

Факултет МАШИНСКИ

УНИВЕРЗИТЕТ У БЕОГРАДУ

1383/4
(Број захтева)Већу научних области техничких наука
(Назив стручног већа коме се захтев упућује, сагласно
Члану 6. и чл. 7 став 1. овог Правилника)14.07.2016.
(Датум)

З А Х Т Е В
за давање сагласности на предлог теме докторске дисертације

Молимо да сходно чл. 46. ст.5. тач.3. Статута Универзитета у Београду („Гласник Универзитета“, број 131/06), дате сагласност на предлог теме докторске дисертације

СИСТЕМ ЗА УПРАВЉАЊЕ ВЕКТОРОМ ПОТИСКА ГАСОДИНАМИЧКИМ
ИНТЕРЦЕПТОРИМА

(пун назив предложене теме докторске дисертације)

НАУЧНА ОБЛАСТ Системи наоружања

ПОДАЦИ О КАНДИДАТУ:

- Име, име једног родитеља и презиме кандидата: САША (ЖИВОРАД) ЖИВКОВИЋ
- Назив и седиште Факултета на коме је стекао високо образовање: Машински факултет Београд
- Година дипломирања: 2000.
- Назив магистарске тезе кандидата: _____
- Назив Факултета на коме је магистарска теза одбрањена: _____
- Година одбране магистарске тезе: _____
- Назив Факултета на коме је кандидат уписао докторске студије: Машински факултет Београд

Одсек, смер или група: _____

Година уписа докторских студија: 2010.Обавештавамо Вас да је _____
Наставно-научно веће Факултета
(назив надлежног тела Факултета)на седници одржаној 14.07.2016
размотрило предложену тему и закључило да је тема подобна за израду докторске дисертације.

ДЕКАН
МАШИНСКОГ ФАКУЛТЕТА

проф. др Радивоје Митровић

Прилог:

- Предлог теме докторске дисертације са образложењем.
- Акт надлежног тела факултета о подобности теме за израду докторске дисертације.

УНИВЕРЗИТЕТ У БЕОГРАДУ
- МАШИНСКИ ФАКУЛТЕТ -
Број: 1383/4
Датум: 14.07.2016. године
Београд, Краљице Марије 16

На основу захтева студента **Саше Живковића**, дипл. инж.маш., бр. 1171/1 од 26.05.2016. године да му се одобри израда докторске дисертације, реферата Комисије у саставу: др Момчило Милиновић, ред. проф., др Слободан Јарамаз, ред. проф., др Дејан Мицковић, ред. проф., др Предраг Елек, ванр. проф. и др Дарко Васиљевић, виши научни сарадник, Институт за физику Београд, број 1383/3 од 04.07.2016. године, а 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 30. Правилника о докторским студијама Машинског факултета, Наставно-научно веће Машинског факултета на седници од 14.07.2016. године, донело је следећу

ОДЛУКУ

Прихвата се научна заснованост теме докторске дисертације и констатује да студент **САША ЖИВКОВИЋ**, дипл. инж. маш. испуњава услове за израду докторске дисертације **«СИСТЕМ ЗА УПРАВЉАЊЕ ВЕКТОРОМ ПОТИСКА ГАСОДИНАМИЧКИМ ИНТЕРЦЕПТОРИМА»**.

За менторе студенту **Саши Живковићу**, именује се др Момчило Милиновић, ред. проф.

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

ДЕКАН
МАШИНСКОГ ФАКУЛТЕТА

проф. др Радивоје Митровић

ВЕЋУ ДОКТОРСКИХ СТУДИЈА

Предмет: Подобност теме и кандидата и студента докторских студија **Саше Живковића, дипл. инж. маш.** за израду докторске дисертације **СИСТЕМ ЗА УПРАВЉАЊЕ ВЕКТОРОМ ПОТИСКА ГАСОДИНАМИЧКИМ ИНТЕРЦЕПТОРИМА**, која је поднета од стране кандидата 26. 05. 2016. године и заведена под бројем: 1171/1.

