

Mehaničke vibracije i antivibracione podloge

P. A. Marteli (Martelli), dipl. inž.,
Woods Italiana SpA, Cinisello
Balsamo, Milano, Italija

1. Osnovna zamisao

1.1. Vibracije i odgovarajuća izolacija

Pojava mehaničkih vibracija uređaja bilo koje vrste je uvek zabrinjavajuća (kada se naravno ne radi o vibracijama proizvedenim sa nekim ciljem). Ta zabrinutost se javlja iz dva razloga:

- zbog mesta mašine i struktura koje su podvrgnute vibracijama,
- zbog buke koju vibracije stvaraju.

Taj fenomen je naročito interesantan u sektoru izgradnje postrojenja za ventilaciju i klimatizaciju vazduha. Sistem razvoda ovih postrojenja omogućava idealno vazdušno prenošenje buke, uz njeno prenošenje putem čvrstih struktura, zidova i sl.

Zvučna izolacija postrojenja pomoću prigušivača je suštinsko, ali ništa manje važno nije ni ukidanje ili barem drastično smanjenje izvora akustičnog "zagađenja", kada je reč o vibracijama koje stvaraju rotirajuće mašine (ventilatori, pumpe, kompresori itd.).

Koliko god da se pri konstruisanju, uravnoteženju i instalisanju vodi računa, skoro je neizbežno da rad mašine proizvodi ciklična ubrzavanja različitog intenziteta, koja pokreću njenu čitavu masu. Problem se sastoji u izolaciji mašine od strukture podloge, da se vibracije ne bi mogle prenositi. Zato između mašine i strukture podloge treba umetnuti neki elemenat koji može da apsorbuje energiju vibracija u njene dve alternativne komponente (obično vertikalne). Ovaj elemenat mora biti elastičan, da bi onemogućio silu da u potpunosti pređe u jednom pravcu (recimo nadole), pre nego što ubrzavanje preokrene (i deluje nagore). To praktično znači da rotirajuću mašinu treba postaviti na takozvanu aktiviracionu podlogu. Svaka antivibraciona podloga treba da izdržava težinu mašine, ali ne samo to. Ona mora biti izabrana u funkciji njene težine i frekvencije vibracija (koja odgovara brzini rotacije mašine).

Nećemo ulaziti u konstrukcione detalje i pojedinosti oko izbora podloge, već ćemo pokušati da objasnimo upravo iznetu tvrdnju.

U članku se saopštavaju značajne informacije o fizičkim fenomenima vezanim za svojstva antivibracionih podloga uopšte: statičkim skretanjima, prirodnoj učestanosti, prenosivosti, efikasnosti izolacije, rezonanci. Izložene su i neke napomene o antivibracionim podlogama tipa opruge, njihovoj konstrukciji i upotrebi u ventilacionoj praksi.

1.2. Statičko skretanje i frekvencija jedne antivibracione podloge pod teretom

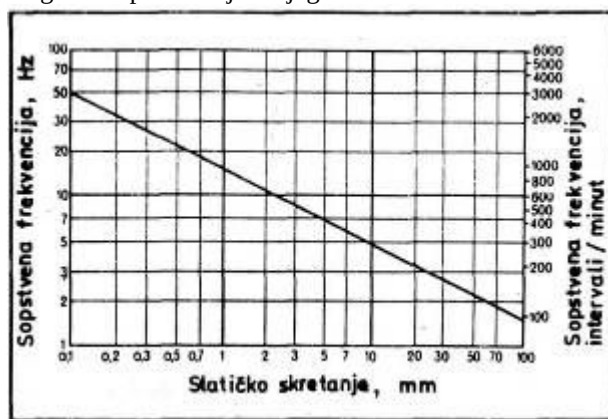
Posmatramo jednu spiralnu čeličnu oprugu određenih dimenzija; na nju se stavlja jedan predmet određene mase; rezultat je naravno očigledno spuštanje opruge, koje se obično zove statičko spuštanje (δ). Vrednost tog spuštanja svakako zavisi od karakteristika opruge i od tereta.

Sada rukom delujemo zajedno na masu-oprugu jednom silom izvesne vrednosti, koja naknadno pritiska oprugu; ukoliko je iznenada otpustimo, opruga će početi da osciluje vertikalno nekom frekvencijom, zvanom sopstvena frekvencija (x), koja takođe zavisi od fizičko-mehaničkih karakteristika opruge i mase.

