

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)

486/4

(Број захтева)
30.03.2017. 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:

САШЕ (ЖИВОРАД) ЖИВКОВИЋА

(име, име једног од родитеља и презиме)

КАНДИДАТ **САША (ЖИВОРАД) ЖИВКОВИЋ** уписан на Докторске студије 2010 год.

(име, име једног од родитеља и презиме)

Поднео је захтев за израду докторске дисертације:

СИСТЕМ ЗА УПРАВЉАЊЕ ВЕКТОРОМ ПОТИСКА ГАСОДИНАМИЧКИМ ИНТЕРЦЕПТОРИМА

Универзитет је дана 19.09.2016. год. својим актом под бр. 61206-3990/2-16 дао сагласност на предлог теме докторске дисертације која је гласила:

СИСТЕМ ЗА УПРАВЉАЊЕ ВЕКТОРОМ ПОТИСКА ГАСОДИНАМИЧКИМ ИНТЕРЦЕПТОРИМАКомисија за оцену и одбрану докторске дисертације кандидата: **САШЕ (ЖИВОРАД) ЖИВКОВИЋА**

(име, име једног од родитеља и презиме)

Образована је на седници одржаној 02.03.2017. године, одлуком факултета под бр. 486/2, у саставу:

Име и презиме члана комисије	звање	научна област	установа у којој је запослен
1. <u>Др Момчило Милиновић</u>	Ред. проф.	Војно маш. – Системи наоружања	Машински факултет Београд
2. <u>Др Слободан Јарамаз</u>	Ред. проф.	Војно маш. – Системи наоружања	Машински факултет Београд
3. <u>Др Дејан Мицковић</u>	Ред. проф.	Војно маш. – Системи наоружања	Машински факултет Београд
4. <u>Др Предраг Елек</u>	Ред. проф.	Војно маш. – Системи наоружања	Машински факултет Београд
5. <u>Др Дарко Васиљевић</u>	Виши научни сарадник	Војно маш. – Оптика	Институт за физику Београд

Наставно-научно веће факултета прихватило је извештај Комисије за оцену и одбрану докторске дисертације на седници одржаној дана 30.03.2017. 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: 486/4
Датум: 30.03.2017. 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 факултета (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., 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 „Систем за управљање вектором потиска гасодинамичким интерцепторима“ студента докторских студија **Саше Живковића, дипл. инж. маш.**, Наставно-научно веће Машинског факултета на седници одржаној 30.03.2017. године, донело је следећу

ОДЛУКУ

Усваја се реферат Комисије о урађеној докторској дисертацији **„СИСТЕМ ЗА УПРАВЉАЊЕ ВЕКТОРОМ ПОТИСКА ГАСОДИНАМИЧКИМ ИНТЕРЦЕПТОРИМА“** студента **САШЕ ЖИВКОВИЋА, дипл. 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

ВЕЋУ ДОКТОРСКИХ СТУДИЈА

Предмет: Реферат о урађеној докторској дисертацији кандидата **Саша Живковић**, дипл инж.маш., студента докторских студија,

Одлуком бр.486/2 од 02. 03. 2017. године, именовани смо за чланове Комисије за преглед, оцену и одбрану докторске дисертације кандидата **Саша Живковић**, дипл.инж.маш., студента докторских студија, под насловом:

СИСТЕМ ЗА УПРАВЉАЊЕ ВЕКТОРОМ ПОТИСКА ГАСОДИНАМИЧКИМ ИНТЕРЦЕПТОРИМА

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 **Саша Живковић**, студент докторских студија, уписао је прву годину докторских студија на Машинском факултету Универзитета у Београду школске 2010/2011. године. Пријавио је израду докторске дисертације 26. 05. 2016. године, под бр.1171/1, Катедри за системе наоружања Машинског факултета Универзитета у Београду и за ментора предложио редовног професора др **Момчила Милиновића**.

На основу пријаве кандидата и предлога Катедре за системе наоружања, заведене 14. 06. 2016. год., под бројем 1383/1, и обвештења са седнице Наставно-научног већа одржане 23. 06. 2016. год., именована је Комисија за оцену подобности теме и кандидата у саставу:

- проф. др Слободан Јарамаз, Машински факултет у Београду
- проф. др Момчило Милиновић, ментор, Машински факултет у Београду
- проф. др Дејан Мицковић, Машински факултет у Београду;
- проф. др Предедраг Елек Машински факултет у Београду;
- виши научни сарадник др Дарко Васиљевић, Институт за физику Београд.

Комисија је 04. 07. 2016. год., дописом бр.1383/3, поднела реферат Наставно-научном већу Машинског факултета Универзитета у Београду да кандидат испуњава све услове предвиђене законом и Статутом Машинског факултета Универзитета у Београду за израду докторске дисертације и да предложена тема под радним називом "**Систем за управљање вектором потиска гасодинамичким интерцепторима**" може бити предмет докторске дисертације.

Наставно-научно веће Машинског факултета у Београду на седници 14. 07.2016. год. донело је одлуку **бр. 1383/4**, да се прихвата предлог о испуњености услова као и о научној заснованости теме докторске дисертације "**Систем за управљање вектором потиска гасодинамичким интерцепторима**" кандидата **Саша Живковић**, студент докторских студија, а да се за ментора именује проф. др **Момчило Милиновић**. Та одлука је достављена Већу научних области техничких наука, Универзитета у Београду на сагласност.

