

prof. dr hab. inż. Ewa Majchrzak
Instytut Mechaniki i Inżynierii Obliczeniowej
Politechnika Śląska
44-100 Gliwice, Konarskiego 18a

Gliwice, 24.02.2015 r.

RECENZJA

pracy doktorskiej mgr Ewy Rejwer
pt. „Zastosowanie szybkiej wielobiegunowej metody elementów brzegowych zmiennej
zespolonej w mechanice ośrodków ciągłych silnie niejednorodnych”

Podstawa przygotowania recenzji

Pismo Pana Dziekana Wydziału Budowy Maszyn i Lotnictwa Politechniki Rzeszowskiej z dnia 15 stycznia 2015 roku o powołaniu mnie przez Radę tego Wydziału na recenzenta rozprawy doktorskiej mgr Ewy Rejner.

1. Uwagi ogólne

Opiniowana praca została wykonana pod kierunkiem prof. dr hab. Aleksandra Linkova i promotora pomocniczego dr Liliany Rybarskiej Rusinek i stanowi ważny wkład w rozwój metod mechaniki komputerowej, a w szczególności metody elementów brzegowych. Doktorantka podjęła się trudnego zadania związanego z opracowaniem algorytmu i programu komputerowego szybkiej wielobiegunowej metody elementów brzegowych zmiennej zespolonej, przeprowadziła wszechstronne testy numeryczne stworzonego oprogramowania potwierdzające efektywność, dokładność i stabilność zastosowanej metody oraz pokazała możliwości jej zastosowań w zagadnieniach analizy procesów zachodzących w silnie niejednorodnych strukturach i innych materiałach inżynierskich.

2. Przegląd treści rozprawy

Recenzowana rozprawa doktorska zawiera 132 strony i składa się ze spisu rysunków, tabel, wykazu skrótów i oznaczeń, 6 rozdziałów, 4 załączników, wykazu literatury zawierającego 122 pozycje oraz streszczenia w języku polskim i angielskim.

W rozdziale 1 podkreślono znaczenie metod mechaniki obliczeniowej wykorzystywanych do badania właściwości materiałów i dokonano krótkiego przeglądu literatury dotyczącego zastosowań w tym zakresie metody różnic skończonych, metody elementów skończonych i metody elementów brzegowych. Na tym tle opisano podjętą w rozprawie problematykę oraz cel i zakres rozprawy. Nie sformułowano w jawny sposób tezy pracy, ale umieszczono krótki przegląd treści rozprawy.

W rozdziale 2 Doktorantka przedstawiła rzeczywiste i zespolone brzegowe równania całkowite dla zagadnień potencjału i sprężystości. Rozdział ten częściowo stanowi przegląd literatury (np. podrozdział 2.1, w którym moim zdaniem powinny pojawić się odwołania do literatury) ale większość podrozdziałów zawiera wyniki badań własnych, między innymi analityczne formuły rekurencyjne związane z wyznaczeniem współczynników wpływu brzegowych równań całkowitych zmiennej zespolonej.

W rozdziale 3 mgr Ewa Rejwer omówiła szybką wielobiegunową metodę elementów brzegowych zmiennej zespolonej, którą w rozdziale 1 (str. 17) przedstawiła jako „jeden z dziesięciu najważniejszych algorytmów XX wieku”. W kolejnych podrozdziałach pokazano sposób budowy hierarchicznej struktury drzewa ze specjalną lokalną renumeracją elementów, rozwinięcia wielobiegunowe i analityczne formuły rekurencyjne dla momentów wielobiegunowych, translacje: wielobiegunowy-wielobiegunowy, wielobiegunowy-lokalny, lokalny-lokalny, określiła złożoność obliczeniową algorytmu oraz opisała sposób iteracyjnego rozwiązywania macierzowego układu równań. Informacje zawarte w tym rozdziale stanowiły podstawę opracowania autorskiego programu komputerowego, którego schemat blokowy z opisem najważniejszych procedur przedstawiono w załączniku B.

W rozdziale 4 przedstawiono wyniki testów numerycznych, które porównano ze znanym rozwiązaniem analitycznym problemu przewodzenia ciepła w rurze, której wewnętrzna powierzchnia utrzymywana jest w stałej temperaturze, a na powierzchni zewnętrznej znana jest wartość strumienia ciepła. Rozwiązanie analityczne dotyczy problemu 1D, a rozwiązania numeryczne zadania płaskiego. Określono wartości kluczowych parametrów

metody szybkiej wielobiegunowej zmiennej zespolonej, a mianowicie maksymalną liczbę elementów w liściu drzewa oraz maksymalną liczbę składników szeregu rozwinięcia wielobiegunowego zapewniającą wymaganą dokładność rozwiązania.

W rozdziale 5 pokazano przykłady zastosowania opracowanej metody w zagadnieniach analizy ośrodków silnie niejednorodnych. Przedstawiono sposób badania efektywnej przepuszczalności ciepła w strukturze z barierami, metodę wyznaczania sztywności przy skręcaniu cylindra o przekroju kołowym oraz analizę lokalnej koncentracji pól w ośrodku z pęknięciami. Rozdział 6 zawiera podsumowanie i wnioski wynikające z przeprowadzonych badań.

