

Факултет МАШИНСКИ

УНИВЕРЗИТЕТ У БЕОГРАДУ

58/4
(Број захтева)Већу научних области техничких наука(Назив стручног већа коме се захтев упућује, сагласно
Члану 6. и чл. 7 став 1. овог Правилника)26.01.2012.
(Датум)**ЗАХТЕВ**
за давање сагласности на предлог теме докторске дисертације

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

ДВОФАЗНО СТРУЈАЊЕ ПРИ ПОВРАТНОМ ХИДРАУЛИЧКОМ УДАРУ

(пун назив предложене теме докторске дисертације)

НАУЧНА ОБЛАСТ Хидрауличке машине и енергетски системи

ПОДАЦИ О КАНДИДАТУ:

1. Име, име једног родитеља и презиме кандидата: БОЈАН (ПАВЛЕ) ИВАЉАНИН2. Назив и седиште Факултета на коме је стекао високо образовање: Машински факултет Београд3. Година дипломирања: 2000.4. Назив магистарске тезе кандидата: Истраживање утицаја карактеристика Капланових турбина на нормалне прелазне режиме хидроелектрана5. Назив Факултета на коме је магистарска теза одбрањена: Машински факултет Београд6. Година одбране магистарске тезе: 2009.7. Назив Факултета на коме је кандидат завршио докторске студије: /Одсек, смер или група: /Година завршетка докторских студија: /Обавештавамо Вас да је Наставно-научно веће Факултета
(назив надлежног тела Факултета)на седници одржаној 26.01.2012
размотрило предложену тему и закључило да је тема подобна за израду докторске дисертације.ДЕКАН
МАШИНСКОГ ФАКУЛТЕТАПроф.др Милорад Милованчевић

Прилог:

1. Предлог теме докторске дисертације са образложењем.

2. Акт надлежног тела факултета о подобности теме за израду докторске дисертације.

УНИВЕРЗИТЕТ У БЕОГРАДУ
- МАШИНСКИ ФАКУЛТЕТ -
Број:58/4
Датум:26.01.2012. године
Београд, Краљице Марије 16

На захтев мр Бојана Ивљанина, дипл.инж.маш., бр. 2953/1 од 29.11.2011. године, извештаја Комисије у саставу: проф.др Владимир Стевановић, проф.др Александар Гајић, проф.др Никола Рајаковић, ЕТФ Београд, бр. 58/3 од 19.01.2012. године, а на основу чл. 128. Закона о високом образовању, Наставно-научно веће Машинског факултета у Београду на седници од 26.01.2012. године, донело је следећу

ОДЛУКУ

Прихвата се предлог о испуњености услова и о научној заснованости теме докторске дисертације **«ДВОФАЗНО СТРУЈАЊЕ ПРИ ПОВРАТНОМ ХИДРАУЛИЧКОМ УДАРУ»** докторанта **Мр БОЈАНА ИВЉАНИНА**, дипл.инж.маш.

За ментора докторанту **Мр Бојану Ивљанину**, именује се **проф.др Владимир Стевановић**.

Одлуку доставити: Већу Научних области техничких наука Универзитета у Београду на сагласност, ментору и архиви.

ДЕКАН
МАШИНСКОГ ФАКУЛТЕТА

Проф.др Милорад Милованчевић

НАСТАВНО-НАУЧНОМ ВЕЋУ МАШИНСКОГ ФАКУЛТЕТА
УНИВЕРЗИТЕТА У БЕОГРАДУ

Предмет: Извештај Комисије за подношење извештаја о прихватању теме докторске дисертације **мр Бојана Ивљанина, дипл.маш.инж.**, по одлуци Наставно-научног већа број 58/2 од 12.01.2012. године.

На основу пријаве за израду докторске дисертације мр Бојана Ивљанина, дипл.маш.инж. број 2953/1 од 29.11.2011. године, сагласности Катедре за хидрауличне машине и енергетске системе и Катедре за термоенергетику број 58/1 од 11.01.2012. године и одлуке Наставно-научног већа Машинског факултета Универзитета у Београду број 58/2 од 12.01.2012. године именовани смо за чланове Комисије за подношење извештаја о прихватању теме докторске дисертације докторанта мр Бојана Ивљанина, дипл.маш.инж. На основу увида у документацију коју је докторант, мр Бојан Ивљанин, дипл.маш.инж, приложио уз свој захтев за израду докторске дисертације, подносимо следећи

ИЗВЕШТАЈ
о прихватању теме докторске дисертације
под насловом
ДВОФАЗНО СТРУЈАЊЕ ПРИ ПОВРАТНОМ ХИДРАУЛИЧКОМ УДАРУ

1. ПОДАЦИ О КАНДИДАТУ

1.1 Општи биографски подаци

Бојан Ивљанин је рођен 16.04.1976 у Београду где је 1990 године завршио основну школу. На крају осмогодишњег школовања био је добитник диплома „Вук Караџић“ и „Светозар Марковић“.

1994 године је завршио средњешколско образовање у Шестој београдској гимназији на природноматематичком смеру са дипломом „Вук Караџић“.

