

ВЕЋУ ДОКТОРСКИХ СТУДИЈА

Предмет: Реферат о урађеној докторској дисертацији кандидаткиње **Иве И. Гуранов**

Одлуком Наставно-научног већа Машинског факултета Универзитета у Београду бр. 681/2 од 04.05.2023. године, именовани смо за чланове Комисије за преглед, оцену и одбрану докторске дисертације кандидаткиње Иве И. Гуранов, маг. инж. маш., под насловом

„Струјања разређеног гаса у микроцевима“

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

РЕФЕРАТ

1. УВОД

1.1. Хронологија одобравања и израде дисертације

Кандидаткиња Ива И. Гуранов, маг. инж. маш. је уписала Докторске студије на Универзитету у Београду - Машинском факултету школске 2010/2011. године, број индекса Д10/10.

Захтев за одобравање теме докторске дисертације на Универзитету у Београду - Машинском факултету под бројем 820/1, кандидаткиња је поднела 25.05.2022. године. За менторе дисертације предложени су др Снежана Милићев, ванредни професор Универзитета у Београду - Машинског факултета и др Невена Стевановић, редовни професор Универзитета у Београду - Машинског факултета. Одлуком Наставно-научног већа Машинског факултета у Београду бр. 935/2 од 23.06.2022. године именовани су чланови Комисије за оцену подобности теме и кандидаткиње Иве И. Гуранов за израду докторске дисертације и научне заснованости теме „Струјања разређеног гаса у микроцевима” у саставу:

- др Снежана Милићев, ванредни професор, ментор, Универзитет у Београду - Машински факултет,
- др Невена Стевановић, редовни професор, ментор, Универзитет у Београду - Машински факултет,
- др Милан Лечић, редовни професор, Универзитет у Београду - Машински факултет,
- др Александар Ђоћић, ванредни професор, Универзитет у Београду - Машински факултет,
- др Маша Букуров, редовни професор, Универзитет у Новом Саду - Факултет техничких наука.

Одлуком Наставно-научног већа Машинског факултета у Београду бр. 935/4 од 14.07.2022. године прихвата се научна заснованост теме докторске дисертације и констатује се да кандидаткиња испуњава услове за израду предметне докторске дисертације. Веће научних области техничких наука Универзитета у Београду је дало сагласност на Одлуку Наставно-научног већа Машинског факултета у Београду о прихватању теме докторске дисертације одлуком број 61206-3140/2-22 од 12.09.2022. године.

На основу обавештења ментора докторске дисертације проф. др Снежане Милићев и проф. др Невене Стевановић, да је кандидаткиња Ива Гуранов завршила израду докторске дисертације под насловом „Струјања разређеног гаса у микроцевима” и предлога Катедре за механику флуида (бр. 681/1 од 25.04.2023. године), Наставно-научно веће Машинског факултета у Београду је на седници одржаној 04.05.2023. године донело Одлуку бр. 681/2 којом се именују чланови Комисије за преглед, оцену и одбрану докторске дисертације у следећем саставу:

- др Снежана Милићев, ванредни професор, ментор, Универзитет у Београду - Машински факултет,
- др Невена Стевановић, редовни професор, ментор, Универзитет у Београду - Машински факултет,
- др Милан Лечић, редовни професор, Универзитет у Београду - Машински факултет,
- др Александар Ђоћић, ванредни професор, Универзитет у Београду - Машински факултет,
- др Маша Букуров, редовни професор, Универзитет у Новом Саду - Факултет техничких наука.

1.2. Научна област дисертације

Докторска дисертација кандидаткиње Иве И. Гуранов под насловом „Струјања разређеног гаса у микроцевима“, припада области техничких наука - машинству, ужој научној области Механика флуида, за коју је Универзитет у Београду - Машински факултет матичан. Израдом докторске дисертације руководили су др Снежана Милићев, ванредни професор на Катедри за механику флуида Универзитета у Београду - Машинског факултета и др Невена Стевановић, редовни професор на Катедри за механику флуида Универзитета у Београду - Машинског факултета.

