

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)

2364/6

(Број захтева)

24.12.2015. 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:

ЉУБИША (ЈОВАН) БУЧАНОВИЋ

(име, име једног од родитеља и презиме)

КАНДИДАТ **ЉУБИША (ЈОВАН) БУЧАНОВИЋ**

(име, име једног од родитеља и презиме)

Поднео је захтев за израду докторске дисертације:

Прилог математичком моделирању и динамичкој анализи једног мехатроничког система управљања.

Универзитет је дана 14.02.2008. год. својим актом под бр. 011612-28/1/08 дао сагласност на предлог теме докторске дисертације која је гласила:

Прилог математичком моделирању и динамичкој анализи једног мехатроничког система управљања.Комисија за оцену и одбрану докторске дисертације кандидата: **ЉУБИША (ЈОВАН) БУЧАНОВИЋ**

(име, име једног од родитеља и презиме)

Образована је на седници одржаној 26.11.2015. године, одлуком факултета под бр. 2364/2, у саставу:

Име и презиме члана комисије	звање	научна област	установа у којој је запослен
1. <u>Др Михаило Лазаревић</u>	Ред.проф.	Механика	Машински факултет Београд
2. <u>Др Зоран Митровић</u>	Ред.проф.	Механика	Машински факултет Београд
3. <u>Др Драгутин Дебељковић</u>	Ред.проф.	Аутоматско управљање	Машински факултет Београд
4. <u>Др Немања Зорић</u>	Доцент	Механика	Машински факултет Београд
5. <u>Др Томислав Шекара</u>	Ван.проф.	Аутоматика	ЕТФ, Београд

Наставно-научно веће факултета прихватило је извештај Комисије за оцену и одбрану докторске дисертације на седници одржаној дана 24.12.2015. 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: 2364/4
Датум: 24.12.2015. године
Београд, Краљице Марије 16

На основу члана 128. Закона о високом образовању („Службени гласник РС“, број 76/2005, 100/2007 – аутентично тумачење, 97/2008, 93/2012 и 89/2013), члана 32. Закона о изменама и допунама Закона о високом образовању („Службени гласник РС“ број 44/2010) и члана 63. Статута Машинског факултета (број 1876/1 од 04.10.2013. године) и реферата Комисије у саставу: др Михаило Лазаревић, ред. проф., ментор, др Зоран Митровић, ред. проф., др Драгутин Дебељковић, ред. проф., др Немања Зорић, доц. и др Томислав Шекара, ванр. проф., ЕТФ Београд, о оцени докторске дисертације „Прилог математичком моделирању и динамичкој анализи једног мехатроничког система управљања“ докторанда мр Љубише Бучановића, дипл. маш. инж., Наставно-научно веће Машинског факултета на седници одржаној 24.12.2015. године, донело је следећу

ОДЛУКУ

Усваја се реферат Комисије о урађеној докторској дисертацији **„Прилог математичком моделирању и динамичкој анализи једног мехатроничког система управљања“** докторанда **мр Љубише Бучановића**, дипл. маш. инж.

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

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

ДЕКАН
МАШИНСКОГ ФАКУЛТЕТА

проф. др Радивоје Митровић

НАСТАВНО-НАУЧНОМ ВЕЋУ

Предмет: Реферат о урађеној докторској дисертацији кандидата мр **Љубише Бучановића**, дипл. инж.маш.

Одлуком бр.2364/2 од 26.11.2015 године, именовани смо за чланове Комисије за преглед, оцену и одбрану докторске дисертације кандидата мр **Љубише Бучановића**, под насловом **„Прилог математичком моделирању и динамичкој анализи једног мехатроничког система управљања“**

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

РЕФЕРАТ

1. УВОД

1.1. Хронологија одобравања и израде дисертације

Кандидат **мр Љубиша Бучановић**, дипл. инж. маш, пријавио је израду докторске дисертације под називом **„Прилог математичком моделирању и динамичкој анализи једног мехатроничког система управљања“**, 09. новембра 2007. године, под бр. 1194/1, Катедри за Механику, Машинског факултета Универзитета у Београду.

На основу пријаве кандидата и предлога Катедре за Механику, бр. 1194/2 од 13. 11. 2007. године и обавештења са седнице Наставно- научног већа одржане 15.11.2007. год., именована је Комисија за оцену подобности теме и кандидата у саставу: ментор, проф. др Михаило Лазаревић, коментор, проф. др Драгутин Љ. Дебељковић, проф. др Зоран Митровић научни саветник др Александар Спасић, Институт ИТНМС,Београд.

Комисија је 30.11. 2007. год., дописом бр. 1194/3, известила Наставно-научно веће 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 **„Прилог математичком моделирању и динамичкој анализи једног мехатроничког система управљања“** може бити предмет докторске дисертације.

