

VYSOKOFREKVENČNÍ PULSACE PŘI PROVOZU VODNÍ TURBÍNY

Doktorand: Ing. Jiří Kubálek
Fakulta strojního inženýrství
Energetický ústav
Vysoké učení technické v Brně

Práce se zabývá modelováním vysokofrekvenčních pulsací při provozu vodní turbíny.

Aktuálnost tématu

Matematické modelování tlakových a průtokových vysokofrekvenčních pulsací v turbínách je téma aktuální, kdy vysokofrekvenční pulsace způsobují vysokocyklické namáhání víka, spirály, rozváděcího a oběžného kola, přičemž v některých provozních stavech jsou tyto pulsace intenzivní. Nebezpečná je oblast rezonančních frekvencí. Návrh vhodného matematického modelu pro modelování vysokofrekvenčních pulsací v trubici je náročný úkol, kdy je třeba zahrnout do výpočtu řadu parametrů jako vliv druhé viskozity, materiál trubice, vliv nestacionárního rychlostního profilu aj. Dynamika hydraulického systému může být numericky řešena v časové oblasti nebo ve frekvenční oblasti. Numerické modelování vysokofrekvenčních pulsací turbíny umožňuje posoudit vliv jednotlivých parametrů už v raném stadiu návrhu turbíny.

Splnění stanovených cílů práce

Přehled stanovených cílů v práci chybí. Z tohoto důvodu se nelze vyjádřit k splnění cílů. Cíle práce by měly být uvedeny pod samostatným nadpisem např. za kapitolou úvod a to přehledně s podrobnější specifikací. Proto navrhuji aby doktorand v rámci obhajoby uvedl podrobné cíle práce a jejich splnění.

Hlavní témata, kterými se práce zabývá, jsou zřejmá z abstraktu. V abstraktu autor uvádí, že jsou v práci navržena řešení modelování vysokofrekvenčních pulsací pomocí metody přenosových matic pro trubice s konstantním a kuželovým průřezem a že jsou porovnány varianty válcových a kuželových trubic při změnách okrajových

podmínek. Dále že jsou porovnány modely PVE Dlouhé Stráně složené jen z válcových trubic vůči modelu s válcovými a kuželovými trubicemi.

Obsah práce včetně hlavních výsledků práce uvedených v závěru odpovídají tematickému zaměření práce uvedenému v abstraktu, ale z textu práce není zcela zřejmý vlastní podíl doktoranda na vytvoření 2D modelu kuželové trubice a 1D modelu válcové trubice, tvorbě programu F-A char, experimentální části práce apod. Prosím o vysvětlení vlastního podílu doktoranda na splnění cílů práce v rámci obhajoby.

Postup řešení problému a výsledky disertace

V kapitole 2 autor uvedl pojmy týkající se 2. viskozity. V kapitole 3 uvedl matematický model proudění kapaliny trubicí vycházející z rovnice kontinuity a z pohybové rovnice. Uvažuje linearizovaný model s využitím Laplaceovy transformace. Následně uvádí tvar přenosové matice pro trubici ve tvaru válce se zahrnutím vlivu druhé viskozity, materiálu trubice jako modelu standardního tělesa a vlivu nestacionárního rychlostního profilu. Dále uvádí tvar přenosové matice pro trubice ve tvaru kužele.

V kap. 4. autor uvádí výsledky modelování amplitudové frekvenční charakteristiky tlaku a průtoku a tvarů průtoku a tlaku válcové a kuželové trubice pro různé okrajové podmínky a různé poměry vstupního a výstupního průměru kuželové trubice. Pro modelování použil program F-A char.

V kap. 5 se autor zabývá modelováním vysokofrekvenčních pulsací přečerpávací vodní elektrárny Dlouhé Stráně a porovnáním numericky získaných výsledků s experimentem. Autor vytvořil matematický model pro výpočet vysokofrekvenčních pulsací v prostoru turbíny nebo čerpadla. Tvary kmitu uvádí v čerpadlovém a turbínovém provozu pro 1D a 2D model. Matematický model 1 D je složen výhradně z válcových trubic. 2D model je složen z kombinace válcových a kuželových trubic, kdy kuželové trubice jsou ve spirále, rozvaděči a oběžném kole. Porovnání numerického modelu s měřenými hodnotami bylo pomocí rezidua, kdy reziduum představuje shodu mezi měřenými a vypočtenými tlakovými pulsacemi. Při porovnání 1D a 2D modelů v turbínovém režimu se vliv kuželových trubic projevil nepatrně (autor uvádí rozdíly ve shodě reziduí 3%). V čerpadlovém režimu autor uvádí u 2D modelu o 10% vyšší shodu reziduí než u 1D modelu.

Poznámky:

- V práci není uveden přehled současného stavu. Doporučuji zkráceně uvést v rámci obhajoby.

- str.4: V obr. 2 je element označen V , dále v textu ΔV .

-str. 30, 31: Hodnoty průtoků a tlaků v obrázcích znázorňujících tvary průtoků a tlaků jsou nereálné. Podobně nereálné hodnoty průtoků a tlaku jsou uvedené v kapitole "4 Porovnání válcové a kuželové trubice" u dalších průběhů tvaru průtoků a tlaků a frekvenčně amplitudových charakteristik tlaku a průtoků.

