

## Nelinearne vibracije sistema rotor-kapljevina-temelji, podprtega s kotalnimi ležaji

Almatbek Kydyrbekuly<sup>1</sup> – Leyla Khajiyeva<sup>1</sup> – Alysher Ybraev Gulama-Garyp<sup>1</sup> – Julius Kaplunov<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Kazahstanska nacionalna univerza Al-Farabi, Kazahstan

<sup>2</sup> Univerza Keele, Združeno kraljestvo

Članek preučuje dinamiko sistema rotor-tekočina-temelji ob upoštevanju linearne ekscentričnosti, dušenja in nelinearnosti kotalnih ležajev. Rotor, katerega cilindrična votlina je delno napolnjena z idealno nestisljivo kapljevino, je povezan s kotalnimi ležaji in elastično podprt s temelji. Visokohitrostni rotacijski stroji imajo pomembno vlogo v sodobni industriji, kjer opravljajo naloge prenosa navora in vrtilnega gibanja v mnogih energetskih, električnih in vrtilnih sistemih, vključno s plinskimi turbinami, kompresorji, separatorji, centrifugalnimi črpalkami in stroji za tekstil.

Članek obravnava razvoj splošnega matematičnega modela za vrednotenje sklopljenih nelinearnih nihanj in preučevanje stabilnosti gibanj. Eden glavnih poudarkov je vključitev deformabilnosti ležajev, ki postane pomembna pri visokih hitrostih vrtenja in močno vpliva na visoko natančnost delovanja. Nelinearne elastične deformacije, ki so povezane s tem, imajo radialno in obodno komponento. Naslednji izziv pri obravnavanih sistemih je močna sklopitev med gibanjem rotorja in tekočine, ki vpliva na frekvence vibracij in povzroča nestabilnosti.

Izpeljane so enačbe gibanja na podlagi klasičnih formulacij dinamike togih teles in mehanike fluidov. Vključena je Hertzova teorija za modeliranje vpliva nelinearnih deformacij ležajev in oblikovana je približna analitična rešitev za prej omenjene enačbe. Podrobno so analizirana lastna in vsiljena nihanja in predstavljene so omejitve s posebnostmi dinamičnega vedenja, vključno z možnostjo samocentriranja, povezanega z ničelnim pritiskom na podpore. Podane so preprosto razumljive eksplisitne formule za frekvence in amplitude vibracij. Izdelani so grafi, ki predstavljajo nestabilna področja lastnih nihanj za več različnih vrednosti mase tekočine v votlini, predstavljene pa so tudi krivulje odziva rotorja in temeljev. Iz fenomenološke analize predstavljenih numeričnih podatkov sledi več uporabnih zaključkov.

Predlagani pristop podaja takojšnji kakovostni vpogled v vrsto praktičnih problemov dinamike rotorjev in omogoča več posplošitev, vključno z implementacijo pristopa pri modeliranju centrifug, ki ločujejo kapljevito od trdne faze. Metodologijo, uporabljeno v članku, bi bilo mogoče dopolniti s fleksibilnostjo gredi in žiroskopskimi pojavi, dovolj robustna pa je tudi v prehodnih režimih. Rezultati omogočajo izbiro optimalnih parametrov rotorja, temeljev in tekočine za minimalno amplitudo vibracij in napetosti sistema, kakor tudi za zmanjšanje širine nestabilnih območij. Omogočajo tudi določanje pogojev za samocentriranje, končno pa odpirajo tudi priložnosti za omejevanje škodljivih nihanj s spreminjanjem lastnosti temeljev.

**Ključne besede: rotor, temelji, kotalni ležaji, nelinearne vibracije, resonanca, kapljevina, votlina**