Наставно-научно веће Машинског факултета у Београду на седници 7. 12. 2007. год. донело је одлуку бр. 1194/4, да се прихвата предлог о испуњености услова и о научној заснованости теме докторске дисертације **„Прилог математичком моделирању и динамичкој анализи једног мехатроничког система управљања“** кандидата мр **Љубише Бучановића**, дипл. инж. маш. и да се за ментора именује проф. др Михаило Лазаревић а за коментора проф. др Драгутин Љ. Дебељковић.

На основу одлуке Наставно-научног већа Машинског факултета о испуњености услова кандидата за израду докторске дисертације и именовању ментора и сагласности Већа научних области техничких наука Универзитета у Београду, декан Машинског факултета у

Београду је 15.02.2008. год. донео Закључак бр. 238/1 да се одобри рад на теми докторске дисертације „Прилог математичком моделирању и динамичкој анализи једног мехатроничког система управљања“ кандидата мр Љубиши Бучановићу, дипл. инж. маш.

У вези сукцесивних захтева кандидата мр Љубише Бучановића, дипл. инж. маш. и сагласности Катере за Механику и ментора докторске дисертације проф. др Михаила Лазаревића, Наставно-научно веће Машинског факултета у Београду, сагласно чл. 128 Закона о високом образовању, својим одлукама: бр. 2523/2 од 24.01.2013, бр. 2346/2 од 28.11.2013, и бр. 122/2 од 05.02. 2015. год., одобрило продужење за израду докторске дисертације под називом: Прилог математичком моделирању и динамичкој анализи једног мехатроничког система управљања“ кандидата мр Љубиши Бучановићу, дипл. инж. маш., а са до 15.02.2016. године као коначним датумом за одбрану докторске дисертације.

Завршетак докторске дисертације мр Љубиша Бучановић пријавио је у новембру 2015, односно ментор проф. др Михаило Лазаревић је обавестио Катедру за Механику чиме су се стекли формални услови за поступак одбране докторске дисертације. На предлог ментора и Катедре за Механику, бр. 2364/1 од 17.11.2015. године Наставно-научно веће Машинског факултета донело је одлуку бр. 2364/2 од 26.11.2015. о формирању Комисије за оцену и одбрану докторске дисертације у саставу: ментор проф. др Михаило Лазаревић, проф. др Зоран Митровић, проф. др Драгутин Љ. Дебељковић, доцент др Немања Зорић, ванредни проф. др Томислав Шекара, Електротехнички факултет, Београд.

1.2. Научна област дисертације

Докторска дисертација припада области Техничких наука, научна област Машинство и ужа научна област Механика.

За ментора је одређен проф. др Михаило Лазаревић

1.3. Биографски подаци о кандидату

Кандидат мр **Љубиша Бучановић** дипл. инж. маш., рођен је 1958/05/25. у Бору.

Основну и средњу «Гимназију - математички смер» завршио је у Бору.

Дипломирао је на Техничком факултету у Бору 1982. год., одбранивши дипломски рад под називом: «Ротациона пећ за сушење ливничког песка, капацитет 6 т/ч, ложење лож уљем», код ментора инж. Евгенија Кротина, проф.

Магистарску тезу под називом: »Утицај параметара пржења бакарних концентрата и кондиционирања гасова на ефикасност рада електрофилтера», одбранио је на одсеку за металуршко инжењерство, Технолошко Металуршког факултета Универзитета у Београду а код ментора Др инж. Димитрија Крстића, проф.

По завршетку студија запослио се у Компанији «РТБ ТИР» Бор, пословима машинског одржавања сектора дуваљки, електрофилтера и гасовода за транспорт гасова (1982 - 1989), касније ради на пословима руководиоца одржавања РЈ Енергетика (1989 - 1994). Затим ради на пословима руководиоца Фабрике кисеоника (1994-2003). Обавља и послове техничког руководиоца одржавања ТИР Топионице (2003-2006).

Од 2006 год., поново ради на пословима руководиоца Фабрике кисоника а од 2009. године постаје управник Фабрике техничких гасова Мессер Техногас АД.

Објавио је један рад са SCI листе. Аутор је неколико научних и стручних радова који су саопштавани на научним скуповима и конференцијама међународног значаја.

Са својим ментором, објавио је монографију националног значаја са тематиком посвећеној примени рачуна нецелог реда у моделирању и напредном управљању објектима и процесима. Служи се енглеским језиком.

2. ОПИС ДИСЕРТАЦИЈЕ

2.1. Садржај дисертације

Докторска дисертација „**Прилог математичком моделирању и динамичкој анализи једног мехатроничког система управљања**“, кандидата **мр Љубише Бучановића**, дипл. инж. маш, изложена је на 204 стране.

