

Образац 2.

Факултет Машински

УНИВЕРЗИТЕТ У БЕОГРАДУ

Веће научних области техничких наука
(Назив стручног већа коме се захтев упућује, сагласно
члану 6. и чл. 7 став 1. овог правилника)

314/5
(Број захтева)

12.06.2016.године
(Датум)

ЗАХТЕВ
за давање сагласности на реферат о урађеној докторској дисертацији

Молимо да, сходно члану 46. ст. 5 тач. 4. Статута Универзитета у Београду („Гласник Универзитета“, број 131/06), дате сагласност на реферат о урађеној докторској дисертацији кандидата:

ДРАГАН (БЛАГОЈЕ) НАУПАРАЦ

(име, име једног од родитеља и презиме)

КАНДИДАТ **ДРАГАН (БЛАГОЈЕ) НАУПАРАЦ**

(име, име једног од родитеља и презиме)

Пријавио је докторску дисертацију под називом:

**ПРИЛОГ ТЕОРИЈИ ПРОЈЕКТОВАЊА АКТУАТОРА ЗА УПРАВЉАЊЕ ВЕКТОРОМ ПОТИСКА РАКЕТНОГ
МОТОРА СА ФЛЕКСИБИЛНИМ МЛАЗНИКОМ**

Универзитет је дана 20.11.2009. год. својим актом под бр. 612-25/149/09 дао сагласност на предлог теме докторске дисертације која је гласила:

**ПРИЛОГ ТЕОРИЈИ ПРОЈЕКТОВАЊА АКТУАТОРА ЗА УПРАВЉАЊЕ ВЕКТОРОМ ПОТИСКА РАКЕТНОГ
МОТОРА СА ФЛЕКСИБИЛНИМ МЛАЗНИКОМ**

Комисија за оцену и одбрану докторске дисертације кандидата: **ДРАГАНА (БЛАГОЈЕ) НАУПАРЦА**

(име, име једног од родитеља и презиме)

Образована је на седници одржаној 11.02.2016. године, одлуком факултета под бр. 314/3, у саставу:

Име и презиме члана комисије	звање	научна област	установа у којој је запослен
1. Др Марко Милош	Ванр. проф.	Ваздухопловство	Машински факултет Београд
2. Др Милосав Огњановић	Ред. проф.	Опште маш. конструкције	Машински факултет Београд
3. Др Слободан Ступар	Ред. проф.	Ваздухопловство	Машински факултет Београд
4. Др Александар Симоновић	Ванр. проф.	Ваздухопловство	Машински факултет Београд
5. Др Слободан Гвозденовић	Ред. проф.	Ваздухопловство	Саобраћајни факултет Београд

Наставно-научно веће факултета прихватило је извештај Комисије за оцену и одбрану докторске дисертације на седници одржаној дана 12.05.2016. године.

ДЕКАН
МАШИНСКОГ ФАКУЛТЕТА

Проф. др Радивоје Митровић

Прилог: 1. Извештај комисије са предлогом.
2. Акт Наставно-научног већа факултета о усвајању извештаја.
3. Примедбе дате у току стављања извештаја на увид јавности,
уколико је таквих примедби било.

УНИВЕРЗИТЕТ У БЕОГРАДУ
- МАШИНСКИ ФАКУЛТЕТ –
Број: 314/5
Датум: 12.05.2016. године
Београд, Краљице Марије 16

На основу члана 128. Закона о високом образовању („Службени гласник РС“, број 76/2005, 100/2007 – аутентично тумачење, 97/2008, 93/2012 и 89/2013), члана 32. Закона о изменама и допунама Закона о високом образовању („Службени гласник РС“ број 44/2010) и члана 63. Статута Машинског факултета (број 1876/1 од 04.10.2013. године) и реферата Комисије у саставу: др Марко Милош, ванр. проф., ментор, др Милосав Огњановић, ред. проф., др Слободан Ступар, ред. проф., др Александар Симоновић, ванр. проф. и др Слободан Гвозденовић, ред. проф., Саобраћајни факултет Београд, о оцени докторске дисертације „Прилог теорији пројектовања актуатора за управљање вектором потиска ракетног мотора са флексибилним млазником“ докторанда мр Драгана Наупарца, дипл. маш. инж. , Наставно-научно веће Машинског факултета на седници одржаној 12.05.2016. године, донело је следећу

ОДЛУКУ

Усваја се реферат Комисије о урађеној докторској дисертацији **„ПРИЛОГ ТЕОРИЈИ ПРОЈЕКТОВАЊА АКТУАТОРА ЗА УПРАВЉАЊЕ ВЕКТОРОМ ПОТИСКА РАКЕТНОГ МОТОРА СА ФЛЕКСИБИЛНИМ МЛАЗНИКОМ“** докторанда **мр ДРАГАНА НАУПАРЦА**, дипл. маш. инж.

Докторску дисертацију и реферат Комисије о урађеној докторској дисертацији доставити на давање сагласности Већу научних области техничких наука Универзитета у Београду, по истеку рока од 30 дана у коме су били на увиду јавности.

Одлуку доставити: Већу научних области техничких наука Универзитета у Београду, докторанду, ментору и архиви Факултета.

