

Факултет МАШИНСКИ

УНИВЕРЗИТЕТ У БЕОГРАДУ

1507/4
(Број захтева)Већу научних области техничких наука
(Назив стручног већа коме се захтев упућује, сагласно
Члану 6. и чл. 7 став 1. овог Правилника)12.07.2018.
(Датум)

З А Х Т Е В
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

ОПТИМИЗАЦИЈА ИНТЕГРАЛНЕ AI-2024 РАМЕЊАЧЕ КРИЛА НА БАЗИ ПРОЦЕНЕ ВЕКА ПОД ЗАМОРОМ (OPTIMIZATION OF AI-2024 INTEGRAL WING SPAR BASED ON ESTIMATED FATIGUE LIFE)
(пун назив предложене теме докторске дисертације)

НАУЧНА ОБЛАСТ Ваздухопловство

ПОДАЦИ О КАНДИДАТУ:

1. Име, име једног родитеља и презиме кандидата: KHALID AHMED ELDWAIBI2. Назив и седиште Факултета на коме је стекао високо образовање: Технички факултет Бенгази,
Либија3. Година дипломирања: 1993.

4. Назив магистарске тезе кандидата: _____

5. Назив Факултета на коме је магистарска теза одбрањена: _____

6. Година одбране магистарске тезе: _____

7. Назив Факултета на коме је кандидат уписао докторске студије: Машински факултет Београд

Одсек, смер или група: _____ / _____

Година уписа докторских студија: 2014.Обавештавамо Вас да је _____ Наставно-научно веће Факултета
(назив надлежног тела Факултета)на седници одржаној 12.07.2018.

размотрило предложену тему и закључило да је тема подобна за израду докторске дисертације.

ДЕКАН
МАШИНСКОГ ФАКУЛТЕТА

Проф.др Радивоје Митровић

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: 1507/4
Датум: 12.07.2018. године
Београд, Краљице Марије 16

На основу захтева студента **Khalid Ahmed Eldwaib**, маст. инж. маш., бр. 1507/1 од 13.06.2018. године да му се одобри израда докторске дисертације, реферата Комисије у саставу: др Александар Грбовић, ванр. проф., др Александар Седмак, ред. проф., др Драган Милковић, ванр. проф., др Данило Петрашиновић, ванр. проф. и др Гордана Кастратовић, ванр. проф., Саобраћајни факултет Београд, број 1507/3 од 09.07.2018. године, а 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 факултетета (број 1876/1 од 04.10.2013. године) и члана 30. Правилника о докторским студијама Машинског факултета, Наставно-научно веће Машинског факултета на седници од 12.07.2018. године, донело је следећу

ОДЛУКУ

Прихвата се научна заснованост теме докторске дисертације и констатује да студент **KHALID AHMED ELDWAIB**, маст. инж. маш. испуњава услове за израду докторске дисертације **«ОПТИМИЗАЦИЈА ИНТЕГРАЛНЕ AI-2024 РАМЕЊАЧЕ КРИЛА НА БАЗИ ПРОЦЕНЕ БЕКА ПОД ЗАМОРОМ (OPTIMIZATION OF AI-2024 INTEGRAL WING SPAR BASED ON ESTIMATED FATIGUE LIFE)»**.

За ментора студенту **KHALID AHMED ELDWAIB**, именује се др **Александар Грбовић, ванр.проф.**

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

ДЕКАН
МАШИНСКОГ ФАКУЛТЕТА

проф. др Радивоје Митровић

ВЕЋУ ДОКТОРСКИХ СТУДИЈА

Предмет: Подобност теме и кандидата Калида Ахмеда Елдвејба (Khalid Ahmed Eldwaib),
маст. инж. маш. за израду докторске дисертације

Одлуком Научно-наставног већа Машинског факултета Универзитета у Београду бр. 1507/2 од 28.06.2018. године, именовани смо за чланове Комисије за оцену подобности теме и кандидата **Калида Ахмеда Елдвејба** (Khalid Ahmed Eldwaib), маст. инж. маш. за израду докторске дисертације и научне заснованости теме **„Оптимизација интегралне АI-2024 рамењаче крила на бази процене века под замором“** (*„Optimization of AI-2024 Integral Wing Spar Based On Estimated Fatigue Life“*).