Веће научних области техничких наука, Универзитета у Београду на седници одржаној 19.09.2016. год., дало је сагласност, **одлуком бр. 61206-3990/2-16** на предлог теме и одобрило израду докторске дисертације "**Систем за управљање вектором потиска гасодинамичким интерцепторима**" кандидата **Саша Живковић**, студент докторских студија, под менторством редовног професора др **Момчила Милиновића**.

У вези молбе кандидата **Саша Живковић**, студента докторских студија, и сагласности Катере за системе наоружања и ментора докторске дисертације проф. др Момчила Милиновића, а на основу члана 93 тачка 4 Стстута Уноиверзитета у Београду и члана 36 Стстута Машинског Факултета у Београду, сагласно чл. 128 Закона о високом образовању, декан Машинског Факултета је донео решење бр. 1953/1 од 08. 09. 2016. године и одобрио, кандидату **Саши Живковићу**, студенту докторских студија, продужење рока за завршетак студија за два семестра у школској 2016/17 години , ради израде докторске дисертације под називом: "**Систем за управљање вектором потиска гасодинамичким интерцепторима**" .

Дана 27. 02. 2017. год. ментор проф. др Момчило Милиновић обавестио је Катедру за системе наоружања да је кандидат **Саша Живковић**, студент докторских студија, завршио своју докторску дисертацију и предложио Комисију за преглед и оцену докторске дисертације. Сагласно предлогу ментора , Катедра за системе наоружања је својим дописом, бр. 486/1 од 27. 02. 2017. год. доставила Наставно-научном већу Машинског факултета у Београду предлог Комисије за преглед и оцену докторске дисертације у саставу:

- проф. др Слободан Јарамаз, Машински факултет у Београду ;
- проф. др Момчило Милиновић, ментор, Машински факултет у Београду;
- проф. др Дејан Мицковић, Машински факултет у Београду;
- проф. др Предедраг Елек Машински факултет у Београду;
- виши научни сарадник др Дарко Васиљевић, Институт за физику Београд.

На седници Наставно-научног већа одржаној 02.03.2017. године једногласно је усвојено обавештење о завршетку дисертације кандидата **Саша Живковић**, студент докторских студија, као и предлог састава Комисије за оцену и одбрану докторске дисертације, и потврђено одлуком декана бр. 486/2 од 02.03.2017. године.

1.2. Научна област дисертације

Докторска дисертација припада области Техничких наука, научној области Машинства и ужој научној области системи наоружања (војно машинство).

1.3. Биографски подаци о кандидату

Кандидат **Саша Живковић**, студент докторских студија, рођен је 05. 08. 1974. године у Пожаревцу.

Машински факултет у Београду је уписао 1993. године, а на истом дипломирао 2000. године на Катедри за системе наоружања (војно машинство), са просечном оценом 8.28. Дипломски рад на тему "Формирање кумулативног млаза" одбранио је са оценом 10.

Научноистраживачим радом бави се од 21. 06. 2002. године када се запослио у Војнотехничком институту Војске Србије на месту истраживача сарадника. Током рада учествујући у више развојних, функционалних и истраживачких задатака напредовао је до руководиоца пројекта. У оквиру пројеката ПОРС "Маљутка", ПОРС "Бумбар", РС "Огањ", РС "Пламен", РС "Нева", РБР "ПОС-БД" радио је на унутрашњо-балистичким прорачунима, пројектовању ракетних мотора и погонских пуњења, летним и статичким испитивањима, као и праћењем процеса производње у фабрикама Наменске индустрије. У оквиру сложеног пројекта ПОРС "Бумбар" је учествовао у својству носиоца компоненте маршевског ракетног мотора, а тренутно је руководилац истраживачког задатка "Истраживање могућности превођења ракете В-В на З-В". Четири пута је похваљиван и награђиван од стране управе матичне фирме за изузетно залагање: 2004., 2006., 2010. и 2011. године.

Године 2013. стекао је истраживачко звање истраживач-сарадник, за област системе наоружања – ракетно наоружање – ракетни погон. Од 2013. године изабран је за хонорарног асистента на катедри за хемијско инжењерство Војне академије Војске Србије Универзитета Одбране.

Кандидат активно користи и влада програмским пакетима за нумеричку механику флуида, структурну анализу, конструисање, пројектовање и математичке прорачуне: FLUENT, ANSYS, AutoCAD, MathCAD, MATLAB, итд. Ове програме користи при развоју метода и компјутерских алата за пројектовање и испитивање ракетних мотора и система

Завршио је интензивни курс енглеског језика на Војној академији НАТО СТАНАГ ниво 1+. Осим тога активно користи стручну литературу на руском језику.

Као аутор и коаутор објавио већи број радова у водећим часописима међународног и националног значаја, објавио је монографију националног значаја, имао је више саопштења на међународним скуповима и техничких решења.