1.3. Биографски подаци о кандидаткињи

Ива И. Гуранов је рођена 18.09.1986. године у Загребу. Основну школу „Свети Сава” у Житишту и средњу Техничку школу у Зрењанину, где је стекла звање машински техничар, завршила је са одличним успехом и награђена је дипломама „Вук Стефановић Караџић”.

Универзитет у Београду - Машински факултет уписала је 2005. године. Основне академске студије завршила је 07.07.2008. године, са просечном оценом 9,63 (9 и 63/100). Мастер академске студије на Модулу за хидроенергетику завршила је 01.10.2010. године са просечном оценом 9,80 (9 и 80/100). Године 2010. уписала је Докторске студије на Универзитету у Београду - Машинском факултету и положила је све испите предвиђене планом и програмом усавршавања са просечном оценом 10.

Од 01.01.2011. запослена је на Машинском факултету као истраживач-сарадник на пројекту МПНТР Републике Србије ТР35046: „Примена савремених мерних и прорачунских техника за изучавање струјних параметара вентилационих система на моделу енергетски изузетно ефикасног (пасивног) објекта”. На Катедри за механику флуида активно је била укључена у наставни процес и ангажована на одржавању аудиторних вежби (шк. 2011/2012, 2012/2013, 2014/2015, 2015/2016.) и лабораторијских вежби (шк. 2011/2012, 2012/2013, 2013/2014, 2014/2015, 2015/2016.) на предмету Механика флуида Б. Континуално учествује у

организацији и одржавању испита на Катедри за механику флуида и редовно се одазива позивима за ангажовање Комисије за дежурства на испитима. У периоду од 2014. до 2016. године активно је била укључена у наставни процес и ангажована на одржавању аудиторних вежби и у организацији и одржавању испита на предметима: Механика флуида, Механика 1, Механика 2, Техничка механика, Наука о чврстоћи, Отпорност материјала на Рударско-геолошком факултету у Београду. Активно је учествовала у еталонирањима мерила протока ваздуха (гаса) у оквиру Лабораторије за механику флуида, Машинског факултета Београду, према методи еталонирања NIST Special Publication 250-49 (NIST Calibration Service for Gas Flow Meters), у периоду од 2012. до 2018. године.

Познаје програмске језике и пакете: Fortran, Java, JavaScript, Kotlin, Autodesk Inventor, AutoCAD, SolidWorks, MatLab, Wolfram Mathematica, MS Office, Libre Office, Latex, OpenFOAM, Xfig, GIMP, Gnuplot, Octave, SciLab. Активно се служи енглеским језиком, а немачким језиком се служи на почетном нивоу.

Кандидаткиња Ива И. Гуранов је коаутор:

- једног рада објављеног у врхунском научном часопису међународног значаја са SCI листе категорије M21,
- једног рада објављеног у научном часопису међународног значаја са SCI листе категорије M23,
- једног рада објављеног у националном научном часопису међународног значаја са SCI листе категорије M24,
- шест радова са међународних конференција штампаних у целини категорије M33,
- два рада са међународних конференција штампаних у изводу категорије M34,
- једног техничког решења примењеног на националном нивоу категорије M82.

2. ОПИС ДИСЕРТАЦИЈЕ

2.1. Садржај дисертације

Докторска дисертација кандидаткиње Иве И. Гуранов, маг. инж. маш., под називом „Струјања разређеног гаса у микроцевима“ написана је на српском језику, ћириличним писмом и садржи: 166 страна формата А4, 49 слика, 2 табеле, 443 нумерисана израза и 102 библиографске референце. Докторска дисертација се састоји од следећих поглавља:

- Увод;
- Преглед постојећих истраживања струјања разређеног гаса у микроцевима;
- Основне једначине и гранични услови;
- Изотермско струјање гаса у микроцевима променљивог попречног пресека;
- Неизотермско струјање гаса у микроцевима константног попречног пресека;
- Изотермско струјање гаса у микроцевима прстенастог попречног пресека;
- Неизотермско струјање гаса у микроцевима прстенастог попречног пресека;
- Закључак;
- Литература.

