



A XII-a Conferință Națională multidisciplinară – cu participare internațională
"Profesorul Dorin PAVEL – fondatorul hidroenergeticii românești",
SEBEȘ, 2012

SISTEME INOVATIVE DE IZOLARE SEISMICĂ BAZATE PE DISIPAREA ENERGIEI PRIN FRECARE. MODEL ANALITIC

Andrea Amalia MINDA, Gilbert Rainer GILLICH,
Claudiu IAVORNIC, Petru Florin MINDA, Ștefania Camelia JURCĂU

INNOVATIVE SYSTEMS FOR SEISMIC ISOLATION BASED ON FRICTIONAL ENERGY DISSIPATION. ANALYTICAL MODEL

In this paper we present an innovative system for seismic isolation based on frictional energy dissipation. While classical friction pendulum bearings contain one or more cylindrical or spherical sliding surfaces, they provide just pairs of two parameters controlling the dynamic behavior of a structure isolated by this kind of device. In this paper we are implementing friction pendulums having the sliding surface profile based on a polynomial function of superior order. This seismic isolation system permit a greater flexibility in controlling the oscillations of the upper structure, in terms of displacements or dissipated energy, by using three parameters to control the force-displacement relation.

Cuvinte cheie: pendul cu fricțiune, suprafața de alunecare, funcții polinomiale, energia disipată

Keywords: friction pendulum, sliding surface, polynomial functions, dissipated energy

1. Introducere

Soluția ideală de protejare a clădirilor în cazul cutremurelor este de a controla și limita transferul de energie de la sol la construcție

și de a disipa la maxim energia seismică transferată clădirii prin utilizarea unor dispozitive mecanice specializate cu ajutorul cărora se controlează comportarea seismică a clădirilor pentru a nu se ajunge la suprasolicitări și distrugerii. Pentru a îndeplini aceste condiții este necesar să se dezvolte astfel de dispozitive mecanice, care să fie prevăzute cu caracteristici elastice și de amortizare controlată, în concordanță cu caracteristicile de inerție și rigiditate a construcțiilor și cu cinematica mișcărilor seismice.

Izolatorul seismic actual de tipul pendul cu fricțiune simplu este compus dintr-o armătură inferioară I, care are o suprafață de alunecare cilindrică sau sferică, un pivot II și o armătura superioară III, figura 1.



Fig. 1 Secțiune a pendulului cu fricțiune simplu

În cadrul lucrării de față vor fi propuse o serie de variante constructive inovative: suprafața bazei de glisare va fi generată de un profil polinomial. Utilizarea sa permite ca disiparea energiei seismului să poată fi controlată indexat într-un mod ce conferă o precizie sporită.

2. Modelul matematic

În cazul pendulului cu fricțiune simplu suprafața de alunecare este cilindrică sau sferică. Controlul mișcării se poate realiza prin reglarea a doi parametri: raza pendulului R și coeficientul de frecare μ .

Variația înălțimii h în funcție de unghiul α , respectiv în funcție de deplasarea u , este exprimată în următoarea relație:

$$h = R \cdot (1 - \cos \alpha) = R \cdot \left(1 - \cos \arcsin \frac{u}{R} \right) \quad (1)$$

În figura 2. se prezintă o secțiune a pendulului simplu cu fricțiune (a) și echilibrul forțelor care acționează asupra izolatorului (b).

Deplasarea pe orizontală u depinde de unghiul α prin relația:

$$u = R \cdot \sin \alpha$$

Valoarea forței de frecare este dată de:

$$F_f = \mu N \cdot \text{sign}(\dot{u}) \quad (2)$$

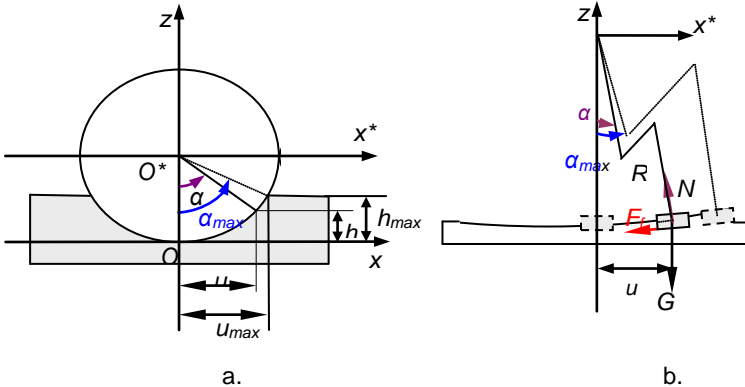


Fig. 2 Secțiune a pendulului simplu cu fricțiune (a); echilibrul forțelor ce acționează asupra izolatorului (b)