Одлуком бр. 1383/2 од 23.06. 2016. године, именовани смо за чланове Комисије за оцену подобности теме и кандидата и студента докторских студија Саше Живковића, дипл. инж. маш. за израду докторске дисертације и научне заснованости теме „Систем за управљање вектором потиска гасодинамичким интерцепторима”.

На основу материјала приложеног уз Захтев кандидата, Комисија подноси следећи

РЕФЕРАТ

1. Подаци о кандидату

1.1. Биографски подаци

Саша Живковић, дипломирани инжењер машинства, 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 војно машинство са просечном оценом 8.28. Дипломски рад на тему "Формирање кумулативног млаза" одбранио је са оценом 10.

1.2. Стечено научноистраживачко искуство

Научноистраживачим радом је почео да се бави 21. 06. 2002. године од када је запослен у Војнотехничком институту Војске Србије на месту истраживача сарадника. Током рада учествујући у више развојних, функционалних и истраживачких задатака напредовао је до места водећег истраживача. У оквиру пројеката ПОРС "Маљутка", РС "Огањ", РС "Пламен", РС "Нева" и РБР "ПОС-БД" бавио се унутрашњо-балистичким прорачунима, пројектовањем елемената ракетних мотора и погонских пуњења, летни и статичким испитивањима и праћењем процеса производње у фабрикама Наменске индустрије. У оквиру сложеног пројеката 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 2010. уписао је докторске студије на катедра за системе наоружања Машинског факултета Универзитета у Београду.

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

Кандидат активно користи и влада програмским пакетима за нумеричку механику флуида, структурну анализу и математичке прорачуне: FLUENT, ANSYS, MathCAD, MATLAB, AutoCAD, 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 часописима међународног значаја и у водећим часописима националног значаја, објавио је монографију националног значаја, имао је више саопштења на међународним скуповима и техничких решења.

У току научно-истраживачког рада за време докторских студија кандидат је објавио следеће радове:

Научни радови у категорији [M22]

1. **S. Živković**, M. Milinović, P. Stefanović, P. Pavlović, N. Gligoriјеvić, 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. Gligoriјеvić, **S. Živković**, V. Rodić, S. Subotić, I. Gligoriјеvić, 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. 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.
4. 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
5. **S. Živković**, M. Milinović, N. Gligoriјеvić, M. Pavić, Experimental Research and Numerical Simulations of Thrust Vector Control Nozzle Flow, The Aeronautical Journal doi: 10.1017/aer.2016.48

Научни радови у категорији [M24]

6. **S. Zivkovic**, 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. Gligoriјеvić, Solid propellant rocket motor components initial design, ОТЕН 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. Gligoriјевић, **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. Gligoriјевић, **S. Živković**, S. Subotić, B. Pavković, M. Nikolić, S. Kozomara, V. Rodić, 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. Gligoriјевић, 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

Детаљан преглед одслушаних и положених испита дато је у табели 1.

Табела 1.

Прва година (2010/2011)		Друга година (2012/2013)	
I семестар	II семестар	III семестар	IV семестар
Виши курс математике Проф.др. Слободан Радојевић Оцена: 9 (девет)	Одабрана поглавља из механике флуида Проф.др. Светислав Чантрак Оцена: 10 (десет)	Ефикасност и поузданост наоружања Проф.др. Момчило Милиновић Оцена: 10 (десет)	Истраживање и публиковање 4 Проф.др. Момчило Милиновић Оцена: 10 (десет)
Нумеричке методе Проф.др. Миодраг Спалевић Оцена: 10 (десет)	Погон пројектила Проф.др. Момчило Милиновић Оцена: 10 (десет)	Управљање ватром и командно информациони системи Проф.др. Момчило Милиновић Оцена: 10 (десет)	Пројекат идеје докторске дисертације Проф.др. Момчило Милиновић Оцена: 10 (десет)
ОМНИР и комуникације Проф.др. М Недељковић Оцена: 10 (десет)	Одабрана поглавља балистике на циљу Проф.др. Предраг Елек Оцена: 10 (десет)	Истраживање и публиковање 3 Проф.др. Момчило Милиновић Оцена: 10 (десет)	
Примена експлозива Проф.др. Слободан Јарамаз Оцена: 10 (десет)	Истраживање и публиковање 2 Проф.др. Момчило Милиновић Оцена: 10 (десет)		
Истраживање и публиковање 1 Проф.др. Момчило Милиновић Оцена: 10 (десет)			

