot{q}_4 \\ \dot{q}_5 \\ \dot{q}_6 \\ \dot{q}_7 \\ \dot{q}_8 \\ \dot{q}_9 \\ \dot{q}_{10} \end{matrix} \end{matrix}$$

Vector of the generalized coordinates \$\mathbf{q} = \{u\_{c1} \ u\_{c2} \ u\_{c3} \ q\_1 \ q\_2\}^T\$, vector of the generalized forces \$\mathbf{F} = \{F\_1 \ F\_2 \ F\_3 \ L\_1 \ L\_2\}^T\$, vector of the external forces \$\mathbf{F}\_{ext} = \{0 \ 0 \ F\_{ext} \ 0 \ 0\}^T\$. For the investigation of small vibrations of a spindle round

balanced rotation we vary the vector of the generalized movements. The tangent stiffness matrix is defined as  $\mathbf{K} = \mathbf{q}^T \mathbf{F} / \mathbf{q}$ . We represent the decision in the form of  $d\mathbf{q} = \mathbf{v}e^{pt}$ . Then the equation (11) will become

$$(\mathbf{M}p^2 + \mathbf{B}p + \mathbf{K})\mathbf{v} = 0. \quad (12)$$

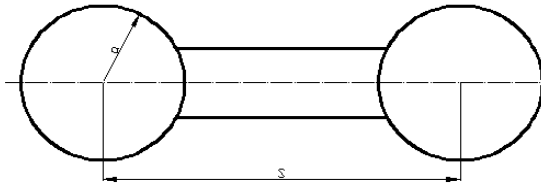


Fig. 8. Spindle geometry.

The stiffness's of the system are defined as follows: 1) radial  $k_{11} = \mathbf{q}^T F_1 / \mathbf{q} u_{c1}$  (Fig. 9), 2) axial  $k_{33} = \mathbf{q}^T F_3 / \mathbf{q} u_{c3}$  (Fig. 10), 3) angular  $k_{44} = \mathbf{q}^T L_1 / \mathbf{q} q_1$  (Fig. 11)

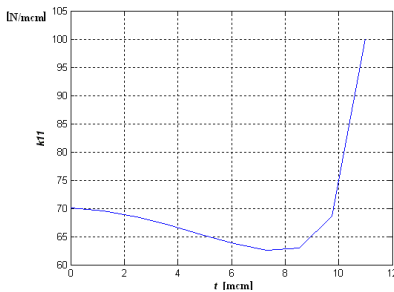


Fig.9. Radial stiffness characteristic

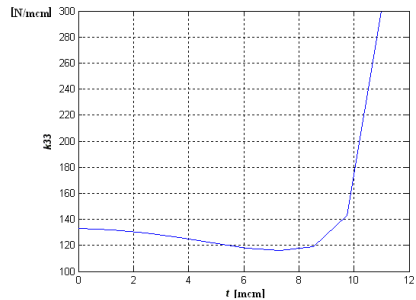


Fig.10. Axial stiffness characteristic

Solving for various values of frequency of rotation of a rotor the characteristic equation following from (12)

$$\det(\mathbf{M}p^2 + \mathbf{B}p + \mathbf{K}) = 0,$$

We receive the following dependences of intrinsic frequencies of a spindle on frequency of rotation of a rotor for value of axial movement  $u_{\bar{N}3} = 1 \cdot 10^{-7} m$ .

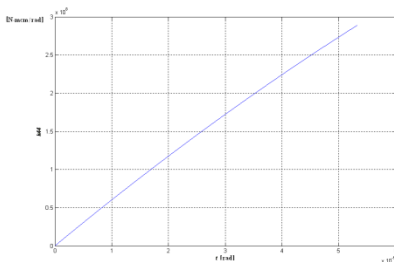


Fig.11. Angular stiffness characteristic

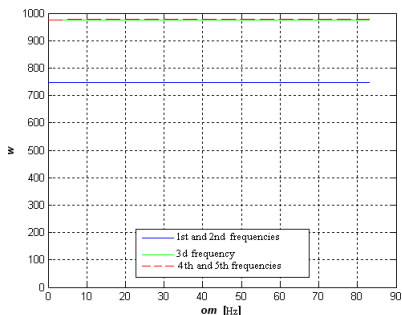


Fig.12. Frequency characteristic

The received relations allow considering the behaviour of power, stiffness and frequency characteristics at changing the distance between the centers of the hemispheres for various values of radius of hemispheres and nominal gap on the hemispheres.

**Conclusions.** The results obtained allow to draw the following conclusions:

- The intrinsic frequencies vary insignificantly in a range of frequencies of rotation of a rotor from 0 to 5000 rpm
- Changing of the distance between the centers of the hemispheres does not influence significantly power, stiffness and frequency characteristics of system С увеличением радиуса полусфер жесткости и собственные частоты колебаний системы возрастают
- When increasing the radius of hemispheres stiffness's and intrinsic frequencies of the system increase
- Changing of the value of the nominal gap changes the character of stiffness characteristics (for radial and axial stiffness's), frequencies are maximal at  $h=20 \mu\text{m}$  and minimal at  $h=30 \mu\text{m}$ . Nonlinear dependence of characteristics of the system on a nominal gap is possible.

**Acknowledgments.** The Work was supported by the grants of RFBR 07-08-00253-a and 07-08-00592-a, the grant of the Ministry of Education and Sciences of Russia and CRDF REC 1-018-MO-07

## Reference

1. **Konstantinescu V.N.** Gas grease M. – Mashinostroenie, 1968. 718p.

# THE DESIGN OF A THREE DEGREE OF FREEDOM HUMAN BODY AND VESTIBULAR APARATUS TRAINER

**Mindaugas TUMAITIS**

Studies programme of Applied mechanics, Kaunas University of Technology

**Prof. Dr. Alvydas KONDRATAS**

Kaunas University of Technology

**Introduction.** The aim was to design a trainer that would work under the action of the force of gravity. Since the device is of moderate dimensions standard LST EN 1176 comprising safety requirements for playground equipment was chosen as the one most accurately suiting the device's application. Mentionable possible application of the device are: training your balance, training your orientation in space, amusement device in fairs, you can even have one in your back yard for the children to enjoy. The design process was started having in mind that alternatives are very expensive while the manufacture process and materials required are relatively cheap.

**1. Working principle.** The working principle of the device makes use of the force of gravity and the location of the mass center of the person riding the device and the mass center of the device itself. It should be aimed that the device's mass center be the center of the rotating rings. In this case the only factor influencing the rotating motion would be the relative movement of the person riding the device. The device consists of three rings joined in a way that their axes of rotation are perpendicular to the ring next to it. (Fig. 1)

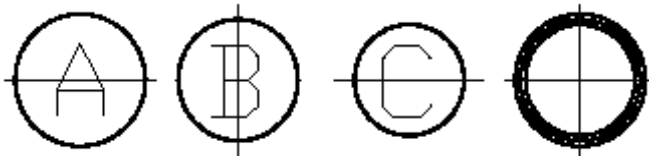


Fig.1 three rings – three degrees of freedom

Advantages of presented prototype design compared to serial SCARA robots are simple design, inexpensive constructional elements, inexpensive and simple control elements, simple control.

**2. Technical requirements.** Requirements for the device cover five aspects that is the holding frame, hand grips, standing base and feet grips, supporting rim and the rings themselves. Generally the frame should be strong enough to withstand the exerted loads on it, the handle bars and feet grips should not be



slippery, the feet grips should be comfortable the supporting rim should be easy to enter and comfortable as well, the three rings should be strong enough as not to receive any plastic deformations. In addition it is aimed that the whole system be adjustable for different people meaning for people of various heights and weights (adults and children).

**3. Calculations.** The whole problem of the design is the calculation of occurring stresses in the device and the selection of materials and joints for all of its components. Profiles of steel grade S235JR were chosen for both the frame and the rings. Rectangular tubes for the frame and pipes for the rings. Calculations for material selection are based on classic material science formulas taking into account profiles' principal moduli and comparing the allowable stress with the exerted stress on the device in operation. Safety factor of 3 was chosen.

**4. Detailed design.** Three concepts are considered and the one with the most advantages is chosen for the best one. It is further detailed and manufacture drawings are prepared. A visualization of the best concept is showed below (Fig. 2).



Fig.2 Speed profile

Software used to prepare the manufacture documentation and the visualization was AutoCad.

### ***Conclusions***

1. The designed device's main advantage is its adjustability to various people, ease of assembly and manufacture.
2. Safety factor for all calculations was equal to 3 all the time meaning the device can be considered safe even when used a bit further above the specified allowable loads after manufacture.

3. It can be seen that the device can serve its purpose that is train the human body since movement only occurs from movement of the person riding the device; to keep your balance you will have to make use of all your muscle groups.