Ekspperimentalno se vrlo lako može dokazati da između statičkog spuštanja i sopstvene frekvencije postoji vrlo precizan odnos, izražen formulom:

$$f_0 \text{ (in Hz)} = 15,8 / \sqrt{\delta} \text{ (in min)}$$

i grafički predstavljen dijagramom na slici 1.

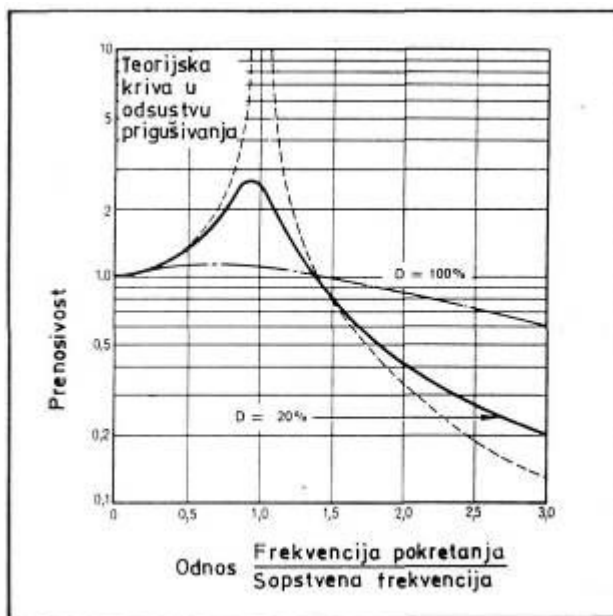


Slika 1. Odnos između statičkog skretanja i sopstvene frekvencije sistema

1.3. Prenosivost i efikasnost izolacije

Opšte je iskustvo da dovoljno je pomisliti na bilo koji predmet sa oprugom primenjujući na sistem masa-opruga čak i malu silu, ali sa frekvencijom jednakom njenom sopstvenoj frekvenciji, amplitudu oscilacije znatno povećavamo. Naime, dolazi do rezonance koja teoretski dovodi

do beskrajnog rasprostiranja vibracione sile, ukoliko ne intervenišu fizički okovi sistema i ne ograniče je.



Slika 2. Prenosivost u funkciji odnosa između frekvencija (za različite vrednosti prigušivanja D)

Suprotno tome, ukoliko se primeni vibraciona sila sa mnogo većom frekvencijom od sopstvene frekvencije sistema, dolazi do velikog kontrasta i posledica toga je mnogo manji efekat. U idealnim uslovima, skoro sva energija usmerena na sistem biva apsorbovana oprugom, a u njenoj osnovi se vibracije skoro jedva primećuju.

Kaže se stoga da opruga ima povećanu efikasnost izolacije. U praksi se izolacija izražava u procentima i odgovara odnosu između apsorbovane i primenjene energije.

Komplementarni odnos između energije prenesena na strukturu koja nosi sistem masa-opruga i energije primenjene na njega, zove se prenosivost.

Kao što je rečeno, efekat frekvencije kojom se pokreće sistem, objašnjen je u formuli koja izražava prenosivost:

$$\text{prenosivost} = \frac{1}{1 - (f/f_0)^2}$$

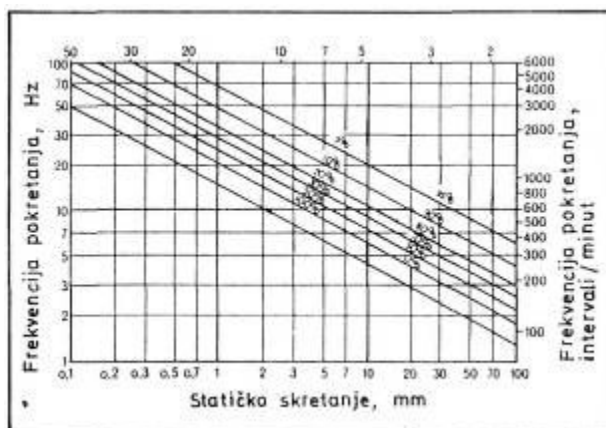
gde je f - frekvencija pokretanja, a f_0 - sopstvena frekvencija sistema.

Možemo primetiti:

- za f mnogo manje od f_0 , prenosivost je skoro jednaka 1; ili sila koja deluje na sistem biva u potpunosti prenesena na strukturu, sa izolacijom jednakom nuli;
- povećavanjem f , prenesena sila postaje veća od sile pokretanja, dok
- za $f = f_0$, imenitelj se anulira i prenosivost postaje teoretski beskrajna; situacija rezonance;
- za $f = f_0 \sqrt{2}$, apsolutna vrednost prenosivosti se vraća na 1 (znak minus je tu samo da pokaže trenutni pravac prenesene sile, a ne njenu vrednost);
- za f mnogo veću od f_0 , prenosivost se značajno smanjuje, težeći nuli; izolacija se gubi.

