

ПРИМЉЕНО: 28.09.2009.			
ОРГ ЈЕДИН	БРОЈ	ПРИЛОГ	ВРЕДНОСТ
ТЕХНИЧКИХ НАУКА У	1003/1		

**НАСТАВНО-НАУЧНОМ ВЕЋУ ФАКУЛТЕТА ТЕХНИЧКИХ НАУКА У
КОСОВСКОЈ МИТРОВИЦИ**

Одлуком Наставно – научног већа Факултета техничких наука у Косовској Митровици број 953/3-4 донетој на седници одржаној 23.09.2009. године, именовани смо за чланове Комисије за оцену и одбрану магистарске тезе кандидата Срђана Јовића, дипломираног машинског инжењера. Након прегледа магистарског рада под називом *Енергијска анализа динамике виброударних система*, комисија подноси следећи

ИЗВЕШТАЈ

Магистарски рад кандидата Срђана Јовића, предат Факултету техничких наука у Косовској Митровици, изложен је на 239 стране текста двостраног А4 формата и илустрован је са 276 слика и 3 табеле. Целокупна материја магистарског рада је изложена у седам поглавља укључујући увод и закључна разматрања. На почетку магистарског рада дат је предговор. После закључних разматрања дата је литература која садржи 166 различитих референци, листа ознака, регистар појмова и биографски подаци кандидата. На крају магистарског рада, на српском и енглеском језику је приложен резиме рада.

Овај рад посвећен је енергијској анализи динамике виброударних система. На основу досадашњих сазнања о теорији виброударних система и ослањајући се на оригиналне радове на ту тему аутора: František Peterke, Катице (Стевановић) Хедрих, Alz Naufeh са сарадницима и других аутора, кандидат је дао свој оригинални допринос тиме што је извршио квалитетну енергијску анализу виброударних система на бази различитих осцилатора са ограниченим елонгацијама, тако да је рад према Закону о високом образовању достигао ниво магистарског рада.

У уводном делу дата су основна теоријска сазнања зашто је од велике важности потребно изучавати динамику виброударних система и енергијску анализу динамике виброударних система. Наведени су основни проблеми динамике виброударних система нарочито у поступку остваривања самог технолошког процеса. Дате су основне апроксимације које се уводе при решавању проблема у динамици виброударних система. Разјашњени су термини линеарни и нелинеарни виброударни системи који подразумевају да је безударно кретање, кретање у интервалима између удара, описано линеарном односно нелинеарном диференцијалном једначином. Наведене су методе добијања решења линеарних и нелинеарних диференцијалних једначина које описују кретање у интервалима између удара и објашњена је једна од ”тачних” метода које су коришћене у овом раду а то је метода ”подешавања”.

У првом поглављу, под насловом: *Закони динамике. Принципи механике. Теореме механике*, кандидат се мало удаљио од теме али су му та основна теоријска сазнања помогла за енергијску анализу динамике виброударних система. Од закона динамике дати су: закон веза и њихове класификације, отпор везе, степен слободе кретања и генералисане координате, закон трења, закон отпора и потиска средине и закон еластичности материјала и закон виско-еластичности материјала. Од принципа механике изложен је само принцип рада и на крају овог поглавља дата је теорема о

промени кинетичке енергије и теорема о одржању механичке енергије покретне материјалне тачке.

У другом поглављу, под насловом: *Основи теорије судара*, дата су најосновнија теоријска сазнања о сударима (ударима). Изложене су неке основне претпоставке при проучавању судара, које омогућавају састављање модела динамике судара два система, да би се задатак упростио, а при томе добили задовољавајући модели реалне динамике судара два система. Објашњен је појам ударних сила и тренутног импулса. Показана је теорема механике у примени на динамику (с)удара, теорема о раду импулсних (ударних) сила и принципу рада за динамику удара. На крају су објашњене врсте судара и као издвојен случај управни централни судар.

Кандидат је у првом делу трећег поглавља, под насловом: *Методe за изучавање динамике виброударних система*, дао кратак историјат и основна сазнања о динамици виброударних система. Хронолошки су представљени битнији радови из ове области који су унапредили знање о динамици виброударних система.

У другом делу трећег поглавља су дате методе за изучавање виброударних система које је кандидат сврстао у три групе. Прва група су такозване ”тачне” методе у којој спадају аналитичка метода подешавања, метода фазне равни, геометријска метода тачкастог пресликавања и др. Другу групу чине приближне методе а од њих је споменуо методу хармонијског баланса, методу хармонијске линеаризације, асимптотску методу засновану на методи *Крйлова-Боголюбова-Митропольског* и као трећу групу је представио нумеричке и експерименталне методе.

