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)

1441/4
(Број захтева)

12.07.2018. године
(Датум)

З А Х Т Е В
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:

МИЛОША (ДРАГАН) МАРКОВИЋА
(име,име једног од родитеља и презиме)

КАНДИДАТ **МИЛОШ (ДРАГАН) МАРКОВИЋ уписан на Докторске студије 2012. год.**
(име, име једног од родитеља и презиме**)**

Поднео је захтев за израду докторске дисертације:
СИНТЕЗА ТАКТИЧКИХ РАКЕТА ЗЕМЉА – ВАЗДУХ ПРОТИВ ЦИЉЕВА ВЕЛИКИХ БРЗИНА

Универзитет је дана 04.07.2016. год. својим актом под бр. 61206-3359/2-16 дао сагласност на предлог теме докторске дисертације која је гласила:
СИНТЕЗА ТАКТИЧКИХ РАКЕТА ЗЕМЉА – ВАЗДУХ ПРОТИВ ЦИЉЕВА ВЕЛИКИХ БРЗИНА

Комисија за оцену и одбрану докторске дисертације кандидата: **МИЛОША (ДРАГАН) МАРКОВИЋА**
(име,име једног од родитеља и презиме)

Образована је на седници одржаној 14.06.2018. године, одлуком факултета под бр.1441/2 , у саставу:

Име и презиме члана комисије	звање	научна област	установа у којој је запослен
1. Др Момчило Милиновић	Ред. проф.	Војно маш. – системи наоружања	Машински факултет Београд
2. Др Слободан Јарамаз	Ред. проф. у пензији	Војно маш. – системи наоружања	Машински факултет Београд
3. Др Дејан Мицковић	Ред. проф.	Војно маш. – системи наоружања	Машински факултет Београд
4. Др Предраг Елек	Ред. проф.	Војно маш. – системи наоружања	Машински факултет Београд
5. Др Дарко Васиљевић	Виши научни сарадник	Природно математичке науке - Физика	Институт за физику Београд

Наставно-научно веће факултета прихватило је извештај Комисије за оцену и одбрану докторске дисертације на седници одржаној дана 12.07.2018. 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: 1441/5
Датум: 12.07.2018. године
Београд, Краљице Марије 16

На основу члана 30. Закона о високом образовању („Службени гласник РС“, број 76/2005, 100/2007 – аутентично тумачење, 97/2008, 93/2012 и 89/2013), члана 63. Статута Машинског факултетета (број 1876/1 од 04.10.2013. године) и члана 37. Правилника о докторским студијама Машинског факултета и реферата Комисије у саставу: др Момчило Милиновић, ред. проф., ментор, др Слободан Јарамаз, ред. проф. МФ. у пензији, др Дејан Мицковић, ред. проф., др Предраг Елек, ред. проф. и др Дарко Васиљевић, виши научни сарадник, Институт за физику Београд о оцени докторске дисертације „Синтеза тактичких ракета земља-ваздух против циљева великих брзина“ студента докторских студија **Милоша Марковића**, **маст. инж. маш.**, Наставно-научно веће Машинског факултета на седници одржаној 12.07.2018. године, донело је следећу

О Д Л У К У

Усваја се реферат Комисије о урађеној докторској дисертацији **„СИНТЕЗА ТАКТИЧКИХ РАКЕТА ЗЕМЉА-ВАЗДУХ ПРОТИВ ЦИЉЕВА ВЕЛИКИХ БРЗИНА“** студента **МИЛОША МАРКОВИЋА**, **маст. инж. маш.**

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, студенту, ментору и архиви Факултета.

ДЕКАН
МАШИНСКОГ ФАКУЛТЕТА

проф. др Радивоје Митровић

Универзитет у Београду
Машински факултет

НАСТАВНО-НАУЧНОМ ВЕЋУ
ВЕЋУ ДОКТОРСКИХ СТУДИЈА

Предмет: Реферат о урађеној докторској дисертацији кандидата **Милоша Марковића**, студента докторских студија

Одлуком Наставно-научног већа Машинског факултета у Београду, бр. 1441/2 од 14.06.2018. године, именовани смо за чланове Комисије за преглед, оцену и одбрану докторске дисертације докторанта Милоша Марковића под насловом,

Синтеза тактичких ракета земља-ваздух против циљева великих брзина.