Dacă considerăm mișcarea în sensul pozitiv al axei Ox, putem lua valoarea lui $\text{sign}(\dot{u}) = 1$, forța F_f exprimată în funcție de α fiind:

$$F_f = \mu G \cos \alpha$$

Pe intervalul $[0, u_{\max}]$ energia disipată este:

$$E_d = \int_0^{u_{\max}} F_f(u) du \quad (3)$$

sau

$$E_d = \int_0^{u_{\max}} \mu G \cos \alpha du = \mu G \int_0^{u_{\max}} \cos \alpha du$$

Făcând schimbarea de variabilă $u = R \cdot \sin \alpha$, integrala calculată pe intervalul $[0, u_{\max}]$ devine o integrală calculată pe intervalul $[0, \alpha_{\max}]$ și energia disipată va avea expresia:

$$E_d = \mu GR \int_0^{\alpha_{\max}} \cos^2 \alpha d\alpha \quad (4)$$

unde

$$\alpha_{\max} = \arcsin \frac{u_{\max}}{R} \quad (5)$$

Efectuând schimbare de variabilă $\cos \alpha = q$ în integrala din relația (4), obținem:

$$E_d = \frac{1}{2} \mu GR (\alpha_{\max} + \sin \alpha_{\max} \cos \alpha_{\max}) \quad (6)$$

Pendul cu fricțiune simplu cu suprafața de alunecare generată de o funcție polinomială

Considerăm, în planul xOz, curba care generează suprafața de alunecare dată de ecuația:

$$y = a \cdot |u|^b \quad (7)$$

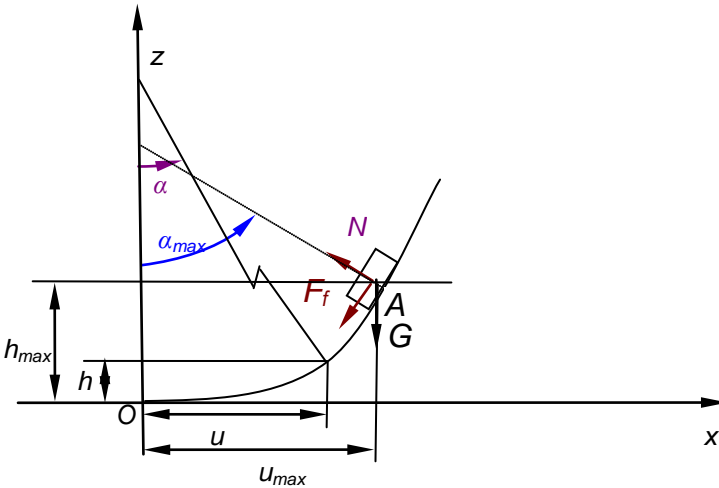


Fig. 3 Pendul cu fricțiune simplu cu suprafața de alunecare generată de o funcție polinomială

Pentru simplificarea calculelor vom considera, în continuare, doar axa pozitivă a axei Ox, respectiv valorile pozitive ale lui u , deoarece curba este simetrică față de axa verticală Oz.

În literatura de specialitate [2] se precizează că $\alpha_{\max} \approx 36^\circ$, deci pentru polinoamele cu $b=2$, $b=2,5$ și respectiv $b=4$ avem prezentate în tabelul de mai jos câteva din deplasările maxime u_{\max} și înălțimile maxime h_{\max} calculate pentru diferitele valori ale lui a .

Tabelul 1

b	a	u_{\max}	h_{\max}
2	0,242	1,501	0,545

	0,23	1,57	0,566
	0,3	1,81	0,982
2,5	0,275	1,037	0,301
	0,3	0,979	0,260
	0,25	1,1	0,348
4	0,18	1,005	0,183
	0,2	0,968	0,175
	0,15	1,06	0,189

De asemenea, pentru suprafața de alunecare circulară cu raza $R = 5$, pentru $\alpha_{\max} \approx 36^\circ$ avem $u_{\max} = 2,93$ și $h_{\max} = 0,948$.

În figura de mai jos avem reprezentarea grafică a arcului de cerc cu raza $R = 5$ (cu linie continuă) și a arcelor de ecuații $y = 0,242u^2$ (cu linie continuă grosă), $y = 0,275|u|^{2,5}$ (cu linie întreruptă) și $y = 0,18u^4$ (cu linie punctată).

