

Modeliranje dinamike, eksperimentalna identifikacija in računalniške simulacije nestacionarnih vibracij pri hitrih dvigalih

Radomir Đokić^{1,*} – Jovan Vladić¹ – Milan Kljajin² – Vesna Jovanović³ – Goran Marković⁴ – Mirko Karakašić⁵

¹Univerza v Novem Sadu, Fakulteta tehniških znanosti, Srbija

²Vseučilišče Sever, Univerzitetno središče v Varaždinu, Hrvaška

³Univerza v Nišu, Fakulteta za strojništvo, Srbija

⁴Univerza v Kragujevcu, Fakulteta za strojništvo in gradbeništvo v Kraljevu, Srbija

⁵Univerza v Slavonskem Brodu, Fakulteta za strojništvo, Hrvaška

Študija predstavlja metodo za oblikovanje dinamičnega modela za analizo nestacionarnih vibracij vrvi s časovno spremenljivo dolžino v anholonomnih robnih pogojih. Obravnavan je odsek vrvi med kabino (kletko) in točko navijanja na vrvenici (bobnu). Predstavljena dinamična analiza in znanstveni pristop sta še posebej pomembna ob upoštevanju narave teh sistemov, ki so namenjeni dviganju (spuščanju) ljudi in bremen na velike višine (globine) s hitrostmi do 20 m/s. Predstavljeni pristop z oblikovanjem diferencialne enačbe za gibanje konca vrvi, ki se navija na vrvenico, pomaga pri določanju kritične hitrosti dvigovanja v odvisnosti od mehanskih lastnosti (modula elastičnosti in dušenja) ter napetosti (obremenitev) v jeklenih vrveh.

Za identifikacijo osnovnih parametrov dinamičnega modela jeklenih vrvi, kot so togost, modul elastičnosti in dušenje, je bila uporabljena edinstvena metoda na osnovi eksperimentalnih meritev na konkretnem rudniškem dvigalu. Koeficient dušenja vrvi ni konstanten, ampak je odvisen od položaja kletke. Sklepati je mogoče, da v vrveh deluje kombinacija viskoznega in histereznega dušenja, ki jo bo treba še dodatno raziskati. Med delovanjem dvigal se nenehno povečuje in zmanjšuje prosta dolžina dvižnih vrvi, posledično pa se tudi spreminjata togost in dušenje vrvi. Pri hitrih dvigalih lahko povečanje relativne deformacije privede do dinamičnih nestabilnosti med dvigovanjem (krajšanjem proste dolžine). Te nestabilnosti resno vplivajo na varnost potnikov.

Glede na to, da so problemi zaradi vibracij pogonskih mehanizmov predmet večjega števila znanstvenih člankov, v katerih so največkrat uporabljene standardne analize, je logično, da morajo biti v središču pozornosti raziskave dinamike dvigal inovativne metode za analizo longitudinalnih nihanj s spremenljivimi parametri.

Eksperimentalni del raziskav je bil opravljen na rudniškem dvigalu s predvideno najvišjo hitrostjo dviganja 16 m/s in dvižno višino 523 m v prvi fazi oz. 763 m v drugi fazi eksploatacije rudnika. Eksperimenti so bili opravljeni z brezžičnim zbiranjem podatkov. S tem je bila dosežena popolna sinhronizacija podatkov, zbranih na strehi kletke in v strojnici. Rezultati eksperimentov in parametri dinamičnega modela so prikazani za štiri različne primere gibanja (dviganja in spuščanja) prazne oz. naložene kletke.

Na osnovi rezultatov meritev so bile opredeljene mehanske lastnosti jeklenih vrvi. Iz analize rezultatov sledi sklep, da se podatki o modulu elastičnosti ujemajo s podatki iz literature. To potrjuje veljavnost uporabljenega postopka ter omogoča opredelitev realnih (obratovalnih) vrednosti za rudniška dvigala. Predlagana metoda predstavlja nov pristop, ki bo omogočil analizo dinamičnega vedenja realnih sistemov za vertikalno dviganje.

Na osnovi eksperimentalnih rezultatov so bile opravljene simulacije dinamike prazne in naložene kletke. Študija predstavlja tudi posebno metodo za oblikovanje krmilnega programa, ki bi zmanjšal vertikalne vibracije med zagonom in zaviranjem dvigala. Pri hitrih dvigalih je pomembno raziskati spremembe v hitrostih dviganja in opredeliti ustrezno krmiljenje za primere, ko med sosednjima nadstropjema ni dosežena nominalna hitrost, pospeševanju pa takoj sledi zaviranje. Pravilno krmiljenje je ključno za zaviranje v najprimernejšem trenutku, ki zagotavlja bistveno manjšo amplitudo nihanj.

Ključne besede: hitra dvigala, dinamična analiza, vrv s časovno spremenljivo dolžino, mehanske lastnosti jeklenih vrvi, vzdolžna nihanja, krmilni program