2. ОПИС ДИСЕРТАЦИЈЕ

2.1. Садржај дисертације

Докторска дисертација кандидата **Саша Живковић**, студент докторских студија, под називом **"Систем за управљање вектором потиска гасодинамичким интерцепторима"** написана је на српском језику. Дисертација садржи следећа поглавља:

- 1 УВОД
 - 2 ИСТРАЖИВАЊЕ СИСТЕМА ЗА УВП ИНТЕРЦЕПТОРСКОГ ТИПА
 - 3 МАТЕМАТИЧКИ И ФИЗИЧКИ МОДЕЛИ СТРУЈАЊА У ПРОСТОРУ СИСТЕМА ЗА УВП ИНТЕРЦЕПТОРСКОГ ТИПА
 - 4 НУМЕРИЧКИ ПРОРАЧУН ГАСОДИНАМИЧКИХ ПРОЦЕСА У СТРУЈНОМ ПРОСТОРУ СИСТЕМА ЗА УВП ИНТЕРЦЕПТОРСКОГ ТИПА
 - 5 ЕКСПЕРИМЕНТАЛНО ИСТРАЖИВАЊЕ ГАСОДИНАМИЧКИХ ПРОЦЕСА У МОДЕЛСКИМ МЛАЗНИЦИМА СА ИНТЕРЦЕПТОРСКОМ ПРЕПРЕКОМ
 - 6 УТИЦАЈ ГЛАВНИХ РАДНИХ ПАРАМЕТАРА РАКЕТНОГ МОТОРА НА ПЕРФОРМАНСЕ ПОТИСКА СИСТЕМА ЗА УВП
 - 7 ЗАКЉУЧЦИ И ПРЕДЛОЗИ ЗА ДАЉЕ ИСТРАЖИВАЊЕ
- ЛИТЕРАТУРА
ПРИЛОЗИ

Дисертација такође садржи резиме на српском и енглеском језику, садржај, биографију аутора, 75 слика, 14 табеле, 76 једначина и списак коришћене литературе са 74 референце, и написана је на 152 стране формата А4.

2.2. Кратак приказ појединачних поглавља

У **првом, уводном поглављу**, као главни предмет истраживања ове дисертације, описана је ефикасност процеса управљања вектором потиска (УВП), односно ракетним мотором, и извршена поставка критеријума за оцену утицаја најважнијих пројектних параметара на перформансе система за управљање. Дате су опште поставке конципирања управљачког система летелица, као и основни критеријуми за избор одређеног типа управљања. Дат је такође преглед карактеристика система за УВП погоним ракетом али и аеродинамичких система управљања као најзначајнији приступ у фази концептуалног избора одређеног управљачког система. Описан је приступ избору и метод пројектовања концепцији управљања тактичких ракета малог домета, карактеристичних по приближно разантним путањама, код којих је, због малих брзина, тешко остварити управљање аеродинамичким силама.

Описана су достигнућа, досадашњи развој и истраживања из области примене система за УВП, и дефинисани су основни циљеви овог истраживања. У уводном делу су дефинисани и очекивани научни доприноси.

У **другом поглављу** је извршена анализа примењених решења система за УВП код различитих типова летелица, а акценат је дат пројектилима са ракетним погоном, који су у фокусу домаћих примењених истраживања. Дате су опште смернице при избору типа система за УВП, систематизација и подела према различитим критеријумима, као и основне карактеристике појединих типова, на основу којих је могућ оптимални избор. Дате су најважније карактеристике интерцепторског типа система за управљање правцем вектора потиска, који се заснива на уношењу аксијалне препреке (интерцептора), на правац осе млазника. Приказани су физички модели овог типа УВП, затим је дато поређење и оцена перформанси у односу на друге типове, описане су специфичности физичких процеса и дати правци истраживања интерцепторског типа УВП-а.

У **трећем поглављу** анализирају се математички модели струјања продуката сагоревања у току рада система за УВП. Оцењени су и дати математички модели најутичајнијих гасодинамичких процеса при струјању продуката сагоревања. Процеси струјања у струјном простору система за УВП су описани једначинама тродимензионалног, турбулентног струјања стишљивог флуида. Математички апарат којим је се прорачунава ово струјање је описан извођењем основних једначина струјања и модела турбуленције. Посебна пажња је посвећена извођењу параметара струјања у граничном слоју, као најкомплексније струјне зоне.

У **четвртном поглављу** описан је математички апарат за решавање математичких модела сложених гасодинамичких процеса, базиран на методи коначних запремина, која је доступна у оквиру сложених програмских пакета за симулацију струјања и других процеса у механици флуида. Описани су основни принципи примењене методе коначних запремина и дате су основне једначине коришћених математичких модела.

Прорачуни струјања су прилагођени експерименталном делу истраживања која су обухватила испитивања у квази-дводимензионалном моделу млазника са препреком – интерцептором. Испитиван је дводимензионални модел струјања, који је гасодинамички сличан моделу у равани симетрије реалног струјног простора система на мотору ракете. У овом делу истраживања извршено је испитивање математичких и физичких модела струјања у граничном слоју, као и избор турбулентног модела ради подешавања примене у реалним условима.

Нумеричке симулације су реализоване и у тродимензионалном млазничком простору, са геометријом система за УВП која је блиска реалној – примењеној геометрији.