Машински факултет Универзитета у Београду уписао је 1994 године где је и дипломирао 15.12.2000 године на смеру Хидроенергетика. Просечна оцена током студирања износила је 8,23 (осам и 23/100). Дипломски рад је радио из предмета Хидрауличне преноснице који је одбранио са оценом 10 (десет).

Од 01.02.2001. до 22.02.2002 године је радио као таленат обдарен за научноистраживачки рад на Машинском факултету Универзитета у Београду на Катедри за Хидрауличне машине и енергетске системе.

Школске 2001/2002 године уписао је последипломске студије на Катедри за Хидрауличне машине и енергетске системе, на којој је децембра 2006 године положио све предвиђене испите.

У периоду од 1994-2002 године на Институту за стране језике одслушао је и положио све курсеве енеглеског језика са највишим оценама, укључујући и курс FCE of Cambridge.

22.02.2002 године засновао је радни однос у звању асистент-приправник на Машинском факултету Универзитета у Београду на Катедри за Хидрауличне машине и енергетске системе, на којој ради и до данас.

Школске 2003/2004 и 2005/2006 године изводио је аудиторне вежбе из предмета Техничко цртање на Катедри за техничке науке Технолошко-металуршког факултета Универзитета у Београду.

Од 06.09.2004. до 15.09.2005 године одслужио је војни рок у цивилној служби.

У току свог рада од 01.02.2001 године на Машинском факултету је изводио наставу на основним студијама кроз аудиторне и лабораторијске вежбе из предмета: Топлотне машине

– Турбокомпресори, Теоријске основе турбомашина, Турбомашине и Хидрауличне преноснице.

Од програмских језика и пакета користи: Microsoft Office, AutoCAD, док у потпуности влада енглеским и руским језиком о чему сведоче дипломе Института за стране језике у Београду.

Члан је више организационих одбора за међународне конгресе из области проблема струјања у хидрауличним машинама.

Марта 2010 године положио је стручни испит из области машинства и стекао лиценцу број 430 издату од стране Инжењерске коморе Србије.

Објавио је већи број радова који су публиковани у стручним часописима или су презентовани на међународним конференцијама.

1.2 Подаци о магистратури

Тема: Истраживање утицаја карактеристика Капланових турбина на нормалне прелазне режиме хидроелектрана

Област: Хидрауличне машине и енергетски системи

Ментор: др Александар Гајић, редовни професор Машинског факултета Универзитета у Београду

Датум одбране: 01.07.2009. године на Машинском факултету Универзитета у Београду

1.3 СПИСАК РАДОВА

Саопштени и објављени научно-стручни радови

1.3.1 Научни радови у водећим часописима националног значаја

1. Gajić A., Ignjatović B., Predić Z., **Ivljanin B.**: Test of Cam Characteristic of The Kaplan Turbine by On-Site Measurement, FME Transactions, University of Belgrade, Faculty of Mechanical Engineering, Belgrade, New Series, Vol.33, Number 3, 2005.

1.3.2 Радови саопштени на скупу међународног значаја, штампани у целини

1. Gajić A., Pejović S., **Ivljanin B.**: Reverse Waterhammer – Case Studies – CSHS`03, Belgrade, Faculty of Mechanical Engineering, 2003.

2. Venci A., Dojčinović M., **Ivljanin B.**: Testing of The Mechanical Properties For 15Mo3 Steel, 3rd YSESM – Bologna, Italy, 2004.

3. Gajić A., **Ivljanin B.**: Hydrodynamic Torque Converters – New Method For The External Characteristics Computation, XXI Science and Motor Vehicles, Belgrade 2007.

4. Gajić A., **Ivljanin B.**: Characteristics of the Kaplan Turbine and Its Influence on the Normal Transient Regimes, IAHR WG Meeting on Cavitation and Dynamic Problems in Hydraulic Machinery and Systems, Brno, Czech Republic, 2009. **(рад излагао Ивљанин Б.)**

1.3.3 Радови саопштени на скупу националног значаја, штампани у целини

1. Гајић А., Крсмановић Љ., **Ивљанин Б.**: Пролог сагледавању мера за утврђивање стања великих водоводних система, Саветовање југословенског друштва за хидрауличка истраживања, Сокобања 2002. **(рад излагао Ивљанин Б.)**

2. Гајић А., Крсмановић Љ., **Ивљанин Б.**: Усаглашавање карактеристика опреме у водоводним системима, Међународни стручни скуп „Избор савремене опреме за објекте водовода, канализације и заштите животне средине“, Београд, 2003.