ДЕКАН
МАШИНСКОГ ФАКУЛТЕТА

проф. др Радивоје Митровић

НАСТАВНО-НАУЧНОМ ВЕЋУ

Предмет: Реферат о урађеној докторској дисертацији кандидата
мр Драгана Наупарца, дипл. маш. инж.

Одлуком број 314/3 од 11.02.2016. године, именовани смо за чланове Комисије за преглед, оцену и одбрану докторске дисертације кандидата мр Драгана Наупарца са насловом:

**ПРИЛОГ ТЕОРИЈИ ПРОЈЕКТОВАЊА АКТУАТОРА
ЗА УПРАВЉАЊЕ ВЕКТОРОМ ПОТИСКА РАКЕТНОГ МОТОРА
СА ФЛЕКСИБИЛНИМ МЛАЗНИКОМ**

После прегледа достављене Дисертације и других пратећих материјала и разговора са Кандидатом, Комисија је сачинила следећи

РЕФЕРАТ

1. УВОД

1.1. Хронологија одобравања и израде дисертације

Кандидат, мр Драган Наупарац, дипл.инж. маш., пријавио је израду докторске дисертације под називом **„Прилог теорији пројектовања актуатора за управљање вектором потиска ракетног мотора са флексибилним млазником“** Машинском факултету Универзитета у Београду, 27.03.2009.г. под бројем 347/1. Кандидат је за ментора предложио проф. др Ђорђа Благојевића.

На основу пријаве кандидата и сагласности Катедре за системе наоружања бр. 347/2 од 16.4.2009.г., Комисија за оцену подобности теме и кандидата у саставу проф. др Ђорђе Благојевић, ментор, др Марко Милош, научни сарадник, проф. др Зоран Стефановић, др Зоран Бојанић, в. професор и доц. др Радоје Биљић, Електротехнички факултет Београд, поднела је Извештај (бр. 347/3 од 16.04.2009.г.) у коме предлаже да се одобри тема докторске дисертације „Прилог теорији пројектовања актуатора за управљање вектором потиска ракетног мотора са флексибилним млазником“, наводећи да кандидат испуњава законске услове и да је предложена тема адекватна за израду докторске дисертације. Наставно-научно веће Машинског факултета у Београду је на седници од 02. јула 2009.г., донело одлуку (број 347/4) да се прихвата предлог о испуњености услова о научној заснованости теме.

Веће научних области техничких наука Универзитета у Београду је на седници од 20. новембра 2009.г., донело одлуку број 612-25/149/09 и дало сагласност да се одобрава рад на предложеној теми докторске дисертације.

Ментор овог рада проф. др Ђорђе Благојевић је преминуо јуна 2012.г., после краће и тешке болести.

За новог ментора рада, одлуком Наставно-научног већа Машинског факултета у Београду број 2334/1 од 07.12.2012.г., именован је др Марко Милош, в. професор, који је у претходном периоду био један од најближих сарадника пок. професора др Ђорђа Благојевића.

Кандидату мр Драгану Наупарцу је Наставно-научно веће Машинског факултета у Београду два пута продужавало рок за израду докторске дисертације, одлукама бр. 2089/2 од 30. октобра 2014. г. и бр. 313/2 од 11. фебруара 2016. године.

На основу извештаја в. проф. др Марка Милоша, ментора, бр. 314/1 од 08.02.2016.г. да је кандидат мр Драган Наупарац завршио докторску дисертацију, као и предлога Катедре за опште машинске конструкције и Катедре за ваздухопловство, бр. 314/2 од 09.02.2016.г., Наставно-научно веће Машинског факултета је на седници одржаној 11.02.2016.г. донело одлуку (број 314/3) о именовању Комисије за оцену и одбрану докторске дисертације у саставу: др Марко Милош, в. проф., ментор, проф. др Милосав Огњановић, проф. др Слободан Ступар, др Александар Симоновић, в. проф. и проф. др Слободан Гвозденовић, Саобраћајни факултет универзитета у Београду.

1.2. Научна област дисертације

Докторска дисертација **„Прилог теорији пројектовања актуатора за управљање вектором потиска ракетног мотора са флексибилним млазником“** припада области Техничких наука – научна област Машинство, а ужој научној области Ваздухопловство, за коју је матичан Машински факултет Универзитета у Београду.

1.3. Биографски подаци о кандидату

Драган Б. Наупарац је рођен 23. септембра 1962. г. у Београду. Основну школу „Димитрије Туцовић“ је завршио је у Краљеву, 1977. г., а средње образовање је стекао у Краљевачкој гимназији 1981. г., по усмереном програму за занимање математичко технички сарадник. Исте године је уписао Машински факултет Универзитета у Београду, али је на прву годину студија кренуо 1982.г., после одслужења војног рока. Дипломирао је 16.06.1987.г., на Катедри за аутоматско управљање одбранивши дипломски рад на тему „Математички модели неких типова летелица“ са оценом 10. Средња оцена кандидата за време студија на Машинском факултету без дипломског рада је 8.47.

Последиломске студије је уписао 1987. године на Катедри за аутоматско управљање, Машинског факултета у Београду. Магистарски рад са темом „Анализа теорије праћења на реалном електрохидрауличном серво систему“, кандидат је одбранио у фебруару 1994. године, пред комисијом: проф. др Зоран Рибар, ментор, проф. др Зоран Бучевац и проф. др Новак Недић.