На основу материјала приложеног уз Захтев кандидата, Комисија подноси следећи

РЕФЕРАТ

1. Подаци о кандидату

1.1. Биографски подаци

Калид Ахмед Елдвејб (Khalid Ahmed Eldwaib) рођен је 01.09.1970. у Мисурати (Misurata) у Либији, где је завршио основну и средњу школу у периоду 1976-1988.

Школске 1988/89 уписао је, а 1993. године завршио основне академске студије на *Техничком факултету Универзитета у Бенгазију, Либија (Faculty of Engineering, University of Benghazi)*. Мастер студије уписује 2004. на Табин институту за металуршке студије у Каиру, Египат (Tabbin Institute For Metallurgical Studies - TIMS), које успешно завршава 2008. године.

Докторске студије на Машинском факултету Универзитета у Београду уписује школске 2014/2015 године где полаже све испите предвиђене Планом усавршавања. На основу научно-истраживачког рада током докторских студија објављује 2 рада: рад у међународном часопису (категорија M23) и рад у часопису међународног значаја верификованим посебном одлуком (M24).

Калид Ахмед Елдвејб поседује вишегодишње радно искуство. У периоду од 2000. године до 2009. године био је запослен као машински инжењер у *High Institute For Comprehensive Professions*, Мисурата - Либија. Од 2009. запослен је као предавач на одсеку за материјале

на Техничком факултету Мисурата Универзитета у Либији (Engineering Faculty, Misurata University, Misurata, Libya), где и данас ради. Ожењен је и отац је петоро деце.

1.2. Сечено научноистраживачко искуство

Кандидат Калид Ахмед Елдвејб (Khalid Ahmed Eldwaib) уписао је прву годину Докторских студија на Машинском факултету Универзитета у Београду школске 2014/15 године, да би већ наредне школске године уписао другу годину студија. У складу са Планом усавршавања положио је следеће испите:

Р. бр.	Назив предмета	Предметни наставник	Оцена
1	Изабрана поглавља механике флуида	Проф. Др Зоран Стефановић	9 (девет)
2	Интегритет конструкција	Проф. Др Александар Седмак	10 (десет)
3	Основе механике лома	Проф. Др Александар Седмак	10 (десет)
4	Напредно пројектовање помоћу рачунара	Проф. Др Александар Грбовић	9 (девет)
5	Примена механике лома на интегритет конструкција	Проф. Др Александар Седмак	10 (десет)
6	Планирање, спровођење и контрола пројеката	Проф. Др Бојан Бабић	10 (десет)
7	Статистичка контрола процеса	Проф. Др Бојан Бабић	9 (девет)
8	Напредна механика лома	Проф. Др Александар Седмак	10 (десет)
9	Метода коначних елемената у примени	Проф. Др Александар Грбовић	9 (девет)
10	Истраживање и публикување 1	Проф. Др Игор Балаћ	10 (десет)
11	Истраживање и публикување 2	Проф. Др Игор Балаћ	10 (десет)
12	Истраживање и публикување 3	Проф. Др Зоран Радаковић	10 (десет)
13	Истраживање и публикување 4	Проф. Др Игор Балаћ	10 (десет)
14	Пројекат идеје докторске дисертације	Проф. Др Александар Грбовић	10 (десет)

Током Докторских студија кандидат Калид Ахмед Елдвејб (Khalid Ahmed Eldwaib) је положио 9 изборних предмета од којих сваки вреди по 5 ЕСПБ, чиме је стекао **45 ЕСПБ**. Пројекат идеје докторске дисертације одбранио је пред Комисијом у саставу: проф. др Александар Грбовић – потенцијални ментор, проф. др Александар Седмак, проф. др Драган Милковић, проф. др Данило Петрашиновић и проф. др Гордана Кастратовић, Саобраћајни факултет, Универзитета у Београду, чиме је стекао још **22 ЕСПБ**. Поред тога, истраживачким радом евалуираним кроз предмете Истраживање и публикување 1-4 кандидат је стекао још **53 ЕСПБ**, тако да је, у складу са правилником о докторским студијама

Машинског факултета Универзитета у Београду, Кандидат Калид Ахмед Елдвејб (Khalid Ahmed Eldwaib) остварио укупно **120 ЕСПБ** уз просечну оцену од 9,71.

Као резултат истраживања, кандидат је објавио 2 рада у часописима:

1. Рад у међународном часопису (M23)

Khalid Ahmed Eldwaib, Aleksandar Grbović, Aleksandar Sedmak, Gordana Kastratović, Danilo Petrasinović, Simon Sedmak: FATIGUE LIFE ESTIMATION OF DAMAGED INTEGRAL WING SPAR USING XFEM, Technical Gazette, Vol. 25, No. 6, DOI Number 10.17559/TV-20171007105350.