1.3.4 Техничке реализације: идејна решења

1. Аутори: Недељковић М., Чантрак Ђ., Илић Д., Божић И., **Ивљанин Б.**,
Игњатовић Б., Бенишек М.
Година решења: 2004.
Наслов: Хидраулички облик проточног тракта цевне турбине
Опис: Пројектовани облик проточних тракта модела цевне турбине
Обезбеђује минималне губитке хидрауличке енергије и висок степен
корисности. Извршене су одређене модификације појединих делова модела како би
се могла извршити мерења снаге, момента аксијалне силе и осматрање кавитације.
Реализатори: Машински факултет у Београду, ГОША Институт, ИМС
Корисник: Лола систем, ГОША ФОМ
Подтип решења: Лабораторијски прототип
2. Аутори: Бенишек М., Недељковић М., Илић Д., **Ивљанин Б.**, Божић И., Чантрак Ђ.
Година решења: 2004.
Наслов: Хидраулички облик лопатица обртног кола цевне турбине
Опис: Обликована је витопера лопатица обртног кола цевне турбине са свим
потребним геометријским параметрима да би се добила адекватна размена енергије и
висок степен корисности.
Реализатори: Машински факултет у Београду
Корисник: Лола систем, ГОША ФОМ
Подтип решења: Лабораторијски прототип
3. Аутори: Бенишек М., Недељковић М., Чантрак Ђ., Илић Д., Божић И., **Ивљанин Б.**
Година решења: 2004.
Наслов: Хидраулички облик лопатица спроводног апарата модела цевне турбине
Опис: Одређен је дефинитивни облик лопатица спроводног апарата модела Цевне
турбине које ће обезбедити наструјавање обртног кола.
Реализатори: Машински факултет у Београду
Корисник: Лола систем, ГОША ФОМ
Подтип решења: Лабораторијски прототип
4. Аутори: Бенишек М., Недељковић М., Чантрак Ђ., Илић Д., Божић И., **Ивљанин Б.**
Година решења: 2004.
Наслов: Хидраулички облик лопатица спроводног апарата модела цевне турбине
Опис: Одређен је дефинитивни облик лопатица спроводног апарата модела Цевне
турбине које ће обезбедити наструјавање обртног кола.
Реализатори: Машински факултет у Београду
Корисник: Лола систем, ГОША ФОМ
Подтип решења: Лабораторијски прототип
5. Аутори: Бенишек М., Арсић М., Алексић В., Игњатовић Б., Чантрак Ђ., Илић Д.,
Божић И., **Ивљанин Б.**
Година решења: 2004.
Наслов: Радионичка документација за израду модела цевне турбине
Опис: Сачињена је сва потребна радионичка документација за израду модела Цевне
турбине.
Реализатори: Машински факултет у Београду
Корисник: Машински факултет у Београду
Подтип решења: Лабораторијски прототип

6. Аутори: Бенишек М., Чантрак Ђ., Илић Д., Недељковић М., Божић И., **Ивљанин Б.**
Година решења: 2004.
Наслов: Хидраулички облик проточног тракта Банки турбине,
Опис: Границе струјног простора Банки турбине су утврђене тако да се добијају мали хидраулички губици. Лопатица спроводног апарата је смештена и обликована тако да се добијају што мањи губици приликом рада турбине у широком дијапазону протока
Реализатор: Машински факултет у Београду
Корисник: Лола систем, ГОША ФОМ
Подтип решења: Индустијски прототип
7. Аутори: Илић Д., Недељковић М., Бенишек М., Божић И., **Ивљанин Б.**, Чантрак Ђ.
Година решења: 2004.
Наслов: Радионичка документација за израду опитног постројења
Опис: Сачињена је сва потребна радионичка документација за израду опитног постројења.
Реализатор: Машински факултет у Београду
Корисник: Машински факултет у Београду
Подтип решења: Ново лабораторијско постројење
8. Аутори: Бенишек М., Игњатовић Б., Илић Д., Росић Б., **Ивљанин Б.**, Недељковић М., Чантрак Ђ.
Година решења: 2004.
Наслов: Модел Банки турбине
Опис: Пројектован је модел Банки турбине који ће бити испитан у лабораторији Машинског факултета у Београду. Предвиђа се да ће по својим перформансама освојени облик Банки турбине достићи висок степен корисности.
Реализатор: Машински факултет у Београду
Корисник: Лола систем, ГОША ФОМ
Подтип решења: Лабораторијски прототип
9. Аутори: Бенишек М., Илић Д., **Ивљанин Б.**, Божић И., Недељковић М., Чантрак Ђ.
Година решења: 2004.
Наслов: Инсталација за баждарење протокомера запреминском методом
Опис: Пројектовано је и израђено модерно постројење (које одговара стандардима ISO) за баждарење протокомера.
Реализатор: Машински факултет у Београду
Корисник: Машински факултет у Београду
Подтип решења: Ново лабораторијско постројење
10. Аутори: Бенишек М., **Ивљанин Б.**, Недељковић М., Чантрак Ђ., Илић Д., Божић И.
Година решења: 2004.
Наслов: Опитно постројење за испитивање Банки турбина
Опис: Опитно постројење је пројектовано и изведено у лабораторији Машинског факултета и поседује све могућности за испитивање Банки турбина максималних протока до 100 l/s и падова до 35 m.
Реализатор: Машински факултет у Београду
Корисник: Машински факултет у Београду
Подтип решења: Ново лабораторијско постројење

