

ТЕОРЕТИКО-ЕКСПЕРИМЕНТАЛЕН СРАВНИТЕЛЕН АНАЛИЗ НА ФУНКЦИОНАЛНАТА ЗАВИСИМОСТ МЕЖДУ ПАРАМЕТРИТЕ НА ЗАТИХВАЩИТЕ ТРЕПТЕНИЯ В МЕХАНИЧНИ СИСТЕМИ

Цветан Дамянов¹, Евгени Костадинов²

¹ Минно-геоложки университет „Св. Иван Рилски“, 1700 София, e-mail: zld47@mgu.bg

² Минно-геоложки университет „Св. Иван Рилски“, 1700 София, e-mail: e_kostadinov@yahoo.com

РЕЗЮМЕ. На базата на съществуващите теоретични разработки е създадена методика за лабораторно експериментално изследване с цел уточняване на зависимостите между честотните параметри и демпфиращите свойства на механични обекти. Получените аналитични и експериментални резултати са обобщени, извършен е анализ и са установени границите на практическа приложимост за подобряване на динамичното вибрационно натоварване при работа на механични системи.

THEORETICAL, EXPERIMENTAL AND COMPARATIVE ANALYSIS OF THE FUNCTIONAL DEPENDENCE BETWEEN THE PARAMETERS OF THE DAMPING VIBRATIONS IN MECHANICAL SYSTEMS

Tsvetan Damyanov¹, Evgeni Kostadinov²

¹ University of Mining and Geology "St. Ivan Rilski", 1700 Sofia, e-mail: zld47@mgu.bg

² University of Mining and Geology "St. Ivan Rilski", 1700 Sofia, e-mail: e_kostadinov@yahoo.com

ABSTRACT. Based on the existing theoretical works there are methods created for laboratory and experimental research with the goal of specifying the dependence between the frequency parameters and damping characteristics of mechanical objects. The received analytical and experimental results are generalized and analyzed and limitations of the practical applicability are established for improvement of the dynamic vibration loading when working with mechanical systems.

1. Увод

Експерименталното изследване на вибрационното натоварване на механичните системи в реални работни условия е процес с голяма приложна практическа значимост. Една от главните задачи в този случай е уточняването на получените по теоретичен път резултати за функциите на кинематичните величини и на силите, които възникват вследствие на тези неблагоприятни за експлоатационната сигурност на системата работни режими. Методиката за провеждане на такива изследвания се основава върху измерване на времевите функции на кинематичните параметри (най-често на ускорението) в характерни точки от обекта. Съществуват случаи, при които монтирането на акселерометрични датчици в измерителните точки е практически невъзможно и тогава се налага използването на аналитични методи за изчисляване на тези величини. За тази цел е необходимо да се познават стойностите на коефициентите на коравината и демпфиране за дадената конструкция на обекта при съответната степен на свобода (DOF). В много случаи експерименталното определяне и на тези параметри не е възможно, поради което е възникнала необходимост от теоретично изследване и намиране на аналитични методи за тяхното определяне.

