

dr hab. inż. Ryszard CHACHURSKI, prof. WAT
Wojskowa Akademia Techniczna im. Jarosława Dąbrowskiego
Wydział Mechatroniki, Uzbrojenia i Lotnictwa

RECENZJA ROZPRAWY DOKTORSKIEJ

Tytuł rozprawy: Engineering and Inspection Problems Study for Turbine Guide Vane Mechanical Component
Autor rozprawy: mgr inż. Marcin JAMONTT
Promotor: dr hab. inż. Paweł PYRZANOWSKI, prof. PW

Podstawa wykonania recenzji: pismo Przewodniczącego Rady Naukowej Dyscypliny Inżynieria Mechaniczna Politechniki Warszawskiej, prof. dr hab. inż. Roberta SITNIKA nr RNDIM/521/26/2021 z dnia 20 grudnia 2022 r. (data wpłynięcia do WAT: 14.01.2022 r.)

1. Dane ogólne

Przedstawiona do recenzji rozprawa doktorska została przygotowana w języku angielskim i ma formę książki podzielonej na 6 zasadniczych rozdziałów uzupełnionych o: streszczenia w języku angielskim i polskim, spis treści, spis skrótów oraz wykaz materiałów źródłowych.

Rozprawa liczy 91 stron i oprócz tekstu zawiera 14 tabel i 60 rysunków. Wykaz materiałów źródłowych, z których korzystał Autor, liczy 114 pozycji.

Opisane w rozprawie prace badawcze prowadzone przez mgr. inż. Marcina JAMONTTA miały charakter analityczno - eksperymentalny.

2. Ocena wyboru tematu

Zadanie prawidłowego geometrycznego kształtowania części lotniczych silników turbinowych na etapie ich projektowania oraz późniejszej weryfikacji ich geometrii w procesie kontroli jakości jest bardzo istotne, zarówno ze względów ekonomicznych, jak i dla zapewnienia wymaganej niezawodności pracy, czyli bezpieczeństwa latania. W związku z powyższym podjęcie przez mgr. inż. Marcina JAMONTTA badań dotyczących możliwości usprawnienia procesu projektowania części lotniczych silników turbinowych oraz ich weryfikacji uważam za uzasadnione i aktualne.

3. Struktura i zakres rozprawy

Rozprawa doktorska mgr. inż. Marcina JAMONTTA rozpoczyna się od dedykacji, po której zamieszczone zostało potwierdzenie, że została ona przygotowana dzięki uprzejmości firmy General

Electric Company Polska Sp. z o.o. oraz otrzymała wsparcie Ministerstwa Edukacji i Nauki. W dalszej kolejności następują streszczenia w języku angielskim i polskim, a po nich spis treści oraz wykaz skrótów.

Zasadnicza część rozprawy została podzielona na sześć rozdziałów.

Rozdział pierwszy zawiera wstępne analizy przeprowadzone przez Autora i jest najobszerniejszy w całej pracy. Zostały w nim skrótowo opisane wybrane zagadnienia dotyczące tzw. „części gorącej” turbin gazowych, ze szczególnym uwzględnieniem wieńca dyszowego. Poruszono m.in. problematykę budowy wieńców dyszowych turbin, odwzorowania geometrii w systemach komputerowego wspomaganie projektowania i wymiany danych między różnymi systemami, skalowania „termicznego”, a także odwzorowania (weryfikacji) geometrii obiektu z wykorzystaniem metod współrzędnościowych i skanowania przestrzennego.

Rozdział drugi, w którym podano cel i przedstawiono zakres pracy oraz sformułowano tezę rozprawy.

Rozdział trzeci, w którym Autor szerzej opisał problematykę skalowania „termicznego”, zaproponował algorytm postępowania i przedstawił wyniki uzyskane w trakcie badań.

Rozdział czwarty zawierający rozważania dotyczące problematyki wymiany danych między różnymi systemami komputerowymi na różnych etapach projektowania i produkcji części silnika. W rozdziale tym Autor przedstawił opracowany przez siebie zestaw wymagań dotyczących prawidłowego formatu danych i algorytm automatyzacji procesu ich przygotowywania.

Rozdział piąty, w którym opisano badania dotyczące weryfikacji geometrii łopatki wieńca dyszowego turbiny z wykorzystaniem metody współrzędnościowej oraz skanowania przestrzennego. Autor przedstawił własny algorytm upraszczania geometrii obiektu w procesie jej weryfikacji metodą skanowania przestrzennego i porównał wyniki pomiarów uzyskanych różnymi metodami.

Rozdział szósty, w którym Autor przedstawił uogólnione wnioski z przeprowadzonych badań i wskazał kierunki dalszych prac.

Rozprawę kończy wykaz materiałów źródłowych, z których Autor korzystał podczas jej przygotowywania.