Први радни однос кандидат је засновао 1988. године у предузећу „Минел ФННА“, затим 1989. године у предузећу „Минел Институт за аутоматику“, а од краја 1989. до данашњег дана запослен је у предузећу ППТ-Инжењеринг АД, Београд, које се у претходном периоду налазило у саставу Индустрије хидраулике и пнеуматике „Прва Петолетка“ Трстеник, а од 2012. године послује у саставу руског предузећа „Трест Гидро Монтаж“ из Москве.

У предузећу ППТ-Инжењеринг кандидат је прошао пут од пројектанта сарадника до главног инжењера.

Делатност ППТ-Инжењеринга се заснива на једној врсти развојног пројектовања и у том смислу кандидат се преко двадесет пет година бави специфичним научно истраживачким радом усмереним на постављање нових стандарда у пројектовању електро хидрауличних, електро пнеуматских и система централног повезивања, који заједно чине област флуидних система.

Од почетка инжењерске каријере, кандидат је био сарадник на пројектима који су извођени у бившој Југославији, где се као најреферентнији издвајају: хидраулични системи за сценску технику Народног позоришта у Београду и електро хидраулични систем косог навоза за извлачење бродова, бродоградилишта Кладово. Доласком ратних времена и велике економске кризе, ППТ-Инжењеринг није прекидао свој рад, тако да и том периоду кандидат учествује на значајним пројектима као што су: електро хидраулично подизање магнета акцелераторске инсталације у Институту у Винчи (1992-1993), електро хидраулични системи на роторним багерима (1990-2000), систем за подизање куполе цамије Ал Рахман у Багдаду, итд. У периоду 1998-2002.г, ППТ-Инжењеринг обнавља програм електро хидрауличних система за коксну опрему са Гошом-ФОМ, у коме кандидат узима активног учешћа у радикалној модернизацији електро хидрауличних система.

У периоду после 2002. године, кандидат као одговорни пројектант и пројект менаџер прелази на пројекте електро хидрауличних система за хидромеханичку опрему. Пројекти се реализују у Мароку, Русији, Вијетнаму, Таџикистану, Тунису и другим земљама. Посебна референца кандидата је пројектовање електрохидрауличног

система за затварач C2 у оквиру заштитних објеката града Санкт Петербурга, Русија. Од 1999.г. кандидат је сарађивао са пројектном групом професора др. Ђорђа Благојевића на пословима везаним за пројектовање електро хидрауличних актуаторских система и система за тестирање управљања вектором потиска ракетног мотора. У периоду пре почетка израде докторског рада, кандидат је објавио неколико стручних радова као коаутор и учествовао на неколико међународних конференција из области електро хидрауличних система, од којих су најзначајније Ninth Bath International Fluid Power Workshop, Bath, 1996, England и 1st FPNI-PhD Symposium Hamburg, September 2000. Од активности значајних за научну област из које је урађена докторска дисертација кандидат је пројектовао неколико електрохидрауличних система за статичко и динамичко испитивање чврстоће елемената аеродинамичких конструкција.

2. ОПИС ДИСЕРТАЦИЈЕ

2.1. Садржај дисертације

Докторска дисертација кандидата мр Драгана Наупарца, дипл. инж. маш., под насловом „Прилог теорији пројектовања актуатора за управљање вектором потиска ракетног мотора са флексибилним млазником“ је документ формата А4 са текстом на српском језику на 317 страна. Дисертација садржи следећа поглавља:

- 1.0 Увод
- 2.0 Конструктивни опис актуационог система и објекта управљања
- 3.0 Пројектовање актуатора за управљање вектором потиска ракетног мотора са флексибилним млазником (општи систематизовани приступ)
- 4.0 Веза између конструктивних карактеристика ракете и актуатора-општи прилаз
- 5.0 Нови прилози за технологију пројектовања актуационог система за управљање вектором потиска ракетног мотора флексибилним млазником
- 6.0 Симулациони резултати
- 7.0 Експериментални резултати
- 8.0 Закључак и могући правци даљег истраживања
- 9.0 Литература
- 10.0 Прилози

и има 157 слика, 14 табела и наведене су 154 библиографске јединице.

2.2. Кратак приказ појединачних поглавља

У уводном поглављу је дат детаљан преглед доступне литературе и основни опис актуатора као класе система аутоматског управљања. Дефинисани су истраживачки циљеви дисертације и дат преглед садржаја дисертације. Посебно је размотрена и коришћена терминологија у раду.

Друго поглавље је посвећено конструктивном опису актуационог система и објекта управљања. Природним редоследом у одређеном обиму, неопходном за целовитост овог рада, анализирана је ракета као објект управљања, технологија управљања вектором потиска ракетног мотора и специфичности конструкције флексибилног млазника за управљање вектором потиска. У другом делу овог поглавља разматрају се специфичности конструкције актуатора за флексибилни млазник, а посебно се разматра и пропорционални/серво разводник као елемент за развођење радног флуида под притиском, односно посматрана је његова улога као управљачког органа актуационог система.

