

Aberystwyth

14/05/2024

### Recenzja rozprawy doktorskiej

Przedmiotem niniejszej recenzji jest rozprawa doktorska Pana mgr. Dmytro Nosova, zatytułowana „**Właściwości materiałów kompozytowych: zagadnienia pękania w magnetoelektrosprężystości**”. Przedmiotem niniejszej recenzji jest rozprawa doktorska Pana mgr. Dmytro Nosova, zatytułowana „**Właściwości materiałów kompozytowych: zagadnienia pękania w magnetoelektrosprężystości**”. Recenzja została napisana na podstawie Decyzji Rady Dyscypliny Nauki Fizyczne Uniwersytetu Pedagogicznego im. Komisji Edukacji Narodowej w Krakowie z dnia 09 maja 2023 r.

Rozważana praca doktorska stanowi obszerną analizę teoretyczną pól fizycznych w materiałach kompozytowych, skupiającą się na teoretycznym badaniu makroskopowych właściwości elektro-magneto-sprężystych oraz pól lokalnych. Głównym celem badawczym jest dogłębne zrozumienie procesu pękania tych materiałów i identyfikacja kluczowych czynników wpływających na jego przebieg. W ramach pracy, autor posługuje się zaawansowanymi narzędziami symulacji komputerowych, opartymi na metodzie równań całkowych na płaszczyźnie zespolonej, a także wykorzystuje metody asymptotyczne do badania osobliwości naprężeń i związanych z nią pól fizycznych. Dzięki temu, możliwe jest wnikliwe analizowanie złożonych interakcji między polami elektro-magnetycznymi, sprężystymi a także innymi czynnikami wpływającymi na zachowanie materiałów kompozytowych. Rezultaty badań przedstawione w pracy doktorskiej dostarczają cennych informacji, które uzupełniają istniejącą wiedzę i mogą przyczynić się do rozwinięcia nowych strategii projektowania materiałów kompozytowych o pożądanych właściwościach elektro-magneto-sprężystych. Ponadto, wyniki te mogą mieć również istotne znaczenie w innych dziedzinach nauki i technologii, takich jak inżynieria strukturalna, elektronika, a nawet medycyna, gdzie wykorzystanie zaawansowanych materiałów kompozytowych może przynieść korzyści w zakresie wytrzymałości, przewodnictwa elektrycznego czy zastosowań diagnostycznych.

W Rozdziale 1 rozprawy doktorskiej, autor w sposób klarowny przedstawia czytelnikowi wprowadzenie do tematyki pracy, opisując aktualny stan wiedzy oraz cel badawczy związany z rozwinięciem odpowiedniego narzędzia matematyczno-komputerowego do badania procesu pękania w skomplikowanych strukturach. Motywacja i podejście do symulacji problemów pękania w materiałach MES (elektro-magneto-sprężystych) są przedstawione w rozdziale w sposób rzetelny i klarowny. Materiały MES stanowią istotną klasę funkcjonalnych materiałów, które charakteryzują się zdolnością do przekształcania energii mechanicznej w energię elektryczną i magnetyczną i odwrotnie. Z tego powodu materiały te wzbudzają duże zainteresowanie w wielu dziedzinach inżynierii. Przeanalizowanie zagadnień mechaniki materiałów MES oraz opracowanie narzędzi do symulacji pękania w tych materiałach stanowi

główny obszar badań podejmowany w ramach rozprawy. Autor dokładnie omawia te aspekty, dążąc do lepszego zrozumienia mechanizmów pęknięcia w materiałach MES i identyfikacji czynników wpływających na ich wytrzymałość strukturalną.

W Rozdziale 2 rozprawy doktorskiej poświęconej zjawiskom elektrycznym i magnetycznym w ciałach stałych, autor przedstawia obszerny opis tych zjawisk. W ramach tego rozdziału omówione są kluczowe aspekty, takie jak podatność magnetyczna, podstawowe równania oraz mechanika pęknięcia sprężystego ciał stałych. W ramach omawiania mechaniki pęknięcia sprężystego ciał stałych, autor przedstawia istotne koncepcje i modele teoretyczne związane z procesem pęknięcia. Wprowadza również metody analizy i symulacji, które umożliwiają lepsze zrozumienie i prognozowanie zachowania sprężystych materiałów podczas pęknięcia.

W Rozdziale 3 autor rozwija opis mechaniki pęknięcia sprężystego ciał stałych. Kandydat szczegółowo określa pojęcie współczynnika intensywności naprężenia (WIN), najpierw w kontekście klasycznej mechaniki szczelin, wyróżniając tryby I, II i III. Następnie, autor przechodzi do rozważań w zakresie energetycznym opierającym się na teorii J-całki Cherepanova-Rice'a, rozszerzając zestaw WIN na materiały MES. W celu opracowania konstruktywnych narzędzi do określenia współczynników intensywności, autor korzysta z wcześniej zaproponowanej ogólnej teorii, dostosowując i modyfikując wzory teorii do zastosowania w kolejnych częściach rozprawy doktorskiej. Owa ogólna teoria jest kluczowym fundamentem, na którym opierają się dalsze analizy i badania przeprowadzane przez autora. W rozdziale tym Mgr Dmytro Nosov zapewnia kompleksowy przegląd zagadnień związanych z mechaniką pęknięcia sprężystego ciał stałych, przybliżając czytelnikowi istotne koncepcje i modele.