2. Рад у часопису међународног значаја верификованим посебном одлуком (M24)

Khalid Ahmed Eldwaib, Aleksandar Grbović, Gordana Kastratović, Dorin Radu, Simon Sedmak: FATIGUE LIFE ESTIMATION OF CCT SPECIMEN USING XFEM, Structural Integrity and Life, Vol.17, No.2, 2017, pp.151–156, ISSN 1451-3749.

1.3. Оцена подобности кандидата за рад на предложеној теми

Током својих досадашњих истраживачких активности Калид Ахмед Елдвејб (Khalid Ahmed Eldwaib), маг. инж. маш. је испољио нарочиту склоност и велико интересовање за научно истраживачки рад. Научни радови публиковани у међународним часописима указују на смисао кандидата за бављење теоријским и експерименталним истраживањима.

Досадашња истраживања и објављени радови кандидата припадају ужој научној области ваздухопловство и то проблематици замора ваздухопловних конструкција, и у потпуности су повезани са научном облашћу којој припада предложена тема докторске дисертације.

Досадашњи рад и истраживања, као и исказани смисао за научно истраживачки рад квалификују кандидата Калида Ахмеда Елдвејба (Khalid Ahmed Eldwaib) за успешан и ефикасан самосталан рад на предложеној докторској дисертацији.

2. Предмет и циљ истраживања

Историја конструкција различитих намена, од бројних типова једноставних и сложених машина, преко заварених конструкција, возила, бродова, возова, па све до најмодернијих ваздухоплова и свемирских летелица, обележена је отказима који су били последица појаве оштећења услед замора. У многим од тих случајева радило се о катастрофалним отказима, као што су експлозије судова под притиском, рушење мостова услед лома носећих елемената, губитак летелица праћен људским жртвама и сл., па је замор још давно препознат као веома значајан проблем, и са аспекта пројектовања и са аспекта експлоатације конструкција.

Трендови на високо конкурентном тржишту цивилних авиона усмерени су данас ка развоју летелица високе ефикасности, минималне тежине и пожељно дугог експлоатационог века. Структуре са закованим спојевима, које су и данас доминантно у употреби, уведене су у ваздухопловство током 40-их година прошлог века и – поред бројних предности – имају једну велику ману: као последица цикличних оптерећења која се јављају током лета (али и услед пресуризације и депресуризације трупа), елементи структура летелице су наизменично изложени притисним и затезним напонима, па се због присуства великог броја отвора за закивке на њима (који су „природни извор“ концентрације напона) заморне прслине могу јавити на великом броју локација.

Проблему замора ваздухопловних структура са закованим спојевима (познатим у литератури под именом *диференцијалне структуре*) посвећена је велика пажња у протеклих 70 година, те је процес њиховог пројектовања и производње већ вишеструко оптимизован. Проблеми иницијалних прслина и њиховог раста у диференцијалним структурама такође су у многоме истражени, те се чини мало вероватном појава значајнијих побољшања на пољу замора истих. Међутим, развој других технологија (технике заваривања, ливења, ковања, извлачења, глодања, машинске обраде алуминијумских плоча и сл.) омогућио је производњу структура направљених „из једног дела“ (тзв. *интегралне структуре*), што је смањило потребу за коришћењем закивака неопходних код спојева. Студија коју је НАСА спровела у сарадњи са Боингом о употребљивости интегрално ојачаних панела металних трупова показала је да се број делова склопа трупа може смањити са 78 (у случају главног панела са закованим оквирима) на само 7 (алтернативни панел са интегралним оквирима). Интегралне структуре уз све то омогућавају како оплати тако и осталим елементима структуре ваздухоплова да се понашају као континуум, што пружа знатно више могућности у погледу унапређења и побољшања са аспекта заморног века, без обзира на недостатке интегралне оплате у погледу толеранције оштећења. У поређењу са конвенционалним диференцијалним структурама, интегралне структуре исте геометрије имају мању масу, далеко мање области погодних за стварање концентрација напона које воде иницирању прслина и једноставније су у погледу нумеричког моделовања и компјутерских симулација.

