

Наставно-научном већу
Машинског факултета у Нишу

МАШИНСКИ ФАКУЛТЕТ У НИШУ			
Примљено: 20. 10. 2014.			
Сржад.	Број	Плански	Бројности
	612-639	14	

Предмет: Извештај Комисије за оцену и одбрану докторске дисертације.

Одлуком Наставно – научног већа Машинског факултета у Нишу бр. 612-594-5/2014, од 07.10.2014. године, именовани смо за чланове Комисије за оцену и одбрану докторске дисертације кандидата Јасмине Б. Богдановић-Јовановић, дипл. инж. маш. под називом:

„Одређивање осредњеног осносиметричног струјања у радним колима хидрауличких турбомашина“

Након прегледа докторске дисертације, сагласно Закону о високом образовању, Статуу Универзитета у Нишу и Статуу Машинског факултета у Нишу, комисија подноси следећи

ИЗВЕШТАЈ

1. Садржај и обим докторске дисертације

Докторска дисертација Јасмине Б. Богдановић-Јовановић, дипл. инж. маш. садржи укупно 249 страница формата А4. Основни текст дисертације изложен је на 231 страницу и подељен је у 6 поглавља са одговарајућим Прилогом. На почетку дисертације дат је Предговор, затим Резиме, након чега следи Садржај и Ознаке. На крају је дат преглед коришћене литературе са укупно 100 референци, од чега 12 аутоцитата.

2. Хронологија одобравања израде дисертације

Докторску дисертацију под називом „Одређивање осредњеног осносиметричног струјања у радним колима хидрауличких турбомашина“ кандидат је пријавио 31. 05. 2011. године. Наставно – научно веће Машинског факултета у Нишу је на седници од 03.06.2011. године, одлуком бр. 612-301-10/2011, именовало Комисију за оцену научне заснованости теме докторске дисертације у саставу: др Милун Бабић, редовни професор Машинског факултета у Крагујевцу, др Драгица Миленковић, редовни професор Машинског факултета у Нишу и др Драгиша Никодијевић, редовни професор Машинског факултета у Нишу.

Наставно – научно веће Машинског факултета у Нишу је одлуком бр. 612-371-8/2011 од 06.07.2011. године, на основу позитивног извештаја Комисије, усвојило тему докторске дисертације под називом „Одређивање осредњеног осносиметричног струјања у радним колима хидрауличких турбомашина“, и

именовало др Драгицу Миленковић, редовног професора Машинског факултета у Нишу, за ментора израде докторске дисертације.

Научно – стручно веће за техничко-технолошке науке Универзитета у Нишу је на седници одржаној 14.07.2011. године, а на захтев Машинског факултета у Нишу, дало сагласност (бр. 8/20-01-005/11-019) на Одлуку о усвајању теме докторске дисертације.

У периоду од 23.11.2012. до 01.11.2013. године кандидаткиња је била на одсуству ради неге детета.

Кандидат је 10.09.2014. године предао рукопис докторске дисертације Одсеку за наставу и студентска питања Машинског факултета у Нишу, као и захтев за формирање Комисије за оцену и одбрану докторске дисертације (заведено под бројем 612-546/14). На предлог Катедре за Хидроенергетику, Наставно – научно веће Машинског факултета у Нишу је на седници од 07.10.2014. године, одлуком бр. 612-594-5/2014 именовало Комисију за оцену и одбрану докторске дисертације у саставу: др Милун Бабић, редовни професор Факултета инжењерских наука у Крагујевцу, др Драгица Миленковић, редовни професор Машинског факултета у Нишу и др Драгиша Никодијевић, редовни професор Машинског факултета у Нишу.

3. Место дисертације у одговарајућој научној области

Дисертација под називом „Одређивање осредњеног осносиметричног струјања у радним колима хидрауличких турбомашина" припада научној области Машинско инжењерство, односно ужој научној области Теоријска и примењена механика флуида.

4. Подаци о кандидату

Јасмина Богдановић-Јовановић, дипл. инж. маш., асистент Машинског факултета Универзитета у Нишу рођена је 23. јула 1975. године у Нишу.