3. Ocena merytoryczna rozprawy

Pracę doktorską oceniam bardzo pozytywnie. Należy podkreślić, że jest ona przygotowana niezwykle starannie, a prezentowane w niej treści układają się w logiczną całość. Autorka część informacji trafnie umieściła w załącznikach, zadbała również o wykaz skrótów i oznaczeń, co ułatwia lekturę całości pracy. Rysunki zamieszczone w rozprawie są bardzo czytelne, edycja równań również cechuje się należyłą starannością. Nie znalazłam błędów stylistycznych, w całym egzemplarzu pracy pojawiły się nieliczne literówki. Można zwrócić tylko uwagę, że powołując się na autorów prac należy odmieniać ich nazwiska np. ostatnia linijka na str. 15, powinno być „w pracach Linkova [27]...”, chociaż większość nazwisk odmieniana jest poprawnie.

Doktorantka wykazała się umiejętnością tworzenia nietrywialnych algorytmów i programów komputerowych (co potwierdza Jej bardzo dobre przygotowanie matematyczne i informatyczne) oraz prezentacji i interpretacji uzyskanych wyników obliczeń numerycznych. Wyniki badań prezentowane w rozprawie doktorskiej, częściowo opublikowane między innymi w *Engineering Analysis of Boundary Elements*, 43, 2014, 105-116 (współautorzy: L.Rybarska-Rusinek, A.M.Linov) stanowią istotny wkład w rozwój algorytmów bazujących na metodzie elementów brzegowych.

Do najważniejszych osiągnięć Doktorantki zaliczam:

1. Opracowanie algorytmu metody szybkiej wielobiegunowej zmiennej zespolonej do analizy struktur silnie niejednorodnych z uwzględnieniem między innymi analitycznych formuł rekurencyjnych umożliwiających uniknięcie całkowania numerycznego i redukcję czasu obliczeń.

2. Opracowanie autorskiego oprogramowania stosowanej metody i przeprowadzenie wielu testów numerycznych potwierdzających zarówno poprawność jego działania jak i możliwości zastosowań w analizie struktur silnie niejednorodnych.
3. Staranną analizę wyników obliczeń numerycznych, umiejętność formułowania wniosków z przeprowadzonych badań oraz dobrze nakreślony plan przyszłych badań.

Uwagi:

1. Doktorantka rozpatruje równanie Laplace'a z warunkami brzegowymi Dirichleta i Neumanna. W przypadku zagadnień przewodzenia ciepła często stosuje się warunek brzegowy Newtona (Robina) opisujący sposób wymiany ciepła między obszarem i otoczeniem. Czy uwzględnienie tego typu warunku brzegowego stanowi duże utrudnienie przy tworzeniu algorytmu?
2. Przekrój struktury z niejednorodnościami pokazano między innymi na rysunku 3.1. W zagadnieniach przewodzenia ciepła niejednorodności te (np. pustki) mogą być związane np. ze skurczem stopu podczas krzepnięcia i zawierają tzw. uwięzione powietrze. W takim przypadku należałoby na ich brzegach uwzględnić warunek brzegowy czwartego rodzaju z oporem cieplnym. Poproszę o komentarz, jak można rozwinąć prezentowaną przez Doktorantkę metodę, aby uwzględniać warunki brzegowe czwartego rodzaju zarówno z oporem cieplnym jak i w przypadku idealnego kontaktu.
3. W dalszych pracach Doktorantka zamierza między innymi zająć się modelowaniem systemów biologicznych (str. 102). Jeśli chodzi o zjawiska cieplne, to w takim przypadku w równaniu należy uwzględnić tzw. składniki źródłowe związane z perfuzją krwi (funkcja źródła zależna od temperatury) i metabolizmem, a opisywane przez mgr E.Rejsner niejednorodności mogłyby odpowiadać naczyniom włoskowatym występującym w tkankach miękkich. Innymi słowy, należy rozwiązać równanie Pennesa, które z matematycznego punktu widzenia jest równaniem Poissona. Klasyczna metoda elementów brzegowych dla stanów ustalonych wymaga w takim przypadku dyskretyzacji wnętrza obszaru lub sprowadzania całek po wnętrzu do szeregów całek brzegowych. Czy zastosowanie szybkiej wielobiegunowej metody elementów brzegowych będzie w tym przypadku możliwe, a jeśli tak, czy będzie efektywne? Poproszę o komentarz.

4. Wniosek końcowy

Pragnę stwierdzić, że mgr Ewa Rejwer wykazała się umiejętnością samodzielnego prowadzenia badań naukowych, a recenzowana praca doktorska spełnia warunki stawiane rozprawom doktorskim przez ustawę o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki z dn. 14 marca 2003r. i wnoszę o dopuszczenie jej do publicznej obrony przed Radą Wydziału Budowy Maszyn i Lotnictwa Politechniki Rzeszowskiej.