11. Аутори: Недељковић М., Чантрак Ђ., Бенишек М., Божић И., Илић Д., **Ивљанин Б.**
Година решења: 2005.
Наслов: Лабораторијско постројење за испитивање модела Банки турбина
Опис: Адаптирано лабораторијско постројење користи се за испитивање универзалних карактеристика Банки турбина. Адаптиран је део постројења који се односи на монтирање и испитивање модела Банки турбине пречника 140 mm.
Техничке карактеристике: Постојење омогућује промену протока од 10-200 l/s и падове до 35 m.
Реализатор: Машински факултет у Београду
Корисник: Машински факултет у Београду
Подтип решења: Побољшано лабораторијско постројење
12. Аутори: Бенишек М., Чантрак Ђ., Божић И., Илић Д., **Ивљанин Б.**, Недељковић М.
Година решења: 2005.
Наслов: Лабораторијски модел Банки турбине пречника 300 mm
Опис: Модел је намењен за испитивање универзалних карактеристика Банки турбине обухватних углова 90 и 120 степени. Модел се уграђује у адаптирано опитно постројење са могућношћу испитивања пумпним погоном и слободним падом.
Техничке карактеристике: Модел је пречника 300 mm са обухватним угловима 90 и 120 степени и могућношћу мерења свих потребних хидрауличких и моментних карактеристика.
Реализатор: Машински факултет у Београду
Корисник: Машински факултет у Београду
Подтип решења: Лабораторијски прототип
13. Аутори: Бенишек М., Недељковић М., Чантрак Ђ., Божић И., Илић Д., **Ивљанин Б.**
Година решења: 2005.
Наслов: Лабораторијско-моделско испитивање Банки турбине
Опис: На основу развијеног поступка испитивања извршено је одређивање универзалних карактеристика Банки турбине.
Реализатор: Машински факултет у Београду
Корисник: Машински факултет у Београду
Подтип решења: Побољшано лабораторијско постројење

1.3.5 Учесће у научним пројектима

- ✓ "Савремени проблеми механике флуида" – Основна истраживања математика и механика, руков. пројекта: проф.др Милош Павловић, Пројекат МНТР 1328, 2003-2005.
- ✓ "Мале хидроелектране са Банки турбинама за производњу електричне енергије и директне везе са пумпним системима" - (Пројекат у оквиру "Националног програма енергетске ефикасности", руков. пројекта: проф.др Мирослав Бенишек, Пројекат МНЗЖС ЕЕ 271019), 2003-2006. Фаза пројекта 2: Одређивање сила и момената који делују на спроводни апарат и обртно коло Банки турбине у зависности од пада и протока, јун 2004. Фаза пројекта: 3. Пројектовање и израда потребне документације за адаптацију лабораторијског постројења за испитивање Банки турбине, октобар 2004. године.
- ✓ "Мале хидроелектране са цевним турбинама за производњу електричне енергије и директне везе са пумпним системима" - (Пројекат у оквиру "Националног програма енергетске ефикасности" - руков. пројекта: проф.др Милош Недељковић, Пројекат МНЗЖС ЕЕ 271020), 2003-2006. Фаза пројекта 1: Истраживање и освајање оптималног облика проточног тракта и лопатица

спроводног апарата и обртног кола модела цевне турбине. Избор пречника обртног кола модела цевне турбине, које ће бити уграђено у опитно постројење за испитивање турбина водом, јули 2004.год. Фаза пројекта 2: Пројектовање и израда потребне документације модела цевне турбине и турбинског регулатора. Радионичка документација за израду модела цевне турбине пречника обртног кола $D_1=0,280m$ (без лопатица обртног кола и спроводног апарата), децембар 2004. године.

- ✓ "Рационализација потрошње воде у водоводним системима" - Национални програм вода, руков. пројекта: др. Душан Продановић, доцент, Пројекат МНЗЖС НПВ-35А, 2004-2007.

1.3.6 Студије

1. Гајић А., Недељковић М., Пејовић С., Дубоњић Р., Божић И., Чантрак Ђ., Ћоћић А., **Ивљанин Б.**, Рајић Р., Босанац Н., Гордић Р., Ћушић М.: "Повећање поузданости и расположивости хидроагрегата и његове ефикасности" (Студија у оквиру "Националног програма енергетске ефикасности", МНТР - евиденциони број пројекта: ЕЕ108- 179А), 2004.

1.3.7 Ауторизовани елаборати, експертизе и други документи ограничене циркулације

1. Гајић А., **Ивљанин Б.**, Капор Р., Остојић С., Предић З. и др., „Испитивање прелазних режима ХЕ Перућица“, Машински факултет, Институт за водопривреду „Јарослав Черни“ - Завод за хидраулику, РР А.Р. Company d.o.o, Београд, 2001.
2. Гајић А., **Ивљанин Б.**, Капор Р., Остојић С., Предић З. и др., „Испитивање хидрауличких губитака у доводним органима ХЕ Врла Г“, Машински факултет, Институт за водопривреду „Јарослав Черни“ - Завод за хидраулику, РР А.Р. Company d.o.o, Београд, 2001.

2. НАУЧНА ЗАСНОВАНOST ТЕЗЕ

2.1 Предмет истраживања

Истраживања у области повратног хидрауличног удара код хидроелектрана, нарочито са турбинама Каплановог типа, са релативно дугачким одводним органима, каквих је доста уграђено у хидроелектранама широм света, веома су значајна и увек актуелна. Као и код свих других прелазних режима у хидроелектранама, феноменолошки, реч је о изразито нелинеарним и веома динамичним процесима.