Дисертација садржи следећих осам нумерисаних поглавља:

Резиме

Садржај

1. Увод
2. Основе сепарације ваздуха
3. Динамика криогене експанзионе турбине као објекта управљања
4. Преглед релевантних резултата у примени теорије рачуна нецелог реда у системима управљања
5. Децентрализовано оптимално управљање целог и нецелог реда криогене експанзионе турбине у процесу сепарације ваздуха применом генетских алгоритама
6. Напредно мултиваријабилно управљање криогеним процесом применом аналитичког пројектовања стандардног регулатора
7. Управљање криогеним процесом применом напредног ПИД регулатора нецелог реда и параметарске методе Д-разлагања
8. Закључак, доприноси и правци даљих истраживања

Литература

Прилози

Биографија аутора

Дисертација има укупно 64 слика и 9 табела. На крају дисертације дат је списак од 92 референци у оквиру пописа коришћене литературе.

2.2. Кратак приказ појединачних поглавља

У првом уводном поглављу дате су основне напомене о проблемима који се јављају код датог мехатроничког система-постројења за добијање техничких гасова путем криогеног процеса. При томе, истиче се да је остварењу циља датог мехатроничког система - производња техничких гасова према прописаним стандардима и прописима неопходно остварити уз минималну (оптималну) потрошњу електричне енергије и уз истовремено поштовање безбедносних прописа саме производње а који се односе и на заштиту околне средине. Према томе, да би се то осварио жељени циљ, неопходно је да се тачно одреди динамичко понашање мехатроничког система у целини, односно довољно тачног у инжењерско-техничком смислу, математичког модела истог.

У том смислу се пажња у дисертацији у првом делу посвећује проблематици математичког моделирања једног дела датог система, који је од изузетног значаја у процесу добијања криогених гасова, тј. добијању квалитетног модела криогене експанзионе турбине. У циљу одређивања једначине поља обртања експанзионе турбине кандидат сугерише примену одговарајућих теорема и закона механике и предлаже један општији облик за пасивни момент који се представља на адекватан начин применом рачуна нецелог реда и тиме се добија на општости у формирању датог модела.

Даље, констатује се да са становишта теорије управљања као једна од заступљених конвенционалних метода производње техничких гасова јесте и систем ручног управљања. Уочава се да на динамичко понашање таквог система са ручним управљањем веома је тешко извршити било какав утицај у смислу корекције и остваривања новог жељеног динамичког понашања. Због наведених разлога овде је преокупација аутора била усмерена и на развој напредних система управљања применом рачуна нецелог реда/целог реда који би у потпуности елиминисао овај недостатак класичне производње техничких гасова.

Симулационим поступцима верификовани су изведени резултати односно одговарајући модел је базиран на поређењу и примени одговарајућих експерименталних резултата.

У другом поглављу дате су основе процеса добијања техничких гасова. Ово поглавље се састоји од три подпоглавља. У првом подпоглављу је у кратким цртама описан историјат развоја постројења за разлагање ваздуха. У наредном подпоглављу је описан техничко-технолошки поступак за производњу техничких гасова из ваздуха. Ово поглавље се завршава рекапитулацијом основних резултата који се односе на термодинамичке основе процеса добијања техничких гасова.

У трећем поглављу кандидат поставља унапређени нелинеарни математички модел криогене експанзионе турбине што представља један од доприноса ове дисертације. За описивање динамичког понашања експанзионе турбине која служи за снижавање температуре гасова, коришћени су закони о одржању масе, о одржању енергије односно теорема о промени момента количине кретања. При томе, усвојен је и уведен одговарајући број претпоставки којима се применом претходних закона дефинише математички модел разматраног објекта. У оквиру примене теореме о промени момента количине кретања кандидат предлаже и уводи један општији облик за пасивни момент, што свакако представља оригинални допринос аутора овој тематици, а базирани на његовом сопственом искуству и познавању струјних и термодинамичких својстава криогеног флуида. При томе, пасивни момент се сада представља на погодан начин применом рачуна нецелог реда за разлику од до сада постојећих који су сви били дати као одговарајуће функције датог степена и тиме се добија на општости у формирању датог математичког модела.

Даље се спроводи поступак математичког моделирања односно свођења нелинеарног модела на линеаризовани, при чему се одређују конкретне вредности коефицијената у диференцијалним једначинама понашања за дати, усвојени номинални радни режим рада експанзионе турбине. На тај начин добија се одговарајући математички модел у простору стања тј. приказан одговарајућом векторском диференцијалном једначином стања и излаза. На крају одређен је и одскочни одзив релативне промене температуре на излазу из турбине при промени управљачке као и поремећајних величина у МАТЛАБ окружењу. Увидом у дате слике уочава се да добијени резултати су у сагласности са актуелним понашањем експанзионе турбине у криогеном процесу, чиме је веродостојност математичког модела експанзионе турбине потврђена као и аутентичност истог.