Изведене су оригиналне методе за идентификације компонената сила притиска и успостављени критеријуми за добијање жељених перформанси система УВП-а. Анализиран је такође и однос и утицај геометријских и гасодинамичких параметара система. Уведена је

хипотеза да облик и струјање продуката сагоревања у простору коморе за сагоревање мотора мало утиче на вредности параметара струјања у излазном пресеку млазника, односно на формирање силе потиска. Формирана је оригинална метода прорачуна компонената потиска на основу интеграла притиска, који се могу одредити интерпретацијом резултата симулације струјања. Постављена је и друга хипотеза, да поступак прорачуна који користи методу интеграла притиска, може такође да се применити и на редуковану геометрију, што је и доказано у оквиру овог поглавља као посебан допринос.

У оквиру **петог поглавља** описано је експериментално испитивање физикалности процеса струјања у млазницима са препреком, као и верификација примењених нумеричких метода прорачуна струјања у раванским и конусним млазницима. У првом делу поглавља је описано експериментално испитивање струјања у дводимензионалној геометрији, са циљем визуелизације струјања са препреком и постизања прецизног мерења одређених утицајних величина струјања и геометрије. Овим мерењима су тумачене основне законитости процеса који се одвијају при дводимензионалном струјању и поређени резултати добијених испитивања.

Дати су критеријуми за оцену перформанси ракетног потиска, односно гасодинамичке ефикасности система управљања потиском, на основу разматрања могуће примене оваквог система на реалним пројектилима. Утврђена су два најважнија параметра који значајно утичу на конкретну примену оваквог система управљања интегрисаног на ракети и то : бочна сила и губитак аксијалног потиска мотора.

Дати су резултати испитивања система за УВП и млазника одређене пројектоване геометрије реализоване на реалној тактичкој ракети. Вршено је такође експериментално одређивање утицаја појединих параметара система УВП а, на генерисања потиска и бочне управљачке силе ради укупне оцене перформанси потиска. Приказано је експериментално испитивање хладним и топлим радним флуидом ради верификације нумеричких прорачуна разрађених у претходним поглављима, и поређења са овим експериментима. Анализирани су различити утицајни фактори система, као што су геометријски параметри струјног простора, врста и параметри стања радног флуида, итд.

У **шестом поглављу** су описани додатни утицанији параметри рада самог ракетног мотора на ефекте УВП-а,. Посебна пажња је посвећена анализи два важна утицаја услова рада ракетног мотора на рад система за УВП и перформансе формирања силе потиска и то :

- утицај унутрашње-балистичких параметара и врсте радног флуида кроз утицај притиска и температуре у комори за сагоревање;
- утицај процеса преноса топлоте продуката сагоревања на елементе система за УВП, посебно на интерцепторе као извршне органе изложене струји продуката сагоревања.

Описан је нови оригинални прилагођени поступак анализе и пројектовања чврстог погонског пуњења ракетног мотора, као и поступци прорачуна основних унутрашњо-балистичких параметара рада РМ, а све у циљу оптимизације и усаглашавања са уређајем за УВП. Описани су поступци одређивања параметара рада ракетног мотора, утицај промене притиска на ефикасност система за УВП, а дат је и приказ утицаја врсте радног флуида на перформансе потиска.

Разматран је и утицај топлотног оптерећења елемената конструкције на перформансе система за УВП. Описане су теоријске основе процеса преноса топлоте у ракетном мотору и механичким елементима система за УВП. Дати су резултати прорачуна, а у наставку је описано експериментално мерење топлотног оптерећења са реалним РМ и елементима система за УВП, у циљу верификације овог прорачуна. На крају је дато разматрање о утицају термичког оптерећења на перформансе потиска конкретног система за УВП, који се показао посебно осетљивим по овом питању.

У **седмом поглављу** дати су закључци и предлози за даља истраживања.

Коришћена литература је реферисана са 74 референце.

У **прилозима** су дати резултати мерења расподеле притисака са експеримената на зиду раванског млазника, безконтактнoг мерења температура млазника ракетног мотора, мерења промена температуре на интерцепторима, као и мерења промене аксијалне и бочне компоненте силе потиска у реалном времену на реалном ракетном мотору.

3. ОЦЕНА ДИСЕРТАЦИЈЕ

3.1. Савременост и оригиналност

"Систем за управљање вектором потиска гасодинамичким интерцепторима" кандидата **Саша Живковић**, студента докторских студија, представља савремен и оригиналан приступ и допринос савременим методама проучавања управљачких система тактичких ракета, кооришћењем мотора, помоћу интегрисаног система за управљање вектором потиска. Намен је за потребе развоја и истраживања производа војне индустрије. Ово је посебно значајно када се има у виду, да је по питању ове проблематике објављен релативно мали број савремених научних радова, који се односе на конкретан тип система за УВП, и да су резултати експерименталних испитивања у тој области оскудни и ограничено доступни. Основна мотивација и преокупација аутора ове докторске дисертације била је чињеница да перформансе оваквих уређаја не могу увек и у широком спектру примене, да задовоље постављене захтеве, па је оптимизација оваквих система била главни мотив оваквих истраживања.

Полазећи од познатих математичких модела процеса струјања продуката сагоревања, аутор је успешно развио симулационе моделе струјања и применио их на реалне ракетне motore са системом за УВП, користећи најсавременији програмски пакет FLUENT. Оригинални допринос је постигнут при развоју метода одређивања компонената сила потиска и редукције постојеће струјне геометрије при симулацији струјања. Такође је освојен нови поступак пројектовања погонског пуњења и унутрашње-балистичког порорачуна ракетног мотора.