Резултати оваквих истраживања омогућавају повећање сигурности експлоатације постројења и агрегата, изналажење решења и препорука усмерених ка превенцији настанка повратног хидрауличног удара или ублажавању негативног дејства на склопове агрегата и објекте постројења. Такође, ти резултати се могу у значајној мери искористити и за усвајање рационалних вредности битних пројектних параметара постројења (нпр. кота прага доње ваде, минимална радна кота у акумулацији и сл.), које имају директан утицај на инвестиционе показатеље објекта и/или параметре економичности експлоатације (утрошак воде по јединици произведене енергије $-m^3/kWh$ - и сл).

Током низа деценија, са акумулирањем искустава у конструисању, производњи и експлоатацији турбина Каплановог типа, запажена је јасна тенденција за повећањем како јединичне инсталисане снаге агрегата тако и габаритних димензија склопова турбина (радног кола), са крајњим циљевима:

- а) снижења инвестиционих трошкова за објекте и опрему, и

- б) побољшања техничко-технолошких показатеља електроенергетских система у којима раде хидроелектране (веће расположиве ротирајуће резерве, веће замајне масе и сл.).

Међутим, развој хидротурбина у таквом смеру неминовно је довео и до повећања опасности од повратног хидрауличног удара. Стога се наметнула објективна потреба за усавршавањем постојећих и развојем нових техника за анализу, а нарочито техника за нумеричке симулације предметних прелазних режима.

У досадашњој светској хидроенергетској пракси регистрован је изванредно мали број хаварија узрокованих повратним хидрауличким ударом, али је обим теоријских, практичних и нумеричких истраживања (о којима ће бити презентован одговарајући осврт у дисертацији), релативно велики због њиховог практичног техничког значаја.

Ипак, феномени који се појављују при повратном хидрауличком удару нису до краја, у свим сегментима, теоријски расветљени, а тиме ни комплетно нумерички моделирани - утицај кавитације на брзину простирања поремећаја, на моду еластичности двокомпонентне мешавине, утицај аерације у зони око радног кола на локалну релаксацију потпритиска, пропагацију тих повољних ефеката за случај ситне (мехурасте), крупне (јастучасте) или комбиноване аерације.

При прелазним режимима заустављања агрегата хидроелектране могући су следећи случајеви:

- 1) нормално (споро, планско) заустављање агрегата ради скидања са мреже сходно диспечерским захтевима за смањењем радне снаге хидроелектране,
- 2) брзо затварање агрегата (са потпуним заустављањем уз скидање са мреже или само са довођењем на режим празног хода уз остајање на мрежи) која у свеобухватној консталацији радних параметара постројења и радних параметара процеса затварања агрегата не доводе до исхода хаварије на постројењу или опреми, и
- 3) брза затварања агрегата која у свеобухватној консталацији радних параметара постројења и радних параметара процеса затварања агрегата могу да доведу до оштећења или хаварије на постројењу или опреми (појава повратног хидрауличног удара и/или издицање ротора агрегата).

Предмет тезе су комплексна истраживања прелазних режима са исходом хаварије на постројењу или опреми.

На изабраном хидроенергетском постројењу обавиће се експериментална истраживања нормалних прелазних режима као што су испад агрегата на празан ход, брзо заустављање агрегата са затварањем спроводног апарата и сл. Добијени резултати излазних величина попут притиска у спирали (p_{sp}), притиска у сифону (p_{sifon}), аксијалне силе (F_a) и брзине обртања (n), биће упоређени са прорачунским за потребе верификације развијеног нумеричког модела и његових модула. Утврдиће се и ниво слагања резултата поменутих величина. При верификацији модела биће вршено поређење, до остваривања потребне сагласности, нумеричких међурезултата са експерименталним резултатима. Извршиће се анализа осетљивости појединих коефицијената на резултате прорачуна, као што су коефицијенти локалних губитака у вишесегментном колену са променом геометријске форме са кружног попречног пресека на правоугаони попречни пресек, губитака у нишама улазног затварача и сифонског затварача, разделног стуба сифона, коефицијента отпора и пропусне моћи аероventила и др.

Како су предметна истраживања интердисциплинарна, биће извршено обједињавање теоријских основа, техника нумеричких симулација и нумеричко-експериментално добијених налаза.

2.2 Научни циљ дисертације

Постављени научни циљеви, обзиром на евидентну усмереност на примењени аспект научно-истраживачког рада су:

1. Формулисати нови математички модел нестационарног двофазног струјања приликом повратног хидрауличног удара код Капланових турбина. Модел треба да обухвати деловање турбинског регулатора, нестационарно струјање мешавине воде, паре и ваздуха у проточном систему, и одговарајуће радне карактеристике турбине, а да узме у обзир феномен кидања воденог стуба, као и зависност простирања таласа притиска од удела гасне фазе у мешавини, брзину генерисања гасне фазе, пропагацију разделне површине течности и гаса, и друге пратеће ефекте од значаја за динамику и предвиђање услова настанка и интензитета повратног хидрауличног удара.