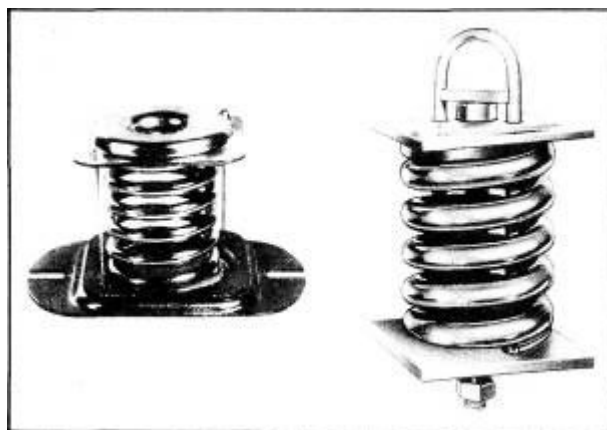
Sve ovo izloženo važi za antivibracione sisteme koji nisu prigušeni, ali se može smatrati važećim i za antivibracione podloge koje imaju sposobnost internog prigušivanja, ali veoma malog. (Ne smatramo neophodnim da proširujemo

razmatranje prigušenih sistema, budući da je naš cilj da pružimo osnovne informacije, potrebne za razumevanje funkcionisanja i način selekcije antivibracionih elemenata.)



Slika 3. Prenosivost izolacija u lako prigušenim sistemima (antivibracione podloge sa oprugom)

Dijagram na slici 2 predstavlja formulu prenosivosti za različite vrednosti prigušenosti (D%). Međutim, u praksi se mnogo korisnijim pokazao dijagram na slici 3, nastao kombinacijom obe formule koje smo videli u ovom članku, sa posebnim osvrtom na lagano prigušene antivibracione podloge kakve su recimo opruge. Takav dijagram nam odmah daje vrednost prenosivosti a time i izolacije, ulazeći tako sa frekvencijom pokretanja (rotacija mašine) i statičkim skretanjem sistema, koji su poznati parametri, u praktični, promenljivi problem izolacije antivibracionim podlogama.

