

ВЕЋУ ДОКТОРСКИХ СТУДИЈА

Предмет: Реферат о урађеној докторској дисертацији кандидата **Бојана М. Јеремића, маг. инж. маш.**, студента Докторских студија

Одлуком **Наставно-научног већа** бр. 1044/4 од 11.07.2019. године, именовани смо за чланове Комисије за преглед, оцену и одбрану докторске дисертације кандидата Бојана М. Јеремића под насловом

„Реализација брахистохроног кретања механичких система променљиве масе идеалним везама са ограниченим реакцијама“

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 Бојан Јеремић, маг. инж. маш., уписао је прву годину докторских студија на Машинском факултету Универзитета у Београду школске 2012/2013. године. Кандидату је одобрено продужење статуса студента на Докторским студијама у трајању од два семестра у школској 2018/19. години (решење 9/14019 од 05. 10. 2019. године).

Кандидат је поднео захтев за одобрење теме докторске дисертације број 207/1 од 01. фебруара 2019. године на Катедри за механику Машинског факултета Универзитета у Београду. Кандидат је за менторе предложио др Александра Обрадовића, редовног професора Машинског факултета у Београду. и др Радослава Радуловића, доцента Машинског факултета у Београду. На основу сагласности Катедре за механику број 207/2 од 14. фебруара 2019. године, Наставно-научно веће Машинског факултета у Београду донело је 21. фебруара 2019. године Одлуку број 207/3 о именоввању Комисије за оцену подобности теме и кандидата за израду докторске дисертације и научне заснованости теме докторске дисертације у саставу:

- др Александар Обрадовић, редовни професор (ментор), Машински факултет, Универзитет у Београду,
- др Радослав Радуловић, доцент (ментор), Машински факултет, Универзитет у Београду,
- др Оливера Јеремић, редовни професор, Машински факултет, Универзитет у Београду,
- др Драгомир Зековић, редовни професор у пензији, Машински факултет, Универзитет у Београду и

- др Славиша Шалинић, ванредни професор, Факултет за машинство и грађевинарство у Краљеву, Универзитет у Крагујевцу.

Комисија за оцену подобности теме и кандидата за израду докторске дисертације и научне заснованости теме докторске дисертације је 7. марта 2019. године поднела Наставно-научном већу Машинског факултета у Београду Извештај број 207/4, у коме предлаже Наставно-научном већу Машинског факултета у Београду да одобри тему докторске дисертације под насловом **„Реализација брахистохроног кретања механичких система променљиве масе идеалним везама са ограниченим реакцијама“**, наводећи да Кандидат испуњава све услове предвиђене Законом о високом образовању и Статутом Машинског факултета за израду докторске дисертације, и да је предложена тема актуелна и подобна за израду докторске дисертације. Одлуком Наставно-научног већа број 207/5 од 14. марта 2019. године прихваћена је тема докторске дисертације под насловом: **„Реализација брахистохроног кретања механичких система променљиве масе идеалним везама са ограниченим реакцијама“** кандидата Бојана Јеремића, маг. инж. маш., док су за менторе именовани др Александар Обрадовић, редовни професор и др Радослав Радуловић, доцент. Веће научних области техничких наука Универзитета у Београду донело је Одлуку број 61206-1228/2-19 од 25. марта 2019. године којом се даје сагласност на предлог теме докторске дисертације кандидата Бојана Јеремића, маг. инж. маш., под насловом: **„Реализација брахистохроног кретања механичких система променљиве масе идеалним везама са ограниченим реакцијама“**. На основу обавештења проф. др Александра Обрадовића и доцента др Радослава Радуловића да је кандидат Бојан Јеремић, маг. инж. маш., завршио докторску дисертацију под насловом: **„Реализација брахистохроног кретања механичких система променљиве масе идеалним везама са ограниченим реакцијама“** и предлога Катедре за механику број 1044/1 од 6. јуна 2019. године, Наставно-научно веће Машинског факултета у Београду је на седници одржаној 13. јуна 2019. године донело Одлуку број 1044/2 којом се именују чланови Комисије за преглед, оцену и одбрану докторске дисертације у саставу:

- др Александар Обрадовић, редовни професор (ментор), Машински факултет, Универзитет у Београду,
- др Радослав Радуловић, доцент (ментор), Машински факултет, Универзитет у Београду,
- др Оливера Јеремић, редовни професор, Машински факултет, Универзитет у Београду,
- др Драгомир Зековић, редовни професор у пензији, Машински факултет, Универзитет у Београду и
- др Славиша Шалинић, ванредни професор, Факултет за машинство и грађевинарство у Краљеву, Универзитет у Крагујевцу.