Током лета, један од најоптерећенијих склопова конструкције авиона је крило. Кретање ваздухоплова генерише силу узгона која одржава летелицу у ваздуху и која истовремено савија цело крило навише, тако да су горњи елементи изложени притисним напонима, док су доњи изложени затезним. Главни носећи елемент крила је *рамењача*. Рамењача је позиционирана управно на смер опструјавања крила и простире се читавом дужином у правцу нормалном (или приближно нормалном) на труп летелице. Стандардну диференцијалну металну рамењачу чине танки дуралуминијумски панел (познат као *зид рамењаче*) и доњи и горњи *појасеви рамењаче* (које најчешће чине четири L профила). Крила која су у употреби данас обично имају две, три или више рамењача, зависно од величине ваздухоплова, док лаки авиони имају, махом, крила са једном рамењачом. Рамењача носи скоро сва спољна оптерећења, и на савијање и на смицање, од којих је најдоминантнија *сила узгона*. Услед циклично променљиве силе узгона током лета, временом долази до појаве заморних прслина у зонама отвора за закивке, најчешће на доњим појасевима рамењаче изложеним затезним оптерећењима. Ове прслине могу расти непримећено под дејством оптерећења у лету, најпре у појасевима, а затим, након евентуалног лома појаса, и у самом зиду рамењаче. Раст оваквих прслина доводи до лома саме рамењаче уколико се оне не открију на време и не изврше одговарајуће поправке, а лом рамењаче током лета неминовно води ка катастрофалним последицама – губитку летелице и људским жртвама.

Код интегралних рамењача уочена је каснија појава заморних прслина из разлога што су места локалних концентрација напона знатно ређа (нема закованих спојева) у поређењу са традиционалним рамењачама, али је њихов век под замором теже проценити због сложености конфигурације у односу на диференцијалне рамењаче састављене од лимова и профила. Основни разлог за то лежи у чињеници да се век под замором добијен на стандардним узорцима не може искористити на задовољавајући начин у случају интегралних рамењача, па се мора приступити експерименталним верификацијама њиховог заморног века под константним и променљивим амплитудама оптерећења, што је веома скупо. Још је скупљи процес оптимизације интегралне рамењаче јер чак и најмања промена постојеће геометрије или употреба другачије легуре нужно воде новим експериментима.

Погодна алтернатива експерименталној верификацији новопроектване (или модификоване) рамењаче је нумеричко моделирање. У случају када је развијен нумерички модел све потребне промене је релативно лако имплементирати, па се нове процене заморног века могу добити брзо и уз значајно ниже трошкове. Међутим, питање које се поставља јесте: како можемо бити сигурни да је нумерички модел валидан тј. да ли су на тај начин добијени

результати поуздани и довољно тачни? Очигледно је да се иницијални нумерички модел са прслином мора верификовати (најбоље помоћу експеримента са реалном геометријом и оптерећењима, или ако је могуће и аналитички), па се након тога вредности века под замором добијене нумерички за друге типове оптерећења, измењену геометрију и/или материјал могу сматрати довољно добрим.

Током година развијене су нумеричке методе помоћу којих је могуће симулирати раст прслине у структури, као што су метода коначних елемената (МКЕ), метода граничних елемената (МГЕ), методе без коришћења мреже елемената (енг. meshless methods) и, коначно, проширена метода коначних елемената (ПМКЕ). Посебну пажњу је последњих година привукла управо ПМКЕ јер код ње за симулирање раста прслине конформна мрежа није неопходна, због чега је моделирање дисконтинуитета и њиховог ширења значајно олакшано. У ПМКЕ се раст променљивих дисконтинуитета моделира додавањем дисконтинуалних функција у стандардну апроксимацију коначних елемената, па се у суштини модел дели на два дела: на генерисану мрежу посматране геометрије (прслине нису укључене) и унапређену („обогаћену“) апроксимацију коначних елемената коришћењем додатних функција за моделирање прслина и других геометријских ентитета.