1.3. Оцена подобности кандидата за рад на предложеној теми

На основу биографских података кандидата, положених испита на докторским студијама, његових научних и стручних активности и остварених резултата, Комисија сматра да је кандидат подобан за рад на предложеној теми докторске дисертације.

2. Предмет и циљ истраживања

Предмет истраживања ове дисертације је развој метода пројектовања система за управљање вектором потиска интецепторског типа, који се могу примењивати код тактичких вођених ракетних пројектила. Управљање Вектором Потиска (УВП) је метода формирања управљачке силе за летелице, када су потребне маневарске способности које аеродинамичко управљање не може да оствари (мала брзина лета, разређени ваздух на већим висинама, потребна велика нормална оптерећења, итд.). С обзиром на то да је систем за УВП део управљачког система летелице, његова концепција зависи од усвојене методе управљања

Фактори који највише утичу на разраду концепције и избор типа система за УВП су:

- карактеристике и концепција саме летелице;

- карактеристике пропульзивног система, број мотора;
- дужина и врста мисије;
- захтеване перформансе система;
- спољашњи услови рада система;
- расположива снага покретача;
- ограничења по питању габарита и масе;
- ефикасности пропульзивног система, итд.

Системе за УВП је могуће поделити по више критеријума. У оквиру дисертације биће разматрани системи за УВП примењени на ракетним пројектилима, који се према принципу рада могу поделити на три главне групе:

- Мотори променљиве геометрије (са подгрупама покретних мотора и покретних млазника);
- Мотори фиксне геометрије (са извршним елементима и убризгавањем секундарног флуида);
- Пропулзивни системи са додатним, вишеструким ракетним моторима или гасогенераторима..

Рад истражује један од типова система за УВП, који спада у групу мотора фиксне геометрије са извршним елементима, који се заснива на уношењу препреке управне на правац осе млазника, у зони његове излазне површине, тј. аксијалне препреке или интерцептора струје продуката (интерцептора). У поређењу са осталима, овај тип УВП има неповољне карактеристике по питању ефикасности генерисања управљачке силе и величине губитка аксијалне компоненте потиска. Без обзира на ове недостатке у истраживању ће бити размотрен као главни кандидат за примену на противоклопним ракетама. због релативно мале силе која је потребна да се изврши уношење препреке у млаз, као и због једноставности конструкције.

Детаљном анализом доступних научно-истраживачких радова, написаних у последњих 45 година, пружа се увид у досадашњи приступ пројектовању и анализи поменутих ракета система за УВП. Веома мало пажње је усмерено ка интегралном истраживању начина пројектовања УВП са аспект усаглашавања посебних задатака унутрашње балистике РМ, термомеханике, гасодинамике и струјних процеса у млазнику, и других дисциплина које утичу на ефикасну употребу оваквих уређаја. На основу ове анализе циљем истраживања дефинисано је уобличавање интегрисане методологије пројектовања система за управљање вектором потиска, применом комплекса математичких модела најважнијих физичких процеса. Ово је омогућено отварањем нових научних приступа у разради теоријских решења на примењеним истраживањима поменутих научних области, као и реализацији нових технолошких задатака. У покушају да се постави основа за методолошки приступ концептуалог пројектовања система за УВП са иновираним задацима примењене динамике гасова, разрадиће се следећа посебна питања ради постизања нових циљева и то:

1. Решење проблема веома компликованих и оштрих захтева за реализацију надзвучног струјања око препреке, са високим коефицијентима губитака зауставног притиска, које треба компромисно разрадити са захтевима минималним губитака аксијалног потиска.
2. Решење иновираних и допуњених метода управљања на трајекторији са осетљивим параметрима лета на малим висинама за потребе ПО пројектила.