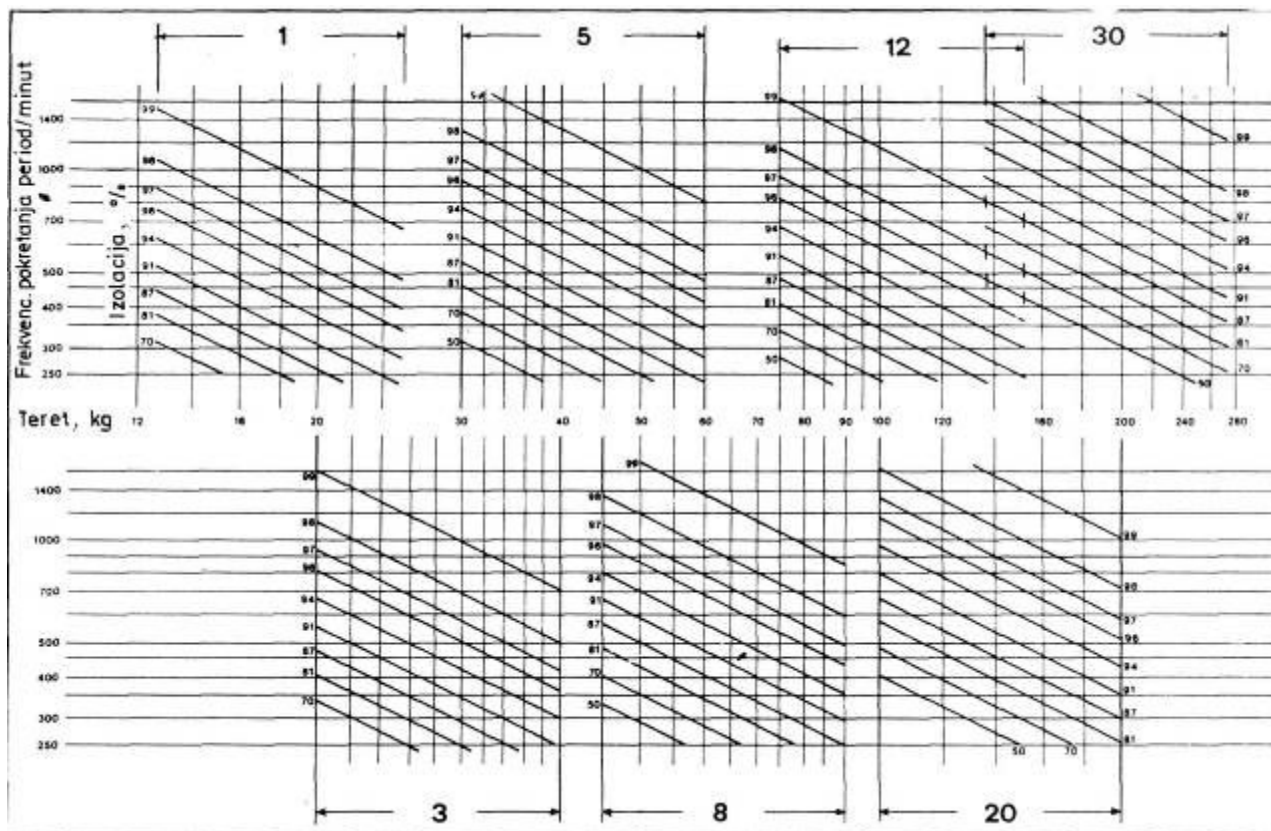


Slika 4. Dva primera antivibranta sa jednom oprugom: jedna podloga (levo) i jedan amortizer (desno). Antivibranti sa jednom oprugom se koriste za manje terete između 5-15 i 250-500 modela različitih serija

2. Antivibracione podloge sa oprugom

Onaj ko želi da pravilno izabere antivibracionu podlogu, kojom bi se popunile krivine skretanja, različite za različite terete, mora početi od formula i dijagrama koje ovde vidimo. Ali, korisnik obično shvata da ima malo iskustva iz te oblasti i više voli da odgovornost izbora antivibracione podloge prebaci na stručnjake. Naravno, izbor se vrši na osnovu elemenata koji karakterišu konkretno postrojenje.

Ipak, mogu se napraviti programi za jednu brzu selekciju koji omogućavaju da se u čitavoj gami podloga odmah izabere ona koja najviše odgovara. Ne mora se uvek pribegavati ovim formulama i graficima.



Slika 5. Primer dijagrama za brzi izbor antivibranta sa oprugom

Pogledajmo primer na slici 5. Takvi dijagrami zahtevaju samo poznavanje frekvencije pokretanja (broj obrtaja u minuti) i teret (kg). Primer: imamo ventilator sa kaišnim prenosom, sa motorom od 1440 obrtaja u minuti i mahalicom od 600 obrtaja u minuti; ukupna težina od 200 kg je jednako raspoređena na četiri tačke oslonca (po 50 kg na svakoj); želimo izolaciju od 95%.

Selekcija se vrši na veoma jednostavan način:

- teret od 50 kg je oslonjen ili kao u delu (5) ili u delu (8);
- frekvencije koje je najteže izolovati su najniže i zato se uzima u obzir 600 o/min, mahalice; sa takvom frekvencijom i teretom od 50 kg imamo izolaciju od 97% sa dela (5) i 91% sa dela (8).

Pomoću ovih dijagrama, izbor antivibracionih podloga izgleda veoma jednostavan, ali ne treba misliti da ne postoje teškoće. One mogu biti čak vrlo ozbiljne u praksi izolovanja od vibracija. Zbog toga se preporučuje saradnja sa stručnjacima.

2.2. Pojednosti

Smatramo da je korisno izložiti nekoliko pojedinosti koje se tiču konstrukcije, primene i funkcije antivibracionih podloga, a koje lako mogu prevariti onoga ko se ne bavi ovom strukom.

Na tržištu postoje razne vrste podloga koje se koriste za instaliranje ventilatora. Može se reći da se za statička skretanja do 10-12 mm (odnosno za vibracije sa frekvencijama preko 1000-1200 intervala/min.) mogu primeniti gumene podloge koje se prema potrebi seku.

Za statička skretanja koja su veća (odnosno veće su frekvencije), neophodne su podloge sa oprugom. Ova razlika nastaje

zato što se čvrstoća gume zbog vibracija povećava, dok čvrstoća čelika ostaje nepromenjena.

