

**PROBLEMS OF NUMERICAL IDENTIFICATION AND
OPTIMIZATION OF RIGID BODY MECHANICAL SYSTEMS****CIETU ĶERMEŅU MEHĀNISKAS SISTĒMAS SKAITLISKĀS
IDENTIFIKĀCIJAS UN OPTIMIZĀCIJAS PROBLĒMAS**

Janis Auzins, Leading Researcher, Dr.sc.ing.

Riga Technical University, Machine and Mechanism Dynamics Research Laboratory

Address: 6 Ezermalas Street, Riga, LV-1006, Latvia

Phone: +371 67089396, Fax: +371 67089746

E - mail: auzinsjp@latnet.lv

Peteris Auzins, Researcher, Dr.sc.ing.

Riga Technical University, Machine and Mechanism Dynamics Research Laboratory

Address: 6 Ezermalas Street, Riga, LV-1006, Latvia

Phone: +371 67089396, Fax: +371 67089752

E - mail: peteris.auzins@rtu.lv

Alexander Boiko, Researcher, M.sc.ing.

Riga Technical University, Machine and Mechanism Dynamics Research Laboratory

Address: 6 Ezermalas Street, Riga, LV-1006, Latvia

Phone: +371 67089396, Fax: +371 67089752

E - mail: aleksandrs.boiko@rtu.lv

Alexander Janushevskis, Head of Laboratory, Dr.sc.ing.

Riga Technical University, Machine and Mechanism Dynamics Research Laboratory

Address: 6 Ezermalas Street, Riga, LV-1006, Latvia

Phone: +371 67089396, Fax: +371 67089746

E - mail: janush@latnet.lv

Oscar Onzevs, Researcher, Dr.sc.ing.

Riga Technical University, Machine and Mechanism Dynamics Research Laboratory

Address: 6 Ezermalas Street, Riga, LV-1006, Latvia

Phone: +371 67089396, Fax: +371 67089752

E - mail: oskars@adm.rtu.lv

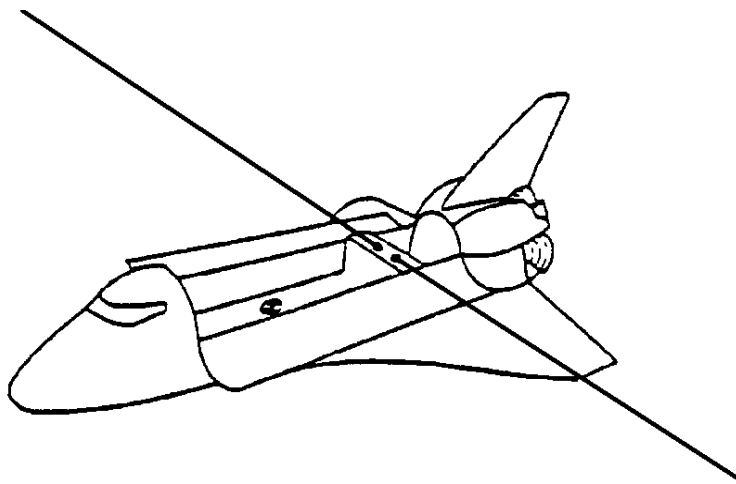
Atslēgas vārdi: atbildes virsmu metode, eksperimentu plānošana, optimizācija, identifikācija

1. Ievads

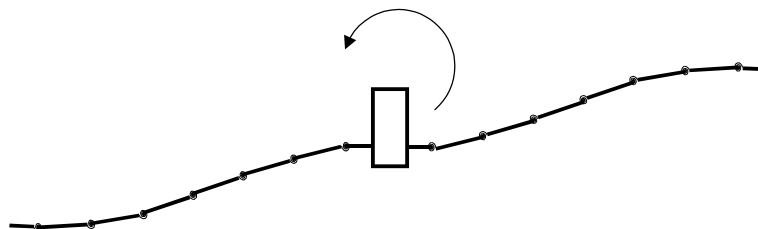
RTU Mašīnu un mehānismu dinamikas (MMD) problēmu laboratorijā [1] tiek veikti zinātniskie pētījumi inženierzinātnes datorizācijas jomā. Galvenokārt tie ir saistīti ar komplicētu sistēmu (mašīnu, konstrukciju, mehatronisku sistēmu) strukturālo un parametrisko optimizāciju. Šajā darbā tiks dots neliels pārskats par MMD laboratorijas jaunākajiem zinātniskajiem rezultātiem – algoritmiem, metodēm, programmatūru un to praktisko pielietojumu.

