

Nelinearen odziv konzolnih nosilcev zaradi velikih geometrijskih deformacij: Eksperimentalna validacija

Claudia Aide Gonzalez-Cruz* – Juan Carlos Jauregui-Correa – Gilberto Herrera-Ruíz
Avtonomna univerza Querétaro, Fakulteta za strojništvo, Mehika

Mnogi konstrukcijski elementi, kot so lopatice plinskih in vetrnih turbin ter odskočne deske, so oblikovani kot vitki elementi. Ker je takšne elemente pri preučevanju njihovega dinamičnega vedenja mogoče modelirati kot konzolne nosilce, je pomembno razumevanje njihovega nelinearnega vedenja zaradi velikih deformacij. Članek predstavlja eksperimentalno validacijo poenostavljenega modela konzolnega nosilca. Nelinearno vedenje konzolnih nosilcev je predmet raziskav že vrsto let in mnogi raziskovalci so predlagali svoje dinamične modele in eksperimentalne postopke. Kljub temu pa ostajajo nekatera odprta vprašanja in validacija še ni bila opravljena. Namen članka je numerična in eksperimentalna demonstracija dejstva, da je nelinearno vedenje konzolnega nosilca posledica velikih deformacij.

Domneva je bila validirana s poenostavljenim modelom, ki je bil oblikovan na podlagi velikih geometrijskih deformacij in Galerkinovega pristopa. Pri modeliranju so bile privzete homogene, ortotropne in linearne lastnosti materiala. Dinamični model je bil izpeljan z Lagrangeovo enačbo. V končnih enačbah so vključeni tudi polinomski členi, povezani z vračalno silo. Vračalna sila je bila modelirana kot polinom petega reda.

Za validacijo poenostavljenega modela so bili opravljeni eksperimentalni preizkusi na vitkem konzolnem nosilcu. Izmerjene so bile vertikalne vibracije in pospešek na prostem koncu nosilca. Numerični in eksperimentalni podatki so bili analizirani s pomočjo frekvenčnega spektra, zvezne valčne transformacije in faznega diagrama ali fazne ravnine. S kombinacijo teh analiz je bilo mogoče določiti nelinearno vedenje.

Numerični in eksperimentalni rezultati so bili pridobljeni za dvojne obremenitvene razmere: s prostimi in z vsiljenimi vibracijami.

Prikazana je občutljivost modela za začetni pogoj majhnega odmika. Rezultati kažejo linearno in stabilno vedenje, saj amplituda vsake frekvence ostaja konstantna. Model je bil nato rešen z začetnim pogojem velikega odmika. V rezultatih so razvidni stranski pasovi frekvenčnega spektra in očitno nelinearno vedenje, saj se je amplituda frekvenc spreminjala v času (na časovno-frekvenčnem diagramu), v faznem diagramu pa so vidne zaprte zanke z dvema privlačnima poloma. Model je bil pozneje rešen tudi za primer vsiljenih vibracij. Nastavljeno je bilo vzbujanje z dominantnimi frekvencami, ki so bile ugotovljene eksperimentalno (2,9 Hz, 1,8 Hz in 51 Hz). Sistem je v vseh primerih izkazoval nelinearno vedenje, saj je v časovno-frekvenčnih diagramih mogoče opaziti spremenljivost frekvenc, v faznih diagramih pa se kaže nestabilno vedenje.

Iz rezultatov meritev odziva na proste vibracije sledi, da pri dinamičnem odzivu dominira strukturno dušenje. Ta parameter zmanjšuje amplitudo vibracij in v prvih nekaj vzorcih je bil opažen nelinearen vpliv. Nelinearno vedenje je bilo bolj opazno med preizkusom s prehodom skozi frekvenčno območje. Rezultati kažejo skok zaradi nelinearnosti nosilca pri frekvencah 18,1 Hz in 51 Hz. Končno sta bila izvedena dva preizkusa vibracij pri kritičnih frekvencah.

Pomembno je poudariti, da je nelinearno vedenje nosilca posledica velikih deformacij. Do takšnega vedenja pride pri določeni frekvenci, ki se razlikuje od frekvenc, povezanih z linearnimi zvrstmi. Numerična rešitev kaže značilen vzorec harmoničnih popačenj zaradi polinomskih členov v modelu, ko je vzbujalna frekvenca pod lastno frekvenco, pa sta v faznem diagramu dva privlačna pola. Eksperimentalni rezultati kažejo dve konkretni frekvenci, ki sta povezani z nelinearnimi členi. Nosilec je imel v preizkusu prehoda skozi frekvenčno območje različne amplitude pri frekvenci 51 Hz. Amplituda med dviganjem frekvence je večja od amplitude med nižanjem frekvence in nelinearno vedenje je zato opaznejše pri tej frekvenci. Nelinearno vedenje zaradi velikih deformacij se pojavlja samo pri določenih frekvencah ali ko je nosilec bolj odklonjen. Če nosilec ni vzbujan prav v teh pogojih, je torej vpliv velikih deformacij mogoče zanemariti. Poenostavljeni model, ki je predstavljen v članku, opredeljuje nelinearne frekvence z zadostno točnostjo. Z drugimi metodami pa je te frekvence mogoče določiti le če so relativni odmiki razmeroma veliki.

Ključne besede: fazni diagram, harmonično popačenje, zvezna valčna transformacija, velike geometrijske deformacije, nelinearna dinamika, strukturno dušenje