Układ przedstawionej do recenzji rozprawy generalnie jest prawidłowy, jednak mnogość rozpatrywanych zagadnień spowodowała, że przeprowadzone badania oraz uzyskane wyniki zostały przedstawione bardzo skrótowo, w niektórych przypadkach wręcz „hasłowo”, co uniemożliwiło mgr. inż. Marcinowi JAMONTTOWI zaprezentowanie, zarówno szczegółów prowadzonych badań, jak i uzyskanych wyników, a także utrudnia ich ocenę Recenzentowi. Wydaje się, że zarówno problematyka skalowania termicznego części, jak i zastosowania skanowania przestrzennego do weryfikacji ich geometrii mogłyby być tematem oddzielnych rozpraw, a wówczas wartość merytoryczna jednej z nich mogłaby być wyższa, niż wartość rozprawy przedstawionej do recenzji.

4. Elementy nowości naukowej stanowiące oryginalny dorobek Autora

Najistotniejszymi osiągnięciami, wynikającymi z przeprowadzonych przez Autora badań i przedstawionymi w rozprawie, według mnie są:

- a) zaproponowanie metodyki skalowania „termicznego” części,
- b) opracowanie zestawu wymagań dotyczących formatu danych zawierających informacje o geometrii niezbędnych do produkcji części oraz weryfikacji poprawności jej wykonania,
- c) przygotowanie algorytmu upraszczania geometrii obiektu w procesie jej weryfikacji metodą skanowania przestrzennego.

Biorąc pod uwagę powyższe osiągnięcia Autora, uważam, że wykazuje on umiejętności niezbędne do prowadzenia prac naukowych, zarówno o charakterze analitycznym, jak i eksperymentalnym.

5. Spostrzeżenia i uwagi

Praca mgr. inż. Marcina JAMONTTA ma przede wszystkim wartość użyteczną. Zastosowanie, po pełnej weryfikacji ich poprawnego działania, opracowanych przez Autora algorytmów mogłoby znacznie skrócić wybrane procesy projektowania i produkcji różnych elementów silnika, w tym nie tylko łopatek wieńców dyszowych turbin. Metody te mogłyby również znaleźć zastosowanie w innych dziedzinach techniki. Autor, w trakcie realizacji pracy, wykazał się umiejętnością prowadzenia analiz technicznych, a także planowania i wykonywania prac eksperymentalnych. Posiada dużą wiedzę w zakresie wykorzystania technik komputerowych do wspomagania projektowania i wytwarzania, potrafi analizować procesy zachodzące w eksploatacji maszyn, umie posługiwać się współczesnymi metodami pomiarowymi.

Doceniając pracę Autora, stwierdzam jednocześnie, że pisząc rozprawę, nie ustrzegł się pewnych mniej lub bardziej istotnych nieścisłości, z których wybrane wyszczególniam w poniższych akapitach recenzji.

Autor napisał (str. 7, 8, 13), że łopatki wieńca dyszowego „są wykorzystywane do budowy wielkich i wydajnych silników” („...used to build big and powerful engines.”), podczas, gdy są one jednym z podstawowych elementów wszystkich stopni turbin osiowych, nawet tych stosowanych w silnikach miniaturowych, o ciągach rzędu 100 N, czy mocach rzędu kilkunastu kW.

Określenie „łopatki kierownicze” (str. 8) lub kierownice jest we współczesnej literaturze poświęconej silnikom lotniczym stosowane głównie w odniesieniu do elementów sprężarek, natomiast w stosunku do ich odpowiedników w turbinach używa się określenia „łopatki dyszowe”, podobnie

jak w literaturze anglojęzycznej i w opisach technicznych silników pojawiają się pojęcia „nozzles”, „nozzle vanes”.

Tzw. „gorąca część” silnika, którą zaznaczono na zdjęciu turbiny gazowej pokazanej na rys. 1.1 w rzeczywistości obejmuje nie tylko mieszczącą się wewnątrz zaznaczenia turbinę, ale również komorę spalania oraz układ wylotowy, przez których kanały również przepływa czynnik roboczy o wysokiej temperaturze, a ich elementy podlegają dużym obciążeniom termicznym.

Nie jest prawdą, iż elementy wieńców dyszowych pierwszych stopni turbin (wysokiego ciśnienia), są zwykle projektowane jako segmenty z pojedynczymi piórami łopatek (str. 14), gdyż w wielu silnikach są one wykonywane w postaci segmentów zawierających dwa- lub trzy pióra łopatek połączonych wspólnymi sektorami pierścieni tworzących fragmenty ścianek wewnętrznych i zewnętrznych kanałów przepływowych, czego przykład sam Autor pokazał na rys. 1.5.

Użyte przez Autora pojęcie „first turbine stage” (str. 14) nie oznacza wyłącznie wieńca łopatek dyszowych, ale cały pierwszy stopień turbiny, czyli również wieńiec łopatek wirnikowych (roboczych), więc należało użyć określenia „first stage turbine nozzles”.