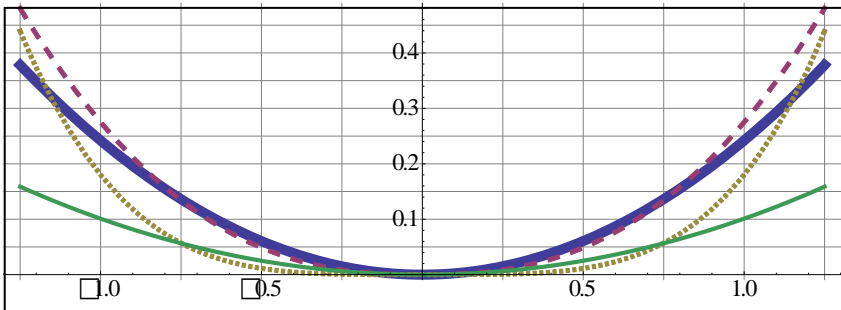


Fig. 4 Reprezentarea grafică a arcului de cerc cu raza $R = 5$ (cu linie continuă) și a arcelor de ecuații $y = 0,242u^2$ (cu linie continuă grosă), $y = 0,275|u|^{2,5}$ (cu linie întreruptă) și $y = 0,18u^4$ (cu linie punctată).

Energia disipată este exprimată de:

$$E_d = \int_0^{u_{\max}} F_f(u) du \quad (8)$$

unde forța de frecare este $F_f = \mu N \cdot \text{sign}(\dot{u})$.

Considerând mișcarea în sensul pozitiv al axei Ox, putem lua valoarea lui $\text{sign}(\dot{u}) = 1$, forța de frecare exprimată în funcție de unghiul α este

$$F_f = \mu G \cdot \cos \alpha$$

În aceste condiții valoarea energiei disipate va fi:

$$E_d = \mu G \int_0^{u_{\max}} \cos \alpha du \quad (9)$$

În punctul A avem $\operatorname{tg} \alpha = h' = a \cdot b \cdot u^{b-1}$. Deplasarea instantanee exprimată în funcție de α este:

$$u = \left(\frac{1}{a \cdot b} \operatorname{tg} \alpha \right)^{\frac{1}{b-1}} \quad (10)$$

Derivând relația (10) obținem:

$$du = \left(\frac{1}{a \cdot b} \right)^{\frac{1}{b-1}} \frac{1}{b-1} (\operatorname{tg} \alpha)^{\frac{1}{b-1}} \frac{1}{\cos^2 \alpha} d\alpha$$

Integrala pe intervalul $[0, u_{\max}]$ devine o integrală pe domeniul $[0, \alpha_{\max}]$ unde α_{\max} este:

$$\alpha_{\max} = \operatorname{arctg} (a \cdot b \cdot u_{\max}^{b-1}) \quad (11)$$

și astfel se obține energia disipată:

$$E_d = \mu G \left(\frac{1}{a \cdot b} \right)^{\frac{2}{b-1}} \cdot \frac{1}{b-1} \int_0^{\alpha_{\max}} \frac{1}{\cos \alpha} (\operatorname{tg} \alpha)^{\frac{2-b}{b-1}} d\alpha \quad (12)$$

Notăm $\frac{2-b}{b-1} = d$ și $c = \left(\frac{1}{a \cdot b} \right)^{\frac{2}{b-1}} \cdot \frac{1}{b-1}$ și avem:

Pentru cazul în care $b \neq 2$:

$$E_d = \mu G \frac{c}{d} \left\{ \operatorname{Hypergeometric} 2F1 \left[-\frac{d}{2}, \frac{1-d}{2}, \frac{2-d}{2}, \cos^2 \alpha_{\max} \right] \left(\frac{1}{\cos \alpha_{\max}} \right)^d - \frac{\Gamma \left(1 - \frac{d}{2} \right) \Gamma \left(\frac{1+d}{2} \right)}{\sqrt{\pi}} \right\} \quad (13)$$

Pentru $b = 2$ energia disipată este:

$$E_d = \mu G \left(\frac{1}{2a} \right) \ln \left(\frac{\cos \frac{\alpha_{\max}}{2} + \sin \frac{\alpha_{\max}}{2}}{\cos \frac{\alpha_{\max}}{2} - \sin \frac{\alpha_{\max}}{2}} \right) \quad (14)$$