## References

1. Guide to EN 1176 standard; internet access: [http://www.pi2inspection.co.uk/downloads/CEN\\_Booklet.pdf](http://www.pi2inspection.co.uk/downloads/CEN_Booklet.pdf)
2. An educational fair use website: <http://hypertextbook.com/facts/2006/centerofmass.shtml>
3. Constructional steel grade characteristics, online document: [http://www.metalinfo.com/demob\\_kov\\_ident\\_najdene\\_S235JR.cfm](http://www.metalinfo.com/demob_kov_ident_najdene_S235JR.cfm)
4. Stainless steel ANSI 304 characteristics: [http://www.ssina.com/view\\_a\\_file/fasteners.pdf](http://www.ssina.com/view_a_file/fasteners.pdf)
5. **V. Feodosjevas.** Medžiagų atsparumas:- Vadovėlis aukštosioms technikos mokykloms: versta iš septintojo pataisyto leidimo, Vilnius, 1977. 524 p.

# MODELING OF FUZZY LOGIC CONTROLLER SUPPORT FOR AIR HEATING SYSTEM OF RAILWAY COACH

Ivars BEINARTS

Computer Control of Electrical Technology, Riga Technical University, Latvia

**Prof. Dr. Anatoly LEVCHENKOV**

Riga Technical University, Latvia

**Introduction.** Nowadays great attention is paid to increasing level of passengers' comfort in public electric transport. The aim of it is to provide passengers with a transportation service of a high quality. Elaboration of new HVAC (heating, ventilation and air conditioning) systems has to be performed in order to provide it. Effective work of them can be provided by elaborating control systems with usage of artificial intellect methods and progressive algorithms. Indoor environment parameters of vehicle passengers' interior directly depend on effectiveness of HVAC system (Fig.1).

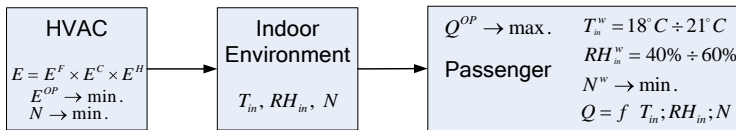


Fig. 1. Environment and HVAC system connection

Where:  $Q$  - passengers comfort level,  $E$  - energy consumption,  $RH$  - air humidity,  $N$  - acoustic noise,  $T$  - temperature,  $^{OP}$  - optimal choice of parameters,  $_{in}$  - indoor. Ability of HVAC system to provide optimal level of comfort  $Q^{OP}$  is directly dependent on energy consumption  $E$  of HVAC system.

**1. Problem formulation.** The main purpose of the paper is to develop structure scheme of HVAC intelligent control system and to describe its working algorithm, as well as to define the optimal HVAC system working regime, taking into account priorities of consumers, and trying to reduce consumption of electric energy as much as possible  $E(t) \rightarrow \min.$  and at the same time providing high level of comfort to passengers  $Q(t) \rightarrow \max.$  Deep and detailed investigation of the behaviour of such a system, its operation and running processes requires its generalized mathematic modelling, taking into account all possible regimes of the operation of compressor, fan motors, heater and setting an algorithm of their control under any condition. Possible problem solution is intelligent coordination mechanism – intelligent control system with the fuzzy logic controller. In order to check this choice it is necessary to build Simulink model of HVAC system control with fuzzy logic controller (FLC) support.

**2. Thermal model of passengers' interior.** Microclimate model of the passengers' interior can be characterized by the following equations [5]:

$$f_p \Phi_p = \frac{C_a T_a - T_a^*}{\Delta t - L_{xa} T_x - T_a - \Sigma L_{ab} T_b - T_a - \Phi_{g1}} \quad (1)$$

$$1 - f_p \Phi_p = L_x T_x - \Phi_0 - L_{xa} T_a - T_x - \Sigma L_{yx} T_y - T_x - \Phi_{g2} \quad (2)$$

$$G_p = \frac{[a_1 C_{va} + C_f^t f_a + a_2 C_v f_m] p_{va}}{\Delta t - G_0 - \Sigma L_{vab} p_{vb} - p_{va} - G_g} \quad (3)$$

Where:  $\Phi_g$  -heat gains,  $\Phi_p$  -heat input by heating or cooling plant,  $f_p = \Phi_{p1} / \Phi_p$ ,  $C_{va}$  -moisture storage coefficient,  $C_a$  -heat storage coefficient,  $C^t$  - hygroscopic capacitance,  $\Delta t$  - time step,  $T_a$  - indoor air temperature,  $T_a^*$  - air temperature of the previous time step,  $T_x$  - resultant temperature,  $L_{ab}$  -heat loss coefficient for airflow from zone b to a,  $L_{xa}$  - coupling coefficient,  $p_{va}$  -vapour pressure of zone a,  $G_p$  - humidification or dehumidification,  $G_g$  - vapour sources,  $L_{vab}$  -vapour transfer coefficient,  $C$  -flow coefficient,  $a_1, a_2$  -constants calculated at reference temperature,  $L_x T_x - \Phi_0$  - total heat flow to the zone enclosure.

**2. HVAC system.** The modelling and investigation are based on the typical architecture of HVAC system [2] with a traditional application of AC induction motors for driving both compressor and fan of the conditioner. The well-known field-oriented method [3] has been considered for the modelling.

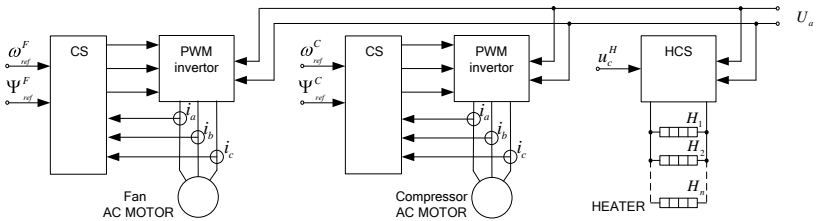


Fig. 2. Power part of HVAC system

**3. Control system design.** HVAC system control is performed using computer system. Overall structure scheme of control system is given in Fig.3. Detailed description of the system is given in [1].

Where:  $T_m$  - internal air temperature,  $Q$  - current value of climate parameters of interior,  $Q_p^s$  - wishes of passengers,  $y_N$  - control input to the decision making

unit (DMU),  $E$  - summary energy consumption,  $E^C$ ,  $E^F$ ,  $E^H$  - energy consumption of cooler, fan and heater respectively, CSC - control signal controller.  $\omega_{ref}$ ,  $\Psi_{ref}$ ,  $u_c^H$  - HVAC power part control signals,  $Y_N$  - heat energy flow,  $e_N$  - comfort level difference,  $\Delta e_N$  - changing rate of comfort level, fuzzy variables:  $T_{in}^u$  - temperature,  $RH_{in}^u$  - humidity,  $N_{in}^u$  - acoustic noise.

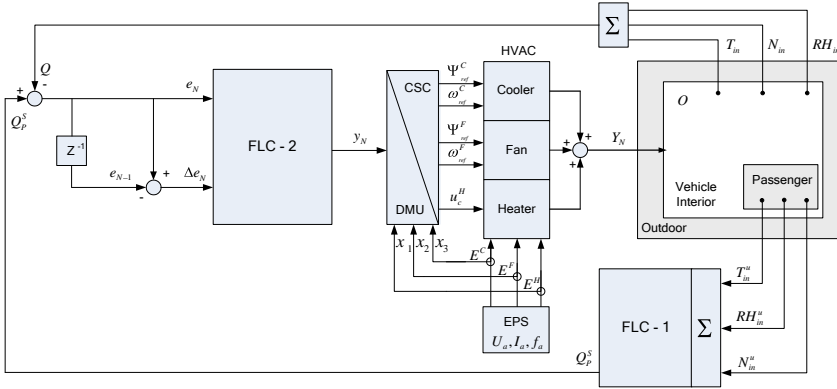


Fig.3. Heating control system structure

#### 4. System control problem solving algorithm.

*Step 1. Initialization.* In the object  $O$  (vehicle passengers' interior) HVAC system provides minimal necessary climate parameters  $Q_0^s$  set by an operator.

*Step 2.* Passengers' climate parameter perception slopes  $T_{in}^u$ ,  $RH_{in}^u$ ,  $N_{in}^u$  are determined, and the comfort level setpoint  $Q_p^s$  is defined by FLC-1.

*Step 3.* Summary comfort level characterized by signal  $Q$  is produced from summed data obtained from environmental parameters' sensors placed in the interior of an object.

*Step 4.* FLC-2 is processing input signals and generates a crisp numeric value  $y_N$  used as the control input to the decision making unit (DMU).

*Step 5.* DMU provides an optimal control regime of energy consumption.

*Step 6.* DMU output signals are processed by CSC. In the result, it forms control signals of HVAC system  $\omega_{ref}^C$ ,  $\Psi_{ref}^C$ ,  $u_c^H$ .