Осим наведеног, докторска дисертација садржи насловну страну на српском и енглеском језику, страну са подацима о менторима и члановима Комисије, кратак резиме докторске дисертације на српском и енглеском језику, захвалнице, садржај, списак слика, списак табела, литературу, биографију аутора, Изјаву о ауторству, Изјаву о истоветности штампане и електронске верзије докторског рада и Изјаву о коришћењу.

2.2. Кратак приказ појединачних поглавља

Дисертација се састоји од осам поглавља.

У првом поглављу дат је историјски развој микроуређаја. Представљен је развој микро-електро-механичких система (МЕМС) и могућност њихове широке примене. У оквиру анализе примене МЕМС-а посебна пажња је посвећена струјању гаса кроз микроцеви, као саставном делу микроизмењивача топлоте. На крају првог поглавља описани су проблеми решени у докторској дисертацији.

Друго поглавље садржи преглед постојећих истраживања струјања разређеног гаса у микроцевима. Анализирани су резултати из доступне литературе добијени за различите геометрије (од микроцеви кружног и елиптичног попречног пресека до прстенастих микроцеви) и за различите услове струјања (изотермска и неизотермска) са анализом различитих утицаја.

У трећем поглављу дате су и анализиране основне једначине и гранични услови, који се користе при решавању проблема струјања гаса кроз микроцеви. С обзиром на то да се ради о струјању гаса кроз микроцеви, разређеност долази до изражаја, па се у овом поглављу анализирају и неке основне карактеристике таквог струјања.

У четвртом поглављу добијена су аналитичка решења за поље притиска и брзине за изотермско струјање разређеног гаса у микроцевима. Струјање је осносиметрично и стишљиво. Претпоставља се да је пречник цеви много мањи од њене дужине и да је струјање дозвучно. Након превођења система једначина у бездимензијски облик, узимајући у обзир поменуте претпоставке о геометрији и условима струјања, као и решењима за поље притиска и брзине у облику пертурбационог реда, формирају се одговарајући системи једначина за сваку пертурбацију. Решења су добијена за услове струјања при малим и великим Рејнолдсовим бројевима, као и за конвергентне, дивергентне и микроцеви константног попречног пресека. Анализирана су два приступа: за познати масени проток одређује се поље притиска и уколико је поље притиска познато одређује се масени проток који се тада остварује. Добијени резултати верификовани су поређењем са одговарајућим решењима из литературе.

Неизотермско струјање разређеног гаса кроз микроцеви константног попречног пресека разматра се у петом поглављу. Користе се исте претпоставке као и у четвртом поглављу. Решење за поље притиска, брзине и температуре добијено је за случај стишљивог струјања, као и за случај када се стишљивост занемарује. Решења су добијена за услове струјања при малим Рејнолдсовим бројевима и великим Рејнолдсовим бројевима, када инерција, конвекција, рад услед ширења и дисипација долазе до изражаја. Резултати добијени за модел када се стишљивост занемарује упоређени су са одговарајућим резултатима из литературе и постигнуто је добро слагање.

У шестом поглављу анализира се изотермско струјање гаса кроз микроцев константног прстенастог попречног пресека. Разматра се осносиметрично и стишљиво струјање. Претпоставља се да је однос разлике пречника и дужине микроцеви мали, као и да је струјање дозвучно. Добијено је аналитичко решење за поље притиска и брзине применом пертурбационе методе. Посебно је анализиран утицај односа спољашњег и унутрашњег пречника на поље притиска и брзине.

Неизотермско струјање разређеног гаса кроз микроцев константног прстенастог попречног пресека разматра се у поглављу седам. И у овом случају струјање је осносиметрично и стишљиво, а претпоставке о геометрији и условима струјања исте су као у поглављу шест. Резултати за поље притиска, брзине и температуре добијени су за стишљиво струјање, али и за случај када се стишљивост занемарује. Резултати су приказани и за мале и за велике Рејнолдсове бројеве и верификовани поређењем са резултатима из литературе.

У осмом поглављу изложени су закључци за сваки анализиран и решен модел струјања дат у овој докторској дисертацији. Осим тога, наговештене су могућности и смер будућег рада.

