

# Eksperimentalna identifikacija celotnega strukturnega dušenja sistema

Goran Radoičić – Miomir Jovanović\*

Univerza v Nišu, Fakulteta za strojništvo, Srbija

Vrednosti parametrov dušenja se v analizi strukturne dinamike najpogosteje povzamejo po empiričnih priporočilih, pri tem pa se uvede neznana napaka, ki povzroči nerealističen dinamični odziv konstrukcije. Zaradi pomena strukturnega dušenja pri strukturalni analizi je nujna opredelitev preverjenega eksperimentalno-teoretičnega postopka za identifikacijo koeficienta celotnega strukturnega dušenja  $G$ . Model za določanje koeficienta  $G$  mora biti preverjen na kompleksni realni strukturi.

Realen dinamični odziv velike jeklene palične konstrukcije na zunanje motilne sile zaradi hitrega spuščanja bremena do udarca ob tla je bil določen eksperimentalno. Eksperimentalna metoda vključuje določanje periode vibracij, amplitud premikov na referenčnih točkah konstrukcije in logaritmskega dekrementa dušenega vibracijskega gibanja. Cilj raziskave je poiskati vrednost koeficienta  $G$ , ki ustreza eksperimentom, na osnovi več simulacij z različnim strukturnim dušenjem. Z drugimi besedami, vzporedno opazovanje prostih dušenih vibracij konstrukcije pri različnih koeficientih  $G$  z numerično simulacijo omogoča opredelitev vrednosti koeficienta  $G$ , ki daje enako dinamično vedenje konstrukcije kot pri eksperimentu.

Eksperimentalna raziskava strukturnega dušenja je bila zasnovana na meritvah napetosti. Uporabljena je bila sodobna merilna oprema HBM. Rezultati eksperimentov so bili obdelani s programsko opremo HBM Catman AP. Eksperiment je bil opravljen na stolpnem žerjavu Potain 744e. Parametri predhodno razvitega numeričnega modela so: masa 72204 kg, število končnih elementov 1667, število vozlišč 1146, število prostostnih stopenj 6876. Za analizo dinamičnega odziva je bila uporabljena Newmarkova metoda časovne integracije. Privzeti so bili veliki premiki.

Najnižji lastni frekvenci v drugem in četrtem vibracijskem načinu  $\omega_{2,m} = 0,4749$  Hz in  $\omega_{4,m} = 1,5444$  Hz najbolj predstavljata dominantni značaj strukturnih vibracij v vertikalni ravnini pri vzbujanju. Lastne frekvence so bile ugotovljene z modalno analizo. Ker uporabljena analiza dinamičnega odziva ne vključuje dušenja v obliki kompleksnih števil, je bilo strukturno dušenje za najdene dominantne frekvence pretvorjeno v ekvivalentno viskozno dušenje. Pretvorba je bila opravljena z enačbo:  $[B_T] = [B] + (1/\omega_3) \cdot [K] + (1/\omega_4) \cdot \sum G_E [K_E]$ . Koeficient dušenja (amortizacije) karakterističnih točk pri meritvah je obsegal vrednosti v območju  $d = 0,01$  do  $0,108$ . Na podlagi ugotovljenih posameznih vrednosti dušenja vibracij je bila z numeričnimi simulacijami opredeljena vrednost celotnega koeficienta strukturnega dušenja  $G = 0,05$ , pri kateri se rezultati najbolje ujemajo z eksperimentom. Na osnovi raziskave so bile pridobljene matematične aproksimacije dušenja.

Natančno ugotavljanje disipacije energije v velikih konstrukcijah je kompleksen problem, zato je pri dinamični analizi bolj praktična uporaba celotnega koeficienta strukturnega dušenja  $G$ , ki vključuje različne oblike dušenja povezav v konstrukciji. Za natančno opredelitev vrednosti koeficienta  $G$  je smiselno izvesti eksperimentalne dinamične preizkuse.

Prispevek te raziskave je v praktični uporabi koeficienta strukturnega dušenja v simulacijah realnih konstrukcij z velikim številom elementov. Dušenje je vključeno v modelu z bolj praktično kompleksno enačbo  $[K_T] = (1 + iG) \cdot [K] + \sum G_E [K_E]$ . Eksperimentalno določanje koeficienta  $G$  ima prednost, ker omogoča boljše ocenjevanje parametrov: opisa začetnih pogojev premikov ter hitrosti razbremenjevanja in obremenjevanja konstrukcije za impulzni učinek. Eksperimentalno ugotovljene amplitude v izjemnih primerih sodijo med velike premike, saj dosegajo celo 10 % višine objekta.

Znanstvena vrednost raziskave je tudi v eksperimentalni verifikaciji zelo zahtevnega numeričnega modela. Z eksperimentalno vrednostjo koeficienta  $G$  je bila potrjena zadostna natančnost modela MKE in preverjen numerični postopek za analizo dinamičnega odziva na dano vzbujanje. Eksperimentalno-teoretični model za identifikacijo koeficienta  $G$ , predstavljen v članku, je mogoče uporabiti tudi za podobne konstrukcije kot so večji stolpni žerjavi, viličarji za kontejnerje, pristaniški in ladjedelniški žerjavi, stolpi.

**Ključne besede:** strukturno dušenje, dinamični odgovor, palična konstrukcija, koeficient dušenja, stolpni žerjav, velika amplituda