У трећем поглављу дефинисан је начин систематизације технологије пројектовања актуаторског система. Разматрано је основно конструктивно решење, затим основни концепт и конфигурација актуационог система, а потом је разматрана технологија почетног прорачуна као и одређени специфични елементи напредног прорачуна за случај електро хидрауличког актуационог система. Дефинисан је приступ математичком моделирању кроз израду нелинеарног математичког модела и кроз линеаризацију нелинеарног модела у виду општег приступа. Затим је разматрен даљи развој технологије математичког моделирања у правцу додавања статичких нелинеарности, као посебне класе нелинеарности у електро хидрауличком систему. Претходни наведени математички модели урађени су за случај општих услова оптерећења. У посебном делу овог поглавља анализирана је проблематика моделирања оптерећења актуатора када је потребно управљати флексибилним млазником. У оквиру истог поглавља које говори о базном пројектовању разматрене су и теме које употпуњавају комплетну технологију пројектовања актуационог система, као што је технологија експерименталне верификације пројектованог актуационог система, анализа раположивих алгоритама управљања и закључни део овог поглавља је претходна синтеза управљачких алгоритама.

Четврто поглавље је посвећено конструктивној вези ракете и актуатора у оба смера, односно међусобној структурној интеракцији. Први део овог поглавља разматра како конструкција ракете у почетној фази пројектовања утиче на почетак пројектовања актуационог система односно актуатора. Дефинисана је и механичка карактеристика актуатора као и утицај другог актуатора приликом управљања закретањем флексибилним млазником. Наглашена је сопствена фреквенција ракете као посебан параметар који има директан и недвосмислен утицај на дефинисање динамичких параметара актуатора. У овом поглављу анализирано је и како еластичност ракете утиче на пројектовање актуатора за управљање флексибилним млазником.

У петом поглављу издвојена су четири дела у којима је кандидат систематизовао неке своје погледе на обавезне елементе пројектовања актуатора за флексибилни млазник. Први део разматра зависност појачања актуационог система од крутости позиционог оптерећења. У другом делу посебан значај се даје начину моделирања нелинеарне статичке карактеристике разводника и оптерећења у оквиру ризика за појаву самоосциловања. У трећем делу генерално је систематизована проблематика принудних осцилација и самоосциловања у актуационим системима. Четврти део је посвећен специфичном структурирању математичког модела за опис актуационог система за флексибилни млазник.

Шесто поглавље је посвећено дефинисању захтева за неопходне симулационе провере приликом пројектовања актуатора за флексибилни млазник. Систематизован је минимални број симулационих провера које су неопходне за напредну технологију пројектовања актуатора за флексибилни млазник. Одређен број симулација је приказан и у поглављу 3 као неопходна илустрација одређених разматрања, тако да је у овом поглављу дат преглед неопходних симулација при пројектовању флексибилног млазника као и приказ симулација које претходно нису наведене, а баве се проблематиком елемената локалне структуре ракете и мотора за коју се везује флексибилни млазник. Посебна група симулационих провера везана је алтернативну опцију структурирања математичком модела (Simscape-Simhydraulics) без преносних функција, статичких нелинеарности и увођења нелинеарних једначина и провера ресурса и упоређивање резултата са класичним приступом који је дефинисан у оквирима Simulink опција. Такође посебна група симулационих провера односи се на различита алгоритамска решења за управљање, од класичних, до одређених новијих и модернијих, са идејом симулационе провере применљивости за управљање флексибилним млазником.

Седмо поглавље разматра експерименталне резултате који су добијени у оквиру посебно конфигуриране електрохидрауличне инсталације где су размотрени одређени посебни феномени за неке од претходно синтетизованих закона управљања као и евиденција захтева за експерименталну идентификацију параметара. Дефинисано је неколико специфичних експерименталних провера које се заснивају на дефинисању различитих нелинеарних зависности типа хистерзиса које су посебно значајне када је у питању оптерећење актуатора типа флексибилни млазник ракетног мотора.

У осмом поглављу дат је закључак за извршене експерименталне и теоријске анализе у оквиру приступа пројектовању актуатора. Такође, дате су смернице за даљи рад.

У деветом поглављу је наведена коришћена литература при изради докторске дисертације.

Десето поглавље садржи четири прилога. У првом прилогу, дефинисани су нумерички модели за опис актуатора у простору улаз-излаз и у простору стања. У другом прилогу описан је електро хидраулични систем за експерименталну верификацију актуационог система у фазама пројектовања, у трећем прилогу дати су неки елементи кода управљачког софтвера, а у прилогу 4 је дат блок дијаграм који показује све специфичности пројектовања актуационог система.