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

Р Е Ф Е Р А Т

1 УВОД

1.1 Хронологија одобравања и израде дисертације

Милош Марковић се уписао на Докторске студије Машинског факултета – Универзитет у Београду, школске 2012/2013 године и по програму ових студија, током прва четири семестра положио је све испите са одличним успехом. Од августа 2013. године, запослен је на Машинском факултету у Београду као изабрани асистент на Катедри за системе наоружања. На основу искуства у досадашњем раду у војној индустрији "Слобода-Чачак" и даљег напредовања у научноистраживачким анализама кандидат **Милош Марковић** је урадио и одбранио Пројекат идеје дисертације, из којег је дефинисана сама тема. Израда дисертације под насловом "Синтеза тактичких ракета земља-ваздух против циљева великих брзина" резултат је потребе за даљим аналитичким радом на групи предмета за које је изабран као асистент а одобрена му је одлуком Већа научних области техничких наука Универзитета у Београду, број 61206-3359/2-16 од 04.07.2016. године. Шестогодишњи период за завршетак докторских студија није истекао у моменту завршетка докторске дисертације.

1.2 Научна област дисертације

Докторска дисертација **Милоша Марковића** под насловом "**Синтеза тактичких ракета земља-ваздух против циљева великих брзина**" припада области техничких наука – машинство, ужа научна област **Војно машинство – Системи наоружања**, за коју је матичан Машински факултет Универзитета у Београду. Дисертација обрађује питања везана за синтезу тактичких ракета специјалне намене против циљева великих брзина, са освртом на интергални приступ изучавања проблема синергије више области као што су вођење и управљање, аеродинамика, пропулзија, конструкција бојевих глава, физика експлозије, динамика лета и терминална балистика. Применом одговарајућих метода развијена су одговарајућа решења и математички, софтверски и софтверско-експериментални модели за прелиминарни развој ракете за поменуте намене. За ментора је именован др Момчило Милиновић, редовни професор, компетентан у области система наоружања а посебно из области ракетних система. Додатне уже научне области које су морале бити изучаване и примењене у току истраживања покривене су компетенцијама како ментора тако и осталих чланова Комисије.

1.3 Биографски подаци о кандидату

Милош Д. Марковић рођен је 03.07.1987. у Београду. Основну школу "Браћа Јерковић" завршио је у Железнику-Београд, где је завршио и Средњу техничку школу "Иво Лола Рибар" на усмерењу "Техничар нумерички управљаних машина". Носилац је већег броја награда и похвала током школовања. Године 2006. уписује Основне академске студије у трајању од три године на Машинском факултету у Београду, које је завршио 28.09.2009 год., чиме је стекао титулу инжењер машинства трогодишњих студија (скраћено инж.маш.3г. - B.Sc.) са просечном оценом 7.73 (седам и 73/100). Исте године, у континуитету, уписује Мастер академске студије на Машинском факултету у Београду, модул системи наоружања, где дипломира 25.10.2011.год, са просечном оценом 9.36 (девет и 36/100) и стиче звање Дипломирани инжењер машинства–Мастер, што одговара звању M.Sc. Завршни мастер рад (дипломски рад) реализује, такође, на модулу за системе наоружања, на теми "Експлозивно формирани пројектили". По завршетку студија 2011. године, као стипендиста Компаније "Слобода-Чачак", одлази на рад у Чачак, где је ангажован у производњи, као развојни инжењер на производима наоружања и војне опреме. Такође је ангажован у државном развојном тиму за трансфер домаће војне технологије за иностраног корисника, а у оквиру посебног међународног програма Војне индустрије Србије. Учествује и на новим развојно-истраживачким пројектима индустрије у компанији "Слобода-Чачак". Током рада, стиче посебна знања и искуства за полигонска испитивања средстава наоружања и војне опреме. Докторске студије уписује на Машинском факултету у Београду 2012. године на модулу за Системе наоружања - Војно машинство, са професионалном и научно-истраживачком оријентацијом на рад у области конструкције ракетног наоружања и ракетне технологије. Од 01.08.2013. године изабран је и запослен у звању асистента Машинског факултета Универзитета у Београду за ужу научну област системи наоружања на истоименој Катедри. Активно се служи и користи енглески и руски језик као и различите софтверске пакете: Matlab, GNU Octave, MathCad, SolidWorks, CorelDRAW, AutoCad, AUTODYN и Latex. Као запослен на Машинском факултету Универзитета у Београду на Катедри за системе наоружања учествује у одржавању вежби на Основним академским студијама на предметима: Увод у системе наоружања, Основи конструисања

система наоружања, Конструкција ракетног наоружања. На Мастер академским студијама учествује на предметима: Пројектовање ракета и лансера, Системи управљања ватром и Теорија лансирања. Такође од 2013. године учествује у настави на енглеском језику за стране студенте и то на следећим курсевима: Missile system integration, Missile design, Fire Control Sytems и Launching equipment. У последњих пет година учествовао је као члан комисије за израду пет дипломских радова. Од 2013. године учествује на интердисциплинарном пројекту ИИИ 47029 под руководством др Момчила Милиновића, редовног професора са Машинског факултета у статусу асистент-истраживач сарадник.