2. Sistēmu matemātisko modeļu veidošana

Optimālas projektēšanas pamatā ir objekta matemātiskais modelis. Mūsdienu līmenim atbilstošu sistēmu komplicētības līmenis ir tik augsts, ka to matemātiskā modeļa izveide “ar roku rakstītu” vienādojumu formā praktiski nav iespējama, pat tad, ja atsevišķu apakšsistēmu (mehānisku, elektrisku, elektroniskās vadības) modeļi ir teorētiski skaidri. Šim nolūkam pasaulē ir izstrādāti daudzi algoritmi un tiem atbilstoša programmatūra, kas automātiski veido sistēmu dinamiskos modeļus atbilstoši to formalizētam aprakstam. MMD laboratorijā radīti oriģināli algoritmi mehānismu dinamisko modeļu formēšanai t.s. aizklātajā formā un uz tā bāzes izveidoti vairāki programmprodukti DINA, IMITA un LMS. Salīdzinājumā ar analogiem ārvalstu zinātnieku izstrādājumiem un komercproduktiem sasniegta daudz lielāka ātrdarbība, kas ir viens no galvenajiem efektivitātes raksturojumiem.



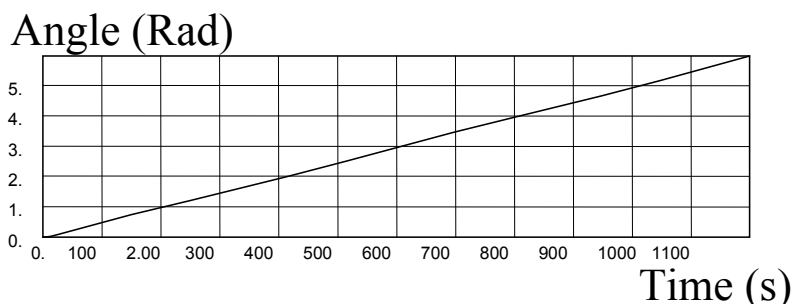
1. attēls. Kosmoplāna “Shuttle” antenu sistēma



2. attēls. Kosmoplāns “Shuttle” modelēts kā cietu ķermeņu, kas savienoti ar atsperēm, sistēma

Kā piemēru apskatīsim 1. attēlā parādītās kosmoplāna “Shuttle” antenu sistēmas dinamiskās reakcijas modelēšanu pagrieziena manevra ap vertikālo asi laikā. 2. attēlā parādīts plakanais iegriezto šarnīru modelis (REM). Kosmoplāna “Shuttle” inerces moments ir 107 kg m^2 un 150

m garā antena piestiprināta punktā (0.5 m, -10 m; -0.5 m, -10 m) attiecībā pret masas centru. Antenas lieces stingums ir 1676 N m^2 un masas blīvums 0.335 kg/m . Modelēšanas rezultāti tiek doti gadījumam, kad vispirms uz kosmoplānu 20 sekundes iedarbojas 2687 Nm liels moments, kam seko 1180 sekundes brīva kustība. Visi parametri tiek ņemti no Banerjee and Nagarajan raksta [2].



3. attēls. Kosmoplāna “Shuttle” pagriezenia leņķis ap vertikālo asi

Raksta [2] autori pielieto n-tās kārtas formulas integrēšanai kopā ar specializētu diskretizācijas metodi un salīdzina to ar nelineāro Galīgo Elementu Metodes (FEM) programmatūru, kas izstrādāta Lockheed Missiles. Šo autoru piedāvātā metode ir ar 10 reizes lielāku ātrdarbību nekā FEM, bet dažos gadījumos iegūtie rezultāti ir ar zemāku precizitāti. Mūsu rezultāti, kas apkopoti 1. tabulā, rāda, ka izmantojot programmā LMS [3] realizēto metodi, pie optimālās diskretizācijas ir iespējams iegūt pat tūkstoš reižu lielāku ātrdarbību.

