

Oponentní posudek bakalářské práce

## Statické a dynamické modely tření v simulacích pohybu mechanických soustav

Student: Tomáš Volín  
Vedoucí: Ing. Štěpán Dyk, Ph.D.  
Studijní program: B3947 / Počítačové modelování v technice  
Studijní obor: 3902R051 / Výpočty a design

Student Tomáš Volín se ve své bakalářské práci o rozsahu 38 stran textu zabývá popisem a srovnáním vlastností statických a dynamických modelů tření. V úvodu je krátce shrnut historický vývoj popisu tření od modelu Coulombova až po komplexnější stavové modely dynamického tření zahrnující ulpívání. Dále jsou shrnuty cíle bakalářské práce.

Druhá kapitola postupně představuje matematické popisy vybraných modelů tření. Jsou uvedeny celkem čtyři modely statického tření (Coulombův model, hladký Coulombův model, rozšířený hladký Coulombův model a Karnoppův model) a tři modely dynamického tření (Dahlův model, LuGre model a elasto-plastický model) včetně popisu významu příslušných parametrů.

Pro srovnání vlastností vybraných modelů tření byly ve třetí kapitole zvoleny a implementovány tři testovací příklady. Tyto příklady jsou formulovány tak, aby umožnily identifikovat a kvalitativně zhodnotit chování jednotlivých modelů tření v úlohách dynamiky hmotného bodu pro různé zdroje buzení.

Čtvrtá kapitola je pak motivována kmitáním olopatkovaných disků s třecímu členy. S odkazem na citovanou literaturu je pozornost soustředěna na modelování ohybového kmitání trojice lopatek, které jsou vzájemně vázány třecími vazbami pro tlumení kmitání lopatek. Výpočtový model trojice lopatek, který byl implementovaný v programovém prostředí MATLAB, je postupně podroben kvazistatickému a harmonickému zatěžování první lopatky a je sledována odezva celé soustavy s ohledem na uvažované modely tření. Dále jsou provedeny parametrické studie vlivu amplitudy a frekvence buzení na odezvu soustavy. Pro zobrazení vlivů jednotlivých parametrů jsou využity bifurkační diagramy, které umožňují odhalit kvalitativní změny v odezvě soustavy (jako např. zdvojení periody). Lokální chování lopatek je pak zobrazeno pomocí fázové trajektorie pro vybrané parametry buzení.

Ačkoliv to v práci není dostatečně zdůrazněno, zvolené téma se dotýká aktuální problematiky modelování tření a jeho projevu v mechanických soustavách a lze je dále využít zejména pak v aplikacích na konkrétní reálné úlohy. Po formální stránce je práce zpracována na dobré úrovni, text je srozumitelný s dobrou grafickou úpravou a dostatečnými odkazy na literaturu. Autor prokázal schopnost samostatné tvůrčí práce v oblasti výpočtového modelování a dále schopnost analyzovat výsledky a formulovat odpovídající závěry.

K práci mám následující připomínky a dotazy:

- U obrázků zobrazujících třecí charakteristiky v kapitole 2 chybějí popisky svislých os.

- Jak je ve vztazích pro vyjádření třecích sil jednotlivých modelů tření v druhé kapitole uvážen vztah mezi orientací relativní rychlosti a orientací třecí síly?
- V kapitole 3.1 je zmíněno, že implementace klasického Coulombova modelu nekonverguje. Jak byla tato implementace provedena?
- Jak je v pohybových rovnicích (3.4) a (3.5) definována relativní rychlost  $v_{rel}$ ?
- Lze blíže klasifikovat změnu zachycenou v bifurkačním diagramu relativní rychlosti na Obr. 4.8 pro model LuGre v oblasti frekvence přibližně 28 Hz?

Předložená bakalářská práce splňuje všechny stanovené cíle. Bakalářskou práci hodnotím známkou **v ý b o r n ě** a doporučuji k obhajobě.

V Plzni dne 19.srpna 2019

Ing. Miroslav Byrtus, Ph.D.