2 ОПИС ДИСЕРТАЦИЈЕ

2.1 Садржај дисертације

Докторска дисертација "Синтеза тактичких ракета земља-ваздух против циљева великих брзина" је обима 206 страница, са 64 слика (скица, дијаграма и других илустрација) и 12 табела. Докторат је конципиран тако да представи интегрални приступ истраживању параметара пројектовања ракета са аспекта усаглашавања њихових ограничења проистеклих из задатака механике при посебним условима гађања балистичких циљева који намећу различите истраживачке компромисе. На основу детаљне анализе механике лета и очекиваног сценарија сусрета са балистичким циљем утврђени су критеријуми за даљу анализу и развој посебног поступка аеродинамичког пројектовања. Овај поступак разрађен је кроз самосталну методологију одабира геометријских и аеродинамичких перформанси затим синтезе аутопилота за оптимално вертикално лансирања при гађању као и за дефинисање захтева за потребне динамичке карактеристике ракета. Посебан акценат дат је на процени перформанси и избору типа погонске групе ради интеграције укупног оптималног кретања ракете и оцене утицаја вектора убрзања у току активне фазе након вертикалног лансирања. Изведен је модел хибридног управљања (аеро и гасодинамичко) као нови захтев проистекао из анализе мисије гађања и потребних перформанси наведених подсистема а у складу са задатком вертикалног лансирања у произвољним правцима гађања. Анализирана је употреба посебног типа бојеве главе за директни погодак која досада није коришћена на оваквим ракетама посебним математички моделом којим је дефинисана њена могућа употреба. Посебно је интегрисан модел физике експлозије и формирања кинетичког пројектила ради дејства на балистички циљ у терминалној фази. Математички и нумерички модел је представљен као посебан приступ пројектовања и примене експлозивно формираних пројектила интегрисаног на корисни терет ракете на бази нове усвојене аналитичке и нумеричке методе ради оцене ефикасности на циљу дејством кинетичке енергије. Дисертација је подељена у девет поглавља: Увод, Одређивање захтеваних карактеристика ракете, Аеродинамичко пројектовање, Динамика ракете високоманеварских способности, Перформансе ракете у току вертикалног лансирања, Избор оптималних параметара погонске групе за кретање ракете при вертикалном лансирању, Резултати нумеричке симулације активне фазе лета при вертикалном лансирању ракете, Пројектовање и примена експлозивно формираних пројектила као потенцијални корисни терет и Закључци.

2.2 Кратак приказ појединачних поглавља

Увод обухвата неколико целина и то: Општа разматрања тактичко техничких потреба гађања циљева великих брзина, Концептуално пројектовање ракета земља-ваздух против циљева великих брзина, Полазне хипотезе и Преглед досадашњих истраживања. Представљена је значајност истраживања гађања балистичких циљева на малим дометима као суштинско питање за савремено пројектовање антибалистичког ракетног наоружања односно ПВО ракете као основног носиоца главних перформанси ракетног система. Дефинисана је мисија оваквог система из које су проистекли задаци гађања балистичких циљева што овакве системе сврставају у ред савремених тактичких технологија највишег нивоа. Предложено је да се за пројектовање оваквих ракета утврде основне хипотезе за потребе анализе као и да се кроз сваку од њих детаљним приступом у даљем раду изуче посебности сваког од подсистема као што су математички модели функција бојева глава, глава за самонавођење, погонска група и управљање потиском као и енергетски и управљачки склопови за симултано извршење функције лета. У уводу је дат увид и приказ досадашњих истраживања из области посебних решења ракетних технологија који се тичу даље разраде ПВО ракете за гађање балистичких циљева.

Одређивање захтеваних карактеристика ракете. У овом делу дефинисане су карактеристике циљева великих брзина, затим одговарајуће методе вођења ракете при гађању таквих балистичких циљева а на основу усвојеног сценарија гађања као и ограничења постављених за начелну анализу посматраних сценарија. Критеријуми који су одабрани за даљу оцену перформанси ракете базирани су на дефинисању зоне захвата циља и могућих погодака и своде се на максималне вредности захтеваног нормалног убрзања ракете, минималне вредности промашаја као и максималне вредности релативног фактора управљачке енергије, као посебног критеријума усвојеног у овом поглављу. Ови критеријуми одређени су за граничне услове и то: за одабране параметре положаја циља по домету и висини а за два одабрана гранична услова карактеристична за балистичке циљеве кратког и средњег домета. Анализа је вршена са усвојеним средњим вредностима брзина ракете које одговарају задатом сценарију гађања, за средње вредности брзине балистичког циља која одговара балистичким циљевима средњег и малог домета у терминалној фази. Оцењена је минимална висина успешног поготка. Овако усвојени критеријуми, дефинишу захтеве и услове за синтезу тактичке ракете земља-ваздух против балистичких циљева великих брзина са посебним закључком да овакве ракете морају бити хибридно управљане с обзиром на потребу да се управљање мора реализовати како при малим тако и при великим брзинама лета.