3. Решење оптималне унутрашње балистике усаглашене са термофизичким параметрима материјала за извршне органе управљања на одабраној констукцији ракете са оптималном масом одсека управљања у изворном пројектованом моделу.

Релевантни библиографски извори и резултати на које се надовазују истраживања из ове тезе:

1. Sutton, G. P. and Biblarz, O. *Rocket Propulsion Elements*, Wiley, New York, 2001.
2. Gal-Or, B. Fundamental Concepts of Vectored Propulsion, *Journal of Propulsion and Power*, 1990, 6, (6), pp 747-757.
3. Hunter, C. A. and Deere, K. A. Computational Investigation of Fluidic Counterflow Thrust Vectoring, *Proceedings of the 35th Joint Propulsion Conference and Exhibit*, June 1999, Los Angeles, USA.
4. Jojic, B., Milinovic, M., Stefanovic, Z. and Blagojevic, D. Pressure Distribution in Rocket Nozzle with Mechanical System for TVC, *Proceedings of the 23rd Joint Propulsion Conference*, July 1987, San Diego, USA.
5. Gligorić, N., Zivkovic, S., Subotic, S., Kozomara, S., Nikolic, M. and Citakovic, S. Side Force Determination in the Rocket Motor Thrust Vector Control System, *Scientific Technical Review*, 2013, 63, (1), pp 27-38.
6. Kozic, M. and Ristic, S. Capability of 2D RANS Simulations For 2D Thrust Vectoring Nozzle, *Journal of Aerospace Engineering*, 2010, 224, (8), pp 905-910.
7. Zivkovic, S., Milinovic, M. and Adamec, R. Tunnel tests and numerical simulation of the high speed separated nozzle flow, *FME Transactions*, October 2014, 42, (3), pp 89-97.
8. Chang, P. K. Control of Flow Separation: Energy Conservation, Operational Efficiency, and Safety, Hemisphere Publishing Corporation, Washington, 1976..
9. Ostlund, J., Flow Processes In Rocket Engine Nozzles With Focus On Flow Separation And Side-Loads, Technical Report 2002:09, Royal Institute of Technology, Stockholm, 2002
10. Schilling, T. W. Flow Separation in Rocket Nozzles, MS Thesis, University of Buffalo, New York, 1962.
11. Waithe, K. A. and Deere, K. A. Experimental and Computational Investigation of Multiple Injection Ports in a Convergent-Divergent Nozzle for Fluidic Thrust Vectoring, *Proceedings of the 21st AIAA Applied Aerodynamics Conference*, June 2003, Orlando, USA.
12. Tian, C. and Lu, Y. Turbulence Models of Separated Flow in Shock Wave Thrust Vector Nozzle, *Engineering Application of Computational Fluid Mechanics*, 2013, 7, (2), pp 182-192.
13. Balabel, A., Hegab A. M., Nasr M. and El-Behery S. M. Assessment of Turbulence Modelling for Gas Flow in Turbulence Modelling for Gas Flow in Two-Dimensional Convergent-Divergent Rocket Nozzle, *Applied Mathematical Modelling*, 2011, 35, (7), pp 3408-3422.
14. Dobrovolskii, V., M. *Liquid Rocket Engines* (in Russian), Mashinostroenie, Moscow, 1968.
15. Jaunet, V., Aymer, D., Collin, E., Bonnet, J. P., Lebedev, A., Fourment, C., 3D effects in a supersonic rectangular jet vectored by flow separation control, a numerical and experimental study, *Proceedings of the 5th Flow Control Conference*, June - July 2010, Chicago, Illinois, USA.
16. Zmijanovic, V., Rasuo, B., Chpoun, A., Flow separation modes and side phenomena in an overexpanded nozzle, *FME Transactions*, September 2012, 40, (3), pp 111-118.