С обзиром на чл. 93 ст. 6 Закона о високом образовању, др Драгомир Зековић, ред. проф. Машинског факултета у пензији нема право да буде члан Комисије за оцену и одбрану докторских дисертација након 1. октобра 2019. године. На основу предлога Катедре за механику број 1044/3 од 8. јула 2019. године, Наставно-научно веће Машинског факултета у Београду је на седници одржаној 11. јула 2019. године донело Одлуку број 1044/4 којом се именују чланови Комисије за преглед, оцену и одбрану докторске дисертације у саставу:

- др Александар Обрадовић, редовни професор (ментор), Машински факултет, Универзитет у Београду,
- др Радослав Радуловић, доцент (ментор), Машински факултет, Универзитет у Београду,
- др Оливера Јеремић, редовни професор, Машински факултет, Универзитет у Београду,
- др Зоран Митровић, редовни професор, Машински факултет, Универзитет у Београду и

- др Славиша Шалинић, ванредни професор, Факултет за машинство и грађевинарство у Краљеву, Универзитет у Крагујевцу.

1.2. Научна област дисертације

Докторска дисертација под насловом „**Реализација брахистохроног кретања механичких система променљиве масе идеалним везама са ограниченим реакцијама**“ припада области техничких наука - **машинство**, ужој научној области - **Механика**, за коју је Машински факултет Универзитета у Београду матичан. Ментор др Александар Обрадовић је редовни професор на Катедри за механику Машинског факултета Универзитета у Београду. Као аутор или коаутор до сада је публикувао 30 радова на SCI листи. Ментор др Радослав Радуловић је доцент на Катедри за механику Машинског факултета Универзитета у Београду. Као аутор или коаутор до сада је публикувао 7 радова на SCI листи.

1.3. Биографски подаци о кандидату

Кандидат **Бојан М. Јеремић**, рођен је 24. марта 1988. године у Горњем Милановцу, Република Србија. Основну школу завршио је у Горњем Милановцу 2003. године са одличним успехом, просечном оценом 5,00, као носилац дипломе „Вук Стефановић Караџић“ и ђак генерације. Техничку школу завршио је у Горњем Милановцу 2007. године са одличним успехом, просечном оценом 5,00, као носилац дипломе „Вук Стефановић Караџић“. Исте године уписао је Основне академске студије на Машинском факултету Универзитета у Београду. Завршни испит положио је 25.06.2010. са оценом 10,00 (десет) и просечном оценом на Основним студијама 10,00 (десет), одбравивши завршни рад на тему „Биомеханички модел и карактеристике подсистема стопало-чланак-потколеница са приказом ортоза и протеза истих“ из предмета Биомеханика локомоторног система. Исте године уписује Мастер академске студије, модул Хидроенергетика, на Машинском факултету Универзитета у Београду. Положио је све испите са просечном оценом 10,00 (десет). Мастер студије завршио је 15. маја 2012. са оценом 10,00 (десет) и укупном просечном оценом током студија 10,00 (десет), одбравивши завршни рад на тему „Пројектовање инсталације за одређивање карактеристика затварача“ из предмета Хидроенергетска постројења и опрема, на Катедри за хидроенергетику, Универзитет у Београду – Машински факултет. Ментор завршног рада на мастер студијама био је проф. др Мирослав Бенишек.

Докторске студије на Машинском факултету Универзитета у Београду уписао је 2012. године - бр. индекса ДЗ/12. Потенцијални ментор докторске дисертације био је проф. др Александар Обрадовић. Положио је све обавезне и изборне испите предвиђене Програмом усавршавања са просечном оценом 10,00. Школске 2012/2013. године на Машинском факултету Универзитета у Београду кандидат је учествовао у извођењу аудиторних вежби на Катедри за механику из предмета Механика 1 на Основним академским студијама. Од 1. јуна 2013. запослен је на Машинском факултету у Београду као сарадник на пројекту Технолошког развоја „Одрживост и унапређење машинских система у енергетици и транспорту применом форензичког инжењерства, еко и робуст дизајна“, који финансира Министарство просвете, науке и технолошког развоја Републике Србије: ТР-35006, чији је руководилац проф. др Срђен Бошњак. Од 6. марта 2014. запослен је на Машинском факултету у Београду као асистент на катедри за механику. Од тог тренутка кандидат активно учествује у настави у извођењу аудиторних вежби на Основним и Мастер академским студијама, и то из следећих предмета: Механика 1, Механика 2, Механика 3, Механика М и Аналитичка механика. Кандидат активно учествује у комисијама за избор и припрему испитних задатака на писменим испитима Катедре за механику. Године 2015.

