

СТАНОВИЩЕ

на теза за получаване на титлата "доктор"

Теза: **“НЕЛИНЕЙНА ЕЛАСТО-ВИСКОЗНОСТ НА ЕЛАСТОМЕРИ ПРИ ЦИКЛИЧНИ НАТОВАРВАНИЯ”**

Автор: **инж. Тарик Хрима**

Рецензент: **Симеон Белчев Панев, професор от ХТМУ-София, д-р.**

ОБЩА ХАРАКТЕРИСТИКА НА ДИСЕРТАЦИЯТА

Инж. Тарик Хрима е роден на 30.01.1988. Той е мароканец с професионална квалификация инженер-химик получена във Френско-езичното обучение по индустриална химия - магистърска степен в "Секция материали" към Химико-Технологичен и Металургичен Университет - София в България. Подготвя тезата в катедра "Приложна Механика" към Департамента по Физико-Математически и Технически Науки при Химико-Технологичния и Металургичен Университет – София, България. Има професионален опит в управлението на еластичността на тъкан, обработка на потреблението на електрическа енергия в обществото, инсталация на електрически кабели, монтаж и демонтаж на машините в завод. Говори перфектно арабски, френски и средно английски езици. Владее пакета Microsoft Office.

Тезата е разработена в 6 глави, обхващащи 127 страници и 11 страници приложения, както и преглед на литературата от 125 заглавия.

Глава 1 се фокусира върху **"Литературата"**. Авторът дава сведения на еластомерите: състав, смесване, формоване и вулканизация; области на употреба и експериментални наблюдения. Той разглежда структурните характеристики на полимери, реологичните свойства на полимери, големи деформации (модели на Муни-Ривлин, Нео-Хук, общ модел Огден) и циклични натоварвания. Стига до заключението, че най-ефективната формула за предсказване на мигновените конститутивни отношения напрежения-деформации е тази на Огден. Признава, че факторът на загуба и кривите на хистерезис са важни за механичното поведение при циклични натоварвания и прилагане на еластомери като амортизатори. После формулира целта на работата *"да се изучи и моделира поведението при циклично натоварване на хипер-еластични еластомерни материали с помощта на нелинейната наследствена теория със сингулярни ядра на пълзене-релаксация"* и поставя задачите за решаване:

- 1) Чрез интегралните уравнения на Волтера да се опише нелинейното еласто-вискозно поведение на еластомерните материали, като се вземат предвид различните закони на циклично натоварване с наложени деформации или напрежения;
- 2) Да се прогнозира поведението в зависимост от времето на еластомери с голяма деформация въвеждайки уравненията на веригите (или Огден) в уравненията на Волтера;
- 3) Да се изучи механичното поведение на цикличните товари въвеждайки конститутивните отношения от наследствената теория за втората задача;
- 4) Да се проучи ефекта на Мълинс (омекотяване на напрежението след първите цикли) чрез въвеждане на затихваща функция;
- 5) Да се изучи фактора на загубата на еластомери чрез получаване на отношенията между коефициента на загубата и честотата, както и амплитудата на натоварване;
- 6) Да се изгради амплитудно-честотната диаграма и изучи нелинейността;
- 7) Да се сравнят теоретичния и експерименталния хистерезисни контури на еластомери;
- 8) Да се изследват експериментално еластомери на ХТМУ-София и извлекат главните характеристики на отклика в напрежения(наложени деформации) и в деформации(наложени напрежения) при циклично натоварване.

В глава 2 **"Подобрено наследствено ядро и конститутивно уравнение"** се предлага сума от сингулярни ядра, описващи експериментални данни за пълзене и релаксация на напрежения на вискоеластични тела в циклов режим. Авторът разглежда линейно уравнение и наследствени ядра и още нелинейно конститутивно уравнение. Той представя резултати, експериментални сравнения и изводи.

Глава 3 **"Хистерезисни криви и фактор на загубата"** е предназначена за получаване на комплексни модули и фактора на загубата на вискоеластични тела, изразени чрез функциите на пълзене, релаксация и подходящите наследствени ядра. Факторите на загубата във функция на амплитудата и на деформацията получени аналитично са дадени на фигурите заедно с експерименталните резултати.