Аеродинамичко пројектовање описује приступ анализи за потребе усвајања аеродинамичке концепције управљања а у складу са претходним поглављем на основу дефинисаних критеријума. Као главни критеријум у овој анализи усвојен критеријум максималног захтеваног нормалног убрзања који представља основу за дефинисање аеродинамичких перформанси ракете. Избор аеродинамичке концепције базиран је на компаративној анализи начина аеродинамичког управљања, а у складу са поменутим нормалним убрзањем и њиховим утицајем на перформансе лета за различите вариране аеродинамичке конфигурације. Као аеродинамички концепт усвојено је управљање задњим стабилизаторима које има предности у очекиваној појави великих нападних углова код оваквог типа ракета у широком спектру Махових броја, висина лета и маневара скретања. Софтверским пакетом дефинисана је математичка интерпретација избора оптималне концепције тела ракете и целокупне аеродинамике као и

њене оптималне шеме управљања. Дата је варијација различитих конфигурација од којих је усвојена једна од концепција а која пружа високу стабилност, управљивост, високо време реаговања и добру аероеластичну стабилност.

Динамика ракете високоманеварских способности разрађена је кроз посебну анализу кретања саме ракете у смислу постављања математичког модела. Имајући у виду да је за извршење мисије условљен модел хибридног управљања извршена је детаљна анализа и дефинисане једначине синтезе аутопилота који одговара оваквим захтевима. Кроз дефинисање једначина поремећеног кретања за синтезу аутопилота као и једначина простора стања, коришћена за пројектовање аутопилота пропињања при задатим почетним условима вертикалног лансирања и лета у активној фази разрађен је и проверен симулацијом модел оваквог кретања.

Перформансе ракете у току вертикалног лансирања подељене су у две целине и то: дефинисању аутопилота почетне фазе вертикалног лансирања ракете и гасодинамичких перформанси ситема за управљање вектором потиска типа крилца у излазном делу млазника. За аутопилот почетне фазе вертикалног лансирања дат је блок дијаграм линеаризованог система управљања ракетом у фази вертикалног лансирања на основу којег су изведене релације у временском домену сигнал отклона крилаца у излазном пресеку млазника и сигнал по угаоној брзини пропињања ракете. На основу датог дијаграма извршена је синтеза аутопилота за дефинисање оптималних вредности појачања за добијање жељених карактеристика ракете у току вертикалног кретања и маневра ка балистичким циљевима великих брзина. Посебно је анализирана ефикасност гасодинамичког система за управљање вектором потиска, где су дати изрази за одређивање коефицијената нормалне силе и коефицијента силе отпора крилаца у млазу смештених у излазном делу млазника потребних за управљање у току вертикалног лансирања ракете.

Избор оптималних параметара погонске групе за кретање ракете при вертикалном лансирању даје приступ одређивању оптималне вредности перформансе погонске групе за ракету са претходно дефинисаним захтевима лета. На основу одабраног параметра, максималне брзине на крају активне фазе лета и процењене масе ракете пројектоване су оквирне перформансе ракетног погона са чврстим горивом. Максималне и минималне вредности усвојених брзина лета одговарале су концепту тоталног импулса за средње вредности брзина лета на трајекторијама разрађеним у моделу сценарија поглавља 2. За усвојене вредности средњег аксијалног убрзања одређено је време рада ракетног мотора за постизање максималне брзине на крају активне фазе лета. За анализу опсега убрзања дефинисана су и остала могућа времена лета у активној фази са истом максималном брзином ракете. Оваква варијација могућих перформанси тоталног импулса и масе горива погонске групе усвојена је као меродавна за лет са вертиканим лансирањем и оштар маневар ка балистичком циљу ради поузданог поготка.

Резултати нумеричке симулације активне фазе лета при вертикалном лансирању ракете дали су максималне и минималне граничне вредности перформанси ракете и то време постизање жељеног угла пропињања, минимална остварена висина и максимални остварени домет у зависности од граничних вредности отклона крилаца управљачког система, угаоне брзине пропињања ракете и граничних вредности аксијалног убрзања ракете у активној фази за одабране концепте погонских група.