17. Mangin, B., Chpoun, A. and Jacquin, L. Experimental and Numerical Study of the Fluidic Thrust Vectoring of a Two-Dimensional Supersonic Nozzle, *Proceedings of the 24th AIAA Applied Aerodynamics Conference*, June 2006, San Francisco, USA.
18. F. Nesline and P. Zarchan. "Miss distance dynamics in homing missiles", 17th Fluid Dynamics, Plasma Dynamics, and Lasers Conference, AIAA Conferences, pp.84-98, 1984, Snowmass, CO, U.S.A.
19. Ericsson, L.E.: Rapid Computation of Missile Dynamics, AIAA 22nd Aerospace Sciences Meeting, Januar 9-12, 1984/Reno, Nevada.
20. David Stallard. "An approach to autopilot design for homing interceptor missiles", Navigation and Control Conference, pp.99-113, 1991, New Orleans, LA, U.S.A..
21. Kevin A. Wise and David J. B Roy. "Agile Missile Dynamics and Control", Journal of Guidance, Control, and Dynamics, Vol. 21, No. 3 (1998), pp. 441-449. doi: 10.2514/2.4256
22. Der-Ren Taur, Jeng-Shing Chern, Der-Ren Taur, and Jeng-Shing Chern. "Optimal thrust vector control of tactical missiles", Guidance, Navigation, and Control Conference, pp.200-217, 1997, New Orleans, LA, U.S.A..
23. Shaferman and Yaakov Oshman. "Cooperative Interception in a Multi-Missile Engagement", AIAA Guidance, Navigation, and Control Conference, pp. 1-23, 2009, Chicago, Illinois.
24. Zarchan, P.: Tactical and Strategic Missile Guidance, American Institute of Aeronautics and Astronautics, 1801 Alexander Bell Drive, Reston, Virginia 20191-4344, 2012.
25. Innocenti, M.: Nonlinear Guidance Techniques for Agile Missiles, Elsevier, pp.1131-1144, 2001.
26. Kadam, N.V.: Practical Design of Flight Control Systems: Some Problems and Their Solutions, Defence Science Journal, Vol.55, No3, pp.211-221, 2005.
27. Tiwari, P.K., Vora, P., Srinivasan, S. and Bhattacharjee, R.N.: 3-D Modified Proportional Navigation Guidance Law Based On a Total Demand Vector Concept, Defence Science Journal, Vol.55, No3, pp.281-291, 2005.
28. Chaudhary, A.B., Uttarkar, A.K.D., Vora, P. and Bhattacharjee, R.N.: Post Flight Analysis and Design Improvement in Command Guidance System for a Short Range Surface to Air Missile System, Defence Science Journal, Vol.55, No3, pp.293-305, 2005.
29. Sarkar, A.K, Vathsar, S., Sundaram, S., Mukhopadhyay, S.: Target Acceleration Estimation From Radar Position Data Using Neural Network, Defence Science Journal, Vol.55, No3, pp.313-328, 2005.
30. Kumar, D., Mishra, R.N.: Angular Steering for Proportional Navigation-Commanded Surface To Air Guided Missile, Defence Science Journal, Vol.56, No4, pp.437-449, 2006.
31. Mauro Pontani, Paolo Teofilatto: Simple method for performance evaluation of multistage rockets, Acta Astronautica, doi:10.1016/j.actaastro.2013.01.013, pp.434-445, 2014.
32. Eugene L. Fleeman: Tactical Missile Design, American Institute of Aeronautics and Astronautics, 1801 Alexander Bell Drive, Reston, Virginia 20191-4344, 2001.