*Step 7.* Work regime of HVAC system  $C_w^{DM}(t)$  is set according computation results.

*Step 8.* HVAC system, according to control signals, provides changes of climate parameters in the object, taking into account optimal consumption of electro energy:  $E(t) \rightarrow \min$ . with comfort level of passengers'  $Q(t) \rightarrow \max$ .

**5. Methodology of FLC modeling.** FLC structure used in the modeling is shown in Fig.4.

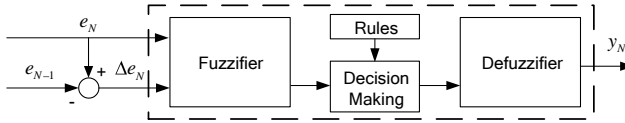


Fig.4. Structure of FLC

The structure of it consists of the following elements:

- Fuzzifier- converts incoming crisp signals  $e_N$  and  $\Delta e_N$  into a linguistic value such as positive large with a membership grade,
- Rules base- store information about respective actions of each function,
- Decision making- depending rules base data gives command about doable actions,
- Defuzzifier- takes the fuzzy output of the rules and generates a crisp numeric value  $y_N$  for delivering it to plant.

Rules use structure: **IF** (e value is) **AND** ( $\Delta e$  value is) **THEN** (y value is).

The output from each rule can be treated as a fuzzy singleton. FLC control action is the combination of the output of each rule using the weighted average defuzzification method [4] and can be viewed as the centre of gravity of the fuzzy set of output singletons:

$$y = \frac{\sum_{k=1}^M c_k H_k}{\sum_{k=1}^M H_k} \quad (4)$$

Where:  $c_k$  - centers of gravity or means of the resulting rule consequents,  $H_k$  - their maximal heights,  $M$  - stands for the number of output membership functions.

**6. FLC modeling results.** Fuzzy logic controller operation modeling was done using Matlab Simulink computer program. Created HVAC model is shown in Fig.5. In this figure also slopes characterizing work regime of the main system are given.

Membership tuning centre values of triangular input membership functions for the linguistic labels zero (0), small (S), medium (M), and large (L) are at 0; 0,2; 0,35 and 0,6 respectively. The universe of discourse for both  $e$  and  $\Delta e$  is normalized from -1 to 1. The left and right half of the triangle membership functions for each linguistic label was chosen to provide membership overlap with adjacent membership functions. Output membership functions for the labels zero (0), small (S), medium (M), and large (L) are defined with end points

corresponding respectively to 10, 30, 70, and 100% of the maximum output. Input and output variables membership functions are symmetric to the origin. Selection of the number of membership functions and their initial values is based on process knowledge and intuition.

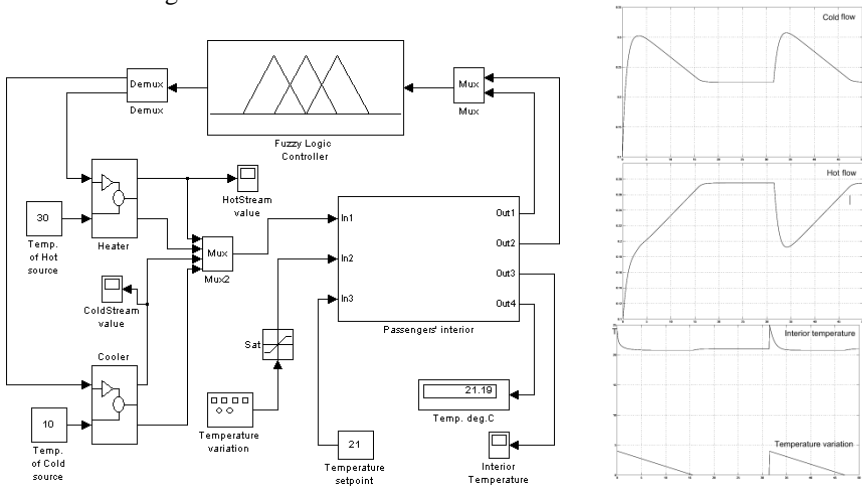


Fig. 5. Simulink model of fuzzy logic controller and work regime slopes

The FLC membership functions are defined over the range of input and output variable values. They linguistically describe the variable's universe of discourse (Fig.6).

The rules and membership functions of the FLC were developed using an intuitive understanding of what a PI controller does for a fixed delay on a first order system. They generalized what a PI controller does for each combination of  $e$  and  $\Delta e$  in 12 rules (Table 1). Symbol N (in the table) means “negative”(cool) and P- “positive”(heat).

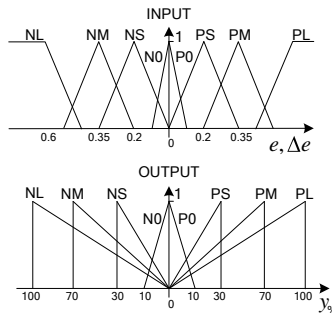


Fig.6. Fuzzy Membership Functions

Table 1

FLC Control rules

		$\Delta e$							
		NL	NM	NS	N0	P0	PS	PM	PL
$e$	NL	NL							
	NM	NM				PS			
	NS	No action		NM	PS	No action			
	N0	N0							
	P0	P0							
	PS	No action		NS	PM	No action			
	PM	NS		PM					
	PL	PL							

**Conclusions.** The provided results prove that the use of fuzzy logic controller with application of the proposed algorithms can be useful for solving HVAC technology control problems in the public electric transport. Usage of the created models and algorithms in the climate parameters control system in the passengers' interior will raise possibility to increase efficiency of electro energy usage, so exploitation costs of transport will reduce as well as passengers' comfort level will be increased. The elaborated system model can be used for sustaining microclimate in different facilities, public electric transport vehicles and buildings.

## References

1. **I. Beinarts, A.Levchenkov**, "Usage of Fuzzy Logic Controller for Passengers' Interior Heating System of Railway Electric Transport", Proceedings of 16th International Symposium EURNEX-Zel2008, Zilina, Slovakia. 2008.
2. **Sauer, Harry J., Ronald H. Howell**: Principles of Heating Ventilating and Air Conditioning, ASHRAE, Atlanta 1994.
3. **Bimal K.Bose**: Modern Power Electronics and AC Drives, Prentice Hall PTR, Upper Saddle River 2002.
4. **V.Kecman**: Learning and Soft Computing: Support Vector Machines, Neural Networks, and Fuzzy Logic Models, Massachusetts Institute of Technology 2001.
5. **Martin de Wit**, HAMBASE, Heat Air and Moisture model for Building and systems evaluation, Eindhoven University Press, Eindhoven, Netherlands 2006.



# PJEZO-MAGNETOSTRIKCINIO JUTIKLIO KŪRIMAS IR TYRIMAS

**Mindaugas PALUBINSKAS**

Mechatronikos studijų programa, Kauno technologijos universitetas

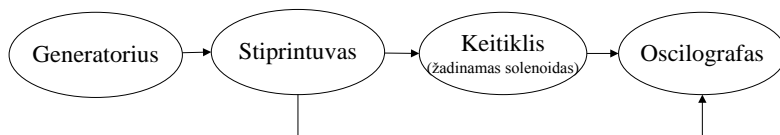
**Valdas GRIGALŪNAS**

Kauno technologijos universitetas

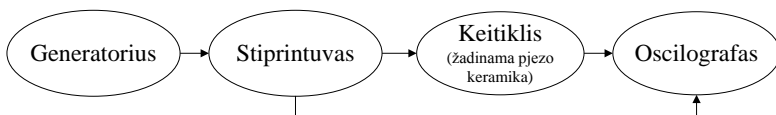
**Darbo tikslas.** Sukurti ir ištirti pjezo-magnetostrickinį keitiklį, kuris magnetinį lauką keistų į elektrinį signalą ir atvirkščiai, elektrinį signalą keistų į magnetinį lauką.

**Ivadas.** Darbe nagrinėjamos dvejų aktyvių medžiagu pjezoelektrinės ir magnetostrickinės derinys. Mano užduotis sukurti keitiklį, kuris kintant magnetiniam laukui, magnetostrickinė medžiaga deformuotųsi, toji deformuotų pjezo keramiką ir išskirtų elektros krūvininkus, kuriuos išmatavus būtų galima analizuoti kintantį magnetinį lauką. Arba atvirkštine eiga, paveikti pjezo keramiką elektriniu krūviu šis deformuotųsi, deformuotų magnetostrickinę medžiagą, o toji deformuodamasi sukurtų magnetinį lauką, kuris kirstų solenoido apviją ir magnetinės indukcijos principu atsirastų elektrovara.

