

РЕЦЕНЗИЯ

на дисертационния труд на тема

„Изследване на магнитоелектроеластични композити с пукнатини чрез метод на граничните интегрални уравнения”,

представен от гл. асист. Йонко Динев Стойнов за придобиване на образователната и научна степен „доктор” по научната специалност 01.01.13 “Математическо моделиране и приложения на математиката”

Рецензент: проф. дмн Йорданка Александрова Иванова

Рецензията е изготвена съгласно ЗРАСРБ, неговия Правилник и Правилниците за прилагане на ЗРАСРБ на БАН и ИМИ. Съгласно тези документи Йонко Динев Стойнов отговаря на изискванията за придобиване на исканата научна степен.

Представената дисертация се състои от увод, 7 глави, заключение и списък от 81 заглавия на използваната за цитиране в дисертацията литература, изложени общо на 149 страници, (включая 26 фигури и 1 таблица). Дисертацията е ръководена от проф. дмн Цв. Рангелов и доц. д-р П. Динева.

Тематиката на дисертационния труд е актуална и полезна за инженерната практика, тъй като моделирането и численото симулиране на пукнатинното поведение на магнито-електрични-еластични (МЕЕ) материали е от една страна изключително трудно, а от друга спестява скъпа експериментална техника, даваща отговор на решените числено задачи. Материалите, които се изследват са композити, които имат за матрица пиезомагнитен материал *CoFe₂O₄* и включения от пиезоелектричен материал *BaTiO₃*. Тези материали са от нов тип композити, имащи приложение в електронната, автомобилната и др. индустрии.

Целта, поставена пред дисертанта е да бъде разработен, приложен и числено реализиран метод на гранични интегрални уравнения (МГИУ) за оценка на концентрацията на механично напрежение, на интензитет на електричното поле и концентрацията на напрежение на магнитното поле в близост до пукнатина, разположена в равнина от анизотропен МЕЕ материал, подложен на статичен или динамичен (хармоничен по времето) електричен и/или магнитен и/или механичен

товар. Постановката на указаните задачи предполага линейност по отношение на материалните свойства и геометрия на деформациите, както и свързаност на електрично-магнитните и механични характеристики. Използваните материалите са от два вида: хомогенни или нехомогенни. Ще отбележа, че нехомогенният материал е наречен в дисертацията неправилно функционално подреден материал, последният е частен случай от нехомогенните материали. Изследват се разпространения на плоски хармонични SH вълни в произволна посока и с хоризонтална поляризация в композит със зададена пукнатина, свободна от механични усилия и повърхностни електрични и магнитни товари, което води до антиравнинна задача. При тази задача механичното преместване има само една компонента перпендикулярна на разглежданата равнина и се характеризира като срязващо, а векторите на интензитета на електричното поле и магнитната индукция лежат в равнината.

В първа глава е поставена граничната задача за оценка на вълновото поле в линейна трансверзално изотропна, хомогенна (нехомогенна) МЕЕ равнина с непропусклива електрично и магнитно пукнатина под действие на хармоничен магнитоелектромеханичен товар, като са изведени и съответните вълнови уравнения. Трябва да се отбележи, че е направен полезен критичен преглед на литературните резултати по горedefинираната задача.

Няма да дискутирам глава 2. Тя съдържа резултати от литературата и е един вид обзор върху нехиперсингулярен метод на ГИУ в усилия, приложен за формулираната в първа глава гранична задача и има методичен характер..

Глава 3 е посветена на извод на фундаментално решение за вълново уравнение на МЕЕМ при помощта на права и обратна трансформация на Радон. За първи път такива трансформации са използвани и успешно приложени за подобни задачи от научния ръководител на дисертанта проф. Цв. Рангелов за пиезоелектрични материали. Избраният метод за намиране на фундаментални решения при конкретни гранични задачи за МЕЕМ заслужава да бъде високо оценен. Дисертантът е минал добра школа при извода на фундаментално решение на МЕЕМ и се е справил. Както показват и последвалите глави от дисертацията, ефективността на метода е много добра.