Детаљније је објашњена метода фазне равни на случају конзервативних система са дискусијом кривих енергија у фазној равни и система са пригушењем. Код конзервативних система фазне (интегралне) криве и криве константне енергије су идентичне, док код система са пригушењем имамо неконзервативност односно меру опадања (деградације) енергије. Надаље, објашњена је геометријска метода тачкастог пресликавања на примеру удара кугле о зид облика криве L. Од приближних метода (у теорији нелинеарних осцилација) објашњена је метода хармонијског баланса за добијање апроксимативних аналитичких решења једначина и асимптотска метода заснована на методи *Крйлова - Боголюбова - Митропольског* за налажење решења сопствених осцилација система блиских линеарним.

Примену ”тачних” метода на решавању примера виброударног дејства, код кога је осцилаторно кретање ван ограничења описано линеарним диференцијалним једначинама кандидат је дао у четвртном поглављу под насловом: *Примери система са виброударним дејством*. Прво су приказани општи појмови виброударног дејства а затим је извршена анализа виброударног кретања за функционисање појединих машина и приказани у конкретним примерима. За конкретан пример анализа виброударног дејства се своди на анализу динамичког модела који представља виброударни систем на бази различитих осцилатора са ограниченим елонгацијама. Написана је диференцијална једначина кретања којој су придружени почетни услови и услови ограничења елонгације система. Одређени су и услови удара у ограничивач елонгација. Код сваког модела написана је и изведена анализа решења диференцијалне једначине кретања.

У овом поглављу размотрени су примери: виброударни чекић, ручни ударно - ротациони чекић, штампач и вибронабијач (механички вибратори).

Виброударни чекић је анализиран преко динамичких модела као: a^* виброударни систем на бази слободних осцилација хармонијског осцилатора са ограниченим елонгацијама; b^* виброударни систем на бази принудних осцилација хармонијског осцилатора са ограниченим елонгацијама; c^* виброударни систем на бази слободних осцилација осцилатора са отпорном силом, која је пропорционална првом степену брзине са ограниченим елонгацијама; d^* виброударни систем на бази

принудних осцилација осцилатора са отпорном силом, која је пропорционална првом степену брзине са ограниченим елонгацијама; e^* виброударни систем на бази принудног кретања нелинеарног осцилатора са отпорном силом, која је пропорционална првом степену брзине са ограниченим елонгацијама; ϕ^* виброударни систем на бази стандардног наследног осцилатора; и z^* виброударни систем на бази осцилатора фракционог реда.

Суштину теме магистарског рада кандидат је приказао у петом поглављу који носи наслов: *Енергијска анализа динамике виброударних система*. Ово поглавље је подељено у седам делова, из разлога што је у сваком делу извршена енергијска анализа различитог виброударног система. Као критеријум за разврставање кандидат је усвојио тип путање виброударног система, режим динамике сопствено кретање на основу почетне енергије, односно принудно кретање под дејством спољашње силе и почетне енергије система, као својства линеарни, нелинеарни или идеалне односно неидеалне везе са трећем. У свим деловима динамички систем, уношењем ограничивача елонгације (ударног објекта), постаје виброударни систем са једним ограничивачем, једнострано ограничавајућом елонгацијом. За сваки део посебно написана је диференцијална једначина (принудног) кретања којој су придружени почетни услови и услови ограничења елонгације система. Такође, одређена је једначина фазних трајекторија у фазној равни (x, \dot{x}) , као и једначине кривих енергије са одговарајућом графичком визуелизацијом истих и анализом кретања репрезентативне тачке стања кинетике система у току кинетике (динамике). Графички је приказана промена енергија за време док се осцилатор понаша као виброударни систем. Анализирани су услови удара материјалне тачке о ограничивач (угаоне) елонгација у условима од идеално еластичног судара до идеално пластичног. Одређен је, на конкретним примерима број судара када се систем неће понашати као виброударни.

У првом делу проучен је један од најпростијих виброударних система на бази хармонијског осцилатора са ограниченим елонгацијама. Размотрено је понашање хармонијског осцилатора уношењем ограничивача.

Један од најпростијих виброударних система на бази принудних осцилација хармонијског осцилатора са ограниченим елонгацијама приказан је у другом делу. Размотрено је понашање принудног кретања под дејством спољашње силе, хармонијског осцилатора уношењем ограничивача елонгације (ударног објекта).