3. ОЦЕНА ДИСЕРТАЦИЈЕ

3.1. Савременост и оригиналност

Докторска дисертација „Прилог теорији пројектовања актуатора за управљање вектором потиска ракетног мотора са флексибилним млазником“ даје систематизован, а у том смислу и оригиналан приступ пројектовању електро хидрауличног актуатора за флексибилни млазник. Кандидат је желео да дефинише претходни праг познатих елемената за ову врсту пројектовања и да у исто време повеже и прикаже зависност пројектовања ракете од актуационог система и зависност пројектовања актуационог система од перформанси ракете. Другим речима, разматрао је који се резултати из пројектовања електро хидрауличног актуационог система (у оквиру теорије и праксе аутоматског управљања) могу искористити као елементи за пројектовање ракете и обратно. У

одређеном смислу овакав приступ се може сматрати алтернативом, у овом тренутку такође савременом приступу, да се максимално пре и у почетним фазама пројектовања анализирају патентна решења која су усвојена или у фази усвајања, јер и она представљају претходно познати праг елемената пројектовања. Научна оправданост израде ове докторске дисертације је у чињеници да се ова проблематика, на овакав начин, није раније разматрала у Србији па и шире. Обзиром да се перспективе развоја мењају, корисно је да постоји претходно анализирана проблематика и оригинално систематизован приступ пројектовању електро хидрауличног актуатора за описану намену.

Посебан допринос истраживања се огледа и у креирању функционалног модела који симулира адекватно оптерећење на смицање што је значајно за развој проблематике експерименталне верификације пројектних решења као и изабраних алгоритама управљања.

3.2. Осврт на референтну и коришћену литературу

Списак литературе која је коришћена у докторској дисертацији је дат у посебном поглављу. Прегледом списка коришћене литературе може се закључити да је кандидат у доброј мери располагао савременом референтном литературом из области електро хидрауличних система, управљања вектором потиска, теорије система аутоматског управљања, управљања вектором потиска флексибилним млазником као и литературом која се у другим областима бави проблематиком флексибилног оптерећења актуационих система. Извори су били међународни научни часописи, стручни уџбеници, референтна докумената (нпр. патенти) као и литература на српском језику која је најскромнија баш у делу управљања вектором потиска. Кандидат је коректно проучио и цитирао литературне изворе који су му послужили као основа за систематизацију постојећих сазнања из области која је предмет докторске дисертације. Обзиром на чињеницу шта је предмет докторске дисертације и да један део литературе сигурно није доступан ширем кругу читалаца, остављамо резерву да кандидат вероватно није био у прилици да му можда буду доступна најновија достигнућа у овој области која су објављена у контролисаној литератури за веома узак круг читалаца.

Потребно је нагласити да прегледом расположиве литературе нису пронађени примери комплетног пројектовања електро хидрауличних система за управљање вектором потиска флексибилним млазником.

3.3. Опис и адекватност примењених научних метода

Пројектовање актуатора за флексибилни млазник је мултидисциплинарна активност коју је кандидат раздвојио на етапе (систематизовао) у складу са препорукама из литературе и праксе као и према својим претходним искуствима.

Научне методе које су примењене у поступку реализације научних резултата могу се поделити на неколико група: теоријске (анализа и синтеза), експерименталне методе и нумеричке методе.

На основу препорука из литературе и праксе, прво је изабран концепт актуационог система, затим конфигурација актуационог система и извршено претходно почетно одређивање димензија. На тај начин добијен је и дефинисан део актуационог система, у литератури познат под називом „неизменљив део система“ који више није предмет почетних структурних измена. На основу оваког приступа кандидат је дефинисао више форми математичког модела који се могу користити за даље детаљно пројектовање актуационог система, тако да се за завршни математички опис система може изабрати најповољнија, претходно проверена форма математичког модела. На основу претходно дефинисаних различитих форми математичких модела „неизменљивог дела система“, урађена је детаљна анализа и селекција алгоритамиких решења, која могу бити предмет примене за управљање флексибилним млазником. На основу ове селекције могућих алгоритама управљања, постепено је рађена синтеза и анализа управљачких алгоритама кроз симулациону проверу. Анализирање различитих варијанти моделовања флексибилног млазника, потврдило је да се опис оптерећења може радити преко идеалне опруге. Без обзира што је доминантно оптерећење типа смицања, показује се да и у овом случају важи Хуков закон, што је довољна аргументација да је при моделовању флексибилног оптерећења потпуно оправдано користити опис истог преко идеалне еластичне опруге.

Као допуну општег систематизованог приступа пројектовању електро хидрауличног актуатора за флексибилни млазник, кандидат је урадио и неколико теоријских анализа које су послужиле да се аргументују чињенице које се користе аксиоматски у приступу пројектовања електро хидрауличног актуационог система.

Експериментални рад је базиран на приступу да се за изабрани разводник и склоп разводника и цилиндра са оптерећењем, снимају стварне статичке и динамичке карактеристике на основу којих се одређују параметри за

математичко моделирање актуационог система који ће се користити у синтези управљачког алгоритма. То значи да нису коришћени каталошки подаци произвођача разводника и цилиндра, ради моделовања система, већ стварно снимљени подаци.

Претходно наведено показује да су у раду коришћене различите симулационе технике, односно нумеричке научне методе, експерименталне научне методе и научне методе засноване на теоријским анализама.

Изабране методе су у потпуности адекватне за проблем који је предмет истраживања, правилно су искоришћене за анализу добијених резултата и извођење релевантних закључака.

3.4. Применљивост остварених резултата

Радам на докторској дисертацији остварио је значајне и примењиве резултате са трајном научном вредношћу и практичном применљивошћу у области управљања вектором потиска ракетног мотора.