Оригиналност у приступу решавања проблема и добијених резултата у оквиру дисертације потврђује низ радова публикованих у рецензираним часописима. Дисертација се може оценити веома успешном, узевши у обзир да су анализе, критичке дискусије и добијени резултати били праћени зрелим научним и инжењерским закључцима са сагледаним правцима даљих истраживања.

3.2. Осврт на референтну и коришћену литературу

У докторској дисертацији је коришћена врло обимна литература из области механике флуида посебно гасне динамике и специфичних области процеса у ракетном погону као и систему за УВП, обухватајући све најважније научне области које покривају сложене процесе у оквиру ових система. Рад је такође анализирао и значајно унапредио и референтне резултате истраживања у овој области домаћих аутора верификованих ранијих година на међународним скуповима.

У том смислу цитирани су радови које се односе на пропульзивне системе, уопште, динамику гасова и пренос топлоте, нумеричке прорачуне и математичко моделирање ових процеса, итд.

Литература је кандидату послужила као полазна основа за формирање прегледа досадашњих истраживања у предметној области а касније, поредбено, за устостављање јасне слике о сопственим доприносима у односу на постојеће.

На тај начин, дат је релевантан приказ постојећег стања у домену коме припадају проблеми разматрани у докторској дисертацији.

Коришћена литература има карактер научног, савременог и актуелног извора информација, а осим прегледа постигнутих резултата, указује на могуће правце даљег научно-истраживачког рада у тој области.

Наведени радови, проширени су и извесним бројем монографија, које својим садржајем потпомажу сагледавању општих, као и специфичних проблема конципирања управљачких система летелица, посебно у области ракетне технике.

Значајан број цитираних референци је најновијег датима и обухватају период после 2000. године.

3.3. Опис и адекватност примењених научних метода

Постављени математички модели који описују понашање параметара гасне динамике и термодинамике у моделима ракетне пропулзије, захтевају посебне методе истраживања у овој научној области као би се што ефикасније и веродостојно добили резултати, на основу којих би се могао донети закључак о новим могућностима конструкције органа управљања погоном ракете, за разлику од сличних карактеристичних модела управљања који се користе за управљање аеродинамичким површинама.

При истраживању у овој докторској дисертацији коришћене су теоријске, експерименталне, и нумеричко симулационе научно-истраживачке методе:

1. Основни научни поступак, у коме се на основу потпуног познавања чињеница, методом индукције постављају хипотезе.
2. Метода математичких анализа постојећих проблема гасодинамике у циљу одређивања параметара и бројних вредности при постављању хипотеза.
3. Методама математичких моделирања је описан низ гасодинамичких и физичких процеса у оквиру описаних система.
4. Методама нумеричких симулација и методом коначних запремина из области механике флуида су описни сложени струјни процеси радног флуида у циљу што свеобухватнијег описа понашања система.
5. Метода дескрипције у описивању коришћене опреме, елемената, појава, стања и добијених резултата експерименталних испитивања.
6. Статистичке методе за анализу грешке мерења и процене експерименталних резултата.
7. Методе валидизације и верификације симулација, модела и прорачуна на основу експерименталних испитивања.
8. Метода експертског мишљења при тумечењу резултата симулација, прорачуна и експеримената.
9. Разрада и допуна постојећих математичких модела процеса при управљању вектором потиска и избор оптималних решења.

Све изабране методе су адекватне за проблематику истраживања и правилно су коришћене у фази развијања теоријских модела, при анализи резултата, на бази спроведених симулација и при извођењу релевантних закључака.

3.4. Применљивост остварених резултата

Радам у области теме докторске дисертације кандидат **Саша Живковић**, студент докторских студија, је постигао изванредне научно-истраживачке резултате са трајном научном вредношћу и практичном применљивошћу у домену пројектовања система за УВП и ракетних мотора.

Резултати теоријских истраживања верификовани су бројним експерименталним испитивањима, при верификацији метода прорачуна, избору оптималног модела

турбулентности, одређивању утицаја геометријских параметара струјног простора, унутрашње-балистичких параметара рада ракетног мотора, преноса топлоте итд.

Истраживања спроведена током израде дисертације представљају одличну основу при оптимизацији и пројектовању система за УВП интерцепторског али и других гасодинамичких типова управљања, као и за даљи рад на проучавању разних утицаја на систем управљања ракетом, а самим тим и на сва остала питања конструкције, поузданости и ефикасности рада сличних система.

3.5. Оцена достигнутих способности кандидата за самостални научни рад

Кандидат је током израде дисертације показао да је самосталан у постављању, препознавању и решавању научно-истраживачких задатака као и пропратних техничких проблема и да успешно влада научно-истраживачким методама, најширег спектра.

Велико радно искуство у области анализе, истраживања и испитивања ракетних система и одлична теоријска знања пружају основу за квалитетан самосталан научно-истраживачки рад.