У овом четвртном поглављу извршен је преглед постојеће литературе везане за управљање датим криогеним процесом /турбином. Овде је потребно истаћи да је по питању ове проблематике објављен релативно мали број радова што ово истраживање представљено у докторској дисертацији чини актуелним и значајним. Како је други део дисертације посвећен динамичкој анализи односно управљању датим објектом управљања, сугерисана је примена савременог концепта управљања применом тзв. рачуна нецелог реда (*fractional calculus*-а). У том смислу, овде су прво дате рафиниране основе рачуна нецелог реда због значаја и примене истог. На крају овог поглавља је дат преглед најбитнијих и релевантних резултата примене алгоритама управљања нецелог реда са акцентом на пропорционално/диференцијално/интегрално управљање нецелог реда.

У петом поглављу уводи се и детаљно објашњава један напредни алгоритам ПИД управљања заснованог на рачуну нецелог реда у производњи техничких гасова, односно у процесу сепарације ваздуха. Производња утечњеног ваздуха ниског притиска је по први пут била уведена од стране Капице где се експанзија одвијала у гасној турбини. При томе, одговарајући линеаризовани објект управљања је распрегнут где су примењени истовремено класични(целог реда) ПИД као и ПИД регулатор нецелог реда ($PI^{\beta}D^{\alpha}$) да би се проценио квалитет предложеног новог управљања датим процесом. Скуп оптималних параметара датих регулатора се постиже применом оптимизационе процедуре базиране на генетским алгоритмима минимизовањем одговарајућег критеријума оптималности. Примењена оптимизациона метода се овде фокусира у оквиру критеријума оптималности на смањење прескока, време смирења и минимизацију интегралне грешке. Спроведене симулације у временском домену показују боље перформансе оптималног $PI^{\beta}D^{\alpha}$ регулатора у односу на класични оптимални ПИД регулатор. Такође, спроведено је испитивање робусности сугерисаног напредног децентрализованог управљања, где су сада поремећаји представљени у виду релативне промене улазних температура две струје гасовитог ваздуха.

У шестом поглављу предмет разматрања и примене било је напредно мултиваријабилно управљање криогеним процесом применом аналитичког класичног ПИД регулатора што представља такође један од доприноса ове докторске дисертације. Овај концепт управљања се показује као незаобилазан имајући у виду сложеност самих криогених процеса. Данас, највећи број управљачких система су комплексни и вишепроменљиви, односно састоје се од неколико управљачких сигнала као и неколико мерених сигнала, где често постоје сложена спрезања између различитих сигнала. С друге стране, пројектовање мултиваријабилних регулатора је захтеван и сложен проблем. Уочава се да мултиваријабилно управљање које се данас користи углавном је на вишем нивоу, док се задавање радних тачака и побољшање перформанси дешава због побољшања у ПИД петљама на нижим нивоима. У многим проблемима управљања што је и овде случај јављају се две управљачке величине које интерагују и које су примењене на системе димензије два пута два, тј. МИМО системе са два улаза и два излаза познати и као (ТИТО) системи управљања.

Овде се примењује распрезање система коришћењем адекватног динамичког декуплера, а затим се спроводи синтеза аналитичког регулатора целог реда у функцији једног слободног параметра λ , тзв. (λ подешавање). Посебно је од интереса повећање робусности датог затвореног система управљања чиме се постиже овде увођењем тзв. комплементарне функције осетљивости и у циљу потискивања поремећаја одређују се аналитички изрази за коефицијенте пропорционалног/диференцијалног/ интегралног дејства у функцији слободног параметра λ . У циљу визуелизације предложеног концепта управљања излагања у овом поглављу су попраћена и одговарајућим структурним дијаграмима, СИМУЛИНК окружењу. Посебно је уведен и симулиран одзив система на немерљив поремећај који делује релативну промену протока гасовитог ваздуха на улазу у експанзиону турбину, где се може уочити са слике да пројектовани аналитички регулатор успешно потискује непознати поремећај (индиректно потискивање поремећаја). Такође, анализирано је и потискивање мерљивог поремећаја (директно потискивање поремећаја) који делује на релативну промену температуре гасовитог ваздуха на улазу у турбину, и са приказаних слика могло се уочити да је дошло значајног потискивања мерљивог поремећаја. Симулације су проведене у функцији параметра λ где се могло закључити и спровести избор најбоље (оптималне) вредности за параметар λ .

У седмом поглављу се наставља примена модерног концепта управљање криогеним процесом применом напредног регулатора али сада нецелог реда уз одговарајућу анализу применом параметарске методе Д-разлагања што представља један од главних доприноса ове докторске дисертације. Скупом променљивих параметара за које је разматрани систем

стабилан, одређује се одговарајућа област стабилности система, а скуп истих који осим претходног дефинишу и област релативне стабилности система. Управо то представља суштину параметарске методе која је позната у литератури као метода Д-разлагања, односно основна идеја те методе лежи у поступку одређивања скупа свих вредности подешљивих параметара за које ће разматрани систем бити стабилан.