Пројектовање и примена експлозивно формираних пројектила као потенцијални корисни терет описује могућност употребе бојеве главе са кинетичким пројектилом за директни погодак циља у терминалној фази као и начин поставке оваквог проблема гађања са ракете у лету и пројектовања експлозивног пуњења за формирање кинетичког пројектила. Дефинисана је концепција гађања балистичких циљева у терминалној фази, разрађен математички модел сусрета кинетичког пројектила и балистичког циља као и анализа могућег гађања са аспекта почетних услова. Дат је приступ одређивања почетне кинетичке енергије експлозивно формираног пројектила са понуђеним програмским решењем свођењем резултата на асимптотски минимум. Нумеричка анализа је рађена Лагранж и Ојлер методом ради дефинисања оптималне нумеричке грешке у поређењу са експерименталним резултатима. Закључено је какви услови експлозивно формираних пројктила могу обезбедити оптималне ефекте кинетичке енергије на циљу.

Закључци пружају целовит увид у проблеме синтезе разрађене кроз параметре анализиране у претходним поглављима са осврtом на главне закључке из сваког од њих појединачно. Посебан осврт дат је на остварене резултате са акцентом на дефинисању методолошког приступа синтези тактичких ракета земља-ваздух против балистичких циљева великих брзина као и на методологију интеграције појединачних параметара помоћу којих се дефинише ракета у свом пројектном синтетичком захтеву за овакве специјалне услове гађања.

3 ОЦЕНА ДИСЕРТАЦИЈЕ

3.1 Савременост и оригиналност

У дисертацији је обрађена тема која представља актуелно питање најсавременијег концепта ракетне одбране садашње војне технологије, заштита од баалистичких ракетних пројектила. У концепту разраде ракете са таквим функционалним захтевима сусрећу се најтежи задатци механике гађања као основа за системско решење, усвајање и усмеравање даљих задатака њеног концептуалног пројектовања кроз друге научне дисциплине примењене на избор коначног функционалног решења. У оригиналном приступу поправке грешака погодака, применом специјалног корисног терета са додатним кинетичким енергетским параметрима, на оригиналан начин се нуди решење за успешну и поуздану функцију сусрета ракетних пројектила са циљем велике брзине и његовим деловањем на ефикасан начин.

3.2 Осврт на референтну и коришћену литературу

Поред бројних литература и оригиналних научних радова, који се углавном базирају на одређене сегменте истраживања у пројектовању вођених ракета коришћена је литература фундаменталног значаја оптимизације и теорије управљања која до сада није примењивана и публикована у великом броју. За потребе истраживања у овој дисертацији коришћено је 105 референци различитих иностраних и домаћих извора како би се усагласила потреба за проучавањем проблема решења најсложенијег задатка конструкција ракете за гађање балистичких ракета као циљева великих брзина. Већина научних радова новијих издања се управо бави

специфичностима као што су, анализа закона вођења за различите мисије, анализа закона вођења и управљања, проблеми који се јављају у аеродинамици пре свега у одређивању полуемпиријских модела за израчунавање аеродинамичких коефицијената што је посебно важно код изучавања лета ракета са нестандардним мисијама. Проблеми са аспекта одређивања оптималних карактеристика ракетног мотора, утицајни параметри на понашање ракете у лету, проблеми пројектовања бојеве главе са аспекта различитих ситуација у терминалној фази у зависности од циља који се гађа, анализирани су најсавременијом литературом из те области. Посебно се истичу научни радови у часопису *American Institute of Aeronautics and Astronautics* који једини обилује савременим трендовима у истраживању ових проблемима и научним информацијама од значаја с обзиром на актуелне пројекте из ове области у Америци и свету. Поред новијих издања научних радова и монографија посебан значај има и актуелна литература од пре 20 година у којој су постављени темељи за одређене сегменте научних области који се тичу оваквих ракетних система. На основу коришћених референци може се изнети закључак да је остварен склад са научним трендом у области ракетних технологија са фокусом на синтезу антибалистичких тактичких вођених ракета земља-ваздух као најсавременијем тренду актуелне ракетне технике.