В глава 4 **"Ефект на Мълинс"** авторът изследва ефекта на Мълинс от въвеждането в наследствените уравнения една функция на затихване $g(t)$, свързана с щетата в началото при големи деформации. Той въвежда нелинейна функция, която свързва функцията на затихване на Роланд (ефект на Мълинс) - $g(t)$ и нелинейността на

уравнението на Огден - $\varphi(\varepsilon)$: $\chi(\varepsilon) = \varphi(\varepsilon)g(\varepsilon)$. Дава се физически смисъл на параметъра на затихване C свързвайки го с щетата. Има резултати, експериментални сравнения и изводи.

Глава 5 "**Декомпозиция на решенията – наложени деформации и напрежения**" се фокусира върху получаването на амплитудно-честотната диаграма. Декомпозират се решенията, получени чрез Фуриерови редове.

Глава 6 "**Експериментални техники**" описва използваните за експериментите машини и устройства. Това са: Машина и устройство за автоматично зареждане; Машина за експерименти на релаксация на напрежения и циклично натоварване.

В списъка с публикации има 4 работи в екип и 2 постера.

В дисертацията се използват конвенционални идеи на основата на механиката, класически математически инструменти и нови постижения на математическите изчисления и инженеринг. Няма съмнение, че кандидатът ги владее, т.е. резултатите са достоверни.

НАУЧНИ ПРИНОСИ И ГЛАВНИ ПРИЛОЖЕНИЯ

По същество тезата на основата на някои експериментални данни изследва механичното поведение при циклично натоварване на хипер-еластични еластомерни материали. Кандидатът използва нелинейната наследствена теория със сингулярни ядра на релаксация-пълзене. Визуализацията на значими характеристики в едно толкова сложно проучване на хипер-еластични еластомерни материали е първият принос на тезата.

В тезата кандидатът използва четири добре известни релации:

1) **Интегрални уравнения на Волтера от втори ред** спрямо напреженията и

деформациите от наследствената теория:
$$\sigma(t) = E\varepsilon(t) - E \int_0^t R(t, \tau) \varepsilon(\tau) d\tau.$$

Интегралните уравнения на Волтера възникват в тези физически задачи, където има едно преференциално направление на промяна на независимата променлива (например време, енергия, напрежение, деформация и т.н.);

2) **Нелинейността на уравнението на Огден - $\varphi(\varepsilon)$** въведена в уравненията на Волтера, за да се предскаже поведението на еластомери с голяма деформация във функция на времето;

- 3) **Затихващата функция на Роланд** - $g(\varepsilon)$ по отношение на омекотяването на напрежението след първия цикъл, т.е. ефект на Мълинс;
- 4) **Нелинейната функция** $\chi(\varepsilon) = g(\varepsilon) \cdot \varphi(\varepsilon)$ свързваща затихващата функция на Роланд и нелинейността на уравнението на Огден.

Използвайки горните четири релации преведени в средата за програмиране Mathcad се получават резултатите представени в работата:

- Получаване на отношенията между коефициента на загуба на еластомери и честотата, както и амплитудата на натоварването;
- Получаване на амплитудно-честотната диаграма;
- Сравнение на теоретични и експериментални хистерезисни контури на еластомери;
- Заключение за намаляване на модула на съхранение с амплитудата (ефект на Пейн при големи наложени напрежения);
- Получаване на отклики в напрежение или деформация в случай съответно на наложени деформация и напрежение включващи ефектите на Мълинс и Пейн.
- Компютърна програма в среда Mathcad за използване в изследването на еластомери с нелинейна еласто-вискозност.

Няма нови значими научни приноси от тезата.