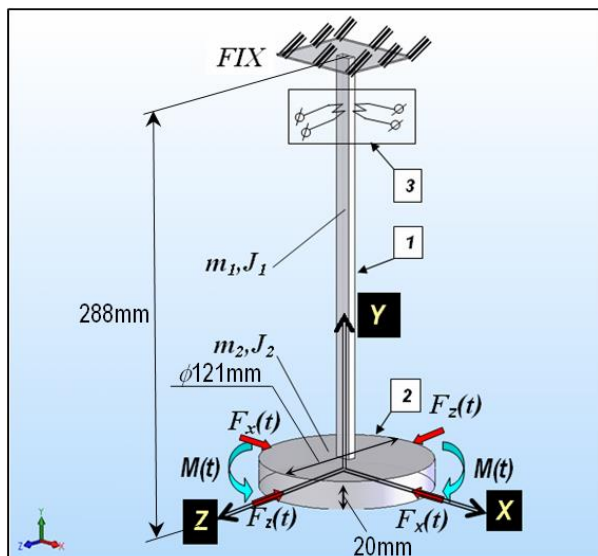
2. Научно-теоретични предпоставки

От извършения преглед на научни публикации в направлението бе установено, че най-задълбочено и с много голяма приложна насоченост е работата на (I Jiosan, 2003). В нея авторът е извел и доказал аналитични зависимости между коефициентите на демпфиране ξ и резонансните честоти ω на системата, на базата на което предлага аналитичен метод за определяне на демпфирането и коравината при други гранични условия (DOF) за обекта на изследване. По този начин, ако се познават еластично-демпферните параметри при две резонансни честоти на дадена механична конструкция могат да се получат тези параметри и за друга такава честота, за която същите са неизвестни и не могат да се измерят експериментално. Главната цел на тази научна работа е извършването на сравнителен анализ и оценка на точността и областта на приложение на метода на (Indrajit Chowdhury, 2003), основаващи се на теоретико-експериментално изследване на физически и механо-математичен компютърен модел.

3. Опитна постановка и методика на експеримента и резултати

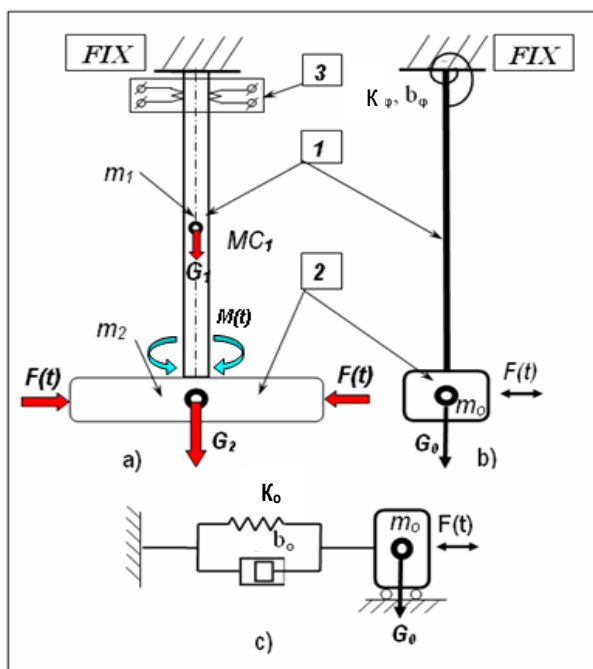
За целите на експеримента бе създаден едномасов модел с такава конструкция, която позволява да се получат резонансни честоти и деформационни форми на огъване в

две от основните равнини на правоъгълна К.С. и една на усукване около една от осите на същата К.С.



Фиг.1

На Фиг.1 е показан CAD модел на конзолно свързана съсредоточена маса (поз.2) и (поз.1), която е фиксирана (DOF=0) в горния край на шината (2). Измерването се извършва чрез тензо мостова система (поз.3). Добре се вижда както ориентацията спрямо К.С. така също и разположението на силите и момента, чрез които се възбужда принуденото смущаващо въздействие.



Фиг.2

По този начин могат да бъдат измерени затихващи колебания в равнините XY и YZ, както и торсионни колебания около оста Y. На фиг.2а, 2б и 2с е представен заместващият приведен едномасов модел, който е изграден съгласно метода за привеждане на масовите параметри по (Бидерман, 1972).

Получените резултати от експерименталното изследване на така уточнения модел ще бъдат

използвани за извършване на сравнителен анализ и оценка на аналитичния метод на (Indrajit Chowdhury, 2003).

Изборът на масовите и геометрични параметри на изследвания обект е извършен целесъобразно и позволява интересувашите ни резонансни честоти да се получат в нискочестотната област (до 100 Hz), което е типично за големогабаритни и тежки механични системи. Методиката на експеримента се изразява в компютърно измерване и графично представяне на огъващите колебания на модела в уточнените по-горе две основни равнини и торсионно около една от осите на К.С. (Дамянов, 2007).