3.3 Опис и адекватност примењених научних метода

За остварене резултате у овој Дисертацији коришћено је неколико научних метода. Прва метода је математичка анализа постојећих проблема механике вођења ракете и њеног приступа циљу екстремних перформанси лета за који је селективним методама одабрана и доказана референтност хипотеза за разматране сценарије. Разрада посебних нумеричких метода за анализу утицајних параметара различитих дисциплина аеродинамичке гасодинамичке и управљачке синтезе параметара на интегралном пројекту ракете. Метода синтезе хибридног управљања у реализацији мисије динамике лета ракете са посебним нелинеарним перформансама у петљи управљања. Метода интегрисаног третмана експлозивних процеса са процесима динамике лета у екстремним динамичким условима сведена на захтеве мисије гађања балистичког циља. Нелинеарна нумеричка симулација приступа ракете и циља у различитим условима гађања помоћу развијених кинематских модела сусрета. Нумеричка метода заснован на методи коначних елемената као савремени приступ решавања проблема поступном динамичком симулацијом. Употреба одабраних статистичких метода за експерименталну компаративну анализу добијених резултата гађања циља у терминалној фази. Свака од наведених метода хибридно је интегрисана са потребама и захтевима интегрисаног пројектовања а све заједно чине јединствену целину адекватне оптимизације пројектовања антибалистичке ракете као ракетног средства специјалне намене.

3.4 Применљивост остварених резултата

Резултати реализовани у оквиру рада на докторској дисертацији примењиви су на одабрани број проблема ракетне технологије ПВО одбране мањих домета, карактеристичних за развој и истраживање оваквих система у мањим земљама, са одговарајућом војнотехнолошком базом и капацитетима каква је Србија. У оквиру методолошког доприноса приступа и разраде софтверских алата за пројектовање и оцену перформанси, резултати си применљиви

на скоро све дисциплине машинског системског инжењерства у којима фигуришу екстремни захтеви брзина динамичких објеката као и посебни експлозивни процеси који карактеришу њихову функционалну ефикасност. Применљивост резултата поред примене у наоружању и ваздухопловству може се очекивати и у областима статичке и динамичке заштите покретних и непокретних објеката као и других области код којих интердисциплинарна системска интеграција има пресудну улогу.

3.5 Оцена достигнутих способности кандидата за самостални научни рад

Кандидат **Милош Марковић** већ више година ради на самосталном приступу системској интеграцији подсистема ракетног наоружања и ракетних система различите намене. Кроз разраду овако сложене тематске области као што је пројектовање ракете за директо дејство против других, балистичких ракета и сличних веома брзих динамичких објеката кандидат је оспособљен за најсложеније динамичке анализе и синтезе проблема аеродинамике, механике лета, ракетне пропулзије, експлозивних и кинетичких пенетрационих балистичких процеса као и употребу расположивих софтверских алата, допуњених и проверених имплементацијом у властитом истраживању. Постигнути експертски и научно истраживачки ниво кандидата одговара потребама како војно-истраживачких центара и лабораторија тако и цивилних институција, Универзитета у Београду- Машинског факултета, као и компанијама широм света које се баве истраживањем, развојем и производњом ракетних система и летелица, дакле наоружања у најширем смислу.

4 ОСТВАРЕНИ НАУЧНИ ДОПРИНОС

4.1 Приказ остварених научних доприноса

Планирана и наведена истраживања у овој дисертацији довели су до резултата који представљају допринос системском развоју пројектовања и општем развоју интердисциплинарне научне мисли а могу се сврстати на следећи начин:

- Уведен је појам релативне управљачке енергије сведеног убрзања ракете као основа за почетно пројектовање концепције ракете у складу са њеном постављеном мисијом.
- Уведен је анализиран и усаглашен принцип допунског управљања ракетом и интегрисан у целокупно управљање као хибридни, ради извршења мисије лета са екстремно тешким захтевима маневрисања које не испуњавају самостално аеродинамички извршни органи као команде лета.
- Разрађен је концепт нелинеарне синтезе параметара лета и поремећаја у току кретања ракете за потребе њеног хибридног управљања и примењен на интеграцију аутопилота дефинисањем његових преносних функција и провером, симулацијом, његове стабилности спрегом са параметрима ракетног лета. Оваквом синтезом дат је допринос главним

перформансама ракете неопходним за брзо заузимање правца гађања у почетној фази лета при деловању на циљеве великих брзина.

- Дефинисани су и интегрисани услови брзине реаговања ракете и њеног управљања при вертикалном гађању лансером на циљеве који се појављују из произвољног правца од 360^o, чиме је обезбеђена екстремна брзина реаговања како саме ракете тако и система за потребе ПВО одбране.
- Уведен је нови појам гађања невођеним кинетичким пројектилима у терминалној фази лета, испаљених са ракете велике брзине на циљ екстремних брзина, ради коначне компензације завршног промашаја чак и под условима минималних грешака остварених вођењем и управљањем. Тиме је дат допринос савременим питањима ПВО одбране о могућностима и ефикасности концепције директног поготка балистичког ракетног пројектила као циља ракетом ПВО одбране.
- Дат је концептуални допринос системском пројектовању целе ракете као и синтетичка параметарска интеграција интердисциплинарних области аеродинамике, динамике лета, пропулзије и летне оптимизације масе ракетних пројектила.
- Разрађен је математички модел са асимптотским нумеричко аналитичким моделирањем процеса експлозије и оптималне кинетичке енергије пројектила за потребе гађања балистичких циљева са ракете у покрету ради интегрисања корисног терета ракетног пројектила за овакве специјалне намене.