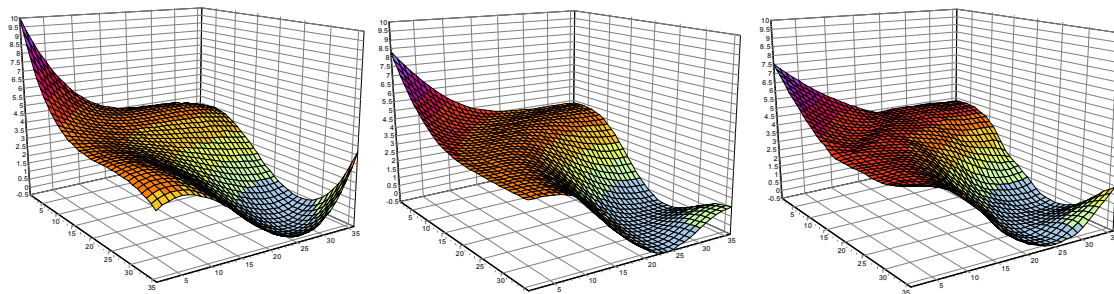
1. tabula. Modelēšanas ātrums, izmantojot dažādas metodes (Cray J916/4 rezultāti ņemti no [2])

Metode	Elementu skaits	Solis (s)	Procesora laiks (s)
n-tās kārtas	10	1.0	24 (Cray J916/4)
FEM	10	1.0	890 (Cray J916/4)
LMS	10	1.0	1.1 (Pentium 200)
n-tās kārtas	20	1.0	182 (Cray J916/4)
FEM	20	1.0	1160 (Cray J916/4)
LMS	20	1.0	2.7 (Pentium 200)

3. Optimizācija un identifikācija

Reālu sistēmu optimizācijas objekts bieži satur tādas daļas, kuru precīzs matemātiskais modelis vai nu nav zināms, vai nav precīzi nosakāmi tā parametri, vai arī parametriem ir nozīmīga dispersija. Šādos gadījumos matemātiskais modelis nosakāms tikai ar eksperimentu plānošanas un apstrādes metodēm – t.i. jāveic modeļa strukturāla un parametriska identifikācija. Šim nolūkam MMD laboratorijā radīti algoritmi un programmatūra, kura izmanto oriģinālu daudzdimensiju ortogonālo polinomu un mainīga svārstību mazāko kvadrātu metodi. Tā rod pielietojumu tādās jomās kā vibrortiecinformēšanas mašīnu optimizācija [4], aviācijas polimērmateriālu stiprības izmaiņu prognozēšana [5], t.s. metamodeļu vai surogātmodeļu izveide pēc neliela skaita ļoti darbietilpīgu FEM aprēķinu (matemātisko eksperimentu) veikšanas [6].

Attēlā 4 parādīts t.s. atbildes virsmu (response surface) salīdzinājums divu faktoru matemātiskajam eksperimentam ar tradicionālu metodi [7] un mainīga svara mazāko kvadrātu metodi.

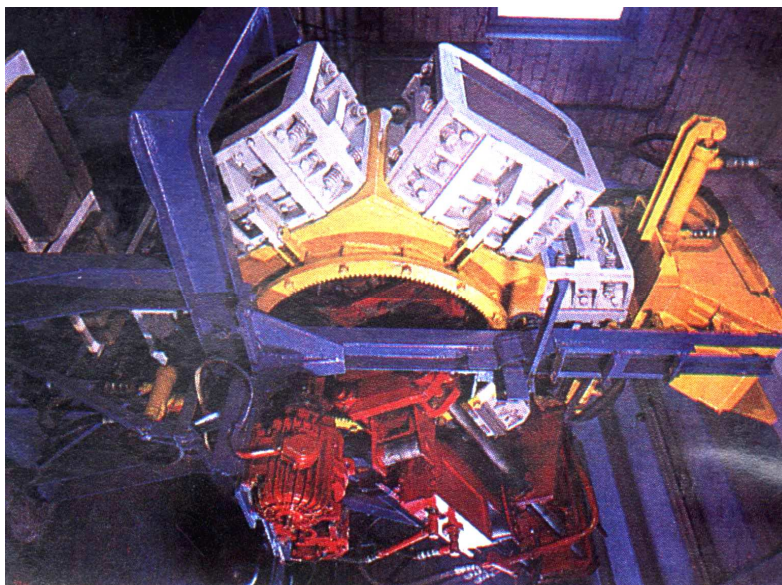


4. attēls. 36 novērojumu 2 faktoru eksperiments. Pa kreisi – Eglāja [7] aproksimācija $\sigma=2.948\%$, pa labi – aproksimācija ar mainīgu svaru $\sigma=0.981\%$, vidū matemātiskais eksperiments ar 1296 novērojumiem