3. Полазне хипотезе

У изложеном прегледу о предмету и циљевима тезе, као и обухваћеним истраживањем заснованог на цитираним библиографским изворима, може се сагледати да је у дисертацији описан сложени поступак пројектовања система за УВП интерцепторског типа. Основне хипотезе које су постављене у фазама овог пројектовања:

- Полазна хипотеза је да интерцепторски тип система за УВП, поред извесних предности има слабеије гасодинамичке перформансе, те да је од великог значаја оптимизација система;
- У процесу пројектовања и оптимизације система од великог је значаја тачност прорачуна појединих параметарских процеса и функције целог система;
- Параметарски процеси од значаја за тачност прорачуна су разнородни и обухваћени су следећим научним областима: динамика гасова, пренос топлоте, динамика система, електромагнетика, унутрашња балистика; као и одговарајућим методама експерименталног истраживања, примењеним у овим областима;
- У области динамике гасова се сматра да су продукти сагоревања хемијски инертни, тј да нема хемијских реакција при струјању у простору система за УВП; такође је занемарена појава течне и чврсте фазе у продуктима сагоревања, односно кондензација и солидификација;
- При моделирању преноса топлоте, у описаном примеру, зрачење продуката сагоревања и загрејаних делова пропулзивног система се може занемарити;
- Теоријска вредност електромагнетне сила при косом процепу котве, се може кориговати на основу експерименталних мерења електромагнетне силе у статичким условима и мерења динамике кретања котве;
- Електромагнетни систем за УВП са паралелним малим процепом има боље динамичке перформансе од система са већим косим процепом, иако су оптерећења која електромагнетна сила савлађује већа;
- Унутрашње балистички параметри рада ракетног мотора могу значајније да утичу на перформансе система за УВП.

4. Научне методе истраживања

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 карактеристичних модела управљања аеродинамичким површинама. Коришћене методе истраживања су:

1. Метода математичких анализа постојећих проблема гасодинамике и приступа у циљу одређивање параметара и бројних вредности за постављања хипотеза.
2. Разрада нових математичких модела понашања надзвучне гасне струје под дејством препреке у складу са постављеним хипотезама.
3. Разрада и допуна постојећих математичких модела управљања вектором потиска и избор оптималних решења.
4. Симулација понашања управљачке силе у моделским и реалним условима на ракети.

5. Симулација оптималних решења нових корисних терета за управљање и њихова масена процена.
6. Методе нумеричке механике флуида за описивање сложеног струјања радног флуида у циљу што свеобухватнијег описа понашања подсистема на ракети.
7. Употреба одабраних статистичких метода за анализу грешке мерења процене резултата.

5. Очекивани научни допринос

Према усвојеним хипотезама научни доприноси овог истраживања су следећи:

1. Нови модел анализе концептуалне погодности принципа система вођења са управљањем вектором потиска интерцепторског типа;
2. Нова процедура гасодинамичке оптимизације система за управљање вектором потиска;
3. Метода прорачуна перформанси система на основу гасодинамичког прорачуна нумеричким поступком;
4. Унапређена процедура избора модела струјања у граничном слоју при нумеричком прорачуну процеса управљања вектором потиска;
5. Нови приступ анализи и синтези експерименталних и нумеричких резултата испитивања утицаја параметара струјања на перформансе система за управљање потиском;
6. Нова експериментална верификација прорачуна преноса топлоте у струјном простору и елементима система за управљање вектором потиска;
7. Унапређена процедура одређивања утицаја преноса топлоте на перформансе и ефикасност система за управљање вектором потиска;
8. Иновирани поступак одређивања утицаја унутрашње-балистичких прелазних процеса у ракетном мотору на ефикасност система управљања потиском;
9. Нови поступак прорачуна за процену утицаја динамичких карактеристика извршних елемената на перформансе система за управљање вектором потиска.