4. ОСТВАРЕНИ НАУЧНИ ДОПРИНОС

4.1. Приказ остварених научних доприноса

У току рада на реализацији постављених циљева истраживања, главни доприноси који су реализовани у оквиру ове дисертације су:

1. Допринос концептуалном пројектовању управљања тактичких ракета малог домета, са приближно разантним путањама код којих је, због малих брзина, тешко остварити управљање аеродинамичким силама.
2. Допринос методологији и оптимизацији системских захтева за управљање летом ракете и њихова условљеност унутрашњим технолошким захтевима процеса и функција система, на основу којих су освојене методе генерисања гасодинамичких управљачких сила.
3. Доприноси у разради методологије прорачуна унутрашњег струјања под посебним условима постојања препрека у надзвучној струји, у млазнику ракетног мотора, на основу које је могуће вршити концептуално пројектовање и оптимизацију конструкције система за УВП. Овим је обухваћен развој оригиналних метода интерпретације резултата симулације струјања у систему за УВП, у циљу одређивања компонената вектора потиска.
4. Увођење нових идеја за системско решење проблема употребе система за УВП, кроз анализу њихове ефикасности, на основу експерименталних истраживања перформанси система на малим тактичким ракетама, а такође и формирање критеријума за технолошку комплементарност оптимално одабраних карактеристика управљачког склопа, са масеним моделом ракете као летелице.
5. Дефинисање граничних перформанси методе управљања ракетом при оптимизираним условима употребе, на бази интегралне концепције поступка управљања ракетом и оптимизације функције ракетног мотора. Овај допринос састоји се у аналитичком и експерименталном поступку раздвајања динамичког понашања ракете и унутрашње-балистичких и термодинамичких услова рада подсистема ракетног мотора и система за УВП. Овим доприносом се остварују услови да се на новој конструкцији против-

оклопне ракете уведе концепт управљања који је у потпуности усаглашен са погонском групом.

4.2. Критичка анализа резултата истраживања

На основу прегледа литературе и сагледавања постојећих решења из области докторске дисертације, констатујемо да су овде презентовани резултати истраживања оригинални, самостални и значајни, те да су применљиви директно у пракси савременог пројектовања и развојног прототипског и индустријског развоја производа ракетне технике. Истовремено, на основу увида у задате циљеве истраживања и резултате представљене у докторској дисертацији, може се закључити да су пружени одговори на сва релевантна питања и решени проблеми са којима се кандидат сусрео у току истраживања.

Установљене нове методе пројектовања и истакнуте чињенице у оквиру истраживања представљају значајан напредак у овој области и воде ка унапређењу постојећих метода за анализу система за УВП, као и за њихову синтезу у сложене системе управљања летелица.

4.3. Верификација научних доприноса

Нучни доприноси су верификовани кроз две категорије објављених радова. Прва категорија су радови који се тичу управљања граничним слојем и контролисаном оцепљењу струјања, ради реализације жељене зоне притиска и генерисања сила у надзвучној струји. Друга категорија су радови о практичној примени овакве контроле на млазник реалне ракете, уз пратећу анализу пројектованих перформанси, ради управљања ракетом. Кључни резултати и научни доприноси докторске дисертације су верификовани кроз 26 научних и стручних радова и техничких решења у научним часописима, од којих **пет** на међународној SCI листи као и у осталим часописима и публикацијама. Списак радова дат је у даљем тексту.

Научни радови у категорији [M22]

1. **S. Živković**, M. Milinović, P. Stefanović, P. Pavlović, N. Gligorijević, Experimental and simulation testing of thermal loading in the jet tabs of a thrust vector control system, Thermal Science doi:10.2298/tsci150914208z
2. N. Gligorijević, **S. Živković**, V. Rodić, S. Subotić, I. Gligorijević, Effect of cumulative damage on rocket motor service life, Journal of Energetic Materials, (2015) Vol.33, Issue 04, pp. 229-259, doi:10.1080/07370652.2014.970245

Научни радови у категорији [M23]

3. **S. Živković**, M. Milinović, N. Gligorijević, M. Pavić, Experimental Research and Numerical Simulations of Thrust Vector Control Nozzle Flow, The Aeronautical Journal doi: 10.1017/aer.2016.48
4. M. Pavić, B. Pavkovic, S. Mandic, **S. Živković**, D. Cuk, Pulse-frequency modulated guidance laws for a mortar missile with a pulse jet control mechanism, Aeronautical journal, volume 118 no 1212, march 2015.
5. Н. Глигоријевић, В. Родић, **С. Живковић**, Б. Павковић, М. Николић, С. Козомара, С. Суботић, Mechanical Characterization of Composite Solid Rocket Propellant based on hydroxy-terminated polybutadiene, Хемијска индустрија, 2015. doi:10.2298/hemind150217067g

Научни радови у категорији [M24]

6. **S. Živković**, M. Milinovic, R. Adamec, Tunnel tests and numerical simulation of the high speed separated nozzle flow, FME Transactions, October 2014, Vol.42, No 3, p 89-97.