Све поменуте нумеричке методе морају бити „подржане“ одређеним теоријским приступом и у случају иницирања и раста прслине ту улогу игра механика лома. Развој метода линеарно еластичне механике лома (ЛЕМЛ) омогућио је предвиђања за различите сценарије појаве и раста прслина на бројним локацијама у предметној структури и то под различитим условима оптерећења. Фактор интензитета напрезања (ФИН) један је од најважнијих параметара у анализи методама механике лома. Овај фактор дефинише поље напона у близини врха прслине и даје основне информације о томе како се прслина може ширити. У зависности од оптерећења и облика геометрије могуће је израчунати три вредности фактора интензитета напона преко једначина у поларним координатама:

$$K_I = \lim_{r \rightarrow 0} \sqrt{2\pi r} \sigma_{22}, \quad K_{II} = \lim_{r \rightarrow 0} \sqrt{2\pi r} \sigma_{12}, \quad K_{III} = \lim_{r \rightarrow 0} \sqrt{2\pi r} \sigma_{32}$$

Различите технике се у пракси користе за израчунавање ових вредности укључујући: а) аналитичко одређивање напонског стања (у линеарној области) епрувете или реалне структуре са прслином, на основу кога се фактор интензитета напона може добити из асимптотског понашања напонског поља у близини врха прслине; (б) директно одређивање фактора интензитета напона помоћу енергетских метода или интеграла независних од путање; (ц) тражење еквивалентног модела у таблицама са стандардним узорцима за које су израчунати фактори; (д) употребу нумеричких метода. У већини реалних ситуација, на реалној геометрији, тешко је (скоро немогуће) пронаћи аналитичко решење за ФИН-а, па се за њихову процену морају користити нумеричке методе.

У сваком случају, када су вредности фактора интензитета познате за различите вредности дужине прслине a , коришћењем односа da/dN (прираштај дужине прслине по циклусу оптерећења) и промене фактора интензитета напона ΔK дефинисаног Парисовом функцијом

$$\frac{da}{dN} = C(\Delta K)^n$$

(C и n су константе материјала), могуће је доћи до процене века структуре са прслином.

На основу претходно изложеног, као и на основу увида у доступну литературу, може се закључити да последњих година интегралне структуре постају све заступљеније у ваздухопловима и да су истраживачима интересантне што због (још увек) недовољне истражености, што због чињенице да омогућавају иновативан приступ пројектовању ваздухоплова, па не чуди све већи број публикованих радова на тему интегралних структура. Међутим, мало је пажње посвећено предвиђању њиховог заморног века од иницирања прслине до коначног лома, као и њиховој оптимизацији, јер се априори сматра да имају дужи

поуздани век (енг. fail safe) од диференцијалних структура, па нема правог одговора на питање: како се оштећене интегралне структуре понашају под спољним цикличним оптерећењем и после колико циклуса престају да врше своје основне функције? Због тога ће **предмет проучавања** ове дисертације бити **понашање заморних прелина на интегралној Al2024 рамењачи као главном носећем елементу крила летелице** применом експерименталних и нумеричких метода (пре свих ПМКЕ), **са циљем оптимизације њене геометрије у сврху остваривања максималног века оштећене рамењаче изложене цикличном оптерећењу**.

Ради остваривања постављеног циља, прво ће се у докторској тези пажња посветити валидацији и верификацији ПМКЕ тако што ће помоћу ње заморни век бити процењен за једноставније геометрије за које аналитички добијене вредности ФИН-а постоје у литератури или се могу одредити помоћу софтвера NASGRO развијеног од стране NASA. У том смислу ће CCT (Center Cracked Tension) узорак бити предмет детаљне анализе јер су за њега доступни и бројни експериментални подаци. Валидација и верификација ПМКЕ ће се потом вршити на геометрији Al2024 рамењаче лаког авиона добијене коришћењем закованих спојева (диференцијална структура), тако што ће се вредности брзине раста заморних прелина и заморни век процењен нумеричком методом (ПМКЕ) упоредити са резултатима добијеним експерименталним испитивањем оштећене рамењаче. На основу изведених закључака и консеквентних побољшања нумеричког модела диференцијалне рамењаче, постепено ће се развити поуздан нумерички модел интегралне рамењаче који ће бити коришћен за одређивање века вишеструко оштећене рамењаче изложене цикличном оптерећењу. Добијени век интегралне рамењаче би требало да буде значајно дужи од експериментално добијеног за диференцијалну рамењачу, што је полазна тачка за оптимизацију ове интегралне структуре. Коначно, кроз рад на тези доћи ће се до оптималног облика попречног пресека интегралне рамењаче чији би век под замором требало да буде вишеструко дужи од диференцијалне рамењаче направљене од истог материјала и исте масе (без узимања у обзир масе закивака).

Уз поменуто, очекује се да ће дисертација допринети даљем унапређењу пројектовања тродимензионалних интегралних структура генерално, у смислу да ће њени резултати и предложена методологија бити добра полазна основа за оптимизације и других структура код којих је један од главних пројектних критеријума што дужи век под замором.