Теоријска знања представљена у овој дисертацији могу да буду основа и за бројна друга истраживања из ове области.

Решењем оптималне технологије пројектовања актуатора за екстремне динамичке услове, специјалне услове уградње и ригидне амбијенталне услове, створен је потенцијал за универзалну и флексибилну технологију пројектовања актуационих система под чим се не подразумева само актуатор, већ комплетан аутономни систем који обезбеђује дејство извршног органа са својим управљачким функцијама.

Велика практична и употребна вредност се огледа у развијеним моделима и процедурама који су применљиви и за друге актуационе системе, где имамо значајно флексибилно оптерећење али и флексибилно и инерцијално оптерећење истовремено.

3.5. Оцена достигнутих способности кандидата за самостални научни рад

Чланови комисије сматрају да је кандидат показао способност да самостално и системски решава инжењерске и научне проблеме, да користи расположиву литературу и да успешно влада савременим истраживачким методама. Поседује широко теоријско знање и практично искуство потребно за даљи успешан научно-истраживачки рад.

4. ОСТВАРЕНИ НАУЧНИ ДОПРИНОС

4.1. Приказ остварених научних доприноса

Ова дисертација је документовано проширила постојећа знања и остварила научни допринос у области управљања вектором потиска.

Остварени су следећи научни доприноси:

- Развијена је специфична методологија инжењерског дизајна актуатора за управљање вектором потиска ракетног мотора са флексибилним млазником.
- Развијен је актуациони систем за спречавање закретања тачке везе актуатора са млазником односно померања центра ротације млазника услед аксијалног померања флексибилне везе на почетку рада ракетног мотора.
- Дефинисане су неопходне повратне спреге за реализацију адекватног квалитета управљања. Изабрана је идеална структура електрохидрауличног актуационог система као референтна за усклађивање специфичности структуре електро хидрауличног актуатора за флексибилни млазник.
- Успостављена је методологија математичког моделирања флексибилног млазника у форми „еластичног клатна“ као репрезента флексибилног оптерећења. Нађено је адекватно решење за утицај нелинеарних феномена на основу претпостављене учестаности и амплитуде управљачког сигнала.
- Дефинисане су специфичне могућности за одржање радне способности електро хидрауличног система.

- Конструкција симулатора флексибилног оптерећења у комбинацији са променљивим инерцијалним оптерећењем за експерименталну верификацију динамичког понашања актуационог система.
- Математички модел за симулатор оптерећења флексибилног млазника.

У оквиру дисертације избегнути су или решени досадашњи недостаци из области пројектовања електро хидрауличног актуационог система. Неки од њих су следећи:

- У доступној литератури готово не постоје радови који се баве управљањем у зони хистерзиса. У овом раду додавањем офсета на управљачки сигнал који зависи од несиметрије појачања по притиску, урађена је компензација утицаја еластичног хистерзиса на одзив актуационог система по позицији.
- Није издвојен утицај зазора и трења у оквиру везе актуатора са флексибилним млазником на динамичко понашање актуационог система као посебне нелинеарности. Ове нелинеарности су експериментално „интегрисане“ у јединствену нелинеарност типа хистерезиса, идентификацијом зоне неосетљивости актуационог система са засићењем, као репрезентативне нелинеарности.
- Највећи број математичких модела који су засновани на познавању конструкције актуатора за флексибилни млазник и карактера флексибилног оптерећења избегнути су на основу експерименталних података који су добијени из различитих статичких карактеристика актуационог система. Тако је било могуће дефинисати репрезентативну нелинеарност типа зоне неосетљивости и засићења.
- Глобална (директна) позициона повратна спрега која би показивала положај млазника, не може се лако дефинисати из конструктивних разлога. Проблем је у пракси решен тако што се преко брзинског жirosкопа и акцелерометара прати нормално убрзање ракете и добија еквивалентна информација (после одређених прерачунавања) о директној позиционој повратној спрези која би одређивала стварни положај флексибилног млазника.
- Карактер флексибилне везе се у времену мења, пре свега због смањења сумарног момента оптерећења. Овај момент се мења због унутрашње релаксације чврстоће флексибилне везе из више разлога. Директно праћење ових промена и увођење информација у управљачки алгоритам актуационог система је избегнуто директним компензацијом на основу повратне спреге по сили (давач силе интегрисан на крају клипњаче цилиндра).
- Да би се избегло коришћење електро хидрауличног серво разводника са променљивим појачањем (једно појачање за мала померања и друго за управљачке сигнале) с обзиром да електро хидраулични актуатор ради као актуатор за програмско управљање кретањем тежишта ракете али и као актуатор за стабилизацију кретања ракете око свог тежишта, предложено је и образложено решење са електро хидрауличним разводником са електричном повратном спрегом на разводном клипу.

4.2. Критичка анализа резултата истраживања

У докторској дисертацији је на адекватан начин извршена систематизација постојећих сазнања из области пројектовања електро хидрауличних актуатора за флексибилни млазник.

Истраживања спроведена у оквиру докторске дисертације обухватила су праћење промене силе у односу на остварену позицију клипњаче цилиндра, који представља извршни део хидрауличног актуационог система. Полазећи од чињенице да брзина рада рачунара као и тип улазног сигнала није без значаја за карактер промене силе, разматран је и проблем да систем од минимално фазног постане неминимално фазни. За одређен случај управљачког сигнала показано је да сила може линеарно да прати промену управљачког сигнала, што је један од начина индиректног управљања силом, без унапред познате референтне вредности.