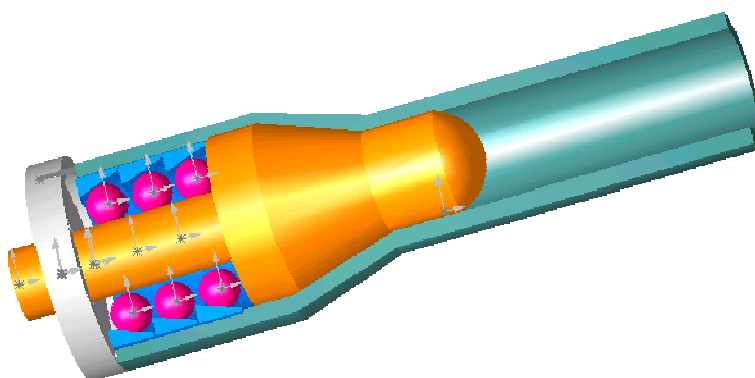
Mašīnas vai konstrukcijas optimizācijai nepieciešams ne tikai tās matemātiskais modelis, bet arī optimalitātes kritērijs, variējamo faktoru ierobežojumu noteikšana un, beidzot, optimizācijas programmatūra. Bieža ir situācija, kad nav viena izteikta objekta kvalitātes kritērija, bet ir vairāki rādītāji, kuri raksturo sistēmas kvalitāti – cena, energopatēriņš, ražība, komplicētība u.tml. Šim gadījumam MMD laboratorijā radītas metodes optimizācijai bez izteikta kvalitātes kritērija [8]. To galvenā ideja ir interakcijas starp projektētāju un optimizācijas programmatūru, kuru rezultātā veidojas kompromiss starp vēlamo un iespējamo.

4. Metožu un programmatūras pielietojums

Viena no Latvijai nozīmīgām mašīnbūves jomām ir tehnika kvalitatīvu būvmateriālu ražošanai no vietējiem izejmateriāliem: grants, koka šķeldas, kūdras, sapropeļa u.c. Šim nolūkam sevišķi efektīva ir divpusēja vibrotriēciena tehnoloģija [4]. Attēlā 5 parādīta pēc eksperimentu apstrādes tehnoloģijas optimizēta būvmateriālu ražošanas rūpnieciski eksperimentāla iekārta (autors P.Auziņš), kas dod pasaules līmenim atbilstošu produkcijas kvalitāti pie vienlaicīgas saistvielu ekonomijas. Attēlā 6 parādīts optimizēts plastiskā triecienslāpētāja darba elements, kurš var tikt izmantots avārijas triecienslāpētājos dzelzceļa transportā [9].



5. attēls. Vibrotriciენტechnoloģiskā būvmateriālu ražošanas iekārta



6. attēls. Triecienslāpētāja plastiskais darba elements

5. Secinājumi

RTU Mašīnu un mehānismu dinamikas problēmu laboratorijā pēdējo desmit gadu laikā veikti plaši zinātniskie pētījumi inženierzinātnes datorizācijas jomā. Radīta virkne modernu programmatūras produktu, ar kuru palīdzību var modelēt sarežģītu mehānisko sistēmu dinamiku, veikt to identifikāciju un optimizāciju. Plašās iestrādes datorizētās eksperimentu plānošanas jomā tiek intensīvi attīstītas un izmantotas reālu objektu un tehnoloģiju pilnveidošanā un optimizācijā.

Literatūra

1. <http://www.rtu.lv/mmd/>
2. Banerjee A., Nagarajan S. Efficient Simulation of Large Overall Motion of Beams Undergoing Large Deflection // In: Multibody System Dynamics, No. 1, 1997 – p. 113-126.