У овом делу приказан је случај виброударног система на бази хармонијског осцилатора оптерећеног спољашњом једнофреквентном силом за случај $\Omega \approx \omega$.

У трећем делу проучен је виброударни систем на бази осцилатора са отпорном силом, која је пропорционална првом степену брзине са ограниченим елонгацијама. Размотрено је понашање осцилатора са отпорном силом која је пропорционална првом степену брзине, уношењем ограничивача. Поред остале анализе написана је функција расипања, снага рада отпорне силе и дати су одговарајући коментари.

Виброударни систем на бази принудног кретања осцилатора са отпорном силом, која је пропорционална првом степену брзине са ограниченим елонгацијама анализиран је у четвртном делу. Размотрено је понашање принудног кретања под дејством спољашње силе, осцилатора са отпорном силом пропорционалној првом степену брзине, уношењем ограничивача елонгације (ударног објекта). Написана је поред осталог и функција расипања, снага рада отпорне силе, снага рада спољашње једнофреквентне силе и дат је одговарајући коментар.

У петом делу петог поглавља проучен је виброударни систем на бази принудног кретања нелинеарног осцилатора са отпорном силом, која је пропорционална првом степену брзине са ограниченим елонгацијама. Размотрено је понашање принудног кретања под дејством спољашње силе, нелинеарног осцилатора са отпорном силом пропорционалној првом степену брзине, уношењем ограничивача елонгације. У овом

делу коришћена је асимптотска метода *Крйлов-Боголюбов-Митропольски* за одређивање прве асимптотске апроксимације решења. Анализа нелинеарног осцилатора извршена је и у конкретном случају нелинеаности опруге и показано је да применом прве апроксимације решења хомогене нелинеарне диференцијалне једначине добију се (приближно) исте трајекторије кретања тешке материјалне тачке са идентичном енергијском анализом као у случају без апроксимације.

У шестом делу проучен је виброударни систем на бази осцилатора који се креће по храпавој хоризонталној равни коефицијента трења клизања $\mu = tg\alpha_0$ са ограниченим елонгацијама. Размотрено је понашање осцилатора који се креће по хоризонталној храпавој равни уношењем ограничивача елонгације. За разлику од претходних делова овде је написана диференцијална једначина кретања за сваки интервал кретања ограничен алтернацијом смера дејства силе трења повезана са алтернацијом смера брзине кретања материјалне тачке као и промене брзине услед судара материјалне тачке са ограничивачем елонгације. Поред осталог горе наведеног овде је анализирана је и мера опадања енергије у сваком карактеристичном интервалу односно подинтервалу кретања.

Последњи део овог поглавља посвећен је проучавању виброударног система на бази осцилатора који се креће по кружној храпавој линији у вертикалној равни, коефицијента трења клизања $\mu = tg\alpha_0$ са ограниченим елонгацијама. Размотрена су својства осциловања тешке материјалне тачке по кружној храпавој линији са ограниченом елонгацијом. Поступак рада и анализа осцилатора је исти као у шестом делу, с тим што је овде једначина фазних трајекторија одређена у фазној равни $(\varphi, \dot{\varphi})$. У овом делу урађена су два нумеричка примера. Први са једнострано задржавајућом везом, и други са обострано задржавајућом везом уз велику почетну угаону брзину и уз покретљив (променљив) ограничивач угаоне елонгације.

Треба напоменути да у целини рад представља оригиналну композицију на тему енергијска анализа динамике виброударних системе и то:

* Систематизацијом познатих знања потребних за истраживање динамике виброударних система, за коју је коришћења литература високог универзитетског научног и филозофског садржаја кинетике механичких система.

* Дат је систематски приказ класичних примера виброударних система на бази осцилатора са једним степен слободе кретања са праволинијским и криволинијским путањама и у режимима слободних, као и принудних осцилација. У сваком делу је дат оригинални и нови допринос, посебно кроз енергијску анализу динамика виброударних процеса, као и анализу сила посебно код виброударних система на бази осцилатора са неидеалним везама у условима појаве сила трења.

* Посебно треба истаћи пето поглавље које представља нове оригиналне доприносе који су добијени и који су публиковани у коауторским радовима са ментором и руководиоцем пројекта ON 144002 или су у процесу рецензије. Посебно се истиче визуелизација кинетичке енергије, укупне механичке енергије система у току кинетике виброударног процеса, као и промена сила и компонената отпора неидеалне везе, односно силе трења у току кинетике виброударног процеса.