Основну школу "Ђеле Кула" и гимназију "Бора Станковић" у Нишу завршила је са одличним успехом као носилац Вукових диплома.

Машински факултет Универзитета у Нишу је уписала 1994. године, да би 2000. године дипломирала на смеру Хидроенергетике, са просечном оценом 9,76. Добитник је награде за најбољег дипломираног студента Машинског факултета у Нишу, као и награде Универзитета у Нишу. Исте године уписује магистарске студије на Машинском факултету у Нишу, на којима је положила све предмете са просечном оценом 10 (десет).

У школској 2007-2008. години је уписала докторске студије на студијском програму Енергетика и процесна техника Машинског факултета у Нишу и положила је додатне испите предвиђене наставним планом докторских студија, са просечном оценом 10 (десет).

На Машинском факултету у Нишу ради од 2000. године, као асистент приправник. Тренутно ради као асистент на Катедри за Хидроенергетику Машинског факултета у Нишу, и активно учествује у извођењу вежбања на предметима: Турбомашине, Механика флуида, Моделска и експериментална

истраживања, Компресори и вентилатори, Транспорт у струји флуида, Системи водоснабдевања, Основе хидрауличног и пнеуматичког транспорта материјала, Системи наводњавања и др.

Учесник је бројних научно-стручних скупова. Аутор или коаутор је 45 радова научно-стручних радова на националним и међународним конгресима, као и у научним часописима са SCI (Science Citation Index) листе и 5 техничких решења. У току последипломских студија похађала је неколико међународних курсева за студенте докторских студија.

До сада је учествовала на 9 научно-истраживачких и развојних пројеката и 2 стручна пројекта у привреди. Тренутно је истраживач на два пројекта Министарства за Науку (2011-2014.).

Коаутор је три уџбеника: "Вентилатори – радне карактеристике и експлоатациона својства" (2006.), "Компресори – термодинамика процеса сабијања гасова" (2007.), "Летећи пнеуматички транспорт" (2009).

Удата је и мајка једне ћерке.

Радови кандидата у међународним часописима (са SCI листе и ван SCI листе) који су непосредно повезани са темом докторске дисертације су:

- Bogdanović-Jovanović, B. Bogdanović, D. Milenković, "Determination of averaged axisymmetrical flow surfaces according to results obtained by numerical simulation of flow in turbomachinery", *Thermal Science*, Vol. 16, Suppl. 2, pp. 647-662, 2012, DOI:10.2298/TSCI120426193B (M23)
- Bogdanović B., Spasić Ž., Bogdanović-Jovanović J., "Low-pressure reversible axial fan designed with different specific work of elementary stages", *Thermal Science*, Vol. 16, Suppl. 2, pp. 675-686, 2012. (M23)
- Jasmina B. Bogdanović-Jovanović, Dragica R. Milenković, Dragan M. Svrkota, Božidar Bogdanović and Živan T. Spasić, "Pumps used as turbines - Power Recovery, Energy Efficiency, CFD Analysis", *Thermal Science*, Year 2014, Vol. 18, No. 3, pp. 1029-1040 (M23)
- Bogdanović B., Stamenković Ž., Bogdanović-Jovanović J., "The development of turbine-pump aggregate", *Thermal Science*, Supplement to Vol.10, No 4, 2006., pp.163÷176. (M23)
- Bogdanović B., Bogdanović-Jovanović Jasmina, Spasić Ž., Milanović S., "Reversible axial fan with blades created of slightly distorted panel profiles", *Facta Universitatis*, series: Mechanical Engineering, Vol.7, N°1, 2009., pp. 23÷36. (UDC 621.634). (M51)
- Bogdanović B., Bogdanović-Jovanović J., Todorović N., "Program for determination of unequal specific work distribution of elementary stages in the low-pressure axial flow fan designing procedure", *Facta Universitatis*, Vol.9, No2, pp. 149 – 160., 2011, UDC 621.63. (M51)
- Bogdanović B., Bogdanović-Jovanović J., Stamenković Ž., Majstorović P., "The comparison of theoretical and experimental results of velocity distribution on boundary streamlines of separated flow around a hydrofoil in a straight plane cascade", *Facta Universitatis*, series: Mechanical Engineering, Vol.5, N°1, 2007., str. 33÷46. (M51)