Литература

- [1] Anderson, T.L., Fracture Mechanics: Fundamentals and Application, third edn. CRC (2005)
- [2] Schijve, J., Fatigue of Structures and Materials, (2009).
- [3] Richard, Hans Albert, and Manuela Sander, Fatigue Crack Growth: Detect-Assess-Avoid. Springer, 2016.
- [4] Irwin, George R., Paul C. Paris, and Hiroshi Tada. "The stress analysis of cracks handbook." American Society of Mechanical Engineers. Three-Park Avenue, New York, NY 10016 (2000).
- [5] Mohammadi, S., Extended finite element method: for fracture analysis of structures, John Wiley & Sons, 2008.
- [6] Hedayati, Ehsan, and Mohammad Vahedi. "Using Extended Finite Element Method for Computation of the Stress Intensity Factor, Crack Growth Simulation and Predicting Fatigue Crack Growth in a Slant-Cracked Plate of 6061-T651 Aluminum." World Journal of Mechanics 4.01 (2014): 24.

- [7] Rasuo Bosko, Aleksandar Grbovic, and Danilo Petrasinovic. "Investigation of Fatigue Life of 2024-T3 Aluminum Spar Using Extended Finite Element Method (XFEM)." SAE International Journal of Aerospace 6.2013-01-2143 (2013): 408-416.
- [8] Matur, Mahantesh, V. Krishnan, and P. Dinesh, Influence of Inner Surface Notch on Fatigue Crack Growth Characteristics of Aluminum Alloy, International Journal of Engineering Research, Vol. 3 (12), (2014), 749-752.
- [9] Benachour, M., et al. "Effect of Mode Loading on FCRG Plate with Double Through Crack at Hole." World Academy of Science, Engineering and Technology, International Journal of Mechanical, Aerospace, Industrial, Mechatronic and Manufacturing Engineering 4.10 (2010): 954-957.
- [10] Petrašinović, Danilo, R. Boško, and N. Petrašinovic. "Extended finite element method (XFEM) applied to aircraft duralumin spar fatigue life estimation." Tehnički vjesnik–Technical Gazzete 19.3 (2012): 557-562.
- [11] Dutt, K. Mahesh. "Damage Tolerance Evaluation of the Front Spar in a transport aircraft wing." International Journal of Innovative Research in Science, Engineering and Technology, Vol. 2, Issue 9, September 2013.
- [12] Bergara, A., et al. " Fatigue crack propagation in complex stress fields: Experiments and numerical simulations using the Extended Finite Element Method (XFEM)." International Journal of Fatigue Vol. 103, (2017), 112-121.
- [13] N.Maheswaran, S.P.Venkatesan, M.S.Sampath Kumar, G.Velmurugan, N.Sathishkumar, M.Priya. Study of Optimal Design of Spar Beam for the Wing of an Aircraft, International Journal of Software & Hardware Research in Engineering, Volume 3 Issue 3 March, 2015.

3. Полазне хипотезе

Полазне хипотезе, до којих се дошло на основу прегледа литературе и сопственог искуства, јесу:

1. Интегрална рамењача, као део крила и основна носећа ваздухопловна структура, представља иновативни елемент у процесу пројектовања цивилних ваздухоплова, те је самим тим њен радни век у случају појаве оштећења недовољно проучен.
2. Заморне прслине се јављају свуда где постоје циклична оптерећења, па се могу појавити и код интегралних структура, смањујући им крутост и носивост, а тиме и радни век.
3. Раст и ширење прслина на интегралној рамењачи могу се анализирати применом проширене методе коначних елемената са задовољавајућом тачношћу, уколико се претходно изврши валидација и верификација нумеричких модела.
4. Примена нумеричких метода значајно смањује трошкове и значајно убрзава процес пројектовања; међутим, једино комбинована експериментална и нумеричка истраживања могу да пруже комплетну слику понашања заморних прслина на интегралним структурама израђеним од легуре алуминијума Al2024.

4. Научне методе истраживања

За потребе овог истраживања предлажу се следећи приступи и методологије:

1. Преглед литературе и анализа постојећих метода процене века интегралних конструкција, као и остварених резултата из предметне области дисертације.

2. Опис и поставка разматраног проблема (метод дескрипције).