Тиме је омогућена и спроведена у овој докторској дисертацији синтеза регулатора нецелог реда применом Д-разлагања у простору три подешљива параметра (од четири могућа параметра) за разлику од до сада постојећих радова и резултата где се спроводи у равни два параметра. Као резултат у простору подешљивих параметара добијају се одговарајуће области оивичене отвореним или затвореним контурама које представљају потенцијалне области стабилности. Затим се касније адекватном применом одговарајућих поступака утврђује која од добијених области, уколико постоји, представља тражени скуп подешљивих параметара за који је систем стабилан.

Тиме је омогућено и спроведено испитивање применом Д-разлагања утицај три параметра од четири могућих где је увек заступљен параметар нецелог реда на стабилност система. Дат је и 3D графички приказ области стабилности за све вредности нецелог реда у интервалу од нула до један у параметарском простору односно контурни приказ што је илустровано на одговарајућим сликама. Уочава се да избором различитих вредности степена нецелог реда добијају различите областима стабилности и то тако да се повећањем параметра нецелог реда повећава област стабилности. Уочава се да је сада омогућено да се избором тачке дубље од границе стабилности обезбеди већа робусност на варијацију параметара датог система.

У циљу илустрације и провере домена стабилности уочена је једна област стабилности у датој параметарској равни а за једну фиксирану вредност нецелог реда, тако да су симулационим поступцима верификовани добијени резултати и на одговарајућим сликама приказани су импулсни одзиви система.

Осмо поглавље се односи на закључке докторске дисертације, практичну корист и предлоге даљих истраживања. У оквиру закључних разматрања сажето су приказани добијени резултати теоријског и експерименталног истраживања и истакнут је научни допринос дисертације и применљивост резултата истраживања у пракси. Такође су дате перспективе и смернице за даља истраживања.

3. ОЦЕНА ДИСЕРТАЦИЈЕ

3.1. Савременост и оригиналност

Докторска дисертација под називом „**Прилог математичком моделирању и динамичкој анализи једног мехатроничког система управљања**“ кандидата мр Љубише Бучановића дипл.инж. маш. даје савремен и оригиналан приступ истраживању и допринос актуелним методама проучавања динамичког понашања и управљања једног дела мехатроничког система – криогене експанзионе турбине за потребе индустрије.

Тема која је истраживана у дисертацији је данас веома актуелна и значајна, с обзиром када се има у виду да су експериментални резултати практично недоступни, односно у литератури је објављен мали број радова који се односе на ову проблематику.

Полазећи од математичког модела криогеног процеса мешања два гасовитих ваздушних токова струјања испред експанзионе турбине, кандидат на оригиналан начин примењује модерни концепт управљања заснованом на примени рачуна нецелог реда подржано генетским алгоритмима, параметарском методом Д разлагања и аналитичким приступом у одређивању коефицијената сложеног регулатора.

Оригиналност у приступу решавања проблема и добијених резултата у оквиру дисертације потврђен је публикавањем рада у реномираном часопису.

Дисертација се може оценити успешном, узевши у обзир да су анализе, критичке дискусије и добијени резултати били пропраћени адекватним научним и инжењерским закључцима са сагледаним правцима даљих истраживања.

3.2. Осврт на референтну и коришћену литературу

У докторској дисертацији је коришћена обимна литература из области криогене технике и примене рачуна нецелог реда у науци и техници.

У уводним деловима првог, другог и посебно четвртог поглавља, дата је опсежна анализа стања науке и технике у релевантној области са приказом метода примењених у спроведеним истраживањима. На тај начин, дат је релевантан приказ постојећег стања у домену коме припадају проблеми разматрани у докторској дисертацији.

Коришћена научна литература је послужила као почетна основа кандидату за формирање прегледа досадашњих истраживања у предметној области, као и за конципирање смерница и формулација, а што је показано у деловима тезе у којима су изложени оригинални доприноси. Највећи број библиографских јединица представљају радови из врхунских међународних часописа, проширени са извесним бројем научних монографија.

3.3. Опис и адекватност примењених научних метода

За истраживања у овој докторској дисертацији примењене су следеће научне методе:

- Метода математичког моделирања и дескрипције функционалне јединице мехатроничког система – криогене експанзионе турбине.
- Метода анализе приликом изучавања струјања утечњеног ваздуха у секцији криогене експанзионе турбине.
- Нумеричке методе за верификацију и проверу веродостојности изведеног математичког модела.
- Метода синтезе напредног мултиваријабилног управљачког система за реализацију захтева постављених датом криогеном мехатроничком објекту управљања.
- Метода оптимизације као метода трагања за најбољим (оптималним) управљањем, а према са задатим критеријумима ограничења.