Научни радови у категорији [M33]

7. **S. Živković**, M. Savković, N. Gligorijević, Solid propellant rocket motor components initial design, OTEH 2011, Belgrade, 6-7 October 2011, pp: 331-336, (ISBN 978-86-81123-50-8)
8. G. Ocokoljić, **S. Živković**, S. Subotić, Aerodynamic coefficients determination for antitank missile with lateral jets, oteh-2011, mti belgrade
9. R. Jeremić, N. Gligorijević, V. Rodić, S. Subotić, R. Dimitrijević, **S. Živković**, Cumulative damage rule application in solid rocket motor service life prediction, OTEH 2011, Belgrade, 6-7 October 2011, pp: 268-271, (ISBN 978-86-81123-50-8)
10. N. Gligorijević, R. Jeremić, **S. Živković**, V. Rodić, R. Dimitrijević, S. Subotić, Probabilistic methodology for solid propellant case-bonded grain reliability estimation, OTEH 2011, Belgrade, 6-7 October 2011, pp: 262-267, (ISBN 978-86-81123-50-8)
11. **S. Živković**, R. Sirovatka, N. Gligorijević, S. Subotić, S. Kozomara, M. Nikolić, Solid propellant rocket motor nozzle heat transfer model verification, OTEH 2012, Belgrade, 18-19 September 2012, pp: 350-354, (ISBN 978-86-81123-58-4)
12. G. Marjanović, **S. Živković**, N. Gligorijević, Program svod for solid propellant grain design, OTEH 2012, Belgrade, 18-19 September 2012, pp: 355-360, (ISBN 978-86-81123-58-4)
13. N. Gligorijević, **S. Živković**, S. Subotić, S. Kozomara, M. Nikolić, S. Čitaković, An example of the side force determination in rocket motor thrust vector control system, OTEH 2012, Belgrade, 18-19 September 2012, pp: 361-370, (ISBN 978-86-81123-58-4)
14. **S. Živković**, M. Filipović, P. Elek, M. Milinović, N. Gligorijević, M. A. Boulahlib, Experimental determination of rocket motor internal ballistic coefficients and performance parameters, OTEH 2014, Belgrade, 9-10 October 2014, pp: 289-295, (ISBN 978-86-81123-71-3)
15. M. A. Boulahlib, R. Torche, **S. Živković**, S. Subotic, N. Gligorijević. An example of a successful erosive burning reduction in a small rocket motor, OTEH 2014, Belgrade, 9-10 October 2014, pp: 380-387, (ISBN 978-86-81123-71-3)
16. S. Karic, P. Lausevic, G. Tasic, V. Nikolic, K. M., Marceta N. Gligorijevic, **S. Živkovic**, Fine grain, high-density graphite for rocket motor nozzles, OTEH 2014, Belgrade, 9-10 October 2014, pp: 404-406 (ISBN 978-86-81123-71-3)
17. N. Gligorijevic, M. Maouche, A. Tabouche, C. Tennache, **S. Živkovic**, S. Subotic, V. Rodic. Initial changes of composite propellant mechanical properties, OTEH 2014, Belgrade, 9-10 October 2014, pp: 392-399 (ISBN 978-86-81123-71-3)
18. **S. Živković**, M. Milinović, N. Gligorijević, P. Pavlović, Measurement and simulation of the temperature in the flow fields of the rocket nozzle with jet tabs, 17th International Symposium on Thermal Science and Engineering of Serbia, October, 20-23. 2015, Sokobanja

Научни радови у категорији [M42]

19. **Саша Живковић**, Техничка решења и гасодинамичка ефикасност система за управљање вектором потиска ракетних пројектила, Војнотехнички институт, Београд, 2015 Vol. LII Бр.4 (ISBN 1820-3418)

Научни радови у категорији [M51]

20. N. Gligorijević, V. Rodić, R. Jeremić, **S. Živković**, S. Subotić, Structural analysis procedure for a case bonded solid rocket propellant grain, scientific technical review, 2011, vol.61, no 1, p 1-9.
21. N. Gligorijević, **S. Živković**, S. Subotić, S. Kozomara, M. Nikolić, S. Čitaković, Side force determination in the rocket motor thrust vector control system, scientific technical review, 2013, vol.63, no 2, p 1-9.
22. N. Gligorijević, **S. Živković**, S. Subotić, B. Pavković, M. Nikolić, S. Kozomara, V. Rodic, Mechanical properties of htpb propellants in the initial period of service life, scientific technical review, 2014, vol.64, no 4, pp 1-10.
23. N. Gligorijević, M.A. Boulahlib, **S. Živković**, S. Subotić, S. Kozomara, M. Nikolić, Solving An Irregular Burning Problem In A Small Rocket Motor, Scientific Technical Review, 2014, Vol.64, No 2, Pp 1-11

Техничка решења [M82]

24. **С. Живковић**, С. Суботић, Н. Глигоријевић, Б. Павковић, С. Козомара, М. Николић, Маршевски ракетни мотор противоклопне вођене ракете БУМБАР, Техничко решење у категорији „индустријски прототип“ (М-82) , решење бр: Инт.бр. 01/156-79, 10.05.2015.год., Војнотехнички институт, Београд
25. С. Козомара, Н. Глигоријевић, С. Суботић, Б. Павковић, **С. Живковић**, М. Николић, В. Капор, Стартни ракетни мотор противоклопне вођене ракете БУМБАР, Техничко решење у категорији „индустријски прототип“ (М-82) , решење бр: Инт.бр. 01/156-80, 10.05.2015.год., Војнотехнички институт, Београд
26. Н. Глигоријевић, С. Суботић, В. Капор, **С. Живковић**, С. Козомара, М. Николић, Погонско пуњење маршевског мотора ракете БУМБАР, Техничко решење у категорији „индустријски прототип“ (М-82) , решење бр: Инт.бр. 01/4-104/5, 25.05.2015.год., Војнотехнички институт, Београд