3. ОЦЕНА ДИСЕРТАЦИЈЕ

3.1. Савременост и оригиналност

Струјање гаса кроз микроцеви, које се карактерише као разређено струјање, представља случај струјања који се данас може срести у многим областима, као и у деловима различитих уређаја. Микро-електро-механички системи (МЕМС) представљају системе чија је карактеристична димензија реда величине микрометра. Њихова примена се среће у разним областима индустрије и медицине. Данас се развијају системи све мањих и мањих димензија, јер напредак индустрије и развој технолошких процеса омогућавају јефтинију израду оваквих уређаја. Неизоставни део МЕМС-а су микроцеви које могу бити провидне, флексибилне, биокомпатибилне, што их чини погодним за примену у биомедицини. Микроцеви су често и део микроактуатора, сензора, вентила, као и микроизмењивача топлоте. Микроизмењивачи топлоте се користе као расхладни уређаји у разним гранама индустрије: аутомобилској, ваздухопловној и процесној индустрији, енергетици, термотехници, микроелектроници, биоинжењерингу, итд. Зато су проблеми који се разматрају при струјању разређеног гаса у микроцевима веома актуелни, па је допринос истраживањима у овој области веома значајан.

У области механике флуида, увек је актуелна потреба за развојем тачних аналитичких и лако поновљивих решења. Када се оваква решења верификују поређењем са резултатима других аутора (експерименталним, нумеричким), њихова даља примена може бити врло корисна и разнолика. Могу се користити при развоју одговарајућих система, као и за верификацију решења добијених другим методологијама. У области струјања разређеног гаса кроз системе микродимензија очигледан је недостатак аналитичких решења. Оваква решења представљају оригинални научни допринос, а њихова једноставност омогућава примену и у будућим истраживањима.

Оригиналност добијених резултата у оквиру докторске дисертације потврђују научни радови који су објављени у релевантним међународним часописима и радови изложени на међународним конференцијама.

3.2. Осврт на референтну и коришћену литературу

Кандидаткиња је током израде докторске дисертације детаљно истражила постојећу релевантну литературу која покрива разматрану научну област, што је резултовало списком од укупно 102 библиографске референце. Ове референце су послужиле не само као основа за преглед досадашњих истраживања и приказ постојећег стања у разматраној области, већ и као основа за развој нових резултата.

Најважнији литературни извори су детаљно анализирани у поглављу два. Изузев литературе која је пионирска и фундаментална, у највећем броју случајева наведени научни радови су новијег датума што указује на савременост и актуелност истраживане теме. На основу обима коришћене литературе може се закључити да је кандидаткиња имала темељан увид у досадашње доприносе у овој и другим блиским научним областима. Приложени списак коришћене литературе такође укључује и публикације из часописа међународног значаја, публикације на међународним конференцијама, на којима је кандидаткиња аутор, а који су директно проистекли из рада на докторској дисертацији.

3.3. Опис и адекватност примењених научних метода

За решавање проблема струјања разређеног гаса у микроцевима примењена је пертурбациона метода. Развој одговарајућих величина (притиска, пројекција брзине, температуре) у пертурбациону серију омогућио је добијање решења за поље тих величина. Решење за притисак, брзину и температуру претпостављено је у облику пертурбационе серије по Кнудсеновом броју, где први елемент такве серије представља прву апроксимацију, која обухвата решење за услове континуума. Остале апроксимације представљају утицај клизања, температурског скока, инерције, конвекције, рада услед вискозних сила-дисипације и рада услед ширења. Потврда валидности примењене методе извршена је упоређивањем добијених резултата у овом докторату са одговарајућим резултатима доступним у литератури.

Научне методе истраживања у овој докторској дисертацији заснивају се на познавању диференцијалног и интегралног рачуна, као и на примени нумеричких метода за решавање система диференцијалних једначина.

Наведене методе су током истраживања примењене на адекватан начин.

