

Sistem za izničenje nihanja bremena pri pretovarjanju z obalnimi dvigali

Edvin Raubar^{1*} – Damir Vrančič²

¹ Luka Koper, d.d., Slovenija;

² Institut Jožef Stefan, Slovenija

Dvižni mehanizem obalnih dvigal je izveden tako, da je breme z jeklenimi vrvmi vertikalno vpeto na voziček. Pri procesu natovarjanja oz. raztovarjanja ladje se voziček giblje vzdolž ročice obalnega dvigala. Zaradi strukture dvižnega mehanizma povzroča gibanje vozička nihanje bremena okoli ravnovesne lege. Nihanje bremena poveča čas natovarjanja oz. raztovarjanja ladje in možnost trkov z drugimi objekti, kot so sosednji kontejnerji, železne konstrukcije ladje ali obalnega dvigala itd. Nihanju bremena se ne moremo izogniti, lahko pa ga zmanjšamo z ustreznim sistemom za izničenje nihanja bremena. Namen tega dela je poiskati ustrezen sistem, ki bo zmanjšal nihanje bremena pri natovarjanju oz. raztovarjanju ladje z obalnimi dvigali v Luki Koper in s tem povečati produktivnost. V članku sta najprej predstavljena nelinearen in lineariziran matematični model nihanja bremena okoli ravnovesne lege pri gibanju vozička vzdolž ročice obalnega dvigala. Modela temeljita na parametrih Panamax obalnih dvigal, ki se uporabljajo v Luki Koper. V nadaljevanju so predstavljeni in simulacijsko preizkušeni trije sistemi za izničenje nihanja bremena.

Najprej je bilo treba razviti nelinearen in lineariziran matematičen model, na katerem so temeljili vsi nadaljnji izračuni in simulacije. Rezultati simulacije so pokazali, da je razlika med odzivoma nelinearnega in lineariziranega sistema zanemarljiva, zato smo zaradi poenostavitve v vseh nadaljnjih izračunih uporabili le lineariziran model. Predstavljeni odprtozančni sistemi za izničenje nihanja bremena temeljijo na tehniki glajenja vhodnega signala. S to tehniko razstavimo vhodni signal na več stopničastih signalov. Voziček se tako ne giblje več enakomerno pospešeno do zelene končne hitrosti, temveč se v enakomernih časovnih intervalih giblje brez pospeška. Če oscilatorni sistem vzbudimo z impulzom, prične le-ta nihati. V primeru, da ob določenem trenutku pošljemo še en impulz ustrezne amplitude, pa se nihanje izniči. Vhodni signal je lahko preoblikovan s poljubnim številom impulzov, najpomembneje pa je ustrezno določiti amplitudo in časovni razmak med njimi. Tako lahko dosežemo sistem brez oscilacij, pri tem pa je potrebno upoštevati naslednje pogoje in omejitve: (i) po zadnjem impulzu mora biti nihanje izničeno (omejitev ničelnega iznihavanja), (ii) vsota amplitud impulzov, s katerimi je glajen vhodni signal, mora biti enaka ena (omejitev enotske vsote amplitud), (iii) časovni odvod odziva sistema mora biti za večjo stabilnost sistema po zadnjem impulzu enak nič (omejitev stabilnosti sistema), (iv) impulzi morajo biti časovno razporejeni tako, da je zakasnitev sistema čim manjša (omejitev optimalne časovne razporeditve). V članku so predstavljeni trije modeli za glajenje vhodnega signala, ki so tudi najpogosteje uporabljeni v praksi. To so: (i) Zero-Vibration Shaper (ZV), (ii) Zero-Vibration-Derivative Shaper (ZVD), (iii) Zero-Vibration-Derivative-Derivative Shaper (ZVDD). Modeli se med seboj razlikujejo po številu impulzov, ki so uporabljeni za glajenje vhodnega signala. Vsak impulz ima natančno določeno amplitudo in časovno zakasnitev. Oba parametra sta odvisna od lastne frekvence nihanja sistema in stopnje dušenja. V primeru Panamax dvigala v Luki Koper je lastna frekvenca nihanja sistema 1,76 rad/s oz. 0,28 Hz, stopnja dušenja pa je enaka 0, kar pomeni, da je sistem nedušen.

Iz rezultatov simulacij je razvidno, da vsi trije sistemi občutno zmanjšajo nihanje bremena, vendar le modela ZVD in ZVDD izpolnjujeta zahteve Luke Koper. Glede na to, da je ZVD model enostavnejši za uporabo in hitreje doseže stabilno končno lego, je tudi najprimernejši kandidat za implementacijo v obstoječa dvigala.

Sistemi za izničenje nihanja bremena, ki so predstavljeni v članku, temeljijo na konvoluciji vhodnega signala z nizom impulzov. Na ta način se vhodni signal, ki je sestavljen iz enega impulza, razstavi na več stopničastih signalov in se posreduje sistemu za regulacijo hitrosti pogona vozička. Slaba lastnost omenjenih sistemov je ta, da se nekoliko podaljša čas potovanja vozička iz ene v drugo lego.

V simulaciji je uporabljen nedušen model s fiksno dolžino jeklene vrvi. V nadaljnjem delu bo treba preveriti odziv vseh treh sistemov še na matematičnem modelu s spremenljivo dolžino dvižne jeklene vrvi pri različnih faktorjih dušenja.

Trenutna produktivnost posameznega obalnega dvigala Panamax v Luki Koper je 19 kontejnerjev na uro. Iz rezultatov simulacij sledi, da lahko z uporabo enega od prikazanih sistemov za izničenje nihanja bremena povečamo produktivnost za 2 kontejnerja na uro, oziroma za približno 10%.

Ključne besede: obalno dvigalo, nihanje bremena, sistem za izničenje nihanja bremena, odprtozančni sistem