6. План истраживања и структура рада

Базни научни концепт проучавања проблема ракетног противоклопног система малог домета са управљањем системом УВП-а карактерише се, у фази развоја тактичко техничких захтева, анализама базираним на гасодинамици и механици флуида струјања кроз млазник и управљања параметрима продуката сагоревања током процеса ширења ради генерисања силе потиска. Оцењује се кроз резултате различитих спрегнутих научних интердисциплинарних области, и то:

1. Резултате струјања гасова у дивергентном делу млазника са препреком кроз математичко моделирање укључујући утицај хемијске равнотеже изазване брзом променом температуре при експанзији. Кроз поједностављења истраживање обухватиће резултати тродимензионалних струјања стишљивог, вискозног флуида, чији су укупни резултати појава бочне силе која се користи као управљачка сила ракете.

2. Једначине које описују наведене гасодинамичке процесе решаваће се нумеричким поступцима применом метода коначних запремина, где се очекује посебан резултат истраживања. Системом парцијалних диференцијалних и алгебарских једначина којим је затвориће се математички модел турбулентног струјања стишљивог флуида и применити нумеричка техника која ће омогућити решавање ових сложених проблема. За различите услове струјања развијен је већи број нумеричких метода.
3. Описаће се и експериментално испитати физикалност процеса струјања и тестирати примењене нумеричке методе прорачуна струјања у дводимензионалним условима (равански млазник). Испитивањем дводимензионалне геометрије успоставиће се законитости процеса који се одвијају у описаним условима и главни параметри потребних управљачких сила и момената. Физички модел дводимензионалног млазника биће тестиран експериментално у у аеротунелу.
4. Нумеричке симулације у дводимензионалном простору пратиће симулације у реалном тродимензионалном млазнику. Посебно ће се разрадити струјање у зауставној зони конусног млазника. Резултати дводимензионалних истраживања биће употребљени при проучавању физикалности процеса генерисања бочне силе као главног параметра за управљање вектором потиска.
5. У експерименталном ракетном мотору вршиће се испитивања на хладно (ваздухом под притиском) и топло (продуктима сагоревања). Резултатима ових експеримената треба да се верификују употребу интерцептора са одговарајућом геометријом на бази нумеричких прорачуна. Мерене величине у експериментима су компоненте потиска - бочна сила и аксијални потисак, притисак у комори, положај интерцептора, отпор кретању интерцептора, као основне перформансе система. У опитним ракетним моторима ће се анализирала разлика утицаја врсте и стања радног флуида, као завршна оптимизација новог модела УВП.
6. Разматрањем примене овог система за УВП на реалним пројектилима формира ће се критеријуми гасодинамичких перформанси, односно гасодинамичке ефикасности система. Оне ће се истраживати преко два параметра који значајно утичу на конкретну примену система на ракети: бочна сила потиска (управна на аксијални правац мотора - ракете); и аксијални губитак потиска мотора. Прорачун температурног поља у млазнику ракетног мотора и струјном простору и пренос топлоте при УВП, биће посебно обрађен собзиром да је при пројектовању неопходна што тачнија процена услова рада термички оптерећених елемената. Доминантна карактеристика топлотних проблема у ракетном мотору ће се решавати применом методе коначних запремина. Верификација прорачуна преноса топлоте ће се извршити експерименталним путем, у опитима са реалним РМ и елементима реалног система за УВП.
7. Кретање интерцептора, као извршних органа разматраће се на најекономичнији начин са аспекта потребне енергије за актуатор. Отпор при кретању интерцептора биће разматран као посебан спрегнути проблем са поменутих проблемима у процесу оптимизације.
8. Динамика лета и функција система вођења ракете условљавају функцију система за УВП, што ће посебно бити разрађено као резултат истраживања интеграције у овом

докторату. У завршном делу истраживања анализираће се утицај промене параметара рада РМ на процесе УВП-а. Биће такође описани поступци прорачуна основних унутрашње- балистичких параметара рада РМ, у циљу оптимизације и усаглашавања са уређајем за УВП.