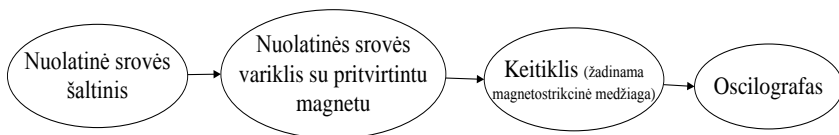
**Tyrimas.** Tiriamojoje dalyje, sudarytas keitiklio matematinis modelis ir parinktos formulės reikalingos virtualaus keitiklio modelio kūrimui. Sudarytas keitiklio baigtinių elementų modelis, kuris analizuojamas ir išsiaiškinamos tam tikros jo fizikinės savybės. Sudaryta pjezo-magnetostrickinio keitiklio tyrimo metodika, pagal kuriuos buvo atliekami eksperimentiniai bandymai. Pirmas bandymas 1 pav., kai solenoidu sukuriama magnetinis laukas veikia magnetostrickinę medžiagą, toji deformuodamasi, deformuoja pjezo keramiką, kuri sukuria elektrinį signalą. Antras bandymas 2 pav., kai pjezo keramika žadinama elektriniu signalu deformuojasi ir deformuoja magnetostrickinę medžiagą, kuri sukuria magnetinį lauką ir indukuoja elektrovarą solenoide. Trečias bandymas 3 pav., kai magnetostrickinė medžiaga žadinama nuolatinio magnetinio lauku.



1 pav. Sistemos žadinant solenoidą jungimo schema.



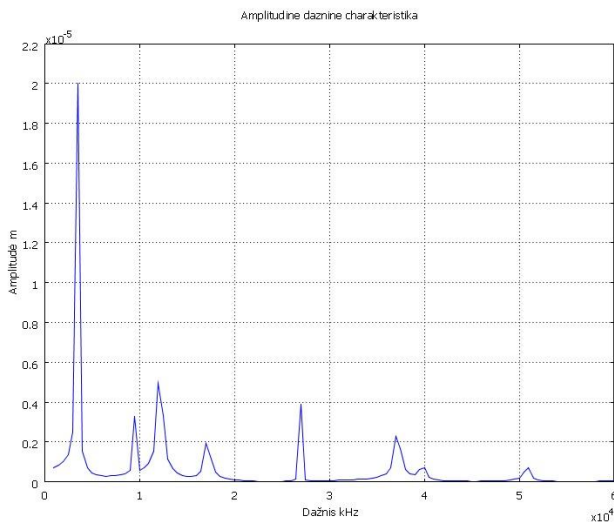
2 pav. Sistemos jungimo schema žadinat pjezo keramika.



3 pav. Bandyimo su varikliu sistemos jungimo schema.

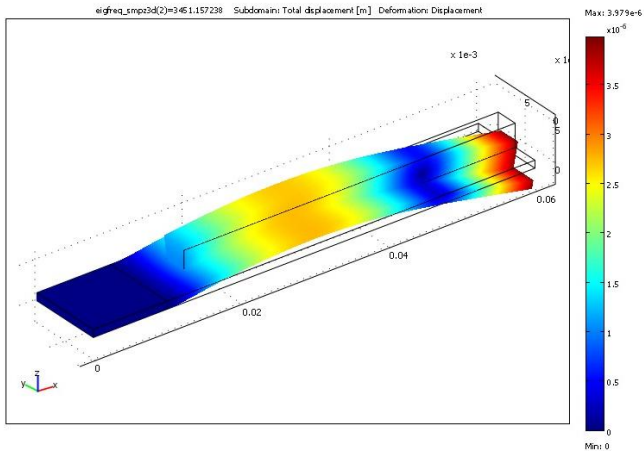
Tyrimo metu sudarytas supaprastintas jutiklio modelis, pagal realiai turimas medžiagas ir jų formas, parinktos medžiagų savybės artimos turimoms, ir paveiktos apkrovomis kurios veiktų rialų keitiklį.

Kadangi pjezo medžiaga reaguoja tik į dinamines apkrovas, ištiriama pjezo medžiaga kartu su magnetrostrikcine medžiaga deformacijas nustatytais dažniais. Dažnių diapazonas yra nuo 1 iki 50 kHz ir tyrimo žingsnis 500Hz. Iš amplitudinės dažninės charakteristikos 4 paveiksle matome, kuriems dažniams esant yra rezonansas ir medžiagų deformacija yra didžiausia.

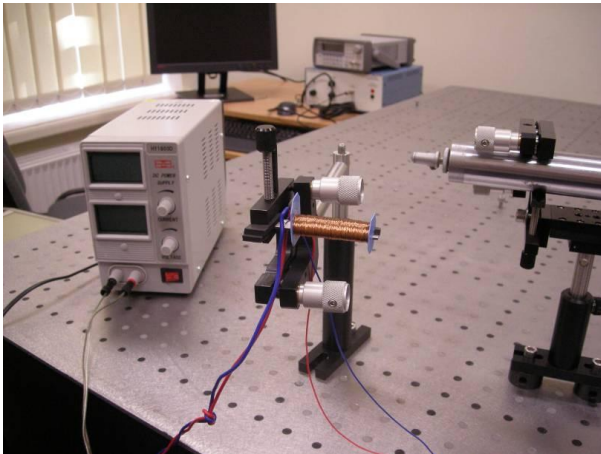


4 pav. Amplitudinė dažninė charakteristika, kai žadinama pjezo keramika 20 V įtampa.

Iš grafiko matome, kad rezonansiniai dažniai yra 3451, 9456, 12208, 17196 ir 26985 Hz. Analizuojant trimati vaizdą galima spręsti apie keitklio labiausiai deformuojamas vietas. Deformacijos pavaizduotos 5 paveiksle esant rezonansiniam 3451 Hz dažniui, kai deformacija 22  $\mu\text{m}$ , padidinus 600 kartus.



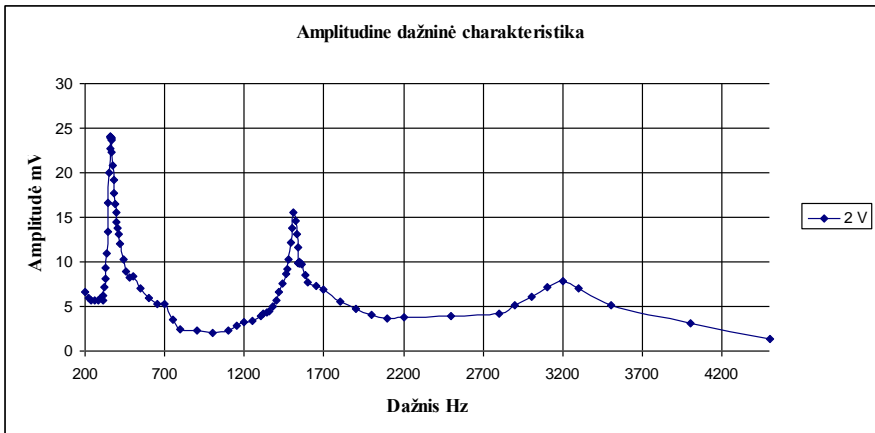
5 pav. Deformacijos esant 3451 Hz dažniui ir padidintos 600 kartų.



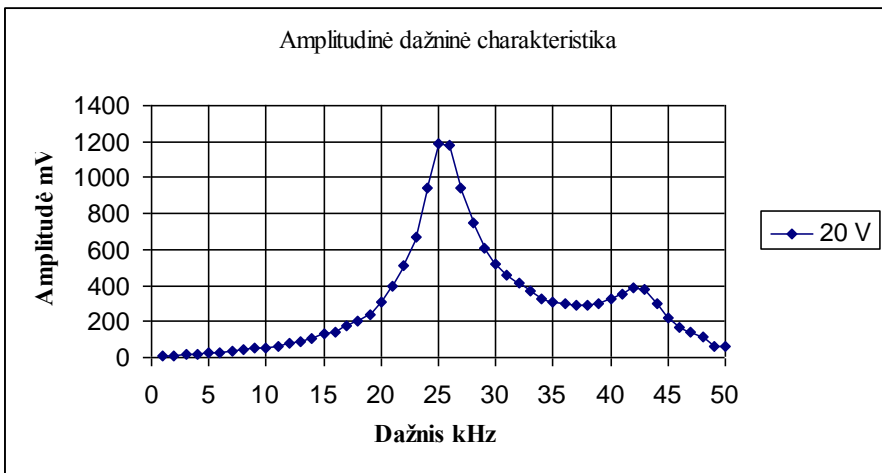
6 pav. Gėmėiškai įtvirtintas keitklius.