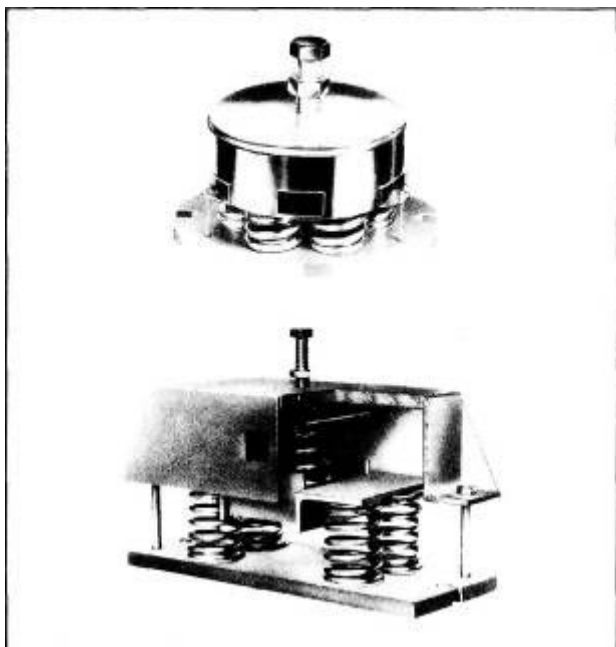
Agensi okoline (vlažnost, ulje itd.) moraju se imati u vidu pri izboru gumenih i čeličnih podloga, kako bi se izbeglo njihovo propadanje.

Ukoliko se primenjuju podloge sa oprugom, mora se obezbediti konstrukcija kojom bi se izbegao prenos komponenta visoke frekvencije vibracija, preko zavoja opruge. Zbog toga je na nekim modelima umetnut jedan sloj gume između opruge i tela podloge.

Raspodela tereta mašine na sve tačke oslonca nije uvek pravilna, te bi primena antivibracionih podloga jednakih karakteristika stvorila dodatne vibracije slične uzdužnom ljuľanju, koje su još neprijatnije od onih uklonjenih. Stoga se oslonac na svaku tačku mora brižljivo izračunati, da bi se mogla izabrati podloga odgovarajućih karakteristika, ili neka koja bi imala isto statičko skretanje pod različitim teretima. Isto tako, konstrukcija (postolja) mašine se može odgovarajuće modifikovati.

Kod ventilatora sa kaišnim prenosom, prenosnik i motor se moraju montirati na isto postolje, da antivibranti ne bi uticali na napon kaiša. Elastičnost poda i strukture podupirača mašine predstavljaju drugi problem pri izboru antivibracionih podloga. Ukoliko je sopstvena frekvencija poda manja od zajedničke mašine-podloge, čak i male vibracije niske frekvencije mogle bi dovesti do pojave rezonance u podu, koja je apsolutno neprihvatljiva. Opšte važeće indikacije su sledeće:

- sopstvena frekvencija podloge mora biti najviše upola manja od sopstvene frekvencije poda; drugim rečima:
- statičko skretanje podloge pod teretom mora biti najmanje četiri puta veće od skretanja poda;



Slika 6. Dva primera antivibranata sa više opruga; koriste se za terete između 50-100 i 2500-5000 kg. Postoje modeli sa različitim oprugama, u zavisnosti od frekvencije pokretanja, i modeli sa bočnim gumenim tamponima

- statičko skretanje poda (koje je teško proceniti) može se smatrati 1/3000 delom širine samog poda.

Kada su u pitanju velike težine i dimenzije trebalo bi instalirati graničnike koji bi ograničili skretanje podloge pri uključivanju i isključivanju, kada mala brzina može proizvesti rezonancu.

Eventualna bočna ubrzavanja do kojih dolazi tokom rada mašine, mogu dovesti do bočne rezonance, ukoliko podloge pokažu veću bočnu čvrstoću. Ponekad može biti neophodno podići tačke oslonca, ili instalirati na dno mašine blokadu inercije, kako bi se uskladile antivibracione podloge po horizontali koja prolazi kroz težište.

U drugim slučajevima biće neophodno montirati druge antivibracione agense bočno, u pravcu sile neravnoteže (recimo na ventilatorima sa izuzetno jakim zaletom).

Naše poslednje zapažanje se tiče čvrstih veza između mašine noseće strukture, koje se često greškom zanemaruju. To su hidrauličke, pneumatičke, aerauličke, električne veze; jasno je da se inače poništava korisnost antivibracionih podloga. Zbog toga se moraju postaviti odgovarajući fleksibilni spojevi, koje je lako naći na tržištu.

3. Zaključak

Ovo očigledno nije obiman prikaz naše teme, ali je želja bila da se pruže orijentacione informacije, sa željom da se stvori ispravan pristup problemu uklanjanju vibracija, naročito uređaja za ventilaciju.

kgh