4.2 Критичка анализа резултата истраживања и доприноса инжењерској пракси

Сама дисертација суштински представља покушај да се разреше најважнија питања савремене ракетне технике и војно-машинског инжењерства уопште, а то су, да ли се поуздано и ефикасно може пројектилом уништити други пројектил директним поготком уз сву савремену технологију навођења и прелиминарног планирања лета и ефикасног поготка. Ова дилема постављена је као концепт целокупне савремене ракетне технологије и развија се већ више од тридесет година са делимичним успехом. У основи проблема овакве идеје лежи питање огромних релативних брзина сусрета пројектила и циља, које су несразмерне њиховим релативно малим димензијама у задатом простору. Питање је да ли технологија може обезбеди жељену грешку директног приступа два пројектила и њиховог контакта, као новог задатка савременог гађања. У овој докторској дисертацији разрађена је и успешно демонстрирана идеја, да се употребом посебне врсте бојеве главе која експлозијом формира и лансира нови пројектил огромне релативне брзине са саме ракете, може уништити циљ кинетичком енергијом директног поготка, пре него што се ракете мимоиђу у току сусрета. Целокупни допринос системском решавању пројекта ракете са оваквим пројектилом као корисним теретом, методолошки је захтевао разраду оптималних функције појединих подсклопова са прецизно подешеним и одабраним перформансама за овакву мисију. Тиме је дат допринос пројектовању целокупног ракетног система и његовим перформансама и подешен потребама брзог реаговања, хибридног вођења и управљања оптималне аеродинамички дизајниране и лансиране ракете, са оптималном погонском групом и функцијама аутопилота у мисији задатка корисног терета. Детаљно је разрађен концепт експлозивно формираног пројектила за

завршно гађање и показана посебна оптимизација његове брзине, масе и облика као функције сложених интердисциплинарних знања, али и властитих ауторових иновативних метода, нумеричке симулације и моделирања.

4.3 Верификација научних доприноса

Резултате својих истраживања кандидат **Милош Марковић** је верификовао у радовима који су објављени у часописима и изложени на међународним конференцијама. Најважнији су следећи радови:

Научни радови у категорији [M23]

Marković Miloš D., Milinović Momčilo P., Jeremić Olivera M., Jaramaz Slobodan S.: Simulation of changes in temperature and pressure fields during high speed projectiles forming by explosion, Thermal Science, OnLine-First Issue 00, Pages: 73-73, 2016, doi:10.2298/TSCI151217073M.
http://thermalscience.vinca.rs/online-first/1931

Научни радови у категорији [M24]

Markovic, M., Rasuo, B., Milinovic, M., Boulahlib,A.: Engagement Areas of Missiles in the Proportional Navigated Flight Powered by Air Breathing Engines, FME-Transactions, Volume42, No3, pp181-188, ISSN:1451 2092, doi:10.5937/fmet1403181M, 2014
http://www.mas.bg.ac.rs/_media/istrazivanje/fmevol42/3/2_mmarkovic.pdf

O. Jeremic, M. Milinovic, **M. Markovic**, and B. Rasuo, "Analytical and numerical method of velocity fields for the explosively formed projectiles," FME Transaction, vol. 45, pp. 38–44, 2017.

Научни радови у категорији [M33]

M. Markovic, A. M. Boulahlib, M. Milinovic, and O. Jeremic, "An analytical model for designing of explosively formed projectiles," in 11th international armament conference on scientific aspect of armament of safety technology, (Poland-Ryn),pp. 559–570, 19-22.09.2016.

Markovic, M., Elek, P., Jaramaz, S. Milinović, M., Micković, D.: Numerical and analytical approach to the modeling of explosively formed projectiles, 6th International Scientific Conference – OTEH 2014, Belgrade, 9-10 October 2014, ISSN978-86-81123-71-3, pp.235-241
http://www.vti.mod.gov.rs/oteh14/elementi/rad/010.html

Marković, M., Milinović, M., Jeremić, O., Jaramaz, S.: Numerical modeling of temperature field on high velocity explosively formed projectile, 17th Symposium on thermal science and engineering of serbia, Sokobanja, Serbia, October 20-23, 2015, pp.24-25, ISBN 978-86-6055-077-6

A. M. Boulahlib, **Markovic, M.**, Jaramaz, S. Milinović, M., M. Bendjaballah: A Preliminary Design Model for Explosively Formed Projectiles, 7th International Scientific Conference – OTEH 2016, Belgrade, 6-7 October 2016, ISSN978-86-81123-71-3
http://www.vti.mod.gov.rs/oteh16/elementi/rad/015.html

Научни радови у категорији [M51]

Markovic, M., Milinovic, M., Elek, P., Jaramaz, S., Mickovic, D.: Comparative approaches to the modeling of explosively formed projectiles, Current issues of continuum mechanics and celestial mechanics, Tomsk State University, Part.296, November 17-19, 2014, pp.18-26.