- Bogdanović-Jovanović J., Bogdanović B., Božić I., "Design of small bulb turbines with unequal specific work distribution of the runner's elementary stages", Facta Universitatis, series: Mechanical Engineering, Vol.12, N°1, str.73÷84, 2014. (M51)

Радови кандидата изложени на међународним и скуповима националног значаја, као и у часописима националног значаја који су непосредно повезани са темом докторске дисертације су:

- Stamenković Ž., Bogdanović-Jovanović J., Manojlović J., "Determination of centrifugal pump operating parameters in turbine operating regime", 16. Symposium on Thermal Science and Engineering of Serbia, October 2013., Proceedings, pp. 846÷855, 2013. (ISBN 978-86-6055-044-8) (M33)
- Bogdanović B., Milenković D., Bogdanović-Jovanović J., Spasić Ž., "Design of a bulb turbine stay vane and runner for the small hydro power plant "Grčki mlin" near Prokuplje", 16. Symposium on Thermal Science and Engineering of Serbia, 22-25. October 2013., Proceedings, pp. 43÷53. (ISBN 978-86-6055-044-8) (M33)
- Stamenković Ž., Bogdanović-Jovanović J., "Rotating Stal in Centrifugal Pumps Radial Impellers", 15. Symposium on Thermal Science and Engineering of Serbia, 18-21. October 2011., Proceedings, pp. 846÷855. (ISBN 978-86-6055-018-9) (M33)
- Bogdanović B., Bogdanović-Jovanović J., Milanović S., "Calculation of Fan Operating Parameters for Different Numbers of Revolutions, Considering the Influence of Reynolds Number", 15. Symposium on Thermal Science and Engineering of Serbia, 18-21. October 2011., Proceedings, pp. 117÷186. (ISBN 978-86-6055-018-9) (M33)
- Bogdanović B., Bogdanović-Jovanović J., Spasić Ž., "Designing of Low Pressure Axial Flow Fans with Different Specific Work of Elementary Stages", The International Conference – Mechanical Engineering in XXI Century, 25-26. November 2010., Proceedings, pp. 99÷102. (COBISSIS.SR-ID 179681036) (M33)
- Bogdanović-Jovanović J., Milenković D., Bogdanović B., "Numerička simulacija strujanja i radnih karakteristika osne pumpe", 32.kongres HIPNEF 2009., od 14. do 16. oktobra 2009., Vrnjačka Banja, Proceedings str. 217-224. (M63)
- Bogdanović-Jovanović J., Stamenković Ž., Bogdanović B., "Simulacija radnih karakteristika turbinsko-pumpnog agregata za navodnjavanje", XX Kongres o procesnoj industriji, PROCESING 2007, rad br.17, str.43., 13-15. jun 2007., Beograd. (M63)
- Bogdanović-Jovanović J., Stamenković Ž., Bogdanović B., "Numerička simulacija i određivanje radnih parametara niskopritisnog ventilatora", XIX Kongres o procesnoj industriji, PROCESING 2006, rad br.46, str.75.,14-16. jun 2006., Beograd. (M63)
- Bogdanović B., Stamenković Ž., Bogdanović-Jovanović J., "Turbinsko-pumpni agregat za navodnjavanje", XIX Kongres o procesnoj industriji, PROCESING 2006, rad br.27, str.47.,14-16. jun 2006., Beograd.
- Bogdanović B., Stamenković Ž., Bogdanović-Jovanović J., "Korekcija profila lopatica sprovodnog aparata cevne turbine prema numeričkoj simulaciji strujanja u turbini", XIX Kongres o procesnoj industriji, PROCESING 2006, rad br.47, str.76.,14-16. jun 2006., Beograd.

5. Анализа докторске дисертације

Докторска дисертација се састоји из 6 поглавља, прилога и списка коришћене литературе.