7. Закључак и предлог

На основу анализе пријаве теме докторске дисертације кандидата и студента докторских студија **Саше Живковића**, дипл. инж. маш., а сходно одлуци број 1383/2 Наставно-научног већа донетој 23.06.2016. године, Комисија за подношење извештаја о прихватању теме и оцену научне заснованости докторске дисертације закључује да је предложена тема научно утемељена и адекватна за израду докторске дисертације високог ранга, као и да кандидат и студент докторских студија испуњава законске и друге услове за рад на предметној докторској дисертацији, тако да предлаже Наставно-научном већу Машинског факултета Универзитета у Београду да кандидату и студенту докторских студија:

Саши Живковићу, дипл. инж. маш.,

одобри израду докторске дисертације са темом:

СИСТЕМ ЗА УПРАВЉАЊЕ ВЕКТОРОМ ПОТИСКА ГАСОДИНАМИЧКИМ ИНТЕРЦЕПТОРИМА

научна област: **Војно машинство-Системи наоружања.**

За ментора кандидата током рада на овој докторској дисертацији предлаже се **проф. др Момчило Милиновић, редовни професор**, на Катедри за системе наоружања Машинског факултета у Београду.

ЧЛАНОВИ КОМИСИЈЕ

.....
др Момчило Милиновић, редовни професор
Универзитета у Београду, Машински факултет

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

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

.....
др Предраг Елек, ванредни професор
Универзитета у Београду, Машински факултет

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

Додатак уз образац 1.

ПОДАЦИ О МЕНТОРУ

Име и презиме: Момчило Милиновић

Звање: редовни професор

Списак радова објављених у научним часописима са Science Citation Index (SCI) листе који квалификују ментора за вођење докторске дисертације:

1. Marković Miloš D, Milinović Momčilo P, Jeremić Olivera M, Jaramaz Slobodan S (2015) Simulation of Change in Temperature and Pressure Fields During High Speed Projectiles Forming by Explosion, THERMAL SCIENCE, Online first, doi: 10.2298/TSCI151217073M (ISSN 2334-7163, IF: 0.939, M22)
2. Kapor Nenad J, Milinovic Momcilo P, Jeremic Olivera M, Petrovic Dalibor P (2015) Deterministic Mathematical Modelling of Platform Performance Degradation in Cyclic Operation Regimes, STROJNISKI VESTNIK-JOURNAL OF MECHANICAL ENGINEERING, vol. 61, br. 3, str. 167-175 (ISSN 0039-2480, IF: 0.677, M23)
3. Milinovic Momcilo P, Petrovic Dalibor P, Jeremic Olivera M, Kovac Mitar (2014) Discrete Deterministic Modelling of Autonomous Missiles Salvos, DEFENCE SCIENCE JOURNAL, vol. 64, br. 5, str. 471-476 (ISSN 0011-748X, IF 0.292, M23)
4. Jaksic Zoran S, Milinovic Momcilo P, Randjelovic Danijela V (2012) Nanotechnological Enhancement of Infrared Detectors by Plasmon Resonance in Transparent Conductive Oxide Nanoparticles, STROJNISKI VESTNIK-JOURNAL OF MECHANICAL ENGINEERING, vol. 58, br. 6, str. 367-375 (ISSN 0039-2480, IF: 0.883, M22)
5. Milinovic Momcilo P, Jerkovic Damir, Jeremic Olivera M, Kovac Mitar (2012) Experimental and Simulation Testing of Flight Spin Stability for Small Caliber Cannon Projectile, STROJNISKI VESTNIK-JOURNAL OF MECHANICAL ENGINEERING, vol. 58, br. 6, str. 394-402 (ISSN 0039-2480, IF: 0.883, M22)
6. Sicovic Aleksandar, Milinovic Momcilo P, Jeremic Olivera M (2011) Experimental Equipment Research for Cryogenic Joule-Thompson Cryocoolers Comparison in IR Technology Sensors, STROJNISKI VESTNIK-JOURNAL OF MECHANICAL ENGINEERING, vol. 57, br. 12, str. 936-946 (ISSN 0039-2480, IF: 0.398, M22)

ДЕКАН ФАКУЛТЕТА