***Eksperimentų rezultatai.*** Eksperimento metu magnetostrikcinę medžiaga ir pjezo keramiką suklijuojamos klėjais, plonu sluoksniu. Pjezo keramikos gabaritiniai matmenys yra 60x10x1 mm, o magnetostrikcinės medžiagos 3x45x3 mm Magnetostrikcinę medžiagą priklijuoju ant pjezo keramikos, per vidurį, nuo

įtvirtinimo vietos 15 mm. Tam, kad sukurtumėme pakankamą magnetinį lauką, kuris parenkamas atsižvelgiant į magnetostrikcinės medžiagos santykinės deformacijos priklausomybę nuo magnetinio lauko charakteristikos, ant suklijuotų ir izoliuotų medžiagų užvyniojama 2000 apvijų.



7 pav. Amplitudinė dažninė charakteristika.

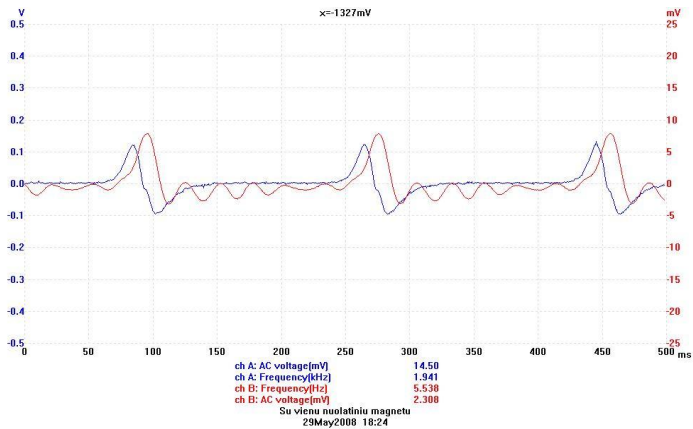


8 pav. Amplitudinė dažninė charakteristika žadinant pjezo keramiką.

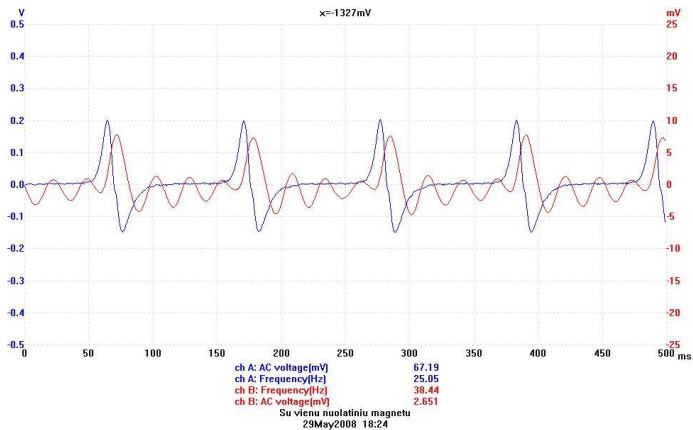
Atliekamas bandymas keitiklį gembiškaai įtvirtinant stovė, kuris pastatomas ant Standos vibracijas izoliuojančio pneumatinio stalo, kaip pavaizduota 6 paveiksle. Magnetostrikcinė medžiaga žadinama solenoidu sukurtu magnetiniu

lauku pagal pirmame paveiksle pavaizduota schema. Atliekama eilė matavimų laikant pastovia 2 V srovę ir gauta amplitudinė dažninė charakteristika.

Iš amplitudinės dažninės charakteristikos paveiksle 7grafiko matyti, kad amplitudės didžiausios esant 361, 1510 ir 3200 Hz dažniams.



9 pav. Kai variklis maitinamas 2 V nuolatine įtampa.



10 pav. Kai variklis maitinamas 3 V nuolatine įtampa.

Sekantis bandymas atliekamas žadinant pjezo keramiką, sistema sujungiu pagal 2 schemą. Pjezo keramika žadinama 20 V įtampa, dažnį keičiant 1 - 50 kHz. Magnetostrikinės medžiagos sukurtas magnetinis laukas solenoide indukuoja elektrovarą, kurios priklausomybę nuo dažnio, galima pamatyti grafike 8.

Bandymas su nuolatiniu magnetu atliktas naudojant nuolatinės įtampos variklį prie kurio rotoriaus pritvirtintas nuolatinis magnetas. Sistema sujungta

naudojant 3 paveiksle pateikta pajungimo schemą. Variklį pajungtas prie nuolatinės srovės šaltinio ir pastatas virš keitiklio 10 mm atstumu, orientuojant nuolatinį magnetą taip, kad jo linijos eitų išilgai magnetostrikcinės medžiagos. Įjungus nuolatinės srovės šaltinį atliekami bandymai kai, nuolatinės įtampos variklis maitinamas 2 V ir 3V įtampa. Gaunami grafikai, kurie pavaizduoti paveiksluose 9 ir 10.

Iš grafikų matyti, kad didinant variklio greitį didėja solenoide indukuojama elektrovara, nes A kanalo įėjimo amplitudė išauga nuo 14 iki 67 mV. Pjezo keramikos sukuriama signalo, abiem atvejais amplitudė 8 mV, iš ko galime spręsti, kad magnetostrikcinė medžiaga abiem atvejais deformuojasi vienodai dėl nuolatinio ir magnetostrikcinės medžiagos traukos tarpusavyje. O tolesni mažėjančios amplitudės svyravimai yra savieji keitiklio svyravimai.

### ***Išvados***

1. Buvo sukurtas naujas bimorfinio tipo pjezo-magnetostrikcinis keitiklis.
2. Atliktas gembiškaai įtvirtinto keitiklio modeliavimas. Gautos dinaminės charakteristikos.
3. Pagal sudarytą pjezo-magnetostrikcinio keitiklio tyrimo metodiką atlikti eksperimentiniai bandymai ir gautos dinaminės charakteristikos.
4. Eksperimentinių tyrimų metu nustatyta, kad magnetostrikcinis keitiklio elementas, generuoja žymiai didesnius elektrinius signalus, kuriuos sužadina keitiklio deformacijos, palyginus su pjezo elementu.
5. Magnetostrikcinė medžiaga gali dirbti ir nerezonansiniuose režimuose, o pjezo tik rezonansiniuose.
6. Keitikliui keičiant magnetinį lauką į elektrinį signalą nenaudojamas papildomas maitinimas šaltinis.
7. Tyrimo metu nustatyta, kad magnetostrikcinę medžiagą žadinant pastovaus magneto magnetiniu lauku, dėl jų per didelės tarpusavio traukos, magnetostrikcinės medžiagos poveikį pjezo keramikai nustatyti nepavyko.

### **Literatūra**

1. **Jonathan G. Benatar.** FEM Implementations of Magnetostrictive-Based Applications, Master of Science, 2005
2. **Frederick Theodore Calkins.** Desine, analysis, and modeling of giant magnetostrictive transducers. 1997
3. **Fumio Harashima.** Characteristics Analysis of Multi-Layer Piezo-Ceramic Actuator(Part 3) University of Tokyo, 1998
4. **Koshi Kondo.** Dynamic behaviour of Terfenol-D. 1997 Journal of Alloys and Compounds 258, 1997, p.56-60
5. AC/DC MODULE Comsol vartotojo instrukcija, 3.4 versija
6. Structural Mechanics MODULE. Comsol vartotojo instrukcija, 3.4 versija

# ANALYSIS OF HIGH SPEED INSERTION PROCESS IN AUTOMATIC ASSEMBLY

**Sigitas KILIKEVIČIUS**

Kaunas University of Technology

**Prof. Habil. Dr. Bronius BAKŠYS**

Kaunas University of Technology

**Introduction.** The main stages of automated assembly are matching of connective surfaces and insertion of parts. Quasi-static assembly, where the insertion speed is very low and the influence of inertia and gravity is negligible, is analysed in the majority of works published about insertion mechanism [1-3]. However, successful and competitive manufacture requires decreasing duration of assembly operations. Therefore, it is necessary to increase insertion speed. It is not possible to apply quasi-static insertion theory for investigation of insertion process, under high insertion speed. High speed insertion process is a complex dynamic process, which is under the influence of many factors such as gravity, inertia, insertion speed, compliance, friction etc. Efficiency and reliability of the insertion process depends on properly selected parameters of the insertion process. Parts can get wedged if it is selected improper parameters influencing the insertion process. Therefore, the parts and assembly equipment can be damaged. The model of dynamic insertion is investigated more properly in paper [4]. Still, the influence of different parameters on the insertion process reliability is not completely investigated.

This paper investigates high speed insertion process of cylindrical parts with clearance, while bush is based immobile and the peg is based in the remote center compliance device.

**1. Mathematical model of insertion process.** Insertion of mobile based peg, which is moved in constant velocity  $v$  by robot, into immobile bush is investigated (Fig. 1). Robot arm is equipped with remote center compliance (RCC) device and gripper. The peg is hold by the gripper and only can turn around the centre of compliance  $C$  and slip in radial direction.