Наслови поглавља су следећи:

1. Уводна разматрања
2. Нумеричко одређивање струјних параметара у лопатичним системима хидрауличких турбомашина
3. Примери нумеричких симулација и валидација симулационог модела
4. Одређивање осредњених осносиметричних струјних површина према резултатима добијеним нумеричком симулацијом струјања у хидрауличким турбомашинама и нископритисним вентилаторима
5. Примери нумеричког одређивања осредњених осносиметричних струјних површина у радним колима пумпи и вентилатора
6. Закључак
7. Прилог

По форми и садржају рад задовољава стандарде за докторску дисертацију.

У оквиру дисертације представљен је задатак хидродинамичког прорачуна и шематизација струјања у проточном делу турбомашина, са акцентом на турбо пумпе и нископритисне вентилаторе. Приказан је и осврт на досадашње резултате из ове области, односно представљена су истраживања која су преходила истраживањима датим у овој докторској дисертацији.

У уводном делу рада такође су дате и основе пројектовања радних кола хидрауличких турбомашина и нископритисних вентилатора.

У раду су коришћене нумеричке методе за одређивање струјања флуида (CFD - Computational Fluid Dynamics), посредством софтвера Ansys, који је омогућио симулације струјања у радним колима турбо пумпи и нископритисних вентилатора. На тај начин добијени подаци коришћени су за одређивање осредњених осносиметричних струјних површина по кружној координати. За израчунавање интеграла коришћена је нумеричка метода трапезног правила.

У раду су приказана три разрађена случаја добијања осредњених струјних површина у радним колима хидрауличких турбомашина и нископритисних вентилатора (једног осног вентилатора, дијагоналне и центрифугалне пумпе).

С обзиром да је рад подељен у 6 поглавља, у **првом** су приказана уводна разматрања, у оквиру којих је дефинисан задатак хидродинамичког прорачуна и шематизација струјања у проточном делу турбомашина. У овом делу рада приказана су најзначајнија истраживања из ове области и одговарајући резултати. У уводном делу рада дат је кратки приказ пројектовања радних кола хидрауличких турбомашина. На крају овог поглавља приказана је примена, развој и значај нумеричких симулација струјања флуида у поступку пројектовања и испитивања турбомашина, са освртом на најзначајнија досадашња достигнућа у овој области.

У **другом поглављу** докторске дисертације дат је краћи осврт на методологију нумеричких симулација струјања, моделирање турбуленције и

могућности примене CFD метода на струјање флуида у турбомашинама. При том су разматране нумеричке симулације струјања у обртним (радним) колама хидрауличких турбомашина и нископритисних вентилатора, али и у непокретним лопатичним и безлопатичним елементима турбомашина. Због једноставности примене, али и потребних компјутерских ресурса за рад нумеричке симулације струјања, акценат је стављен на решавање осредњених Рејнолдсових једначина (тзв. RANS једначина). Приказане су основне парцијалне диференцијалне једначине струјања флуида, које се у поступку временске и просторне дискретизације трансформишу у систем алгебарских једначина, погодних за нумеричку примену. Систем ових једначина затвара се помоћу неког од постојећих модела турбулентног струјања. У овом делу рада дати су принципи нумеричког решавања струјања флуида (од дискретизације, преко диферентних шема, генерисања мреже, до конвергенције добијеног решења). Истакнут је значај нумеричких симулација струјања, као и предност нумеричких симулација, која се састоји у томе што оне не захтевају значајне људске и материјалне ресурсе. Такође је време извршења ових симулација значајно краће у односу на време потребно да би се извршила лабораторијска мерења, уз могућност израчунавања свих потребних струјних величина у радном простору турбомашина.

Примери нумеричких симулација, коришћењем комерцијалног софтверског пакета Ansys, који у свом саставу садржи модуле за примену код турбомашина, као и валидација нумеричких модела, тема је **трећег поглавља** рада. Дати су конкретни примери различитих турбомашина, и то следећим редом:

- I) нископритисни реверзибилни осни вентилатор са непрофилисаним лопатицама радног кола,
- II) дијагонална пропелерна пумпа и
- III) центрифугална пумпа.