Обзиром на сложеност адекватног моделирања динамике актуационог система посебно са оптерећењем типа флексибилни млазник и карактера експерименталне инсталације, није било могуће директно односно потпуно поређење симулационих и експерименталних резултата. Даљи рад у овој области се може усмерити ка унапређењу математичког модела флексибилног млазника у техници коначних елемената. Адекватним математичким формализмима кандидат је доказао који облик преносне функције одговара линеарном приказу динамике флексибилног млазника.

4.3. Верификација научних доприноса

Доприноси докторске дисертације су верификовани кроз следеће радове које је кандидат објавио у међународним и домаћим часописима и саопштио на међународним и домаћим скуповима:

Категорија M23

1. **D.B.Nauparac**, D.H.Prsic, M.V.Milos, I.S.Todic, Different Modelling Technologies Of Hydraulic Load Simulator For Thrust Vector Control, Technical Gazette, Vol.22 No. 3(2015), pp. 599-606, DOI: 10.17559/TV-20140621063240, ISSN1330-3651(IF=0.579)

Категорија M24

1. **D.Nauparac**, D.Prsic, M.Milos, M.Samardžić, J.Isaković, Design criterion to select adequate control algorithm for electro-hydraulic actuator applied to rocket engine flexible nozzle thrust vector control under specific load, FME Transactions, Vol. 41, No 1, 2013, pp 33-40, YU ISSN 1451-2092
2. M.Samardžić, J.Isaković, M.Milos, Z.Anastasijević, **D.Nauparac**, Measurement of the Direct Damping Derivative in Roll of the Two Calibration Missile Models, FME Transaction, Belgrade, Accepted for printing, Vol. 41, No 3, 2013, page 189-194, YU ISSN 1451-2092

Категорија M33

1. **D.Nauparac**, The criteria for selection of control algorithms for electrohydraulic power actuator, Heavy Machinery HM 2011 Proceedings, Vrnjacka Banja, 2011., pp 27-32, ISBN 978-86-82631-58-3
2. **D.Nauparac**, D.Prsic, M.Milos, Design Selection of Adequate Control Algorithm for Electro-hydraulic Actuator Applied on Rocket Engine Flexible Nozzle Thrust Vector Control, Proceedings of 14th ITI, Symposium, Dresden, October 2011, pp. 33-41
3. **D.Nauparac**, D.Prsic, M.Milos, Electro-hydraulic system for the Simulation of Dynamic Behaviour of Rocket Engine Flexible Nozzle Thrust Vector Control, Proceedings of 2nd International conference Manufacturing Engineering & Management 2012, Presov, Slovak Republic, pp. 132-136, ISBN 978-80-553-1216-3

5. ЗАКЉУЧАК И ПРЕДЛОГ

Прегледом докторске дисертације кандидата мр Драгана Наупарца, дипл. инж. маш., Комисија закључује следеће:

- Тема и резултати остварени у докторској дисертацији су од значаја за развој и унапређење процеса пројектовања електро хидрауличног актуатора за флексибилни млазник. Експериментални резултати приказани у тези (поглавље 7) су универзални, односно могу се примењивати и за остале електро хидрауличне актуационе системе са флексибилним оптерећењем. Дефинисани математички модели имају структурну универзалност;
- Кандидат је при решавању постављеног задатка користио савремене методе, стандардну стручну терминологију, а структура докторске дисертације и методологија излагања су у складу са универзитетским нормама;
- Спроведеним истраживањима у актуелној области пројектовања електрохидрауличног актуатора кандидат је показао широко опште знање и искуство у свим елементима пројектовања електро хидрауличног актуационог система и математичком моделирању актуаторских конфигурација;
- На основу извршених експерименталних истраживања и добијених резултата кандидат је овом дисертацијом дао научни допринос ефикасном развоју технологије пројектовања електрохидрауличних актуатора и испитивања истих. Свеобухватан и систематизован приступ решавању пројектних проблема, начин дефинисања експерименталне верификације дефинисаног управљања дају значајан степен оригиналности докторске дисертације;

- Остварени научни и практични резултати су верификовани публикавањем радова у међународним и домаћим часописима, као и саопштењема у зборницима радова на међународним и националним конференцијама. Радови публиковани у међународним и националним часописима су до сада цитирани више пута од стране других аутора у међународним часописима.

На основу изложеног, Комисија констатује да је докторска дисертација кандидата мр Драгана Наупарца, дипл. маш. инж., „Прилог теорији пројектовања актуатора за управљање вектором потиска ракетног мотора са флексибилним млазником“ написана према свим стандардима у научно истраживачком раду, као и да испуњава све услове предвиђене Законом о високом образовању, стандардима и Статутом Машинског факултета Универзитета у Београду. Комисија предлаже Наставно-научном већу Машинског факултета у Београду да Извештај прихвати, дисертацију стави на увид јавности и упуту извештај на коначно усвајање Већу научних области техничких наука Универзитета у Београду и да се након тога кандидат позове на јавну одбрану.