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

3.4. Применљивост остварених резултата

Резултати докторске дисертације кандидата мр Љубише Бучановића, дипл. инж.маш. применљиви су у научном смислу, али имају и одговарајућу практичну примену у домену експлоатације криогених експанзионих турбина, и у домену аутоматизације процеса производње путем имплементације напредног мултиваријабилног управљачког система датим криогеним објектом.

Развијен математички модел криогене експанзионе турбине у процесу утечњавања ваздуха који је верификован експерименталним испитивањима омогућава сада квалитетну динамичку анализу самог објекта, анализу и оцену карактеристика ефикасности рада криогеног

постројења с обзиром на енергетску ефикасност истог, као и безбедносних прописа саме производње а који се односе на заштиту животне средине.

Исто тако, развијени нови мултиваријабилни управљачки систем на бази нових концепата и алгоритама управљања омогућавају сада да се добију знатно боље перформансе датог криогеног система и већу флексибилност у погледу преласка на нове радне режиме.

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 да успешно влада научно-истраживачким методама. Велико радно искуство у области анализе, истраживања и испитивања функционалних јединица мехатроничког криогеног система посебно криогене експанзионе турбине и одлична теоријска знања пружају основу за квалитетан самосталан научно-истраживачки рад.

4. ОСТВАРЕНИ НАУЧНИ ДОПРИНОС

4.1. Приказ остварених научних доприноса

Научни допринос ове докторске дисертације се темељи на проширивању и продубљивању научних сазнања и достигнућа у области технике криогених експанзионих турбина и њиховог рада у специфичним радним режимима и настала је као плод вишегодишњег истраживачког рада кандидата. На основу изложеног целокупног материјала који је дат у докторској дисертацији, као и досадашње искуство и научно-истраживачки рад кандидата, као и објављене радове из области криогене технике, научни резултати овог рада могу се систематизовати и сумирати кроз следеће опште и посебне доприносе.

- Развијен је унапређени математички модел криогене експанзионе турбине, као објекта аутоматског управљања, чиме је омогућена и квалитативна и квантитативна анализа његових статичких и динамичких карактеристика.
- Развијен је и предложен оригинални, флексибилан и прецизан оптимизациони алгоритам, целог и нецелог реда којим је постигнуто децентрализовано оптимално управљање датим криогеним мехатроничким објектом.
- На бази строго постављених захтева представљена је нова метода пројектовања мултиваријабилног регулатора, тј. синтетизован је нови оригинални аналитички мултиваријабилни ПИД регулатор целог реда и повезан са датим мехатроничким објектом управљања у систем у затвореном колу дејстава.
- За идентичне захтеве рада криогеног процеса мешања два гасовитих ваздушних токова струјања испред експанзионе турбине, пројектован је нови, сложен ПИД регулатор али сада нецелог реда, уз коришћење параметарске методе Д разлагања и који је интегрисан у одговарајући систем регулисања.
- Сви ови теоријски резултати, подвргнути су стандардним поступцима симулације, из чега су проистекли бројни одскачни одзиви како нерегулисаног објекта тако и система у затвореном колу дејства.
- У овом раду је реализован и посебан допринос истраживању аутоматског управљања управљања објектом са аспекта мултиваријабилности, начина третмана радног процеса и његових физичких захтева.
- Посебан научни допринос у овој докторској дисертације представља примена механике и примена рачуна нецелог реда где у оквиру примене теореме о промени момента количине кретања кандидат предлаже базиране на његовом сопственом искуству и познавању струјних

и термодинамичких својстава криогеног флуида (ефекте стишљивости, вискозности) и уводи један општији облик за пасивни момент кроз неколико сопствених, и оригиналних формула за потребе решавања математичког модела разматраног процеса. При томе пасивни момент је уведен и представљен на адекватан начин применом рачуна нецелог реда за разлику од до сада постојећих и тиме се даје на општости у формирању датог математичког модела.

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, значајни и да су применљиви у пракси. 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 чињенице истраживања су корак напред и воде ка унапређењу постојећих метода за анализу динамичког понашања криогених експанзионих турбина. Исто тако синтезом истог реализованим напредним управљањем базирани на примени савремене теорије нецелог реда и параметарске методе даје се значајан допринос развоју система управљања који би у знатној мери елиминисао постојеће недостатке класичне производње техничких гасова.