3. Формирање меродавних нумеричких прорачунских модела заснованих на проширеној методи коначних елемената (ПМКЕ), чија се примена изводи у оквиру програмских пакета *Abaqus* и *Morfeo for Abaqus* (нумеричке методе).

4. Валидација и верификација ПМКЕ на тзв. “Benchmark” моделима и потврђивање добијених резултата поређењем са вредностима добијених методом граничних елемената у програму NASGRO и резултатима доступним у литератури (метод компарације).

5. Креирање нумеричких модела интегралних рамењача.

6. Анализа података и давање предлога модификације развијених модела на основу претходно добијених резултата. Циљ је оптимизација интегралне рамењаче са аспекта продужења заморног века уз развијање методологије која би се могла применити и на друге интегралне структуре и у другим научно-истраживачким областима, са истицањем аспеката практичне примене и коначне имплементације у процесе развоја и производње.

Претпоставља се да су предложене методе потребне и довољне да се јасно и темељно представи и анализира проблем поуздане процене заморног века интегралне рамењаче у циљу оптимизације исте.

5. Очекивани научни допринос

Током рада на тези очекује се да ће кандидат дати следећи научни допринос:

1. Развијање методологије оптимизације базиране на процени поузданог (енг. fail safe) заморног века коришћењем нумеричких метода, пре свих проширене методе коначних елемената.

2. Унапређење конструктивних решења, тј. развој интегралне рамењаче лаког авиона од алуминијумске легуре Al2024 на којој ће бити тестирана методологија оптимизације заснована на продужењу поузданог радног века главно-носеће ваздухопловне структуре.

3. Унапређење процеса пројектовања кроз експерименталну верификацију примене проширене методе коначних елемената у тродимензионалним симулацијама ширења прслина и заморног понашања оштећених структура, са акцентом на понашање интегралних рамењача лаког авиона, али и могућношћу адекватне примене на друге интегралне структуре које током експлоатације трпе динамичка оптерећења у циклусима.

6. План истраживања и структура рада

1. Преглед литературе из предметне области дисертације везане за претходна истраживања.

2. Анализа утицаја мреже и величине коначних елемената на тачност прорачуна фактора интензитета напона.

3. Анализа применом ПМКЕ понашања и ширења прслине, као и одређивање фактора интензитета напона ССТ узорка у циљу верификације нумеричке методе и поређење добијених резултата са резултатима добијеним методом граничних елемената у програму NASGRO и вредностима доступним у литератури.

4. Нумеричка анализа модела диференцијалне рамењаче лаког авиона и поређење прорачунских вредности и експерименталних резултата. Развој модела интегралне рамењаче.

5. Симулација – коришћењем нумеричких модела диференцијалне и интегралне рамењаче – пропагације прслина код обеју рамењача и анализа и поређење добијених вредности.

6. Оптимизација попречног пресека интегралне рамењаче (уз критеријум задржавања константне масе) у циљу повећања заморног века за случај појаве оштећења.

Предлог је да ова дисертација буде организована на следећи начин. Прво поглавље ће представити значај замора и појаве заморних оштећења код ваздухоплова, методе пројектовања са аспекта замора, као и циљеве и структуру дисертације. У другом поглављу – уз детаљан преглед литературе – биће представљене и модерне нумеричке методе које се користе за анализу ширења заморних прслина и одређивање заморног века авионских конструкција, уз приказ најчешће коришћених метода структурне оптимизације. У трећем поглављу били би изложени концепти линеарно-еластичне механике лома и постојеће методе које се примењују за одређивање фактора интензитета напона прслина код структура различитих облика израђених од алуминијумских легура. Четврто поглавље бавило би се проширеном методом коначних елемената (ПМКЕ) и њеном имплементацијом у програмима *Abaqus* и *Morfeo for Abaqus*. У петом поглављу био би разматран утицај мреже и величине коначних елемената на тачност фактора интензитета напона, а спровела би се и валидација ПМКЕ на усвојеном стандардном ССТ узорку уз верификовање добијених резултата поређењем са вредностима добијених методом граничних елемената у програму NASGRO и резултатима доступним у литератури. У шестом поглављу извршило би се поређење резултата добијених симулацијама пропагације прслина на нумеричким моделима диференцијалне и интегралне рамењаче, а потом би се одговарајући резултати упоредили и са експерименталним вредностима добијеним испитивањем реалне диференцијалне рамењаче лаког авиона израђене од Al2024, у циљу верификације нумеричких модела. Седмо поглавље би се бавило оптимизацијом попречног пресека интегралне рамењаче уз критеријуме задржавања оригиналне масе и продужење заморног века под оштећењем. Последње поглавље донеће закључке и смернице за даља истраживања, као и остварене доприносе кандидата решавању предметне проблематике.