* Коришћењем софтверског програма MathCad и аналитичких израза за гране фазних трајекторија у интервалима између удара и графичким одређивањем кинетичких параметара стања кинетике, у процесу тренутног удара и алтернације брзина, дата је визуелизација виброударне динамике. Кроз различите визуелизације постављена је основа методологије лако применљиве у инжењерској пракси за анализу динамике реалних виброударних система чија апстракција води ка неком од проучених модела виброударне динамике. Иако је ова методологија приказана кроз више примера,

она добија на значају и као алгоритам који олакшано води анализи кинетичких параметара виброударне динамике система са једним степеном слободе кретања.

Сматрамо да рад даје оригинални допринос, садржи не само истраживачки приступ и систематизацију савремених сазнања, него и унос нових знања о динамици виброударних система и енергијској анализи динамике виброударних система, што је и био задатак рада, а што по Закону о Високом образовању треба да представља магистарски рад.

Закључак и предлог

На основу прегледа урађеног магистарског рада и анализе постигнутих резултата, чланови Комисије констатују:

- да поднети рад у потпуности одговара наслову и теми прихваћеној од стране Наставно – научног већа Факултета техничких наука у Косовској Митровици;
- да је кандидат резултатима добијеним у раду показао да поседује потребна знања из динамике виброударних система и сналази се изузетно добро у коришћењу софтверских алата и математичких програма за обраду аналитичких резултата, те да их успешно и креативно примењује у циљу постављања анализе и решавања практичних проблема у добијању фазних трајекторија, кривих енергија, решавању линеарних и нелинеарних диференцијалних једначина итд., а за шта је потребан висок ниво теоријских знања и истраживачке спремности;
- да је кандидат показао потребан ниво самосталности у истраживањима и испољио способност анализе научних знања из задате области, као и самосталност и оригиналност у осмишљавању и креирању одређених модела;
- да магистарски рад представља вредан и оригинални допринос систематизације знања из области с(удара), линеарних и нелинеарних осцилација и динамике виброударних система, те примени истих у енергијској анализи виброударних система базираних на различитим осцилаторима са ограничивачем елонгација;
- да су дати алгоритми за енергијску анализу динамике виброударних система, који се могу применити у различитим случајевима, тј. да резултати истраживања имају изванредан степен општости;
- да је један број оригиналних резултата публикован на међународним сипозијумима и конференцијама, DECOM- IFAC (International Federation of Automatic Control)-09 Organization, Охрид, Македонија, DSTA (Dynamical Systems Theory and Applications) 2009 International Conference, Lodz, Poljska, ICoVIS (International Centre of Vibro-Impact Systems) 2nd International Conference on Vibro –Impact systems, Sanya, Kina и део рада је публикован у научном часопису Scientifac Technical Review Војске Србије;
- да је рад технички обрађен на високом нивоу.

На основу свега напред изложеног чланови Комисије констатују да поднети магистарски рад представља вредан допринос развоју проучавања динамике виброударних система, као и да садржи оригиналне доприносе, а и идеје чије би реализације довеле до нових оригиналних доприноса, којима би допуњен овај рад магао да достигне и ниво докторске дисертације.

Имајући у виду све претходно изложено, као и актуелност и сложеност резултата, Комисија предлаже Наставно- научном већу Факултета техничких наука у Косовској Митровици да рад под називом

Енергијска анализа динамике виброударних система

прихвати за магистарску тезу и да кандидату Срђану Јовић, дипл.маш.инж. одобри усмену јавну одбрану.

У Косовској Митровици, Нишу
28.09.2009.год.

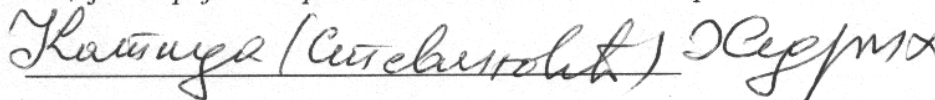
Чланови комисије:

Проф.др Катица (Стевановић) Хедрих

редовни професор Машинског факултета у Нишу

Члан Академије наука високих школа Украјине

Област компетенције: *Теоријска и примењена механика, Нелинеарна динамика*

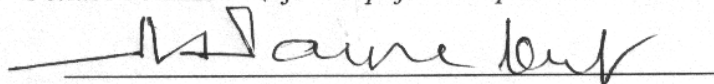


Проф.др Владимир Раичевић

редовни професор Факултета техничких наука у Косовској Митровици

Универзитет у Приштини

Област компетенције: *Теоријска и примењена механика*



Проф.др Златибор Васић

редовни професор Факултета техничких наука у Косовској Митровици

Универзитет у Приштини

Област компетенције: *Теоријска и примењена механика*