Rozdział 4 stanowi kluczowy element tej rozprawy doktorskiej, prezentując podstawowe teoretyczne wyniki badań. Ogólne równania dotyczące materiałów elektro-magneto-sprężystych zostały sformułowane w oparciu o potencjały zespolone. Ogólna koncepcja wprowadzenia potencjałów zespolonych dla materiałów sprężystych lokalnie izotropowych została przedstawiona w klasycznych pracach Kolosova i Muskhelishvilięgo. W przypadku materiałów lokalnie anizotropowych, odpowiednia teoria ma inne podstawy matematyczne, co zostało opisane w klasycznych pracach Lekhnickiego. Później (przede wszystkim w pracach Filshtinskiego) było pokazane, że teoria Lekhnickiego może być rozszerzona w kierunku materiałów elektro-magneto-sprężystych (MES). W Rozdziale 4 dokonano systematycznego opracowania takich materiałów w kierunku uogólnienia teorii na materiały kompozytowe oraz materiały z pęknięciami. Autor dokładnie opisuje i uzasadnia reprezentację tensora naprężenia i pola elektromagnetycznego za pomocą czterech potencjałów zespolonych. Przedstawiono wzory na składowe normalne i styczne, moment mechaniczny sił oraz inne istotne charakterystyki pól lokalnych. Omówiono zagadnienie brzegowe dla ciała z pęknięciami w kontekście teorii szczelin, szczegółowo opisując asymptotyczne zachowanie pola w wierzchołkach pęknięć. Opracowano wygodne wzory obliczeniowe dla współczynników WIN oraz innych charakterystyk opisujących pola fizyczne. Zgodnie z ogólną teorią pęknięcia, zbadano równoważność siłowego i energetycznego oszacowania współczynników. Rozdział 4 stanowi systematyczne opracowanie teoretyczne,

które dostarcza fundamentów dla dalszych badań nad materiałami elektro-magneto-sprężystymi, w tym kompozytami i materiałami zawierającymi pęknięcia.

W Rozdziale 5, autor analizuje kwestie związane z efektywnymi właściwościami kompozytów, koncentrując się na podejściu macierzowym, które wynika z zagadnień przedstawionych w Rozdziale 4. Podejście macierzowe, zaprezentowane przez autora, ma na celu usprawnienie analizy efektywnych właściwości kompozytów poprzez wykorzystanie odpowiednich operacji na macierzach. Dzięki temu, możliwe jest bardziej przejrzyste i można powiedzieć wygodniejsze przedstawienie równań pozwalające łatwiejsze manipulowanie nimi zwłaszcza w kontekście badanych kompozytów. Przedstawiony formalizm macierzowy stanowi jednym z istotnych novum wprowadzonym przez Kandydata który wydaje się być znaczącym krokiem w kierunku badań właściwości kompozytów, umożliwiając efektywne rozważanie zagadnień dotyczących tych materiałów. Rozdział 5 stanowi istotne źródło wiedzy, które umożliwia lepsze zrozumienie zachowania MES kompozytów oraz otwiera szeroką drogę do opracowania metod określających efektywne właściwości tych materiałów.

W Rozdziale 6, autor omawia zastosowanie zaproponowanego macierzowego modelu kompozytów w połączeniu z alternatywną metodą Schwarza. Ten rozdział skupia się wyłącznie na przewodnictwie w kompozytach rozproszonych. Stosując macierzowy model, autor osiąga efektywną i wygodną analizę przewodnictwa w kompozytach rozproszonych. Dzięki wykorzystaniu alternatywnej metody Schwarza, możliwe zostało dokładne uwzględnienie wpływu rozproszenia na właściwości przewodnictwa ciepła w tych materiałach. Podano nowy analityczny przybliżony wzór, który może mieć istotne znaczenie w ogólnej teorii kompozytów, umożliwiając lepsze zrozumienie i prognozowanie zachowania przewodnictwa w kompozytach rozproszonych. Wzór może być używany jako efektywne narzędzie inżynierskie do analizy różnych typów kompozytów oraz do projektowania materiałów o pożądanych właściwościach przewodzących. Pozwoli to na znaczna oszczędność w czasie oceny materiałów i wyselekcjonowanie najbardziej perspektywicznych wzorców materiałów które można byłoby już badać bardziej dokładnymi, ale czasochłonnymi metodami. Rozdział 6 stanowi ważne uzupełnienie rozprawy doktorskiej, które przedstawia rozwinięte podejście do analizy przewodnictwa w kompozytach rozproszonych.