2. Експериментално проверити математички модел спровођењем мерења на одговарајућем објекту уз динамичку анализу мерних сигнала, као и физичку оправданост постављања мерних инструмената на одређеним местима ради пуне оправданости коришћења измерених вредности за моделирање очекиваних феномена.

3. Формулисати показатеље (било димензијске, било бездимензијске, а у сваком случају показатеље који су комбинација меродавних физичких величина, нпр. потопљеност радног кола котом доње воде, инерција одводних органа, временска константа инерције ротора агрегата, разни показатељи трајања ходова регулационих органа, и сл.) у форми било табличних, било дијаграмских, под чијим утицајем:

- настаје, и
- неповољно прогресира

повратни хидраулички удар.

4. Формулисати техно-економски рационалне вредности коефицијената сигурности за изванредан број релевантних показатеља предметних прелазних процеса. Ти показатељи могу бити следећи:

- резерва статичког притиска у тачкама проточног тракта у којима може да дође до иницијализације раскидања воденог стуба (нпр. дати одговор да ли је рационално усвојити резерву од 1, 1.5 или 3 mVS, обзиром да се таква резерва може реализовати на различите начине – путем повећања пролазног повишења брзине обртања и њеног трајања, путем потапања машинске зграде, путем издизања коте дна доње ваде и сл., при чему свака од мера има своје техно-економске импликације; а све у зависности од тога са колико прецизном методологијом је анализа неког аналитичара обављена. Такође ће се анализирати и промена вредности глобалних хидрауличких показатеља проточног тракта (релевантна времена инерције водених маса) и механичких показатеља агрегата (константа механичке инерције) у зависности од тога које ремедијалне мере су предвиђене за примену (закретање лопатица радног кола са или без дејства уређаја за аерацију око радног кола и сл.);

- вредности максималног пролазног повећања брзине агрегата (изнуђене, тј. изнад оних које би се евентуално могле добити у случају да постројење није подложно овом повећању, те да се не мора уједно штитити и од повратног хидрауличног удара);

- резерва у нагибу праве главног хода закона затварања спроводног апарата;

- резерва у разлици силе теже ротирајућих склопова агрегата и контрааксијалне силе.

5. Формирати методолошки приступ комплексном изучавању предметне проблематике, тј. систематизовати:

- Обим улазних података који се морају обавезно обезбедити пре започињања анализа, као и дати класификацију истих у погледу:

- неприкосновености као таквих (режими кота горњих и доњих вода, стационарни режими пре почетка прелазних режима и сл.),
- оних који се могу, у случају евентуалних недостатака, разумно претпоставити, супституисати другим типичним вредностима, те као такви квалификовати за обавезне у анализама осетљивости (коефицијенти хидрауличких губитака разних елемената, закони промене ходова регулационих органа и сл.);
- Минимални обим радних режима постројења која треба да буду обухваћена анализама, те укључена у обим симулација:
 - режими кота доњих и горњих вода,
 - режими протока и снага агрегата,
 - режими затварања регулационих органа (затварање само спроводног апарата, односно затварање спроводног апарата уз закретање лопатица радног кола),
 - режими рада аерационих уређаја радног кола,(у случају примене истих)
 - режими затварања интервентних затварача,(у случају примене истих).
- Минимални обим излазних резултата.

2.3 Основне хипотезе у истраживању

Основна хипотеза је да јесте могуће формулисати показатеље (било бездимензијске, било димензијске, који су одговарајућа комбинација разних меродавних физичких величина), који би се искористили као свеобухватни, довољни и релевантни за оцену да ли је неки прелазни режим испада подложен еволуирању у повратни хидраулички удар код нископадних електрана.

При решавању задатка узео се у обзир:

- хидрауличке карактеристике проточног система,
- пропелерне карактеристике турбина Каплановог типа као турбина са двојном регулацијом,
- карактеристике одзива и преносне функције турбинског регулатора,
- закон затварања спроводног апарата и закон закретања лопатица радног кола као и могућност њиховог одступања од усвојених закона.

Истраживања се заснивају на основним постулатима механике флуида, при чему ће истраживане појаве у дисертацији узети у обзир и својства реалног флуида. Радни флуид је вода која се у предвиђеним истраживањима понаша као Њутновски флуид.

2.4 Методе истраживања које ће бити примењене

Методе које ће бити примењене предодређене су природом и комплексношћу предметне изучаване проблематике.

Експериментална истраживања биће спроведена само за нормалне прелазне режими који не угрожавају сигурноста рада хидроелектране. За случај ненормалних и хаваријских прелазних режима, што је случај у многим техничким дисциплинама код којих је непосредни физички експеримент или немогућ, или непрактичан, или небезбедан или се односи на нешто што тек треба направити или створити извршиће се само нумеричка истраживања са претходно верификованим математичким моделом.