Необходимо е да се подчертае, че изводът на фундаменталното решение, както и използваният софтуер (основният пакет е създаден от доц. П. Динева, с участието на проф. Рангелов) изискват от докторанта време и усилия и показват неговата възможност да се справи с поставените задачи и да допринесе към обогатяване на използвания софтуер. Софтуерът е разширен за МЕЕМ и е приложен за редица задачи.

Задачите, решени в глави 4-7 са подредени по нарастваща трудност.

В глава 4 се предлага математично моделиране на хомогенен материал под действие на статичен магнитоелектромеханичен товар. Основните резултати от тази глава са публикувани в Stoynov (2009) и докладвани на Конференцията AMEE, Юни 2009, Созопол. Разглежда се пукнатина в безкрайна, хомогенна, МЕЕ равнина подложена на статично, антиплейн механично и инплейн електрично и магнитно натоварване. При тази опростена постановка чрез право и обратно преобразование на Радон е намерено фундаменталното решение на съответното диференциално уравнение. ГИУ е решено числено, като предварително са изведени необходимите асимптотики. Материалните, електричните и магнитни характеристики на композита и съставните му фази са взети от литературата. Дадена е геометрията на хоризонтална пукнатина, подложена на външно антиравнинно механично натоварване. При тези условия в дисертацията са получени числени резултати за скока на преместването, електричния и магнитния потенциал в различни точки от пукнатината за различни материали. Симулациите показват чувствителност на отварящите пукнатината премествания от вида на материала, което е логично.

Глава 5 дава решение за хомогенен материал, подложен на динамичен магнитоелектромеханичен товар. Отново се разглежда пукнатина в безкрайна хомогенна МЕЕ среда. Външното натоварване, на което е подложена пукнатината е хармонично по времето и е приложено антиравнинно механично и равнинно електрично и магнитно. Предполага се, че пукнатината е непрониклива и е намерено фундаменталното решение на съответната система уравнения при падаща SH вълна в МЕЕ среда. Следва преобразуване на съответната гранична задача и условието на Зомерфелд в еквивалентна система от интегро – диференциални уравнения върху пукнатината Γ . След дискретизация се получава алгебрична система от линейни уравнения, която се решава числено. Създаден е програмен код на Фортран и числените резултати са получени като е използван РС – Core 2 Duo CPU E8500, на 3.16GHz и 2.53GHz, 3GB RAM.

Динамичният обобщен коефициент на интензивност на напрежението се намират директно от стойностите на усилията близо до върха на пукнатината, а като се използват конститутивните уравнения, се получават представянията за интензитета на електричното поле и напрежението на магнитното поле. За дадена хоризонтална пукнатина са получени формули за коефициента на интензивност на напрежението, на интензитета на електричното поле и на напрежението на магнитното поле.

В числените примери се разглежда пукнатина с полудължина $c = 5mm$, заемаща интервал $(-c, c)$ по хоризонталната ос. Пукнатината е разделена на 7 гранични елемента, а материалните характеристики са взети от глава 4. За тестовия пример е намерен обобщеният коефициент на интензивност на напрежението. Направено е сравнение с резултатите на Narita, Shindo (1998), които са използвали метода на сингулярните интегрални уравнения за пиезоелектричния материал с $BaTiO$. Сравнението показва много малка разлика между кривите в честотния интервал $\Omega \in [0.1, 1.5]$ и разлика между резултатите по – малка от 10% около минималните стойности за $\Omega \in [2.0, 3.5]$. Изследвана е чувствителността на обобщения коефициент на интензивност на напрежението от вида на материала, от ъгъла на падащата равнинна вълна, от вида на динамичния товар и неговите характеристики и от свойствата на МЕЕ среда. Представени са числени резултати за пиезоелектричен и пиеземагнитен материал и МЕЕ композит. Оказва се, че КИН имат максимум за нормализирана стойност около 1.0. И тези резултати показват чувствителност на КИН от вида на материала.