5. ЗАКЉУЧАК И ПРЕДЛОГ

Докторска дисертација под називом: "Систем за управљање вектором потиска гасодинамичким интерцепторима" кандидата **Саша Живковића**, студента докторских студија, представља нов, савремен и оригиналан научни допринос, који омогућава потпуну анализу разматраних проблема везану за системе за управљање вектором потиска, као и солидну основу за пројектовање нових управљачких система на принципима контроле гасодинамичког струјања у ракетним моторима у примени на вођене ракете.

На основу изнесеног у овом извештају и чињенице да је област анализирана у докторату савремена актуелна и мало обрађена досада у нашој и савременој литератури, са

задовољством се може констатовати да је кандидат **Саша Живковић**, студент докторских студија, успешно завршио докторску дисертацију у складу са постављеним циљевима.

Кандидат је дошао до оригиналних научних резултата, који су и теоријски и експериментално верификовани валидних за примену у широј области савремене ракетне технике, посебно за потребе развоја производа војне и ваздухопловне индустрије.

На основу прегледа докторске дисертације од стране Комисије за оцену и одбрану докторске тезе под називом: **"Систем за управљање вектором потиска гасодинамичким интерцепторима"** кандидата **Саша Живковића**, студента докторских студија, из Београда, са задовољством се констатује да је урађена докторска дисертација написана према свим стандардима научно-истраживачког рада, као и да испуњава све услове предвиђене Законом о високом образовању и Статутом Машинског факултета у Београду.

Комисија предлаже Наставно-научном већу Машинског факултета у Београду да се овај Извештај прихвати, дисертација стави на увид јавности, да се по истеку законског рока упути Извештај на коначно усвајање Већу научних области техничких наука Универзитета у Београду и да се након тога кандидат позове на јавну одбрану дисертације.

У Београду 24. 03. 2017. год.

ЧЛАНОВИ КОМИСИЈЕ

.....
др Момчило Милиновић, редовни проф., ментор
Машински факултет Универзитета у Београду

.....
др Слободан Јарамаз, редовни професор,
Машински факултет Универзитета у Београду

.....
др Дејан Мицковић, редовни професор,
Машински факултет Универзитета у Београду

.....
др Предедраг Елек, редовни професор,
Машински факултет Универзитета у Београду

.....
др Дарко Васиљевић, виши научни сарадник,
Институт за физику Београд.

УНИВЕРЗИТЕТ У БЕОГРАДУ
- МАШИНСКИ ФАКУЛТЕТ –
Број:486/4
Датум: 30.03.2017. године
Београд, Краљице Марије бр. 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 факултета (број 1876/1 од 04.10.2013. године) и члана 37. Правилника о докторским студијама Машинског факултета, Наставно-научно веће на седници одржаној 30.03.2017. године, донело је

ОДЛУКУ

Усваја се реферат Комисије о урађеној докторској дисертацији **„СИСТЕМ ЗА УПРАВЉАЊЕ ВЕКТОРОМ ПОТИСКА ГАСОДИНАМИЧКИМ ИНТЕРЦЕПТОРИМА“** студента **САШЕ ЖИВКОВИЋА**, дипл. инж. маш.

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

Универзитет у Београду је својом Одлуком број 61206-3990/2-16, од 19.09.2016. године, дао сагласност на предлог теме докторске дисертације.

Објављени радови студента у часописима међународног значаја:

Научни радови у категорији [M22]

1. **S. Živković**, M. Milinović, P. Stefanović, P. Pavlović, N. Gligorijević, Experimental and simulation testing of thermal loading in the jet tabs of a thrust vector control system, Thermal Science doi:10.2298/tsci150914208z
2. N. Gligorijević, **S. Živković**, V. Rodić, S. Subotić, I. Gligorijević, Effect of cumulative damage on rocket motor service life, Journal of Energetic Materials, (2015) Vol.33, Issue 04, pp. 229-259, doi:10.1080/07370652.2014.970245

Научни радови у категорији [M23]

3. **S. Živković**, M. Milinović, N. Gligorijević, M. Pavić, Experimental Research and Numerical Simulations of Thrust Vector Control Nozzle Flow, The Aeronautical Journal doi: 10.1017/aer.2016.48
4. M. Pavić, B. Pavkovic, S. Mandic, **S. Živković**, D. Cuk, Pulse-frequency modulated guidance laws for a mortar missile with a pulse jet control mechanism, Aeronautical journal, volume 118 no 1212, march 2015.
5. Н. Глигоријевић, В. Родић, **С. Живковић**, Б. Павковић, М. Николић, С. Козомара, С. Суботић, Mechanical Characterization of Composite Solid Rocket Propellant based on hydroxy-terminated polybutadiene, Хемијска индустрија, 2015. doi:10.2298/hemind150217067g

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

ДЕКАН
МАШИНСКОГ ФАКУЛТЕТА

проф. др Радивоје Митровић