7. Закључак и предлог

На основу изложене анализе пријаве теме докторске дисертације кандидата Калида Ахмеда Елдвејба (Khalid Ahmed Eldwaib) маг. инж. маш., Комисија за оцену подобности и научне заснованости теме закључује да је предложена тема актуелна и научно заснована. Кандидат Калид Ахмед Елдвејб (Khalid Ahmed Eldwaib) испуњава све Законом и Статутом Машинског факултета предвиђене услове и има способности за рад на докторској дисертацији.

На основу свега горе наведеног Комисија предлаже Научно-наставном већу Машинског факултета Универзитета у Београду да се кандидату

**маст. инж. маш. Калиду Ахмеду Елдвејбу
(Khalid Ahmed Eldwaib)**

одобри израда докторске дисертације са темом:

**„Оптимизација интегралне Al-2024 рамењаче крила на бази
процене века под замором“
(„Optimization of Al-2024 Integral Wing Spar Based On Estimated Fatigue
Life“)**

у научној области Машинство – ужа научна област Ваздухопловство, за коју је Машински факултет Универзитета у Београду матичан.

За ментора током израде предметне дисертације предлаже се др Александар Грбовић, ванредни професор на Катедри за Ваздухопловство Машинског факултета Универзитета у Београду.

У Београду, 05.07.2018.

ЧЛАНОВИ КОМИСИЈЕ

.....
Др Александар Грбовић, ванредни професор,
Универзитет у Београду, Машински факултет

.....
Др Александар Седмак, редовни професор,
Универзитет у Београду, Машински факултет

.....
Др Драган Милковић, ванредни професор
Универзитет у Београду, Машински факултет

.....
Др Данило Петрашиновић, ванредни професор
Универзитет у Београду, Машински факултет

.....
Др Гордана Кастратовић, ванредни професор
Универзитет у Београду, Саобраћајни факултет

Додатак уз образац 1.

ПОДАЦИ О МЕНТОРУ

Име и презиме: _____Александар Грбовић_____
Звање: _____ванредни професор_____

Списак радова објављених у научним часописима са Science Citation Index (SCI) листе који квалификују ментора за вођење докторске дисертације:

1. **Grbovic Aleksandar M**, Rasuo Bosko P, FEM based fatigue crack growth predictions for spar of light aircraft under variable amplitude loading, ENGINEERING FAILURE ANALYSIS, (2012), vol. 26 br. , str. 50-64, ISSN 1350-6307, **impact factor 1.676**
2. Kastratovic Gordana M, **Grbovic Aleksandar M**, Vidanovic Nenad D, Approximate method for stress intensity factors determination in case of multiple site damage, APPLIED MATHEMATICAL MODELLING, (2015), vol. 39 br. 19, str. 6050-6059, ISSN 0307-904X, **impact factor 2.350**
3. Djurdjevic Andrijana A, Zivojinovic Danijela, **Grbovic Aleksandar M**, Sedmak Aleksandar S, Rakin Marko P, Dascau Horia, Kirin Snezana D, Numerical simulation of fatigue crack propagation in friction stir welded joint made of Al 2024-T351 alloy, ENGINEERING FAILURE ANALYSIS, (2015), vol. 58 br. , str. 477-484, ISSN 1350-6307, **impact factor 1.676**
4. Rasuo Bosko P, Dinulovic Mirko R, Veg Aleksandar, **Grbovic Aleksandar M**, Bengin Aleksandar C, Harmonization of new wind turbine rotor blades development process: A review, RENEWABLE & SUSTAINABLE ENERGY REVIEWS, (2014), vol. 39 br. , str. 874-882, ISSN 1364-0321, **impact factor 8.050**
5. Glisic Mirko V, Stamenkovic Dragoslav S, **Grbovic Aleksandar M**, Todorovic Aleksandar J, Markovic Aleksa, Trifkovic Branka V, Analysis of load distribution in tooth-implant supported fixed partial dentures by the use of resilient abutment, SRPSKI ARHIV ZA CELOKUPNO LEKARSTVO, (2016), vol. 144 br. 3-4, str. 188-195, ISSN 0370-8179, **impact factor 0.253**

ДЕКАН ФАКУЛТЕТА