Техничка решења [M82]

Мирко Јездимировић, Момчило Милиновић, Драгољуб Вујић, Оливера Јеремић, Милош Павић и **Милош Марковић**, Примена методе пропорционалне навигације на управљање и навођење беспосадне копнене платформе, инт. бр. 01/29791 (23.12.2014), бр.3286/1 (24.12.2014), Одлука бр.3286/3 од 26.12.2014.

5 ЗАКЉУЧАК И ПРЕДЛОГ

Прегледом и анализом, Комисија је утврдила да Дисертација представља оригинално научно дело са значајним научним и техничким доприносима. Разјашњени су и уведени нови појмови релативне управљачке енергије сведеног убрзања ракете, затим нови појам оптималног хибридног управљања, појам нелинеарне синтезе почетног маневра ракетног пројектила за брзо заузимање правца гађања у почетној фази лета, као и синтетички приступ пројектовања коришћењем интердисциплинарних области аеродинамике, динамике лета, пропулзије и летне оптимизације масе ракетних пројектила. Уведен је нови појам гађања невођеним кинетичким пројектилом са ракете, екстремних брзина, у завршној фази приступа циљу, ради коначне компензације промашаја под условима минималних грешака вођења и управљања. Резултати Дисертације су верификовани у раду објављеном у SCI часопису као и другим радовима на домаћим и међународним конференцијама. На основу изложеног, Комисија предлаже Наставно-научном већу да се докторска дисертација под називом "**Синтеза тактичких ракета земља-ваздух против циљева великих брзина**" кандидата **Милоша Марковића**, студента Докторских студија, прихвати, изложи на увид јавности и упути на коначно усвајање Већу научних области техничких наука Универзитета у Београду.

У Београду, 04.07.2018.

Чланови комисије:

Др Момчило Милиновић, редовни професор, ментор,
Универзитет у Београду, Машински факултет

Др Слободан Јарамаз, редовни професор у пензији,
Универзитет у Београду, Машински факултет

Др Дејан Мицковић, редовни професор,
Универзитет у Београду, Машински факултет

Др Предраг Елек, редовни професор,
Универзитет у Београду, Машински факултет

Др Дарко Васиљевић, виши научни сарадник,
Институт за физику, Београд

УНИВЕРЗИТЕТ У БЕОГРАДУ
- МАШИНСКИ ФАКУЛТЕТ –
Број: 1441/4
Датум: 12.07.2018. године
Београд, Краљице Марије бр. 16

На основу члана 40. Закона о високом образовању („Службени гласник РС“, број 88/2017 и 27/2018-др. закон), члана 48. Правилника о докторским студијама, члана 63. Статута Машинског факултета (број 1876/1 од 04.10.2013. године) и члана 37. Правилника о докторским студијама Машинског факултета, Наставно-научно веће на седници одржаној 12.07.2018. године, донело је

О Д Л У К У

Усваја се реферат Комисије о урађеној докторској дисертацији „**СИНТЕЗА ТАКТИЧКИХ РАКЕТА ЗЕМЉА-ВАЗДУХ ПРОТИВ ЦИЉЕВА ВЕЛИКИХ БРЗИНА**“ студента **МИЛОША МАРКОВИЋА**, маст. инж. маш.

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

Универзитет у Београду је својом Одлуком број 61206-3359/2-16, од 04.07.2016. године, дао сагласност на предлог теме докторске дисертације.

Објављени радови студента у часописима међународног значаја:

1. Marković Miloš D., Milinović Momčilo P., Jeremić Olivera M., Jaramaz Slobodan S.: Simulation of changes in temperature and pressure fields during high speed projectiles forming by explosion, Thermal Science, Vol. 20, No. 5, pp. 1741-1752, 2016, doi:10.2298/TSCI151217073M.
   http://thermalscience.vinca.rs/online-first/1931

Одлуку доставити: студенту, ментору, Катедри за системе наоружања и архиви Факултета.

ДЕКАН
МАШИНСКОГ ФАКУЛТЕТА

проф. др Радивоје Митровић