3. Auzins J., Boyko A. Various Approaches for the Simulation of Mechanisms with Flexible Beams // In: Solid Mechanics and its Applications, Vol. 73, Dordrecht – Boston - London: Kluwer Academic Publishers, 2000 - p. 49-56.
4. Onževs O., Januševskis A., Auziņš J. Iekārta materiālu vibrotriecienpresēšanai. Latvijas Republikas Patents Nr. 12477 no 20.08.2000.
5. Auzins J., Bulmanis V., Janushevskis A., Krivonos V. Methods and Software for the Prediction of Strength Changes of Polymeric Fibrous Composite Materials // In: Abstracts of 4th Euromech Solid Mechanics Conference - Metz, 2000 - p. 243.
6. Rikards R., Auzins J. Approximation Techniques for Response Surface Method // In: First International Workshop on Surrogate Modelling And Space Mapping For Engineering Optimization - Technical University of Denmark, November 16 - 18, 2000 - 12 p. on CD-ROM.
7. Audze P. and Eglais V. New approach to planning out of experiments // In: Problems of Dynamics and Strength, Vol. 35, E. Lavendel (Ed.) – Riga, Zinatne, 1977 - p. 104-107.
8. Auzins J., Janushevskis A., Onzevs O. Optimization of Multibody Vibration Response by Global Search Procedure // In: Proceedings of ECCM '99 - Munich, Germany, 2000 - 17 pp. on CD-ROM.
9. Auziņš J., Boyko A. Dynamic Analysis of Longitudinal Impact Behaviour of Heavy Freight Train // In: Latvian Journal of Physics and Technical Sciences, No. 3 - Riga, 2000 - p. 48-59.

Auziņš J., Auziņš P., Boiko A., Januševskis A., Onževs O. Cietu ķermeņu mehāniskas sistēmas skaitliskās identifikācijas un optimizācijas problēmas

Rakstā tiek piedāvāts pārskats par RTU Mašīnu un mehānismu dinamikas problēmu laboratorijas jaunākajām zinātniskajām izstrādājumiem – algoritmiem, metodēm, programmatūru un to praktisko pielietojumu. Tiek salīdzināta uz dažādu izstrādāto metožu bāzes radītās programmatūras ātrdarbība, modelējot kosmoplāna "Shuttle" dinamiku. Tiek apskatītas eksperimentu plānošanas un apstrādes metodes, kas atļauj augstas kvalitātes metamodeļu izveidi pēc neliela skaita eksperimentu veikšanas. Izstrādātā programmatūra izmantota būvmateriālu ražošanas iekārtas, kura realizē divpusējo vibrotriecienu tehnoloģiju, pilnveidošanai, kā arī dzelzceļa transporta avārijas triecienslāpētāju optimizācijai.

Auzins J., Auzins P., Boyko A., Janushevskis A., Onzevs O. Problems of Numerical Identification and Optimization of Rigid Body Mechanical Systems

It is proposed an overview of newest scientific developments - the algorithms, methods, software and its practical applications that are developed in Machine and Mechanism Dynamics Research Laboratory of Riga Technical University. The processor speed for the case of simulation of dynamics of the Shuttle spaceship is compared for different software tools based on developed methods. The computer design and processing methods are considered to get high quality metamodels from the little number of experiments. Developed software are used for improvement of the equipment for production of the building items by opposite vibroimpact technology as well as for optimization of the shock absorbing devices of the railway rolling stock.

Аузиньш Я., Аузиньш П., Бойко А., Янушевскис А., Онжевс О. Проблемы численной идентификации и оптимизации механической системы твердых тел

В статье предложен обзор новейших научных разработок проблемной лаборатории динамики машин и механизмов Рижского Технического Университета – алгоритмов, методов, программного обеспечения и их практического применения. Проводится сравнение быстродействия программного обеспечения базирующегося на различных разработанных методах при моделировании динамики челночного космического аппарата многократного действия. Рассматриваются методы планирования и обработки экспериментов, позволяющие построение высококачественных метамоделей по небольшому числу проведенных экспериментов. Разработанное программное обеспечение использовано для усовершенствования оборудования по производству стройматериалов, реализующего двухстороннюю виброударную технологию, а также для оптимизации поглотителей аварийных ударных воздействий в железнодорожном транспорте.