За све примере најпре је дат приказ физичког модела, затим приказ креираног нумеричког модела, док су резултати нумеричких симулација струјања дати у Прилогу рада (у табеларном приказу). Радне карактеристике сваке представљене турбомашине добијене нумеричким симулацијама струјања при једном броју обртаја и за опсег радних протока, упоређене су са радним карактеристикама добијеним експерименталним испитивањима одговарајућих машина, у лабораторијским условима рада, чиме је извршена валидација модела.

Четврто поглавље обухвата одговарајућу теоријску поставку и практичну примену одређивања осредњених осносиметричних струјних површина према резултатима добијеним нумеричком симулацијом струјања у хидрауличким турбомашинама и нископритисним вентилаторима. Реална струјања у лопатичним решеткама хидрауличких турбомашина и вентилатора нису осносиметрична, а фиктивно се могу свести на осносиметрична, уколико се струјни параметри у међулопатичним каналима осредњују по кружној координати. Према резултатима нумеричких симулација струјања у међулопатичним каналима турбомашина, могуће је одредити осредњене струјне параметре по кружној координати, а затим одредити и осредњене струјне површине. Дата је методологија осредњавања струјних параметара по кружној координати и изведене су осредњене једначине струјања.

У **петом поглављу** рада приказани су резултати одређивања осредњених струјних површина, односно меридијанских струјница осредњеног струјања,

коришћењем интегралне једначине континуитета, за примере за које су извршене нумеричке симулације струјања у поглављу 3. Водећи се теоријом и изведеним једначинама датим у поглављу 4, приказани су резултати одређивања осредњених струјница у радном колу хидрауличких турбо пумпи и нископритисног вентилатора. Поред тога су одређени и јединични радови елементарних ступњева обртног кола на осредњеним оносиметричним струјним површинама, као и момент и снага обртног кола разматраних турбомашина. Такође је извршен и прорачун протока осредњене механичке енергије струјања кроз контролне проточне површине на улазу и излазу из радног простора обртног кола.

Наведена методологија у потпуности је применљива и на хидрауличне турбине.

На крају рада дат је **закључак**, у којем су истакнути најважнији резултати, а пре свега значај представљене методологије у унапређењу поступка пројектовања радних кола хидрауличких турбомашина и нископритисних вентилатора. Добијени резултати указују да се поступак пројектовања скраћује, имајући у виду да није увек неопходно изводити сложена експериментална испитивања.

У **прилогу** рада приказане су табеле осредњених вредности струјних параметара у одговарајућим пресецима радног кола, добијених нумеричком симулацијом струјања. За све анализиране примере турбомашина приказане су вредности притисака и брзина у различитим дискретним тачкама на дефинисаним пресецима у радном колу.

На самом крају рада приказана је коришћена **литература** са датих 100 референци.

6. Значај и допринос докторске дисертације

Основни научни доприноси дисертације су следећи:

- Истраживањима у оквиру предложене теме докторске дисертације проширена су теоријска и практична сазнања из области струјања у радним колима турбомашина.
- Добијене су осредњене једначине струјања у радним колима хидрауличких турбомашина.
- Приказана је методологија одређивања осредњених струјних параметара у радним колима хидрауличких турбомашина и нископритисних вентилатора, на основу струјних величина добијених помоћу нумеричких симулација струјања у радним колима. За ову сврху могу послужити и струјне величине које су добијене експерименталним мерењима у радном колу турбомашине.
- Одређивањем осредњених оносиметричних струјних површина, дата је могућност појектанту да у току пројектовања турбомашине изврши корекцију изабраних оносиметричних струјних површина елементарних ступњева, њиховим упоређивањем са добијеним осредњеним оносиметричним струјним површинама.
- Дата методологија омогућава одређивање фиктивног радног кола са бесконачним бројем неизмерно танких лопатица, којим се остварује тражено струјно скретање. Такође су креирани алгоритми за одређивање

меридијанских струјница у безлопатчним и лопатичним просторима радних кола хидрауличких турбомашина.