4.3. Верификација научних доприноса

Научни допринос докторске дисертације су верификовани у научним часописима са SCI листе и на престижним конференцијама у земљи и иностранству:

Категорија M23:

1. Lj. Bučanović, M. Lazarević, S. Batalov, Fractional PID Controllers Tuned by Genetic Algorithms for Expansion Turbine in the Cryogenic Air Separation Process, *Chemical Industry*, ISSN 2217-7426, Vol. 68, (5), 519-528, 2014. (IF=0.364) (M23)

Категорија M33:

1. M. P. Lazarević, Lj. Bučanović, Control algorithms of PI D alphabeta type in process control systems: new results, *2nd International Congress of Serbian Society of Mechanics (IConSSM 2009)*, Palić (Subotica), Serbia, 1-5 June 2009, A-01:1-15.
2. M. P. Lazarević, Lj. Bučanović, A. Spasić, $PI^{\alpha}D^{\beta}$ feedback type control of expansion turbine in the air production cryogenic liquid, *CHISA 2010, August, Prague, Czech Republic, 2010*.
3. M. Lazarević, Lj. Bučanović, Further results on PIalphaDbeta type control of expansion turbine in the air production cryogenic liquid, *Proceedings IConSSM 2011/The 3rd International Conference of Serbian Society of Mechanics*, p. 122-136, 2011, ISSN: 978-86-909973-3-6.

5. ЗАКЉУЧАК И ПРЕДЛОГ

Докторска дисертација под називом: „**Прилог математичком моделирању и динамичкој анализи једног мехатроничког система управљања**“, кандидата мр Љубише Бучановића, дипл. инж. маш., представља оригиналан научно-истраживачки рад високог ранга у области машинства, који омогућава потпуну анализу разматраних проблема везану за динамику савремених криогених експанзионих турбина у оквиру мехатроничког система као и нов, савремен и оригиналан научни допринос у пројектовању квалитетних напредних управљачких система, како би се у потпуности одговорило, данас, веома строгим захтевима, који се намећу постојећим мехатроничким криогеним системима. Комисија такође сматра да је кандидат кроз дисертацију показао завидан ниво стручног и теоријског знања које ће му омогућити успешан будући самостални научно-истраживачки рад.

На основу прегледа докторске дисертације од стране Комисије за оцену и одбрану докторске тезе под називом: „**Прилог математичком моделирању и динамичкој анализи једног мехатроничког система управљања**“, кандидата мр Љубише Бучановића, дипл. инж. маш., са задовољством се констатује да је урађена докторска дисертација написана према свим стандардима и позитивној пракси у научно-истраживачком раду, 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 Извештај прихвати, дисертацију стави на увид јавности и упути Извештај на коначно усвајање Већу научних области техничких наука Универзитета у Београду и да се након тога кандидат позове на јавну одбрану.

У Београду 17. 12. 2015. год.

ЧЛАНОВИ КОМИСИЈЕ

.....
др Михаило Лазаревић, редовни професор, ментор
Универзитета у Београду, Машински факултет

.....
др Зоран Митровић, редовни професор
Универзитета у Београду, Машински факултет

.....
др Драгутин Дебељковић, редовни професор
Универзитета у Београду, Машински факултет

.....
др Немања Зорић, доцент
Универзитета у Београду, Машински факултет

.....
др Томислав Шекара ванредни професор
Универзитета у Београду, Електротехнички факултет

УНИВЕРЗИТЕТ У БЕОГРАДУ
- МАШИНСКИ ФАКУЛТЕТ –
Број: 2364/5
Датум: 24.12.2015. 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 24.12.2015. године, донело је

ОДЛУКУ

Усваја се реферат Комисије о урађеној докторској дисертацији **„Прилог математичком моделирању и динамичкој анализи једног мехатроничког система управљања“** докторанда **мр Љубише Бучановића**.

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

Универзитет у Београду је својим Одлуком број 011612-28/1/08, од 14.02.2008. године, дао сагласност на предлог теме докторске дисертације.

Објављени радови докторанда у часописима међународног значаја:

1. **Lj.Bučanović**, M.Lazarević, S.Batalov, Fractional PID Controllers Tuned by Genetic Algorithms for Expansion Turbine in the Cryogenic Air Separation Process, *Chemical Industry*, ISSN2217-7426, Vol. 68,(5),519-528,2014. (IF=0.364) (M23)

Одлуку доставити: докторанду, ментору, Катедри за механику и архиви Факултета.