постаје члан Српског друштва за механику (СДМ). Од 2017. године рецензент је у часопису *Mathematics and Mechanics of Solids*. Кандидат је учествовао и у избору и припреми студената Машинског факултета заједно са проф. др Александром Обрадовићем, за такмичење у знању из предмета механика на сусрету студената машинства - „Машинијада“ 2018. године где је освојено прво место.

Током студија добијао је следеће похвале поводом Дана Машинског факултета:

- Похвале Машинског факултета за најбољег студента на првој, другој и трећој години основних академских студија (2007/2008., 2008/2009. и 2009/2010.),
- Похвала Машинског факултета за најбољег студента на основним академским студијама из генерације уписане на студије школске 2007/2008. године са просечном оценом 10,00,
- Похвала Машинског факултета за одличан успех на првој и другој години мастер академских студија (2010/2011. и 2011/2012.),
- Похвала Машинског факултета за најбољег студента на мастер академским студијама из генерације уписане на студије школске 2010/2011. године са просечном оценом 10,00 и
- Похвала Машинског факултета – најбољи студент на мастер академским студијама, мастер инжењер машинства, из генерације уписане на студије школске 2007/2008. године - студент генерације.

Био је носилац многобројних стипендија међу којима се издвајају стипендије:

- Стипендија Фонда за младе таленте Министарства омладине и спорта Републике Србије 2009/2010.,
- Стипендија Фонда за младе таленте Министарства омладине и спорта Републике Србије – „Доситеја“ 2011/2012.,
- Стипендија Општине Горњи Милановац 2009., 2010. и 2012. и
- Стипендија Министарства просвете и спорта Републике Србије 2009. и 2011.

Кандидат се служи следећим програмским пакетима: Microsoft Office (Word, Excel, PowerPoint), Autodesk AutoCAD, SolidWorks, SolidEdge, ProDeskop, MatLab, Wolfram Mathematica, основе LaTeX, Fortran и Ansys (модул CFD). Кандидат влада енглеским језиком.

2. ОПИС ДИСЕРТАЦИЈЕ

2.1. Садржај дисертације

Докторска дисертација кандидата Бојана Јеремића, маг. инж. маш., под насловом **„Реализација брахистохроног кретања механичких система променљиве масе идеалним везама са ограниченим реакцијама“** је документ формата А4, штампан једнострано, написан на српском језику, ћириличним писмом. Написана је на укупно 91 нумерисаној страни укључујући и Литературу која садржи 87 референци. Илустрована је са 15 слика и дијаграма, садржи 158 нумерисаних израза, 2 табеле и 2 прилога.

Докторска дисертација садржи следећа поглавља:

1. Увод.

2. Математичко моделовање механичких система променљиве масе применом аналитичке механике и механике система променљиве масе одабиром најподеснијих облика диференцијалних једначина кретања.
3. Реализација брахистохроног равнoг кретања нехолономног механичког система променљиве масе помоћу идеалне холономне везе ограничене реакције.
4. Реализација брахистохроног кретања тела променљиве масе помоћу центроида.
5. Закључци.
6. Литература.

Осим наведеног, докторска дисертација садржи резиме на српском и енглеском језику, садржај, биографију аутора, Изјаву о ауторству, Изјаву о истоветности штампане и електронске верзије докторског рада и Изјаву о коришћењу.

2.2. Кратак приказ појединачних поглавља

У **првом поглављу** кандидат Бојан Јеремић даје детаљан преглед релевантне литературе како би се јасно утврдили досадашњи научни резултати у оквиру разматране области. Кандидат врши утврђивање предмета истраживања где се јасно дефинише циљ овог рада. Кандидат приказује избор методе истраживања. Референце новијег датума указују на актуелност истраживања у области оптималног управљања.

У **другом поглављу** извршено је математичко моделовање механичких система променљиве масе, одређивањем диференцијалних једначина кретања, применом аналитичке механике и механике система променљиве масе. При томе одабрани су најподеснији облици диференцијалних једначина кретања у зависности од посматраног механичког система за који ће исте бити примењене. Разматрани су нехолономни механички систем и механички систем који се састоји од крутог тела и тачака променљиве масе.