7. Применљивост и корисност резултата у теорији и пракси

Резултати спроведених истраживања, директно су применљиви у поступку пројектовања радних кола хидрауличких турбомашина и нископритисних вентилатора. Практични значај ове докторске дисертације је у томе што омогућава пројектанту да при пројектовању усвојене осносиметричне струјне површине и јединичне радове може да упоређи са нумерички симулираним резултатима. Ово даје могућност за увођење нове методологије пројектовања хидрауличких турбомашина, при којој се, још у фази пројектовања турбомашина може извршити корекција струјних површина, а у складу са тим и корекција лопатичних профила на њима.

Такође се може извршити одређивање јединичних радова по добијеним осредњеним меридијанским струјницама, при чему конструктор турбомашине може извршити упоређивање јединичних радова свих дефинисаних елементарних струпњева са јединичним радовима које је усвојио при профилисању лопатица турбомашине.

Значај описане процедуре пројектовања представља важан помак у методологији пројектовања турбомашина, с обзиром ма уштеду времена, финансијских и људских ресурса у поступку пројектовања и израде хидрауличких турбомашина и нископритисних вентилатора.

У фази пројектовања, па све до израде прототипа турбомашине, а коришћењем резултата добијених нумеричком симулацијом струјања у радном колу турбомашине, могуће је извршити корекцију резултата добијених уобичајеном методологијом пројектовања, која се заснива на поменутиим претпоставкама и упрошћавањима, а имајући у виду нераскидиву спрегу прорачуна геометрије радног кола са емпиријским подацима.

8. Закључак и предлог

На основу прегледа докторске дисертације и увидом у публиковане научне резултате кандидата, чланови Комисије закључују:

- Поднети рад у потпуности одговара теми прихваћеној од стране Наставно – научног већа Машинског факултета у Нишу и Научно–стручног већа за техничко-технолошке науке Универзитета у Нишу;
- Кандидат је кроз спроведена истраживања и резултате добијене у дисертацији показао да поседује адекватна знања из области механике флуида, турбомашина и математике;
- Кандидат је испољио висок ниво самосталности у истраживању и показао способност да сагледа проблем истраживања са више аспеката и креативно приступи његовом решавању уз оригиналност у осмишљавању и креирању одређених научних решења;
- Резултати до којих је кандидат дошао истраживањима у дисертацији су верификовани кроз континуирано објављивање научних радова из ове области на међународним конференцијама и у часописима, при чему је публиковао више радова у часописима индексираним на SCI листи.

- Прегледом дисертације и оценом досадашњих резултата рада закључује се да је урађена докторска дисертација резултат оригиналног научног рада кандидата;
- Приступ истраживању и приказана методологија имају висок степен општости, а проистекла сазнања отварају бројне теме за даљи рад на пољу струјања у радним колима хидрауличких турбомашина и нископритисних вентилатора и омогућавају практичну примену резултата.
- Рад је адекватно конципиран и систематизован, технички квалитетно урађен и омогућава прегледно праћење изложеног садржаја и добијених резултата истраживања.

Имајући у виду значај и актуелност обрађене теме и остварене научне резултате кандидата, чланови Комисије за оцену и одбрану докторске дисертације се слажу да поднета докторска дисертација представља оригиналан и вредан допринос развоју ове научне области и са задовољством предлажу Наставно–научном већу Машинског факултета Универзитета у Нишу, да рад Јасмине Б. Богдановић-Јовановић, дипл. инж. маш. под називом:

„Одређивање осредњеног осносиметричног струјања у радним колима хидрауличких турбомашина“

прихвати као докторску дисертацију и да кандидата позове на усмену јавну одбрану.

У Нишу,
октобра, 2014. године.

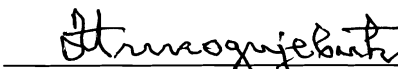
Чланови Комисије:



др Милун Бабић,
редовни професор Факултета инжењерских наука у Крагујевцу
(ужа научна област: Енергетика и процесна техника)



др Драгица Миленковић,
редовни професор Машинског факултета у Нишу
(ужа научна област: Теоријска и примењена механика флуида)



др Драгиша Никодијевић,
редовни професор Машинског факултета у Нишу
(ужа научна област: Теоријска и примењена механика флуида)