У Београду, 6. маја 2016.г.

Чланови Комисије за оцену и одбрану:

др Марко Милош, в. проф., ментор
Универзитет у Београду, Машински факултет

др Милосав Огњановић, ред. проф.
Универзитет у Београду, Машински факултет

др Слободан Ступар, ред. проф.
Универзитет у Београду, Машински факултет

др Александар Симоновић, в. проф.
Универзитет у Београду, Машински факултет

др Слободан Гвозденовић, ред. проф.
Универзитет у Београду, Саобраћајни факултет

УНИВЕРЗИТЕТ У БЕОГРАДУ
- МАШИНСКИ ФАКУЛТЕТ –
Број:314/5
Датум: 12.05.2016. године
Београд, Краљице Марије бр. 16

На основу члана 128. Закона о високом образовању („Службени гласник РС“, број 76/2005, 100/2007 – аутентично тумачење, 97/2008, 93/2012 и 89/2013), члана 32. Закона о изменама и допунама Закона о високом образовању („Службени гласник РС“ број 44/2010) и члана 63. Статута Машинског факултета (број 1876/1 од 04.10.2013. године), Наставно-научно веће на седници одржаној 12.05.2016. године, донело је

ОДЛУКУ

Усваја се реферат Комисије о урађеној докторској дисертацији **„ПРИЛОГ ТЕОРИЈИ ПРОЈЕКТОВАЊА АКТУАТОРА ЗА УПРАВЉАЊЕ ВЕКТОРОМ ПОТИСКА РАКЕТНОГ МОТОРА СА ФЛЕКСИБИЛНИМ МЛАЗНИКОМ“** докторанда мр **ДРАГАНА НАУПАРЦА**, дипл. маш. инж.

Јавна одбрана докторске дисертације обавиће се по добијању сагласности Универзитета у Београду.

Универзитет у Београду је својим Одлуком број 612-25/149/09, од 20.11.2009. године, дао сагласност на предлог теме докторске дисертације.

Објављени радови студента у часописима међународног значаја:

1. **D.B.Nauparac**, D.H.Prsic, M.V.Milos, I.S.Todic, Different Modelling Technologies Of Hydraulic Load Simulator For Thrust Vector Control, Technical Gazette, Vol.22 No. 3(2015), pp. 599-606, DOI: 10.17559/TV-20140621063240, ISSN1330-3651(IF=0.579)

Одлуку доставити: докторанду, ментору, Катедри за опште машинске конструкције и архиви Факултета.

ДЕКАН
МАШИНСКОГ ФАКУЛТЕТА

проф. др Радивоје Митровић

УНИВЕРЗИТЕТ У БЕОГРАДУ
- МАШИНСКИ ФАКУЛТЕТ –
Број: 2089/2
Датум: 30.10.2014. године
Београд: Краљице Марије 16

У вези захтева мр Драгана Наупарца, дипл.инж.маш., уз сагласност Шефа Катедре за опште машинске конструкције, да му се продужи рок за израду докторске дисертације, Наставно-научно веће Машинског факултета сагласно чл. 128. Закона о високом образовању, на седници одржаној 30.10.2014. године донело је следећу

ОДЛУКУ

Одобрава се продужење рока за израду докторске дисертације **«ПРИЛОГ ТЕОРИЈИ ПРОЈЕКТОВАЊА АКТУАТОРА ЗА УПРАВЉАЊЕ ВЕКТОРОМ ПОТИСКА РАКЕТНОГ МОТОРА СА ФЛЕКСИБИЛНИМ МЛАЗНИКОМ»** кандидата **мр ДРАГАНА НАУПАРЦА**, дипл.инж.маш. до 24.11.2015. године.

Одлуку доставити: ментору, Катедри, кандидату и архиви.

ДЕКАН
МАШИНСКОГ ФАКУЛТЕТА

Проф. др Милорад Милованчевић

УНИВЕРЗИТЕТ У БЕОГРАДУ
- МАШИНСКИ ФАКУЛТЕТ –
Број: 313/2
Датум: 11.02.2016. године
Београд: Краљице Марије 16

У вези захтева мр Драгана Наупарца, дипл.инж.маш., уз сагласност ментора др Марка Милоша, ванр.проф. и Шефа Катедре за опште машинске конструкције, да му се продужи рок за израду докторске дисертације, Наставно-научно веће Машинског факултета сагласно чл. 128. Закона о високом образовању, на седници одржаној 11.02.2016. године донело је следећу

ОДЛУКУ

Одобрава се продужење рока за израду докторске дисертације **«ПРИЛОГ ТЕОРИЈИ ПРОЈЕКТОВАЊА АКТУАТОРА ЗА УПРАВЉАЊЕ ВЕКТОРОМ ПОТИСКА РАКЕТНОГ МОТОРА СА ФЛЕКСИБИЛНИМ МЛАЗНИКОМ»** кандидата **мр ДРАГАНА НАУПАРЦА**, дипл.инж.маш. до 30.09.2016. године.

Одлуку доставити: ментору, Катедри, кандидату и архиви.

ДЕКАН
МАШИНСКОГ ФАКУЛТЕТА

Проф. др Радивоје Митровић