

Posudek diplomové práce

Patrika Vladaře

zpracované na téma

Kmitání rotorových systémů s olopatkovanými disky

Diplomová práce o rozsahu 61 stran je zaměřena na kmitání rotorů s olopatkovanými disky. Její motivací je analýza rozdílů v modálních vlastnostech modelu turbíny při respektování olopatkovaného disku jakožto tuhého tělesa a při detailním modelování jednotlivých lopatek prostřednictvím jednorozměrných nosíkových prvků. Práce navazuje na autorovu bakalářskou práci zaměřenou na modelování lopatky při respektování deplanace průřezů a rozšiřuje ji na celé olopatkované disky, resp. na kompletní model rotoru turbíny, sestávající z poddajného hřídele, ložisek a olopatkovaných disků vč. bandáží.

Práce je logicky rozčleněna do devíti kapitol. Po úvodu v kap. 1 je odvozen model hřídelového konečného prvku v rotujícím i nerotujícím souřadnicovém systému (kap. 2), model tuhého kotouče (kap. 3) a izotropního ložiska (kap. 4). Následně je v kap. 5 až 7 popsán model neprismatické lopatky, vazba lopatky k hřídeli a model bandážového prvku. Aplikační část diplomové práce (kap. 8) je pak zejm. zaměřena na porovnání modálních vlastností modelové turbíny s disky modelovanými jako tuhé kotouče a jako kotouče sestávající z poddajných lopatek.

Cenným zjištěním práce je skutečnost, že tvary kmitu s dominantním kmitáním hřídele turbíny jsou velmi málo ovlivněny přístupem k modelování disku. Tato skutečnost ukazuje, že všeobecně používaná náhrada lopatkových stupňů tenkými tuhými kotouči je dostatečná a respektování poddajnosti lopatek v globálním modelu turbíny nemá větší smysl (rozdíly vlastních frekvencí obou modelů jsou zanedbatelné). Naproti tomu detailní modelování disků výrazně zvyšuje výpočetní náročnost jednotlivých úloh. Uvedená metodika modelování lopatek skýtá možnost detailnější analýzy dynamických vlastností jednotlivých olopatkovaných disků s ohledem na proměnný průřez lopatky po její délce a respektování deplanace průřezů.

Diplomant v rámci aplikační části implementoval rozsáhlý program v systému MATLAB, který využívá aparát z teoretické části práce, včetně uživatelského rozhraní a nástrojů pro vizualizaci tvarů kmitu. K práci mám nicméně následující poznámky:

- Postrádám zde detailnější demonstraci vlastností uvedeného modelu v aplikační části, která se zaměřuje na modální vlastnosti systému za vybraných konstantních otáček. Bylo by účelné prezentovat širší spektrum analýz, např. Campbellovy diagramy a stabilitní diagramy pro uvedený rotor s olopatkovanými disky – i přes vyšší výpočetní náročnost (řádově hodiny na jeden otáčkový řez) by byla úloha jistě řešitelná. Dále by bylo vhodné zobrazit některé z diskových tvarů kmitu lopatkových stupňů apod.
- Stejná označení mají v různých kapitolách jiný význam, což (ačkoli je to v práci zmiňováno) poněkud znesnadňuje rychlou orientaci v textu.
- V textu je často používána jednotka $[\text{rad}\cdot\text{s}^{-1}]$ namísto $[\text{rad}\cdot\text{s}^{-1}]$ pro úhlovou rychlost (např. v popisících obrázků 19-24 a v odpovídajících komentářích), někdy nejsou jednotky uváděny vůbec (např. pro tuhosti na str. 41).
- Model bandáže byl v práci odvozen, ale patrně nebyl ve výpočtech použit.
- Globální model rotoru, sestávající z jednotlivých subsystémů, není v práci formulován.

- Téma by bylo vhodné zasadit do širšího kontextu použitím většího množství různých pramenů.

Dále uvádím dotazy a poznámky, na které by měl autor reagovat v průběhu obhajoby:

1. Proč byl pro demonstraci rozdílů Campbellových diagramů v rotujícím a nerotujícím systému zvolen jiný rotor (bez disků) než v předchozích analýzách?
2. Dle konstatování u vztahu (8.21) je soustava stabilní, ačkoli obsahuje vlastní čísla s kladnou reálnou částí – ta je považována za „numerickou nulu“. Bylo by vhodnější vykreslovat celé průběhy reálných částí, jim odpovídající vlastní frekvence a analyzovat je v souvislosti s příslušnými tvary kmitu, aby bylo zřejmé, že se skutečně nejedná o nestabilitu.
3. Bylo by možné s ohledem na zrychlení výpočtu úlohy modální analýzy pro turbínu s poddajnými olopatkovanými disky použít některou z metod modální redukce?

Závěr

Patrik Vladař splnil cíle diplomové práce a prokázal schopnost aplikace teoretických znalostí v oblasti dynamiky rotorových soustav. Značný objem práce diplomant odvedl při implementaci vlastních výpočtových prostředků v systému MATLAB. Jako hlavní přínos práce vnímám poznatek vhodnosti běžně užívané náhrady olopatkovaných disků turbín tuhými kotouči. Předloženou diplomovou práci proto hodnotím jako přínosnou a s ohledem na výše uvedené výhrady ji hodnotím známkou

velmi dobře.

V Plzni dne 16. 7. 2020

.....
Ing. Štěpán Dyk, Ph.D.
Oponent diplomové práce