Nie zostało doprecyzowane, czy temperatura 1000°C (str. 22, 38, 44) jest temperaturą czynnika roboczego opływającego pióra łopatki, czy też temperaturą metalu pióra łopatki, tym niemniej w każdym przypadku przyjęcie jej stałej wartości (tab. 3.1, str. 44) należy uznać za duże uproszczenie, ponieważ w rzeczywistości jej wartość zmienia się, zarówno wzdłuż powierzchni profilu pióra łopatki, jak i wzdłuż jego wysokości. Korzystając z osiągnięć współczesnej techniki komputerowej bez problemu można byłoby ten fakt uwzględnić.

Autor nie wyjaśnił, dlaczego w zaproponowanym algorytmie skalowania „termicznego” obliczenia zaczynane są z wykorzystaniem uproszczonego modelu „gorącego” pozbawionego systemu chłodzenia wewnętrznego, który jest uwzględniany dopiero w kolejnych krokach iteracji. Takie podejście co prawda w początkowej fazie obliczeń upraszcza model, ale jednocześnie powoduje, że zwiększają się różnice w uzyskanej geometrii modelu „zimnego” i docelowego „gorącego” (wyposażonego w system chłodzenia wewnętrznego), co zwiększa liczbę iteracji i wydłuża czas obliczeń. Przyjmując założoną na etapie wstępnych obliczeń termogazodynamicznych silnika wartość temperatury czynnika roboczego oraz znając własności materiału, można obliczyć o ile należy obniżyć wartość temperatury metalu i znając wpływ na tę ostatnią wartość opracowanych sposobów chłodzenia łopatek, można byłoby rozpocząć obliczenia od modelu uwzględniającego wstępnie zaprojektowany system chłodzenia.

Autor nie ustrzegł się wielu błędów edycyjnych, należą do nich m.in.:

- występujące w całej pracy tzw. „piętrowanie” nagłówków (str. 13, 37, 40, itd.),
- nagminne niestosowanie spacji pomiędzy odnośnikami do bibliografii a wyrazami je poprzedzającymi (np. str. 13 – „atmosphere[68]”), a także brak dat dostępu do stron internetowych wyszczególnionych w wykazie materiałów źródłowych.

- zbyt małe rozmiary niektórych rysunków (np. rys. 1.14 – str. 23, rys. 1.15 – str. 24), przez co czytelnik nie może dostrzec szczegółów, na które Autor chciał zwrócić uwagę, w szczególności znalezienie różnicy między rysunkami w środkowej i prawej kolumnie rys. 1.15 stanowi wyjątkowo trudne zadanie „na spostrzegawczość” (zwłaszcza w obszarze rysunku 2D),
- użycie tego samego numeru dla tab. 3.1 na stronach 41 i 44 (tabelę na str. 41 można byłoby potraktować jako rysunek),
- pokazanie na rys. 3.3 (str. 43) powiększonej łopatki dyszowej pierwszego stopnia turbiny, a wskazanie strzałkami łopatki wirnikowej ostatniego stopnia (ponadto podpis pod rysunkiem właściwie w ogóle nie koresponduje z przedstawioną na rysunku grafiką),
- wprowadzenie na str. 46 oznaczenia wykresu „Charts 3.1-10” (przy czym wbrew samemu oznaczeniu wykresów nie jest 10, a tylko 8), podczas gdy wykres (pozbawiony opisu osi), pokazany na rys. 3.9 (str. 50) jest już rysunkiem (Fig.”), a nie wykresem („Chart”)
- brak odwołania do rys. 3.6 (str. 48) i jego opisu w tekście oraz użycie kolorystyki uniemożliwiającej jakąkolwiek interpretację przedstawionej grafiki,
- brak oznaczeń punktów na rys. 3.8 (str. 50),
- niepokazanie na rys. 5.19 (str. 77) tego samego fragmentu platformy łopatki przed i po uproszczeniu, przez co nie można na tej podstawie ocenić wyników działania algorytmu, itd.

Konsekwencje niektórych błędów edycyjnych (głównie braku czytelności rysunków) mają wpływ na wartość merytoryczną rozprawy.

6. Wniosek końcowy

Biorąc pod uwagę zakres i poziom recenzowanej pracy doktorskiej stwierdzam, że, pomimo nieścisłości i błędów w niej zawartych, spełnia ona wymagania stawiane rozprawom doktorskim w rozumieniu art. 187 *Ustawy z dnia 20 lipca 2018 roku - Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce* (Dziennik Ustaw 2018 poz. 1668 z późn. zm.), w tym:

- prezentuje posiadanie przez Kandydata wystarczającej ogólnej wiedzy teoretycznej w dyscyplinie Inżynieria Mechaniczna,
- potwierdza umiejętność samodzielnego prowadzenia pracy naukowej przez Kandydata,
- stanowi oryginalne rozwiązanie w zakresie zastosowania wyników własnych badań naukowych w sferze gospodarczej.

Wniosuję zatem o dopuszczenie mgr inż. Marcina JAMONTTA do publicznej obrony Jego rozprawy.

hjt mgs 13.04.2022r.