ДЕКАН
МАШИНСКОГ ФАКУЛТЕТА

проф. др Радивоје Митровић

УНИВЕРЗИТЕТ У БЕОГРАДУ
- МАШИНСКИ ФАКУЛТЕТ –
Број: 66/2
Датум: 21.01.2016. године
Београд: Краљице Марије 16

У вези захтева мр Љубише Бучановића, дипл.инж.маш., уз сагласност ментора проф.др Михаила Лазаревића и Шефа Катедре за механику, да му се продужи рок за израду докторске дисертације, Наставно-научно веће Машинског факултета сагласно чл. 128. Закона о високом образовању, на седници одржаној 21.01.2016. године донело је следећу

ОДЛУКУ

Одобрава се продужење рока за израду докторске дисертације **«ПРИЛОГ МАТЕМАТИЧКОМ МОДЕЛИРАЊУ И ДИНАМИЧКОЈ АНАЛИЗИ ЈЕДНОГ МЕХАТРОНИЧКОГ СИСТЕМА УПРАВЉАЊА»** кандидата мр ЉУБИШЕ БУЧАНОВИЋА, дипл.инж.маш. до 30.09.2016. године.

Одлуку доставити: ментору, Катедри, кандидату и архиви.



ДЕКАН
МАШИНСКОГ ФАКУЛТЕТА

Проф. др Радивоје Митровић

УНИВЕРЗИТЕТ У БЕОГРАДУ
- МАШИНСКИ ФАКУЛТЕТ –
Број: 122/2
Датум: 05.02.2015. године
Београд: Краљице Марије 16

У вези захтева мр Љубише Бучановића, дипл.инж.маш., уз сагласност ментора проф.др Михаила Лазаревића и Шефа Катедре за механику, да му се продужи рок за израду докторске дисертације, Наставно-научно веће Машинског факултета сагласно чл. 128. Закона о високом образовању, на седници одржаној 05.02.2015. године донело је следећу

ОДЛУКУ

Одобрава се продужење рока за израду докторске дисертације **«ПРИЛОГ МАТЕМАТИЧКОМ МОДЕЛИРАЊУ И ДИНАМИЧКОЈ АНАЛИЗИ ЈЕДНОГ МЕХАТРОНИЧКОГ СИСТЕМА УПРАВЉАЊА»** кандидата **мр ЉУБИШЕ БУЧАНОВИЋА**, дипл.инж.маш. до 15.02.2016. године.

Одлуку доставити: ментору, Катедри, кандидату и архиви.



ДЕКАН
МАШИНСКОГ ФАКУЛТЕТА

Проф. др Милорад Милованчевић

УНИВЕРЗИТЕТ У БЕОГРАДУ
- МАШИНСКИ ФАКУЛТЕТ –
Број: 2346/2
Датум: 28.11.2013. године
Београд: Краљице Марије 16

У вези захтева мр Љубише Бучановића, дипл.инж.маш., уз сагласност шефа Катедре за механику и ментора проф.др Михаила Лазаревића, да му се продужи рок за израду докторске дисертације, Наставно-научно веће Машинског факултета сагласно чл. 128. Закона о високом образовању, на седници одржаној 28.11.2013. године донело је следећу

ОДЛУКУ

Одобрава се продужење рока за израду докторске дисертације **«ПРИЛОГ МАТЕМАТИЧКОМ МОДЕЛИРАЊУ И ДИНАМИЧКОЈ АНАЛИЗИ ЈЕДНОГ МЕХАТРОНИЧКОГ СИСТЕМА УПРАВЉАЊА»** кандидата **мр ЉУБИШЕ БУЧАНОВИЋА**, дипл.инж.маш. до 15.02.2015. године.

Одлуку доставити: ментору, Катедри, кандидату и архиви.

 **ДЕКАН**
МАШИНСКОГ ФАКУЛТЕТА
Проф. др Милорад Милованчевић

УНИВЕРЗИТЕТ У БЕОГРАДУ
- МАШИНСКИ ФАКУЛТЕТ –
Број: 2523/2
Датум: 24.01.2013. године
Београд: Краљице Марије 16

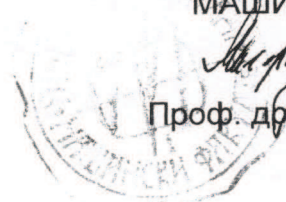
У вези захтева мр Љубише Бучановића, дипл.инж.маш., уз сагласност шефа Катедре за механику и ментора проф.др Михаила Лазаревића, да му се продужи рок за израду докторске дисертације, Наставно-научно веће Машинског факултета сагласно чл. 128. Закона о високом образовању, на седници одржаној 24.01.2013. године донело је следећу

ОДЛУКУ

Одобрава се продужење рока за израду докторске дисертације **«ПРИЛОГ МАТЕМАТИЧКОМ МОДЕЛИРАЊУ И ДИНАМИЧКОЈ АНАЛИЗИ ЈЕДНОГ МЕХАТРОНИЧКОГ СИСТЕМА УПРАВЉАЊА»** кандидата мр ЉУБИШЕ БУЧАНОВИЋА, дипл.инж.маш. до 15.02.2014. године.

Одлуку доставити: ментору, Катедри, кандидату и архиви.

 ДЕКАН
МАШИНСКОГ ФАКУЛТЕТА


Проф. др Милорад Милованчевић