У **трећем поглављу** разматра се реализација брахистохроног кретања нехолономног механичког система, који се састоји од тачака променљиве масе, помоћу идеалне холономне везе ограничене реакције. Претпоставља се да се систем равно креће у произвољном пољу сила и да има две кинематске независне генерализане координате. При томе су познати закони промене маса тачака, као и релативне брзине припајања, односно одвајања честица. За скаларно управљање узета је ограничена реакција холономне везе. Проблем брахистохроног кретања решен је, коришћењем Понтрјагиновог принципа максимума и теорије сингуларног оптималног управљања, као двотачкасти гранични проблем. Како је реакција везе ограничена, испитани су различити типови структура управљања од сингуларних до потпуно несингуларних. Целокупна теорија илустрована је примером.

У **четвртном поглављу** разматра се реализација брахистохроног кретања механичког система, који се састоји од крутог тела и тачака променљиве масе, помоћу идеалне везе у облику центроида. Претпоставља се да се систем равно креће у произвољном пољу сила и да има три степена слободе. При томе су познати закони промене маса тачака, као и релативне брзине припајања, односно одвајања честица. Реакције везе центроида изражене су помоћу генерализаних управљачких сила. Проблем брахистохроног кретања решен је, коришћењем Понтрјагиновог принципа максимума и теорије сингуларног оптималног управљања, као двотачкасти гранични проблем. Резултати теорије илустровани су примером, где је испитано како промена почетне енергије система утиче на нормалну реакцију везе и тиме на потребни коефицијент трења.

У **петом поглављу** дају се закључна разматрања резултата, као и остварени научни доприноси и приказано је могуће даље истраживање засновано на резултатима постигнутих у овој докторској дисертацији.

3. ОЦЕНА ДИСЕРТАЦИЈЕ

3.1. Савременост и оригиналност

Докторска дисертација под насловом „**Реализација брахистохроног кретања механичких система променљиве масе идеалним везама са ограниченим реакцијама**“ кандидата Бојана Јеремића, магистар инжењерских наука, представља наставак истраживања проблема брахистохрононе, у оквиру класичне механике, чија актуелност код светских научника не престаје чак ни после 300 и више година. У томе се огледа савременост овог рада. Оригиналност у приступу решења проблема огледа се у радовима који су публиковани у истакнутом светском часопису, односно саопштењу на међународном научном скупу. У дисертацији су коришћене савремене нумеричке методе у решавању двотачкастих граничних проблема. Докторска дисертација се може оценити веома успешном, узевши у обзир да је кандидат Бојан Јеремић дао одговоре на питања која ће бити од значаја даљем истраживању код ове неисцрпне теме.

3.2. Осврт на референтну и коришћену литературу

Како се тема докторске дисертације ослања на различите области из механике коришћена референтна литература веома је разноврсна. Помоћу наведене литературе у уводном делу дат је преглед тренутног стања у вези са постојећим истраживањима у области истраживања на коју се докторска дисертација односи. На тај начин, кандидат је дао критички осврт на најважније резултате релевантних аутора, при чему је навео све значајне референце везане за тему брахистохроног кретања и оптималног управљања. Наведена литература кандидату је представљала основу у стварању нових научних резултата. Нарочито је обрађена литература коауторских радова ментора, а касније и заједничких радова. Референце су навођене на крају сваког поглавља. Један део библиографских јединица је из књига, зборника радова и монографија, док други део представљају радови из ремираних међународних часописа. Нарочито позивање на радове објављене у научним часописима високог ранга и конференцијама међународног значаја указује на савременост докторске дисертације.

3.3. Опис и адекватност примењених научних метода

Резултати приказани у овој докторској дисертацији изведени су применом следећих научних метода (теорија) добро познатих научној и стручној јавности:

- Теорија оптималног управљања (Понтрјагинов принцип максимума) и теорија сингуларних оптималних управљања;
- Методе аналитичке механике;
- Методе механике холономних и нехолономних механичких система променљиве масе;
- Метода погађања (шутинг метода) за решавање TPBVP.

3.4. Применљивост остварених резултата

Приказани резултати кандидата Бојана Јеремића свакако имају велику примену у оквиру разматране теорије. Реализација брахистохроних кретања приказаних механичких система у оквиру ове докторске дисертације има велику примену у даљем развоју разматране теорије, као и у одређивању најподеснијих вредности ограничених управљачких величина са аспекта остваривости у реалности.

3.5. Оцена достигнутих способности кандидата за самостални научни рад

Кандидат је током израде докторске дисертације показао способност за самостални научни рад. Поседује изузетно знање у оквиру теоријске механике, као и неопходно знање у оквиру примене савремених нумеричких метода, потребно за даљи научно-истраживачки рад. То је потврђено бројним коауторским радовима.