3.4. Применљивост остварених резултата

У оквиру докторске дисертације добијена су оригинална аналитичка решења за поље притиска, брзине и температуре при струјању разређеног гаса у микроцевима. Поред научне вредности добијени резултати имају и практичну примену при прорачуну струјања разређеног гаса кроз микроцеви. Овакви прорачуни налазе примену при пројектовању микро-електро-механичких система. Аналитичка решења су лако поновљива и применљива, па се могу користити као валидација нумеричких или експерименталних резултата.

Верификација остварених резултата кроз упоређивање са одговарајућим резултатима доступним у литератури и кроз публиковане радове, потврдила је валидност примењене методологије. На тај начин отворена је могућност примене ове методе на даља истраживања у оквиру проблема струјања разређеног гаса у микроцевима кружног и прстенастог попречног пресека са низом различитих граничних услова.

3.5. Оцена достигнутих способности кандидаткиње за самостални научни рад

Кандидаткиња Ива И. Гуранов је кроз реализацију ове докторске дисертације у потпуности доказала способност за самостално спровођење научно-истраживачког рада. Осим систематичног прегледа савремених истраживања, дефинисања сопствених резултата, кандидаткиња је извршила и упоредне анализе резултата остварених применом развијених и већ постојећих метода. Све ове активности потврђене су научним радовима које је кандидаткиња публиковала у часописима од међународног значаја, као и у радовима публикованим на међународним конференцијама.

4. ОСТВАРЕНИ НАУЧНИ ДОПРИНОС

4.1. Приказ остварених научних доприноса

Оригинални научни допринос кандидаткиње Иве И. Гуранов и њене докторске дисертације под називом „Струјања разређеног гаса у микроцевима“ огледа се у развоју аналитичких решења за поља притиска, брзине и температуре при струјању разређеног гаса кроз микроцеви променљивог и константног попречног пресека, као и константног прстенастог попречног пресека:

- добијена су оригинална решења за поље притиска и брзине при стишљивом изотермском струјању разређеног гаса кроз микроцев променљивог попречног пресека за режим струјања при малим Рејнолдсовим бројевима [2], [4], као и за режим струјања при великим Рејнолдсовим бројевима када утицај инерције долази до изражаја [3] (поглавље 4 на страницама дисертације 26-61);
- добијена су оригинална решења за поље притиска, брзине и температуре при стишљивом и нестишљивом неизотермском струјању разређеног гаса у микроцеви константног попречног пресека за режим струјања при малим Рејнолдсовим бројевима, као и за режим струјања при великим Рејнолдсовим бројевима када ефекти инерције, конвекције, дисипације и рада услед ширења долазе до изражаја [1] (поглавље 5 на страницама дисертације 62-89); решења узимају у обзир зависност коефицијента вискозности и провођења топлоте од температуре;
- добијена су оригинална решења за поље притиска и брзине при стишљивом изотермском струјању разређеног гаса кроз микроцев прстенастог попречног пресека за услове струјања при малим Рејнолдсовим бројевима, као и за услове струјања при великим Рејнолдсовим бројевима када инерција долази до изражаја (поглавље 6 на страницама дисертације 90-106);
- добијена су оригинална решења за поље притиска, брзине и температуре за стишљиво и нестишљиво неизотермско струјање разређеног гаса кроз микроцев прстенастог попречног пресека за режим струјања при малим Рејнолдсовим бројевима, као и за режим струјања при великим Рејнолдсовим бројевима када ефекти инерције, конвекције, дисипације и рада услед ширења долазе до изражаја (поглавље 7 на страницама дисертације 107-135); решења узимају у обзир зависност коефицијента вискозности и провођења топлоте од температуре.

До сада најзначајнији верификовани научни допринос докторске дисертације су аналитичка решења за поље притиска, брзине и температуре при неизотермском струјању разређеног гаса кроз микроцев константног попречног пресека. Резултати који се односе на овај допринос приказани су у поглављу 5 на страницама дисертације 73-80, 83-88 и објављени у раду [1] категорије M23, у часопису *Advances in Mechanical Engineering*, који је доступан на е-адреси <https://doi.org/10.1177/16878140211065147> на коме је кандидаткиња први аутор и једини докторанд.