Изследваните задачи в тезата имат практическо значение. Ето защо резултатите от проучването имат научно-приложни приноси:

- Предложението да се описват кривите на пълзене и релаксация на напрежения в голям интервал от време, като сума от релаксиращи ядра от наследствената теория предсказвайки механичното поведение на вискозо-еластични тела;
- Използването на уравнението на Огден в интегралното уравнение на наследствената теория, за да се опише геометрична нелинейност;
- Въвеждането на функцията на затихване $g(t)$ свързана с увреждане в началото на големи деформации;
- Заключение за намаляване на модула за съхранение с амплитудата (ефект на Пейн в големи наложени напрежения).

Приносите, които веднага могат да бъдат приложени са следните:

- Софтуерът в среда Mathcad да се използва при изследване на еластомери с нелинейна еласто-вискозност;

- Експерименталните данни, потвърждаващи теоретичния анализ;
- Амплитудно-честотната диаграма като резултат от нелинейния наследствен подход;
- Получаване на отклики в напрежение или деформация съответно в случай на наложени деформация или напрежение включващи ефектите на Мълинс и Пейн.

КРИТИЧНИ КОМЕНТАРИ, ПРЕДЛОЖЕНИЯ И ВЪПРОСИ

Приносите са известени съответно публикувани сравнително наскоро - от 2013 г. Може би това обяснява липсата на цитати и реализации. Тези публикации, съответно доклади са представени в България - 4 и в чужбина - 2 пред авторитетни специализирани научни форуми.

В първата публикация *"On the integral equations of Volterra concerning the large time scale"* от 2014 г. имам следните забележки:

- Във формула (8) за итерираните ядра е написано $R_0(t) = R_1$, което не е вярно, тъй като $R_0(t) = 1$. Итерираните ядра в (8) и (9) от ляво зависят само от t , а отдясно от t и τ , което не съответства.

- Формула (14) представя $\varphi(\varepsilon(t)) = \sigma(t) - E \int_0^t \hat{K}(t, \tau) \sigma(\tau) d\tau$. За определяне на деформацията се дава представянето чрез обратната функция на φ : $\psi(\varepsilon(t)) = \varphi^{-1}(\varepsilon(t))$, което не е вярно, тъй като аргументът на φ е ε , докато този на φ^{-1} трябва да е σ . Същата грешка се прави и във втората работа *"Loss factor of rubbers as a function of strain amplitude and frequency"*.

- На страници 6 и 10 от автореферата е написано "Диференцирайки по частно уравнения (1.6) и (1.7) се достига до класическата форма на линейните наследствени уравнения". Трябва да се напише *интегрирайки по части*, а не *диференцирайки по частно*.

- Във формули (1.35) и (2.13b) е написано $\varepsilon(t) = \varphi^{-1}(\varepsilon(t))$, което не е вярно, тъй като аргумента на φ е ε , но аргумента на φ^{-1} е σ .

- В развитието на ε (формула (5.21b)) чрез полином по y , защо индексът i започва от 1, а не от нула. Може би коефициентът a_0 е нула, но не е доказано!?

Авторефератът съответства на дисертационния труд и даже дава по-концентриран израз на изходните позиции и получените резултати.

Отбелязаните приноси в работата следват получените резултати.

Смятам, че приносите на работата до голяма степен са резултат на лични усилия. Ето защо, в известна степен недоумение поражда липсата на независимо публикуване. Без да подценявам броя на хората, които са съавтори, при липса на декларации за тяхното процентно участие, бих искал да вярвам, че участието им е равноценно.

Тезата е написана точно, с вкус към подробен анализ. Забелязах редица технически и математически грешки, които изтъкнах на вътрешното докладване, авторът ги прие и коригира, което прави безполезно повторянето им отново.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Тезата има за цел да покаже, уместността на използването на по-всеобхватен подход в изследването на хипер-еластични еластомерни материали и по този начин привлича вниманието на изследователите относно възможността за прилагане при решаването на други механични проблеми.

Въз основа на научните и практическите приноси в тезата, които са важни за науката и инженерството, актуалността на третираните проблеми и накрая добрата професионална подготовка на автора, аз ще гласувам **положително** за получаване на титлата "доктор" от **инж. Тарик Хрима**.

София, 22.09.2016.

Рецензент:.....


/проф.дтн. Симеон Панев/