Elastic components of the insertion force along  $x$  axis  $F_x$ , along  $z$  axis  $F_z$  and torsion moment  $M$  about point  $C$ , are determined by the following equations:

$$F_x = K_x (x_C - x_{C0}) \quad (1)$$

$$F_z = K_z (z_C - z_{C0}) \quad (2)$$

$$M = K_\theta (\theta - \theta_0) \quad (3)$$

where,  $x_C$  and  $z_C$  are the coordinates of point C;  $x_{C0}$  and  $z_{C0}$  are the coordinates of point C at the initial instant of time;  $\theta$  is tilt angle of the peg;  $\theta_0$  is tilt angle of the peg at the initial instant of time;  $K_x$ ,  $K_z$ ,  $K_\theta$  are lateral stiffness, axial stiffness and angular stiffness respectively.

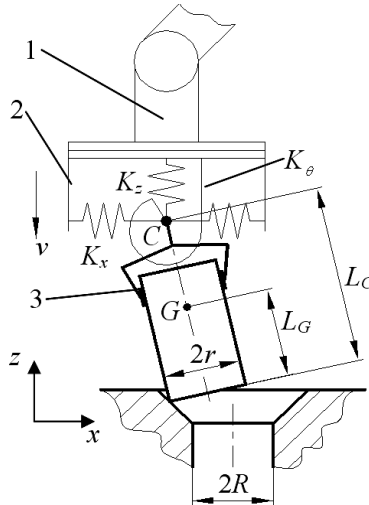


Fig.1 Scheme of robotic insertion: 1 – robot arm; 2 – RCC devise; 3 – gripper

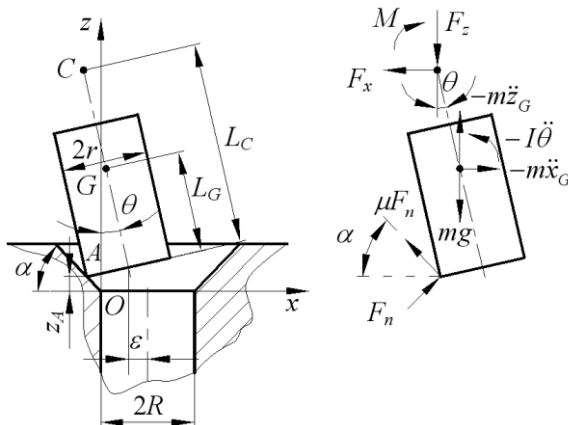


Fig. 2 Chamfer crossing stage

While the peg is sliding along chamfer surface (Fig. 2), the peg is under the influence of insertion force and torque ( $F_x$ ,  $F_z$ ,  $M$ ), gravity  $mg$ , inertia forces



$m\ddot{x}_G$ ,  $m\ddot{z}_G$ , inertia torque  $I\ddot{\theta}$ , reaction force  $F_n$ , friction force  $\mu F_n$ ; where  $m$  is the mass of the peg and gripper,  $I$  is inertia moment of the peg and gripper about the centre of mass,  $g$  is gravitational constant,  $\mu$  is dry friction constant,  $x_G$  and  $z_G$  are the coordinates of the mass centre. Chamfer crossing is determined by the following equations:

$$\left. \begin{aligned} K_1 F_n - F_x - m\ddot{x}_G &= 0 \\ K_2 F_n - F_z - m\ddot{z}_G - mg &= 0 \\ \left( F_x \cos\theta + F_z \sin\theta \right) \left( L_C - L_G \right) + K_3 F_n - M - I\ddot{\theta} &= 0 \end{aligned} \right\} \quad (4)$$

where  $L_C$  is the distance from the lower end surface of the peg to the centre of compliance;  $L_G$  is the distance from the lower end surface of the peg to the centre of mass,  $\alpha$  is angle of chamfer,  $K_1 = \sin\alpha - \mu\cos\alpha$ ,  $K_2 = \cos\alpha + \mu\sin\alpha$ ,  $K_3 = \left( K_1 - rK_2 \right) \cos\theta + \left( K_2 + rK_1 \right) \sin\theta$ .

When  $z_A = \left( \cos\theta - \varepsilon - R \right) \tan\alpha = 0$  (Fig. 2), the insertion process steps into one point contact stage.

Movement of the peg during one point contact stage is determined by the following equations:

$$\left. \begin{aligned} K_4 F_n - F_x - m\ddot{x}_G &= 0 \\ K_5 F_n - F_z - m\ddot{z}_G - mg &= 0 \\ \left( F_x \cos\theta + F_z \sin\theta \right) \left( L_C - L_G \right) + \left( L_G - h - \mu r \right) F_n - M - I\ddot{\theta} &= 0 \end{aligned} \right\} \quad (5)$$

where  $K_4 = \cos\theta - \mu\sin\theta$ ,  $K_5 = \sin\theta + \mu\cos\theta$ ,  $h$  is depth of insertion.

Movement of the peg during two point contact stage is determined by the following equations:

$$\left. \begin{aligned} K_4 F_A - F_B - F_x - m\ddot{x}_G &= 0 \\ K_5 F_A + \mu F_B - F_z - m\ddot{z}_G - mg &= 0 \\ \left( F_x \cos\theta + F_z \sin\theta \right) \left( L_C - L_G \right) - M - I\ddot{\theta} + \\ + \left( L_G - h - \mu r \right) F_A - \left( L_G K_4 - rK_5 \right) F_B &= 0 \end{aligned} \right\} \quad (6)$$

Insertion process terminates when the specified depth of insertion  $h_i$  is reached.

**2. Simulation of the insertion process.** Programs for the simulation of the insertion process were written using MatLab software. A number of numerical experiments of peg insertion into the bush were performed. The influence of different factors on insertion process was investigated, in order to determine conditions for the most reliable insertion, avoiding wedging. The following initial values of the parameters of insertion process were used:  $m=0.1$  kg,  $r=0.0099$  m,  $R=0.01$  m,  $I=0.002$  kg·m<sup>2</sup>,  $L_G=0.05$  m,  $L_C=0.025$  m,  $\alpha=\pi/4$  rad,  $\mu=0.1$ ,  $v=0.3$  m/s,  $K_x=2000$  N/m,  $K_z=2000$  N/m,  $K_\theta=20$  N·m/rad,  $h_i=0.05$  m, the initial tilt angle of the peg  $\theta_0=0.01$  rad,  $\dot{\theta}_0=0.01$  m/s, the initial displacement from the centre of the lower end of the peg to the centre line of the hole, along  $x$  axis direction  $\varepsilon_0=-0.001$  m,  $\dot{\varepsilon}_0=0.001$  m/s.

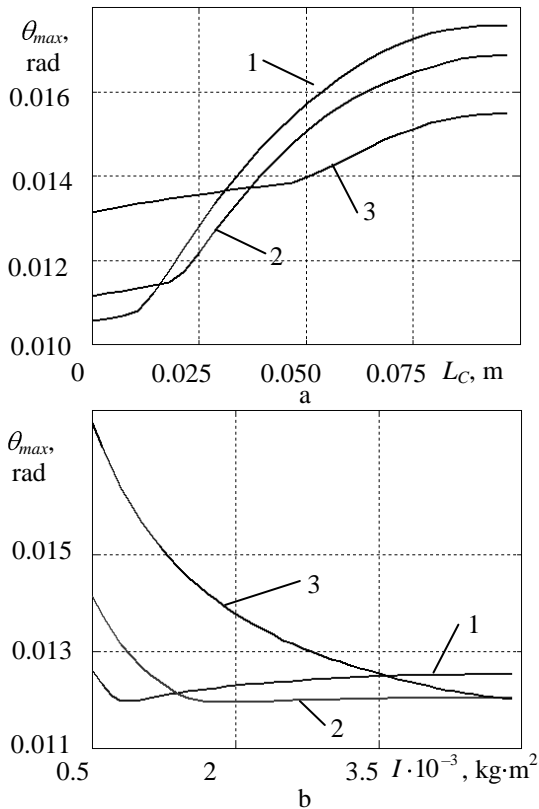


Fig. 3 Dependences of maximum tilt angle  $\theta_{max}$ : a – on distance  $L_C$ ; b – on moment of inertia  $I$ , under different values of  $m$ : 1 –  $m=0.05$  kg; 2 –  $m=0.1$  kg; 3 –  $m=0.3$  kg

Insertion process can fail due to wedging. Wedging usually occurs in the two point contact stage. Wedging occurs when reaction forces are inside the friction cones and act in the same line. Therefore the peg can not move. This occurs when tilt angle of the peg exceeds critical angle:  $\theta > \theta_w \approx \arctan\left(\frac{r}{\mu}\right)$ . Besides, the peg can jump out of the hole when the tilt angle is very high due to its oscillating movement along  $z$  axis direction. Regard to that, it is necessary to select such values of the insertion process which ensure the lower value of maximum tilt angle.