4. ОСТВАРЕНИ НАУЧНИ ДОПРИНОС

4.1. Приказ остварених научних доприноса

Успешном реализацијом циљева истраживања у оквиру докторске дисертације под називом „**Реализација брахистохроног кретања механичких система променљиве масе идеалним везама са ограниченим реакцијама**“, остварени су следећи научни доприноси:

- Решен је проблем реализације брахистохроног кретања нехолономног механичког система променљиве масе са ограниченом реакцијом холономне идеалне везе где је разматрано како се мења структура управљања од сингуларног до релејног управљања. Овај научни допринос је потврђен публикавањем у раду [1] из категорије M23 (одељак 4.3 Верификација научних доприноса);
- Решен је проблем реализације брахистохроног равног кретања тела променљиве масе, које се остварује котрљањем без клизања базе по рулети и дата је детаљна анализа утицаја почетне енергије система на потребну вредност коефицијента трења, као и на нормалну реакције везе чиме је показана могућност реализације оваквог кретања. Овај научни допринос је потврђен публикавањем у раду [2] (одељак 4.3 Верификација научних доприноса).

4.2. Критичка анализа резултата истраживања

На основу прегледа релевантне научне литературе и сагледавања постојећих решења из области ове докторске дисертације, комисија констатује да су приказани резултати истраживања изузетно значајни и научно утемељени. Истовремено, на основу увида у задате циљеве истраживања и резултате представљене у докторској дисертацији, констатујемо да су пружени одговори на сва релевантна питања и да су решени сви проблеми са којима се кандидат сусрео у току истраживања.

4.3. Верификација научних доприноса

Доприноси предметне докторске дисертације су верификовани кроз следеће радове:

Научни рад у међународном часопису, категорије M23

- [1] Jeremić, B., Radulović, R., Zorić, N., Dražić, M.: *Realizing brachistochronic planar motion of a variable mass nonholonomic mechanical system by an ideal holonomic constraint with restricted reaction*, - Filomat, Vol 33, No 13, 2019. (IF=**0.789** за 2018.)(ISSN 2406-0933).

Научни рад саопштен на скупу међународног значаја, штампан у целини, категорија M33

- [2] Jeremić, B., Radulović, R., Obradović, A.: *Realizing brachistochronic motion of a variable mass body by centrodes*, 7th International Congress of Serbian Society of Mechanics, Sremski Karlovci, Serbia, 24-26 June 2019, G3a, pp. 1-10, ISBN 978-86-909973-7-4.

5. ЗАКЉУЧАК И ПРЕДЛОГ

На основу детаљног прегледа докторске дисертације, Комисија за преглед, оцену и одбрану докторске дисертације констатује да је докторска дисертација под називом **„Реализација брахистохроног кретања механичких система променљиве масе идеалним везама са ограниченим реакцијама“** кандидата **Бојана М. Јеремића**, маг. инж. маш., урађена према свим стандардима у научно-истраживачком раду, као и да испуњава све услове предвиђене Законом о високом образовању и да је у складу са Статутом и Правилником о докторским студијама Машинског факултета Универзитета у Београду. На основу резултата и закључака приказаних у докторској дисертацији, Комисија констатује да је кандидат **Бојан М. Јеремић**, маг. инж. маш., успешно завршио докторску дисертацију у складу са предвиђеним предметом и постављеним циљевима истраживања. Кандидат је дошао до оригиналних научних резултата који су успешно и верификовани. Комисија за оцену и одбрану докторске дисертације закључила је да докторска дисертација под називом **„Реализација брахистохроног кретања механичких система променљиве масе идеалним везама са ограниченим реакцијама“** представља оригиналан и вредан научни рад са научним доприносима у области машинства, ужа научна област Механика, па сходно члану 37. Правилника о докторским студијама Машинског факултета Универзитета у Београду, Комисија предлаже Наставно-научном већу Машинског факултета у Београду да Реферат прихвати, дисертацију стави на увид јавности и упути Реферат на коначно усвајање Већу научних области техничких наука Универзитета у Београду, а да се након тога кандидат **Бојан М. Јеремић**, маг. инж. маш., позове на јавну одбрану.

У Београду, 30.10.2019. год.

ЧЛАНОВИ КОМИСИЈЕ

др Александар Обрадовић, редовни професор, ментор
Универзитет у Београду, Машински факултет

др Радослав Радуловић, доцент, ментор
Универзитет у Београду, Машински факултет

др Оливера Јеремић, редовни професор
Универзитет у Београду, Машински факултет

др Зоран Митровић, редовни професор
Универзитет у Београду, Машински факултет

др Славиша Шалинић, ванредни професор
Универзитет у Крагујевцу, Факултет за машинство и грађевинарство у Краљеву