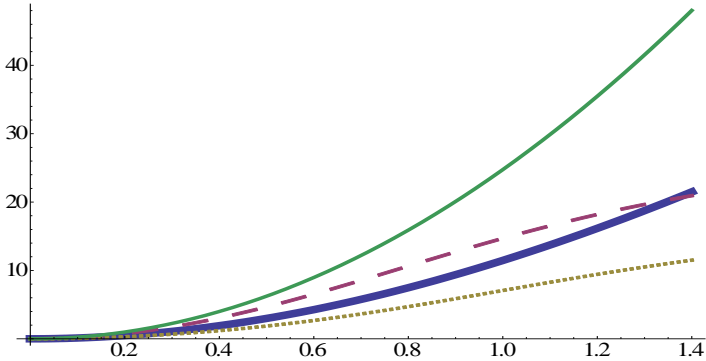


Fig. 5 Reprezentarea energiilor disipate pentru diferite suprafețe de alunecare

În figura 5 avem reprezentate energiile disipate pentru suprafețele de alunecare generate de: arcul de cerc cu raza $R = 5$ (cu linie continuă), $y = 0,242u^2$ (cu linie continuă grosă), $y = 0,275|u|^{2,5}$ (cu linie întreruptă) și $y = 0,18u^4$ (cu linie punctată).

3. Concluzii

Sistemele descrise mai sus care utilizează suprafețe generate de funcții polinomiale de ordin superior au în zona centrală o suprafață aproape liniară și permit deplasarea facilă a pivotului, chiar și la solicitări de intensitate mică.

Dacă în cazul în care suprafața de alunecare era circulară, controlul mișcării realizându-se prin reglarea a doi parametri: raza pendului R și coeficientul de frecare μ , la aceste sisteme pe lângă coeficientul de frecare se utilizează doi parametri a și b (caracteristici curbei ce generează suprafața de alunecare), care permit o reglare mai fină a comportamentului dinamic a sistemului inovativ de tip pendul.

Mulțumiri

Autorii mulțumesc pentru sprijinul acordat de Fondul Social European Programul Operațional Sectorial Dezvoltarea Resurselor Umane (FSE POSDRU), prin Ministerul Muncii, Familiei și Protecției Sociale prin cofinanțarea proiectului "Burse doctorale: investiții în cercetare-inovare-dezvoltare pentru viitor (DocInvest) " POSDRU/107/1.5/S/76813.

BIBLIOGRAFIE

- [1] Chopra A.K., *Dynamics of structures. Theory and applications to earthquake engineering*, Englewood Cliffs, N.J. Prentice Hall, 1995
- [2] Constantinou, M.C., Kalpakidis, I., A. Filiatrault and R.A. Ecker Lay, *LRFD-Based analysis and design procedures for bridge bearings and seismic isolators*, Tehnical Report, 2010
- [3] Constantinou, M.C., Tsopelas, P., Kim, Y-S. and Okamoto, S., *NCEER-Taisei Corporation Research Program on Sliding Isolation Systems for Bridges: Experimental and Analytical Study of Friction Pendulum System*, Report No. 93-0020, National Center for Earthquake Engineering, State University of New York at Buffalo, Nov. 1993.
- [4] Fenz, D.M. and Constantinou, M.C., *Behaviour of the double concave friction pendulum bearing*, Earthq. Eng. Struct. Dyn., 35(11), pp. 1403-1422 (2006).
- [5] Mokha, A.S., Constantinou, M.C., Reinhorn, A.M. and Zayas, V.A., *Experimental Study of Friction Pendulum Isolation System*, Journal of Structural Engineering, American Society of Civil Engineers, Structural Division, Vol. 117, No. 4, April, 1991

dr. Andrea Amalia MINDA

Universitatea „Eftimie Murgu” din Reșița

e-mail: a.minda@uem.ro

Prof.univ.Dr.Ing.ec. Gilbert-Rainer GILLICH

prorector învățământ Universitatea „Eftimie Murgu” din Reșița,

președinte AGIR sucursala Caraș-Severin

e-mail: gr.gillich@uem.ro

drd.Ing. Claudiu IAVORNIC

Universitatea „Eftimie Murgu” din Reșița

e-mail: ciavornic@gmail.com

drd. Petru-Florin MINDA

Universitatea „Eftimie Murgu” din Reșița

e-mail: f.minda@uem.ro

drd.Ing. Ștefania Camelia JURCĂU

Universitatea „Eftimie Murgu” din Reșița

e-mail: stefania_cj@yahoo.com