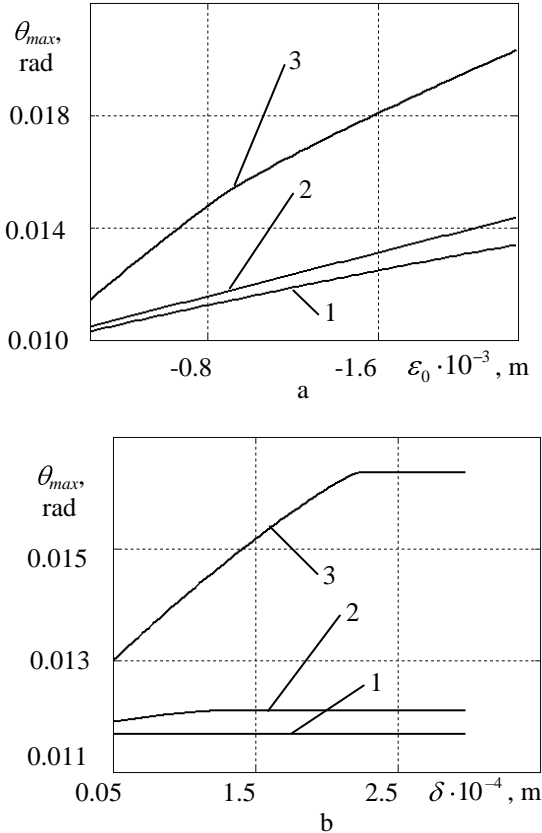


Fig. 4 Dependences of maximum tilt angle  $\theta_{max}$ : a – on initial later misalignment  $\epsilon_0$ ; b – on assembly clearance  $\delta$ , under different values of lateral stiffness  $K_x$ : 1 –  $K_x = 500$  N/m; 2 –  $K_x = 2000$  N/m; 3 –  $K_x = 5000$  N/m

When the distance  $L_C$  is close to zero, maximum value of tilt angle  $\theta_{max}$  is lowest (Fig. 4, a). When the moment of inertia  $I$  is increasing, the value of  $\theta_{max}$  decreases (Fig. 4, b). The value of  $\theta_{max}$  significantly increases when initial lateral misalignment  $\varepsilon_0$  is increasing (Fig. 5, a). When the clearance ratio becomes higher, the value of  $\theta_{max}$  increases more significant only under higher values of lateral stiffness  $K_x$  (Fig. 5, b). The value of  $\theta_{max}$  decreases when angular stiffness  $K_\theta$  is increasing, lateral stiffness  $K_x$  is decreasing, and mass of peg and gripper  $m$  is decreasing. Naturally, the value of  $\theta_{max}$  increases when initial tilt angle  $\theta_0$  is increasing.

Axial stiffness  $K_z$ , insertion speed  $v$ , distance to the centre of mass  $L_G$  do not have high influence on the value of maximum tilt angle  $\theta_{max}$ .

**Conclusions.** Mathematical model of cylindrical parts insertion was formed. Numerical experiments of the insertion of cylindrical parts with clearance were performed. It was determined that the reliability of the insertion process increases when  $L_C$  is close to zero, moment of inertia  $I$  is increasing, initial deviation  $\varepsilon_0$  and  $\theta_0$  is decreasing, angular stiffness  $K_\theta$  is increasing, lateral stiffness  $K_x$  is decreasing, mass of peg and gripper  $m$  is decreasing.

## References

1. **Setchi R., Bratanov D.** Three-dimensional simulation of accommodation. - Assembly automation. Vol. 18. No. 4. -MCB University Press, 1998. p. 291-301.
2. **Haskiya W., Maycock K., Knight. J.** Robotic assembly: chamferless peg-hole assembly. -Robotica. Vol. 17.-Cambridge University Press, 1999. p. 621-634.
3. **Sathirakul K., Sturges R.** Jamming conditions for multiple peg-in-hole assemblies. -Robotica. Vol. 16.-Cambridge University Press, 1998. p. 329-345.
4. **Trong D.N., Betemps M. Jutard A.** Analysis of Dynamic Assembly Using Passive Compliance.-Proceedings of the 1995 IEEE International Conference on Robotics and Automation.-Nayoga, 1995. p. 1997-2002.

## Reziუმé

Straipsnyje nagrinėjamas robotizuotas cilindrinų detalių sujungimo su tarpu procesas naudojant nutolusio paslankumo centro įtaisą. Sudarytas matematinis sujungimo proceso modelis. Atlikti skaitmeniniai detalių sujungimo eksperimentai. Nustatyta kokiomis sąlygomis sujungimo procesas vyksta patikimiausiai.

# FUZZY CONTROL OF ROBOTS

**Prof. Arkady S. YUSCHENKO**

Bauman Moscow State Technical University, Russia

**Abstract.** Fuzzy logic control is a new and promising scientific direction in mechatronics and robotics. One of the most important applications under consideration is the fuzzy control of mobile or manipulation robots in undetermined environment. This mode of remote control allows the human-operator to form the fuzzy commands and the fuzzy rules of the autonomous behavior for robot using a problem-oriented language. It is shown that using the observation data of robot sensors it is possible to describe a fuzzy model of the environment and of the basic robot operations. For complicated modes of behavior the procedure of fuzzy AI planning is proposed. There are many situations when the human-operator can not formalize the fuzzy rules of robot behavior beforehand. For such cases the procedure of robot learning on the base of fuzzy neural networks has been developed. The proposed procedures and algorithms may be applied for different kind of robots activity such as rescue operations, fire fighting, medical service etc.

**1. Introduction.** Mobile robots got widely applications for complicated operations in undetermined environment. Among such operations in extremely situation are demining, fire fighting, rescue operations etc. Modern mobile robots are usually controlled by human operator whose experience and intelligence is necessary to fulfill the hazardous and responsible operations. The control of mobile robots is often realized now as a remote control by human-operator using a kind of joystick. This mode of control is difficult for operator working in time and information deficit and often inefficient. The problem is to control the mobile robots using a problem-oriented language including the control by speech. The operator's interface in this case may be created using the linguistic variables both for commands formalization and for information presentation. But the linguistic interface realization pull the whole complex of artificial intelligence control problems. Among them are the presentations of fuzzy models of environment, of robot operations and of fuzzy rules of robot behavior. Using these rules it is possible to solve the problem of linguistic control of robot for simple operations. For more complicated tasks stated by human operator the problem arose of fuzzy operations planning. The possibility of learning the control system of robot by human operator is also important for there are many cases when it is impossible to formalize the fuzzy rules beforehand. Some of the mentioned problems are under consideration below.

## ***2. The fuzzy representation of environment and of the robot operations.***

The basic model of fuzzy relations in world space and in time had been introduced by D.A.Pospelov and collaborators [1]. The model of the robot environment includes the fuzzy description of the objects of the external world and fuzzy relations between them. The fuzzy properties of the objects allow identifying them before the following robot operations. The spatial relations allow representing the mutual positions of the objects of the world.

To determine the spatial relations between the objects of the external world it is necessary to determine the linguistic variables of the distance and of mutual orientation of the objects. For example the meaning of the first variable may be “very distant”, “distant”, “close” and for the second variable “ forward”, “backward”, “a little to the left” etc. All the meanings are described by the membership functions. The latter are to be presented beforehand taking into consideration the peculiarity of human perception. While such relations are determined for every pair of the objects we got a kind of fuzzy map of the working scene. If the fuzzy map is known the robotic system may determine its position toward any of the objects of interest using the observations of some of them as bench marks [2]. The fuzzy model of the external world may be formed using the data of robot sensors and information from robot vision system. It is possible to represent information of the current situation using a problem-oriented language similar to the natural one. Such information may be very useful for example in the conditions of unsatisfactory visibility.

The fuzzy model of the world allows determining of the typical robot operations in it. The classification of typical operations for remote control robots has been proposed on the base of operations aims and control variables description [3]. So we determined the operations as static ones if the aim is to transform one static situation into another. Operations with the moving objects were determined as kinematical ones. Dynamical operations propose the control of the forces applied to the object of work by manipulator.

The fuzzy description of the external world and of the typical robot operations forms the vocabulary of the problem-oriented language habitual for human. Using this language and the fuzzy logic rules it is possible to control a mobile robot or a manipulator movement to solve the typical tasks.

## ***3. Typical tasks realization.***

Typical tasks realization by robot control system demands the description of the fuzzy rules for robot operations and movements in undetermined environment. There are two possibilities – the first is the case when the fuzzy rules may be formulated by experienced human operator beforehand. The second is the situation when human operator can not formalize the rules of control in fuzzy terms. Fortunately many usual tasks of mobile robot control are the tasks of the first type. Among them are such tasks for robot as to approach to the given object, to pass a gates or a task to pursuit another moving object. The errors of the sensors and vision system usually make fuzzy the

accessible information of the external world. As for the rules of robot behavior it may be often formulated as simple rules of production type. For example: “move rapidly if the target is far off“, “move slowly if the target is near“, “turn to the right if the target is a little to the right from the course” etc. As we mentioned above the membership functions of the linguistic variables are to be determined beforehand.