Bibliografia niniejszej rozprawy obejmuje imponującą liczbę 125 pozycji. Przeprowadzone badania oparte są na solidnych podstawach naukowych i uwzględniają istotne wkłady innych badaczy z dziedziny.

Dodatki A i B stanowią wartościowe uzupełnienie rozprawy, prezentując dodatkowe badania matematyczne dotyczące rozważanych równań. W Dodatku C przedstawiono opis numerycznego rozwiązania równań całkowych. Ten dodatek prezentuje zastosowane metody numeryczne i algorytmy, które umożliwiły efektywne i precyzyjne rozwiązanie analizowanych równań całkowych. Opisane w tym dodatku metody numeryczne są kluczowe dla otrzymania wyników symulacji i analizy danych. Dodatek D zawiera kody źródłowe w środowisku programowym MATLAB. Te kody programu MATLAB stanowią praktyczne narzędzia, które umożliwiają powtórzenie przeprowadzonych obliczeń i symulacji. Dzięki temu badacze mogą korzystać z tych kodów jako podstawy do dalszych badań, rozwinięcia metod lub dostosowania ich do własnych potrzeb.

Wszystkie teoretyczne wyniki pracy są poprawne. Nie znalazłem w niej żadnych istotnych uchybień, natomiast mam kilka ogólnych uwag krytycznych.

1. Opis niektórych rysunków wymaga poprawę w kierunku dokładniejszego wyjaśnienia o co chodzi. Inaczej czytelnik jest zmuszony szukać w tekście odpowiednie opisanie które też nie zawsze jest wystarczające i wymaga domyślenia się.
2. W rozprawie brak prac opublikowanych przez autora co jest zadziwiające.
3. Na stronie 93, autor odwołuje się do stałych fizycznych podanych w pracach [124, 125]. Chociaż skalowane wartości są poprawne, niestety stałe wymiarowe przepisane z tych prac są sprzeczne pod względem wymiarów. Moim zdaniem, dane wymiarowe podane w pracy [124] mogą być nieprawidłowe. Z tego powodu konieczne było przeanalizowanie i porównanie danych z prac [124] i [125]. W obliczeniach wykorzystuje się dane bezwymiarowe, co oznacza, że skalowane wyniki są poprawne. Jednak jednostki fizyczne nie są poprawnie opisane.

Podane powyżej uwagi krytyczne nie pomniejszają w żaden sposób wartości pracy. Praca została porządnie napisana, można ją bez wątpienie polecać naukowcom jako zamknięte dzieło szczegółowo i zytelnie opisujące badaną działkę naukową.

Jestem zdania, że rozprawa doktorska Pana mgr. Dmytro Nosova jest doskonale zgodna z aktualnymi kierunkami teoretycznych badań dotyczących skomplikowanych elektro-magneto-sprężystych kompozytów, które mają duże znaczenie aplikacyjne. Głównym celem tej pracy doktorskiej było przeprowadzenie kompleksowych badań teoretycznych dotyczących pęknięcia materiałów za pomocą osobliwych pól w wierzchołku szczeliny, w ramach liniowego modelu współczynników intensywności naprężenia. Praca ta wyróżnia się ambitnym podejściem do wszechstronnego badania materiałów przy użyciu metod równań całkowitych osobliwych oraz metody Schwarza w matematycznym modelowaniu i symulacjach komputerowych. Jednym z atutów pracy jest zaawansowany numeryczny algorytm z odpowiednimi kodami, opracowany przez samego autora, bez użycia gotowych komercyjnych programów, które są mało przydatne w kontekście badanych zagadnień.

Uważam, że praca jest merytorycznie poprawna i przynosi nowe, wartościowe wyniki naukowe związane z badaniem lokalnych pól elektro-magnetycznych i elastycznych materiałów kompozytowych z wtrąceniami dielektrycznymi, ferromagnetycznymi i magnetoelastycznymi. Rozprawa jest interdyscyplinarna, ponieważ obejmuje szerokie spektrum problemów fizycznych związanych z materiałami kompozytowymi, wykorzystując zaawansowane narzędzia matematyczne i komputerowe.

Jestem przekonany, że praca doktorska stanowi znaczący wkład w dziedzinie badań kompozytów i ma potencjał do dalszego rozwoju. Autor przedstawił dogłębne opracowanie zagadnienia, wykorzystując nowoczesne metody analizy i symulacji. Praca ta jest cennym źródłem wiedzy dla społeczności naukowej i może stanowić inspirację dla dalszych badań w tej dziedzinie.

Podsumowując, uważam, że recenzowana rozprawa doktorska spełnia warunki ustawowe. Tym samym wnoszę o dopuszczenie mgr. Dmytro Nosova do dalszych etapów przewodu doktorskiego.

Z wyrazami szacunku



***Prof. dr hab. Gennady Mishuris, FLSW***

WIMCS Research Chair in Mathematical Modelling  
Royal Society Wolfson Research Merit Award Holder  
Royal Society Industry Fellow  
Department of Mathematics,  
Aberystwyth University, Wales, UK