- Z textu není zřejmé, zda se autor podílel na tvorbě matematického modelu kuželové trubice a na jeho zapracování do programu F-A char?

- str. 42: Autor uvádí naměřená data z PVE Dlouhé Stráně. Z textu není zřejmé, zda se autor na měření podílel. Pokud ne, u obr. 42 chybí odkaz na zdroj, ze kterého data byla převzata.

str. 57: Nadpis kapitoly 5.3 je neúplný. V této kapitole autor uvádí na Obr. 51 až 56 významné amplitudy tlakových pulsací v bezrozměrném parametru v závislosti na frekvenci, přičemž z textu není zřejmý podíl autora na zpracování naměřených dat.

- str. 60: Není definováno reziduum pro posouzení výpočtu.

- V práci je pouze 20 odkazů na literární prameny, z toho pouze jeden na zahraniční literaturu. Jsou uvedeny pouze dva odkazy na vlastní publikační činnost, z toho jeden je diplomová práce doktoranda. Pokud má autor více aktivit v publikační činnosti, ať tyto vlastní publikace uvede při obhajobě práce.

Otázky na doktoranda:

- str. 5: Vysvětlete co jsou veličiny c_1 a c_2 ve vztahu (12).

- str. 6: Autor uvádí s odkazem na literaturu, že "hodnota deformace poddajnosti trubice se řádově shoduje s poddajností kapaliny. Vysvětlete.

- kap. 4 Autor vyhodnotil amplitudové frekvenční charakteristiky tlaků a průtoků pro různé okrajové podmínky, ale již zde nejsou uvedeny fázové charakteristiky. Jak se při modelování projevil vliv okrajových podmínek na fázové frekvenční charakteristiky?

- kap. 4 Doporučoval bych u obhajoby uvést vliv druhé viskozity na průběhy modelovaných tvarů kmitu a frekvenčních charakteristik porovnáním vybraných modelovaných charakteristik se zahrnutím a bez zahrnutí druhé viskozity do modelu.

- str. 42: Jaké vlastnosti musí mít snímače tlaku k měření vysokofrekvenčních pulsací na vodní elektrárně Dlouhé Stráně?

- str. 49: V Tab. 1 jsou uváděny různé hodnoty koeficientu druhé kinematické viskozity ζ_H . Jak byly získány a proč jsou různé, když autor ve vztahu (3) na str. 3 uvádí jednu hodnotu tohoto koeficientu?

- str. 49: V Tab. 5 jsou uvedeny různé hodnoty rychlosti zvuku. Jak byly tyto hodnoty získány? Na čem závisí obecně rychlost zvuku v hydraulickém vedení?

- str. 49: Uveďte vstupní údaje pro výpočet linearizovaných odporů na vstupu do trubice v Tab. 5. Jak ovlivnilo zařazení těchto odporů do modelu výpočet?

Výsledky disertace

Práce popisuje a řeší složitou problematiku vysokofrekvenčních pulsací při provozu vodní turbíny. Přehledně uvádí matematický model dynamiky válcové a kuželové trubice ve frekvenční oblasti pomocí přenosových matic s využitím metody Laplaceovy transformace. Přínosem je zohlednění vlivu druhé viskozity při vysokofrekvenčních pulsacích. Práce přispěje k rozvoji oboru numerického modelování vysokofrekvenčních pulsací v trubici s kapalinou. Přínosem je ověření matematického modelu porovnáním s daty naměřenými ve vodní přečerpávací elektrárně Dlouhé Stráně. Matematický model se jeví jako vhodný pro modelování vysokofrekvenčních pulsací v trubicích. Z práce není zcela zřejmý vlastní podíl doktoranda na uváděných výsledcích. Při obhajobě doktorand uvede, které uváděné výsledky jsou jeho a které byly převzaty. Pokud byly některé výsledky převzaty, musí být uvedeny odkazy na zdroje.

Formální úprava

Práce obsahuje 77 stran, z toho 8 stran příloh. Práce je vhodně členěna do 6 kapitol, které na sebe dobře navazují. V práci chybí přehled současného stavu a konkrétní specifikace cílů práce. V práci jsou občasné překlady a gramatické chyby. Grafy jsou zpracovány přehledně. Na titulní straně disertační práce není uveden správný název práce, ale pouze vysokofrekvenční pulsace při provozu turbíny.

Doporučení

Doktorand projevil v práci dobré znalosti z oblasti modelování vysokofrekvenčních pulsací při provozu turbíny. V dané problematice se dobře

orientuje. Práce splňuje požadavky na teoretickou a aplikačních úrovních. Po uvedení cílů práce a jejich splnění v rámci obhajoby a rovněž po uspokojivém objasnění vlastního podílu doktoranda na uváděných výsledcích v rámci obhajoby disertační práci doporučuji k obhajobě.

Ostrava, 29/11/2013


doc. Dr. Ing. Lumír Hružík
Katedra hydromechaniky a hydraulických zařízení
Fakulta strojní
VŠB-TU Ostrava