In real time scale it is necessary to fulfill the fuzzyfication procedure of the observation data produced by sensor systems, i.e. the presentation the data in terms of linguistic variables such as “the object is to the right and near“. After this stage some well known fuzzy logic procedure of decision making may be applied. To control the mobile robot fulfillment of the tasks mentioned above the most simple and effective proved to be the Mamdany algorithm [4]. It made it possible to control linear and angular velocities of mobile robot using information from robot vision system. The Mamdany algorithm allows computing the necessary control signals for robot drivers in real time scale. That is the way to control the typical operations of robot in a linguistic mode. But for more complicated tasks the problem of operations planning arose.

**4. Artificial intelligence planning.** Examples of the complicated tasks need the operations planning may be the assembly or disassembly operations fulfilling by manipulation robot. AI planning algorithms are under intensive investigation [5], but known algorithms usually are not adapted for fuzzy logic procedures. An AI planning algorithm had been proposed using the fuzzy presentation of the world and the operations of robot presented above [6].

The algorithm includes the possibility propositions of the operations analyze and use the back propagation reasoning for decision making. While the most part of the known AI planning algorithms works in an abstract space determined by invariant conditions the proposed algorithm allow the real control of possibility propositions using the sensor system of robot. In the case of breaking of the prescribed possibility propositions the re-planning in real time scale had been provided.

Examples of the AI planning are the operations of the robotized assembly of a unit from the parts arbitrary situated in the working space. Note that among the operations for robot to fulfill in the proposed AI planning procedure there may be the operations of cognitive type to get all the necessary information from the external world. An example of such operation is the visual examination of the parts by visual sensors of robot to identify them or to discover defects.

Real time expert systems are also may be applied for robot behavior planning in undetermined situations. It seems most necessary for such complicated and hazardous operations as we find in medicine robotics. Advanced dialogue between robotic system and human operator is necessary in such applications. Fuzzy representations in the AI planning system make the tasks of the human operator easier to the great extent. It makes it possible for human

operator not only to analyze the expert system conclusions but to change the rules of behavior if necessary.

**5. Robot learning using the hybrid fuzzy networks.** Unfortunately there are remains the situations when human operator can not formalize the rules of control beforehand. Often the experienced operator controls robot using his personally sensory skill. For example a skillful human operator can successfully control the mobile robot movements in environment with complicated obstacles. Another example is the assembly of the “shaft-hole” type. For such cases the hybrid neural fuzzy network was proposed able to teach itself using the telemetry data received for skillful human operator remote robot control

The problem has been investigated for the mobile robot with three pairs of caterpillars getting over the obstacles [7]. The problem to control all of drives in real time scale is too complicated for human. So the task was to teach the mobile robot to get over the typical obstacles by itself. In the experiment the robot firstly was controlled by experienced operator. The data obtained during experiment by telemetry had been processed by cluster analysis method. It proved to determine both the typical situations and the corresponding control signals formed by operator. As the control mean the hybrid artificial neural network with three hidden layers was applied. The neural network under consideration realized the Sugeno fuzzy logic procedure. The input variables were the current angles of the robot platform orientation and the torques of drivers. As the output variables the controlled angles of four robot caterpillars were considered. After the training procedure the fuzzy network showed results of control close to the same of human control. As a matter of fact the hybrid network could by itself formalize the fuzzy rules which human operator could not determine. The fuzzy mode of control allows the robot to get over the obstacles of the prescribed type for wide range of their parameters. But as new situation critically differs from the previous ones the training process had to be repeated again. All the previous tunings may be remembered in the system memory, so the robot “experience” is expanding after all new training cycles.

The same learning control systems may be applied for many other types of robotic system to form the “skill” of the artificial system.

**Conclusions.** The fuzzy logic methods allow realizing the concept of the linguistic control of robots. Such control systems using the representation of the external world natural for human perception will have wide applications in different areas. Such mode of control does not demand some special knowledge and skill from human operator; linguistic control using professional vocabulary may be applied. Among the difficulties is the lack of the corresponding hardware for fuzzy-neural hardware realization to implement many logical operations such as fuzzy rules inference in parallel mode. The psychology problems of interaction between human operator and intelligence robot are also of great importance. We



hope that the concept under discussion will help to get over these difficulties and expand the area of application of robotic systems.

## References

1. **Кандрашина Е.Ю., Литвинцева Л.В., Поспелов Д.А.** Представление знаний о времени и пространстве в интеллектуальных системах. – М., Наука, ФМ, 1989.
2. **Ющенко А.С.** Маршрутизация движения мобильного робота в условиях неопределенности.– Мехатроника, Автоматизация, Управление, 2004, № 1.
3. **Ющенко А.С.** Эргатические мехатронные системы.- Мехатроника, Автоматизация, Управление, 2006, № 3, с.12-25.
4. **Ющенко А.С., Киселев Д.В.** Нечеткое управление поведением мобильных роботов. – Вестник МГТУ им. Н.Э. Баумана, Приборостроение, 2001, №1, с.86-89.
5. **Weld D.S.** Recent Advances in AI Planning.– AI Magazine, Summer, 1999, p.p. 93 - 123.
6. **Ющенко А.С.** Интеллектуальное планирование в деятельности роботов. – Мехатроника, 2005, №3, с.5-18.
7. **Вечканов В.В., Киселев Д.В., Ющенко А.С.** Адаптивная система нечеткого управления мобильным роботом. – Мехатроника, 2002, № 1, с. 20-26.

**Keywords:** mobile robot, fuzzy logic, human operator, remote control, artificial intelligence, operation planning, robot learning

## INDEX

### B

BAGAJEVAS A.	101, 156
BAIKAUSKAS R.	97
BAKŠYS B.	83, 130, 191
BANSEVIČIUS R.	134
BEINARTS I.	179
BRUNIUS A.	50
BUBULIS A.	101, 156

### C

CHADAROVICĪUS A.	130
CHAZIACHMETOVAS A.	68

### D

DIAS DOS SANTOS A.	27
	22, 32, 80,
DRAGAŠIUS E.	104, 107, 151

### F

FOUROUNJIEV R.	120, 126, 139, 160
----------------	-----------------------

### G

GOUSKOV A.M.	168
GRIGALIŪNAS V.	8, 10
GRIGALŪNAS V.	185
GUDAUSKIS M.	134
GUOBIENĒ A.	50, 75, 87

### H

HANCHARYK M.	139
--------------	-----

### Y

YUSCHENKO A. S.	197
-----------------	-----

### J

JŪRĒNAS V.	143, 164
JUŠKA V.	68

### K

KAUŠINIS S.	60
KAVUN O.	92
KILIKEVIČIUS S.	191
KITOV S.	68
KONDRATAS A.	36, 176
KOROVAITSEVA E.A.	168
KOSTIUČENKO O.	75

### L

LAURINAVIČIUS R.	36
------------------	----

LAZAUSKAS A.	10
LETKOVSKI I.	120
LEVCHENKOV A.	179
LIPNICKAS A.	40

### M

MANIKOV V.	126
MASKELIŪNAS P.	164
MAŽEIKA D.	80
MIEŽELIS A.	151
MIKOLAINIS J.	27, 83
MILAŠAUSKAITĒ I.	8
MUKHINA M.P.	46, 92

### N

NAVICKAITĒ S.	32, 104
NIKOLA A.	111

### P

PALUBINSKAS M.	185
PODOGOVA Y.	46

### R

RUGAITYTĒ V.	22, 107
--------------	---------

### S, Š

SADAUSKAS E.	64
ŠČERBAKOVA J.	87
ŠILEIKA K.	40
ŠILEIKA R.	143

SKIEDRAITĒ I.	56, 97, 101, 156
---------------	---------------------

SLABKO Y.	120, 126, 139, 160
-----------	-----------------------

STANIUKYNAS S.	15
----------------	----

### T

TUMAITIS M.	176
-------------	-----

### U

UŽAMEDZKIS D.	60
---------------	----

### V

VADLUGA J.	56
VERKHOVA T.	160
VIRŽONIS D.	8
VOLKOVAS V.	15

### Ž

ŽVIRONAS A.	134
-------------	-----

**MECHATRONIC SYSTEMS AND MATERIALS**  
**Scientific Papers**

**ISSN 1822-8283**

SL 344. 2008-12-03. 12,75 leidyb. apsk. 1. Tiražas 30 egz.

Užsakymas 603. Kainė sutartinė.

Išleido leidykla „Technologija“, K. Donelaičio g. 73, 44029 Kaunas  
Spausdino leidyklos „Technologija“ spaustuvė, Studentų g. 54, 51424 Kaunas