Начин имплементације биће кроз:

- планске симулације нехаваријских прелазних режима са затварањем регулационих органа и
- планске симулације хаваријских прелазних режима са затварањем регулационих органа,

за разне консталације режима постројења:

- коте горње и коте доње воде,
- стационарне режиме агрегата пре испада са мреже (нормални радни опсег са високим и ниским радним протоком, режим празног хода),
- режиме рада регулационих и заштитних органа (затварање само спроводног апарата – угао лопатица радног кола је непромењив; затварање спроводног апарата уз закретање лопатица радног кола, са или без интервенције интервентног затварача),
- режиме рада са затварањем предтурбинског затварача,
- прелазне режиме из неуобичајених стационарних стања (ротирајућа резерва, режими синхроних компензатора и др.) и
- режиме експлоатације ремедијалних органа (аерациони вентили на поклопцу или у сифону турбине, при разним сетовањима њихових радних карактеристика – притисак активације, проточна моћ ваздуха, коефицијент пригушења).

Обрада резултата ће бити обављена кроз систематизацију и коришћење генерисаних нумеричких излазних величина.

За потребе илустрације прегледа метода, оне су овом приликом груписане како следи:

1. Опште: пост-фестум анализе већ одиграних хаварија на хидроенергетским постројењима за које буду прикупљени свеобухватни резултати, са обрадом резултата:
 - за потребе и на начин примерен за употребу у моделу који буде развијен,
 - за потребе и на начин примерен имплементирању кроз ново формиране меродавне показатеље прелазних режима (који ће бити успостављени у предметној дисертацији).
2. Хидротехничке: подаци из извештаја са моделских испитивања биће коришћени као улазни подаци (првенствено пропелерне криве) за математички модел.
3. Нумеричке: биће коришћене разне технике и методе нумеричке математике, а према потреби решавања и природи предметних физичких феномена; процена је да ће се појавити потреба најмање за следећим:
 - нумеричко решавање система нелинеарних једначина (неки од прикладних итеративних поступака, нпр. Њутн-Рафсон-ов),
 - технике линеаризације нелинеарних диференцијалних једначина и система диференцијалних једначина,
 - технике 2D интерполације улазних података за пропелерне криве,
 - нумеричко решавање дводимензијских једначина нестационарног струјања дуж проточног тракта методом карактеристика;
 - по потреби, биће употребљене и друге технике, нпр. Фуријеова анализа за обраду улазних података са расположивих постројења–временски одзиви карактеристичних величина (притисци у релевантним тачкама, итд).

2.5 Очекивани научни допринос

Очекивани научни допринос обухвата:

- Развој математичког модела за предвиђање прелазних процеса агрегата, са обухваћеним деловањем турбинског регулатора, нестационарним струјањем воде или двофазне мешавине воде, паре и ваздуха, у проточном систему и обухваћеним одговарајућим радним карактеристикама турбине;

- С обзиром да при повратном хидрауличком удару може доћи до кидања воденог стуба, праћеног наглим падом притиска, испаравањем воде, издвајањем у води раствореног ваздуха или усисавањем ваздуха из околне атмосфере, посебан допринос се предвиђа у области развоја аналитичког и нумеричког модела за предвиђање нестационарног струјања двофазне мешавине и појаве хидрауличког удара у средини двофазног флуида и одговарајуће структуре опреме. Моделом ће се обухватити зависност простирања таласа притиска од удела гасне фазе у мешавини, брзина генерисања гасне фазе, пропација разделне површине течности и гаса и други пратећи ефекти од значаја за динамику и предвиђање услова настанка и интензитета повратног хидрауличког удара;
- Суштинско продубљивање сазнања, бројним нумеричким симулацијама, о међусобним утицајима меродавних показатеља и последичним утицајима на проистичуће временске промене појединих величина током предметних прелазних режима;
- Одређивање специфичних критеријума за оцену да ли су неки могући прелазни радни режими постројења и опреме угрожени од тога да прерасту у повратни хидраулички удар, и одговарајућих препорука за превенцију повратног хидрауличког удара, односно за његово ублажавање уколико до истог на постројењу и дође.

Као такви горе наведени критеријуми и препоруке могу да представљају битну помоћ пројектантима нових постројења која могу бити подложна повратном хидрауличком удару (тј. инвеститорима - уштеде на неким пројектним решењима било инвестиционе било експлоатационе). Такође исти могу бити и од користи конструкторима (аутоматичарима и комисионом особљу), као и експлоатационом особљу електропривреда које газдују постојећим електранама подложним повратном хидрауличком удару у овом моменту или у условима након ревитализација (са повећањем снага агрегата).

Постојећи математички модели који се користе у домаћој хидроенергетској пракси биће усавршени тако да обухвате и ефекте кавитације и аерације у зони око радног кола.

3. ПЛАН ИСТРАЖИВАЊА И СТРУКТУРА РАДА

3.1 Приказ планиране технологије рада на дисертацији

У оквиру дисертације која се односи на истраживање двофазног струјања при повратном хидрауличком удару потребно је извршити експериментална и теоријска истраживања која треба да доведу до остваривања очекиваних научних доприноса. План истраживања састоји се од следећих фаза:

- преглед и систематизација података из релевантних извора литературе;
- методе, циљеви и хипотезе истраживања;
- поставка и дефинисање математичког модела;
- формирање протокола за извођење експеримента;
- извођење експеримента;
- обрада и анализа експерименталних резултата;
- тестирање и експериментална верификација развијеног модела;
- анализа и дискусија добијених резултата;
- извођење закључака и
- предлог будућих истраживања у области.