4.2. Критичка анализа резултата истраживања

На основу систематичног прегледа предочене научне литературе и постојећих решења из области докторске дисертације, Комисија констатује да су остварени резултати истраживања кандидаткиње Иве И. Гуранов научно утемељени и изузетно значајни. Сагледавањем постављених циљева истраживања и остварених резултата приказаних у докторској дисертацији, констатујемо да је кандидаткиња успешно одговорила на сва релевантна питања из проблематике којом се докторска дисертација бави.

Значај добијених аналитичких решења огледа се у једноставности и лакој поновљивости. Такође, добијена решења се могу користити и као валидација нумеричких или експерименталних резултата. Осим тога, верификација аналитичких решења добијених пертурбационом методом омогућава примену ове методе и на многе друге случајеве струјања у микроцевима.

4.3. Верификација научних доприноса

У следећим научним радовима су верификовани научни доприноси предметне докторске дисертације.

Категорија M23:

- [1] **Guranov, I.**, Milićev, S., Stevanović, N.: Non-isothermal rarefied gas flow in microtube with constant wall temperature, -*Advances in Mechanical Engineering*, vol. 13, pp. 1-9, 2021 (IF=1.316 (2020)) (DOI: 10.1177/16878140211065147).

Категорија M33:

- [2] **Guranov, I.**, Milićev, S., Stevanović, N.: “Pressure Distribution in Microtubes with Variable Cross-section” -*Proceedings of the The 7th International Congress of Serbian Society of Mechanics*, Sremski Karlovci, Srbija, 2019, pp. 1-8. (ISSN/ISBN: 978-86-909973-7-4)

Категорија M34:

- [3] **Guranov, I.**, Milićev, S., Stevanović, N.: “Influence of Second Order Effects on Pressure Distribution in Microtubes” -*Proceedings of the The 8th International Congress of Serbian Society of Mechanics*, Kragujevac, Srbija, 2021, pp. 93-94. (ISSN/ISBN: 978-86-909973-8-1)
- [4] **Guranov, I.**, Milićev, S., Stevanović, N.: “An Isothermal Compressible Slip Gas Flow Through Microtube” - *Book of abstracts - 6th International conference of applied science (ICAS 2018)*, Banja Luka, Republika Srpska, 2018, pp. 35-35. (ISBN: 978-99938-39-80-4)

5. ЗАКЉУЧАК И ПРЕДЛОГ

На основу детаљног прегледа и анализе докторске дисертације, Комисија за преглед, оцену и одбрану докторске дисертације констатује да је докторска дисертација под називом „Струјања разређеног гаса у микроцевима“ кандидаткиње Иве И. Гуранов, 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 Универзитета у Београду - Машинског факултета. На основу резултата и закључака приказаних у докторској дисертацији Комисија констатује да је кандидаткиња Ива И. Гуранов, маг. инж. маш., успешно завршила докторску дисертацију у складу са предвиђеним предметом и постављеним циљевима истраживања.

Комисија за преглед, оцену и одбрану докторске дисертације закључила је да докторска дисертација под називом „Струјања разређеног гаса у микроцевима“ представља оригиналан и вредан научни рад са научним доприносима у области машинства, ужа научна област Механика флуида. Имајући у виду наведено, Комисија предлаже Наставно-научном већу Машинског факултета у Београду да Реферат прихвати, дисертацију стави на увид јавности у складу са законским одредбама и упути Реферат на коначно усвајање Већу научних области техничких наука Универзитета у Београду, а да се након тога кандидаткиња Ива И. Гуранов, маг. инж. маш., позове на јавну одбрану дисертације.

У Београду, 17.05.2023. год.

ЧЛАНОВИ КОМИСИЈЕ

.....
др Снежана Милићев, ванредни професор,
Универзитет у Београду - Машински факултет

.....
др Невена Стевановић, редовни професор,
Универзитет у Београду - Машински факултет

.....
др Милан Лечић, редовни професор,
Универзитет у Београду - Машински факултет

.....
др Александар Ћоћић, редовни професор,
Универзитет у Београду - Машински факултет

.....
др Маша Букуров, редовни професор,
Универзитет у Новом Саду - Факултет техничких наука