Глава 6 се занимава с експоненциално нехомогенен МЕЕ материал под действие на динамичен товар. Основните резултати на тази глава са публикувани в Rangelov, Stoynov (2010) и докладвани на Конференцията Математика в Индустрията, Юли 2010, София и на Конференцията BGSIAM'10, Декември 2010, София. Решен е пример за пресмятане на коефициента на интензивност на напрежението за крайна пукнатина, разположена в безкрайна равнина, подложена на перпендикулярно падаща SH – вълна. Направено е сравнение с резултатите на Daros (2010), който е използвал МГЕ за анизотропен материал с еластичните свойства на пиезокерамика, което е много добро. В главата са дадени резултати за зависимостта на КИН от честотата при различна посока и магнитуда на нехомогенност, при комбинирано натоварване, както и за зависимостта на КИН от ъгъла на падащата вълна и посоката на нехомогенност при фиксирана честота.

Глава 7 се занимава с експоненциално нехомогенен елаетромагнитоеластичен материал при критични честоти. Според дисертанта, честотите са критически, ако фундаменталното решение има различен вид за $\omega_{cr} > \omega$ и $\omega < \omega_{cr}$. Случая $\omega_{cr} > \omega$ е разгледан в Глава 6. В Глава 7 се изследват честоти равни на критическата. Намирането на падащата вълна става по същия начин, както в Глава 6. За критически честоти $k = 0$ се използва резултата от глава 6 и се намират обобщените усилия върху пукнатината.

Частиците на средата вибрират без да има отместване по фаза. Граничното интегрално уравнение има същия вид както в Глава 6.

Получените резултати, представени чрез подходящи механични модели, числена методика и разширен софтуер разкриват някои нови и полезни за практиката ефекти в поведението на МЕЕ материали с пукнатини. Те биха могли да намерят приложение в ултразвуковия безразрушителен контрол, а така също и при решаване на обратни задачи за идентификация на геометрията на пукнатината и нейното разположение. Последното приложение е изключително полезно като нова тема за разширяване на бъдещите изследвания на докторанта.

Създаденият софтуер може да бъде разширен и за други ФПМ.

Основните резултати на дисертацията са публикувани в *Compt. Rend. Acad. Bulg. Sci.*; *Journal of Theoretical and Applied Mechanics*; *American Institute of Physics, Conference Proceedings* и са докладвани на 11th National Congress on Theoretical and Applied Mechanics, 2–5 Sept. 2009, Borovets, Bulgaria; 35th and 36th Conference on Applications of Mathematics in Engineering and Economics, June 2009, June 2010, Sozopol, Bulgaria; Mathematics in Industry Conference, July 2010, Sofia, Bulgaria; BGSIAM'10, December 2010, Sofia, Bulgaria.

Тези резултати са докладвани и на Семинара по диференциални уравнения и приложения в ИМИ, БАН, през 2008 г. и на Отчетните сесии на секция Математическа физика на ИМИ, БАН през 2008 г., 2009 г.

Част от резултатите са получени в изпълнение на договор ДИД 02/15, финансиран от Националния Фонд Научни Изследвания на тема “Комбиниран подход с метод на гранични интегрални уравнения и клетъчно невронни мрежи за анализ на пиезоелектрични материали с пукнатини” и на договор № 102 на тема “Математическо моделиране на някои задачи от механиката и мрежовото оптимизиране”, с възложител НИС при ТУ-София.

Приемам авторската справка за научните и научно-приложни постижения в дисертационния труд. Не са забелязани цитирания по представените публикации. За колективните работи мога да отбележа, че дисертантът има определено голям принос.

Авторефератът отразява правилно приносите в дисертационния труд.

Дисертантът е завършил висше образование през 1995 - ФМИ, СУ ”Св.Климент Охридски”, а от 10.2006-10.2009 е докторант БАН, ИМИ, Секция “Математическа физика”. Добрата математическа база е допринесла определено за развитието му като научен изследовател в областта на математическото моделиране с приложение в

механиката. По настоящем е на работа като гл. асистент в Технически Университет – София, ФПМИ, кат. ”Диференциални уравнения”.

Нямам критични забележки.

Като се има пред вид гореизложеното, предлагам на Уважаемото Жури и на НС на Института по математика и информатика при БАН да гласува положително за присъждането на образователната и научна степен „доктор” на гл. асист. Йонко Динев Стойнов по научната специалност 01.01.13 “Математическо моделиране и приложения на математиката”.

30.09.2011 г.

Гр. София

Рецензент:

/Проф. дмн Й. Иванова/