3.2 Преглед поглавља која се планирају

Основна структура предложене докторске дисертације начелно обухвата следеће:

1. Уводна разматрања
2. Формирање математичког модела нестационарног двофазног струјања приликом повратног хидрауличног удара код Капланових турбина
3. Израда нумеричког програма
4. Експериментална верификација и валидација математичког модела и одговарајућег компјутерског програма
5. Анализа утицаја радних карактеристика Капланових турбина на повратни хидраулички удар
6. Закључна разматрања и предлог будућих истраживања
7. Прилози
8. Списак коришћене литературе.

4. ЗАКЉУЧАК И ПРЕДЛОГ

На основу пријаве за израду докторске дисертације мр Бојана Ивљанина, дипл.маш.инж., под радним насловом **ДВОФАЗНО СТРУЈАЊЕ ПРИ ПОВРАТНОМ ХИДРАУЛИЧКОМ УДАРУ** и достављеног материјала, број 2953/1 од 29.11.2011. године, Комисија за оцену испуњености услова кандидата и научне заснованости теме докторске дисертације констатује:

- кандидат испуњава законске услове за израду докторске дисертације,
- предложена тема је актуелна и значајна и може бити предмет докторске дисертације,
- тема је из научне области машинства.

Комисија предлаже наставно-научном већу Машинског факултета Универзитета у Београду да кандидату **мр Бојану Ивљанину**, дипл.маш.инж. одобри израду докторске дисертације под наведеним радним насловом.

За ментора ове докторске дисертације предлаже се др Владимир Стевановић, ред.проф.

У Београду, 18.01.2012.год.

Чланови Комисије

др Владимир Стевановић, ред.проф.

др Александар Гајић, ред.проф.

др Никола Рајаковић, ред.проф.
Електротехнички факултет, Београд

Додатак уз образац 1.

ПОДАЦИ О МЕНТОРУ

за кандидата **мр Бојан Ивљанин, дипл.маш.инж.**

Име и презиме ментора: **др Владимир Стевановић, дипл.маш.инж.**

Звање: **редовни професор**

Списак радова који квалификују ментора за вођење докторске дисертације:

1. **Stevanovic, V.**, Gajic, A., Savic, Lj., Kuzmanovic, V., Arnautovic, D., Dasic, T., Maslovaric, B., Prica, S., Milovanovic, B., Hydro energy potential of cooling water at the thermal power plant, Applied Energy, Vol. 88, No. 111, (2011), pp. 4005-4013. **(ISSN 0306-2619; IF 3,915)**.
2. **Stevanovic, V.**, Zivkovic, B., Prica, S., Maslovaric, B., Karamarkovic, V., Trkulja, V., Prediction of thermal transients in district heating systems, Energy Conversion and Management, Vol. 50, No. 9, (2009), pp. 2167-2173. **(ISSN 0196-8904; IF 1,944)**.
3. **Stevanovic, V.**, Prica, S., Maslovaric, B., Zivkovic, B., Nikodijevic, S., Efficient numerical method for district heating system hydraulics, Energy Conversion and Management, Vol. 48, No. 5, (2007), pp. 1536-1543. **(ISSN 0196-8904; IF 1,180)**.
4. **Stevanovic, V.**, Stosic, Z., Stoll, U., Condensation induced non-condensables accumulation in a non-vented vertical pipe, International Journal of Heat and Mass Transfer, Vol. 48, No. 1, (2005), pp. 83-103. **(ISSN 0017-9310; IF 1,347)**.
5. **Stevanovic, V.**, Jovanovic, Z., A hybrid method for the numerical prediction of enthalpy transport in fluid flow, International Communications in Heat and Mass Transfer, Vol. 27, No. 1, (2000), pp. 23-34. **(ISSN 0735-1933; IF 0,293)**.

Заокружити одговарајућу опцију (А, Б, В или Г):

А) У случају менторства дисертације на докторским студијама у групацији техничко-технолошких, природно-математичких и медицинских наука ментор треба да има најмање три рада са SCI, SSCI, AHCI или SCIE листе, као и Math-Net.Ru листе.

Б) У случају менторства дисертације на докторским студијама у групацији друштвено-хуманистичких наука ментор треба да има најмање три рада са релевантне листе научних часописа (Релевантна листа научних часописа обухвата SCI, SSCI, AHCI и SCIE листе, као и ERIH листу, листу часописа које је Министарство за науку класификовало као M24 и додатну листу часописа коју ће, на предлог универзитета, донети Национални савет за високо образовање. Посебно се вреднују и монографије које Министарство науке класификује као M11, M12, M13, M14, M41 и M51.)

В) У случају израде докторске дисертације према ранијим прописима за кандидате који су стекли академски назив магистра наука ментор треба да има пет радова (референци) које га, по оцени Већа научних области, квалификују за ментора односне дисертације.

Г) У случају да у ужој научној области нема квалификованих наставника, приложити одлуку Већа докторских студија о именовању редовног професора за ментора.

ДЕКАН ФАКУЛТЕТА

Датум 19.01.2012. год.

М.П.