Това предполага извършването на три серии от опити при което последователно бяха възбудени затихващи колебания чрез импулсно прилагане на силово и торсионно въздействие (F_x, F_z и M_y) съгласно фиг.1. Получените резултати са систематизирани и представени в табличен и графичен вид.

В таблица 1 са дадени основните масови параметри на модела както следва:

Таблица 1

№	ω	α	ζ	k	b
1	8,4 Hz	3.59E-03	0.0036	4415 N/m	0,656 N.s/m
2	16,2 Hz	3.27E-03	0.003	16393 N/m	1,053 N.s/m
3	36,8 Hz	1.09E-03	0.0011	155 Nm/rad	0,00157 N.m.s/rad

Където: ω – резонансна честота;

α – логаритмичен декремент на затихване;

ζ – коефициент на демпфиране;

k – константа на коравина;

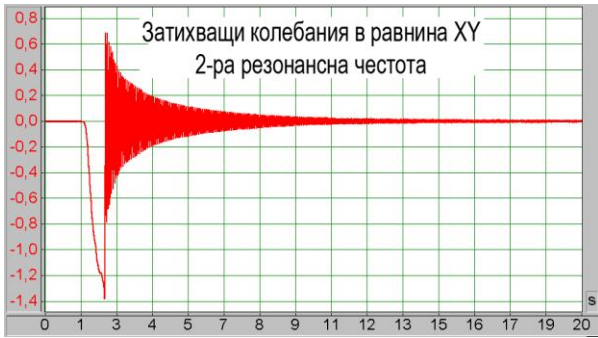
b – демпферна константа;

Стойностите на изброените параметри са получени на базата на известните аналитични зависимости по (de Silva, 2000).

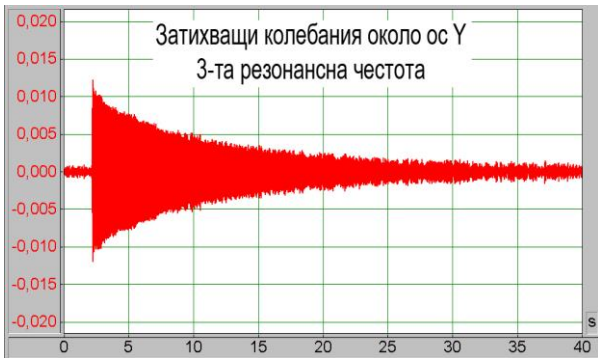


Фиг.3

На фигури 3, 4 и 5 са показани затихващите колебания на модела съгласно методиката на експеримента за първите три резонансни честоти.



Фиг.4



Фиг. 5

4. Теоретични предпоставки, резултати и анализ

Пресмятането на коефициента на демпфиране ξ за неизвестната трета резонансна честота може да стане по следната формула съгласно (Indrajit Chowdhury, 2003):

$$\xi_i = \frac{\xi_m - \xi_1}{\omega_m - \omega_1} (\omega_i - \omega_1) + \xi_1 \dots\dots\dots(1)$$

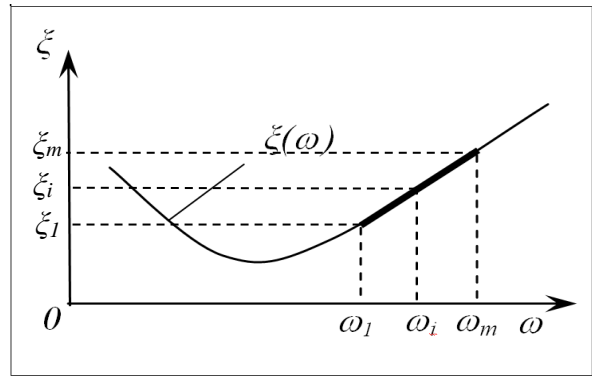
където:

ξ е коефициент на демпфиране;
 ω - ъглова скорост;

В този случай, че $\omega_i > \omega_m$ трябва да се има пред вид и ограничението $m < i < 2,5 m$ при което изразът (1) ще се преобразува както следва:

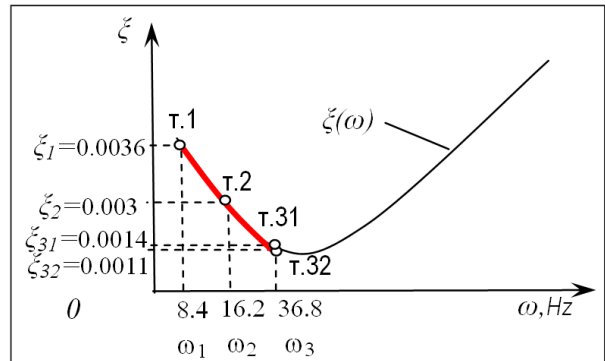
$$\xi_i = \frac{\xi_m - \xi_1}{\omega_m - \omega_1} (\omega_{m+i} - \omega_m) + \xi_1 \dots\dots\dots(2)$$

Посочените изрази представят като линейна интерполацията само на крайната част от функционалната зависимост $\xi(\omega)$ - виж фиг.6



Фиг. 6

На тази база е извършено пресмятане на еластично-демпферните параметри (ξ, κ) на третата резонансна честота на обекта на изследване, която в примера характеризира механичните колебания при торсионна деформация по оста Z. Анализът на експериментално получената функционална зависимост $\xi(\omega)$ показва, че стойности за резонансните честоти са разположени в началната област на кривата $\xi(\omega)$ – фиг. 7.



Фиг. 7

От друга страна експерименталните данни на базата, на които е изчислена стойността на ξ за този модел показват, че функцията $\xi(\omega)$ също е практически линейна. Това позволява да се приеме, че за аналитичното определяне на ξ_{32} с линейна интерполация може да бъдат получени достоверни резултати за големината на коефициента на демпфиране при известни $\xi_1, \xi_2, \omega_1, \omega_2$ и ω_3

$$\xi_3 = \xi_1 - \frac{\xi_1 - \xi_2}{\omega_2 - \omega_1} (\omega_3 - \omega_1) \dots\dots\dots(3)$$

При $\xi_1 = 0.0036; \xi_2 = 0.003;$
 $\omega_1 = 8.4 \text{ Hz}; \omega_2 = 16.2 \text{ Hz}; \omega_3 = 36.8 \text{ Hz}$

От аналитичното пресмятане за ξ_3 се получава -
 $\xi_{31} = 0.0014$
 Експериментално получената стойност е
 $\xi_{32} = 0.0011$

На фиг.7 експерименталната крива на функцията $\xi(\omega)$ е показана с плътна линия от т.1 до т.32, а аналитично получената стойност за ξ_{31} – с ординатата на т.31. Отклонението между двете стойности е $\Delta\xi = 0.0003$.

Тези резултати показват малка абсолютна разлика в стойностите на ξ_{32} и ξ_{31} , но като относително отклонение между коефициентите на демпфериране, същата не може да се определи за приемлива и поради това тълкуването на получените резултати от изследването ще бъдат ограничени предимно в областта на качествените оценки.

Прецизното разглеждане на функцията $\xi_{32}(\omega)$, получена на базата на експерименталните данни за еластично-демпферните параметри за модела, който е обект на изследване, показва съществена нелинейност в началната област на кривата. В това отношение е налице разлика от представеното в работата на (Indrajit Chowdhury), където тази част от кривата е линейна и би могла да се използва като работна област за изчисляване на ξ_3 . Тук следва да се има пред вид, че въпреки всичко това, този автор не предлага възможност да се използва неговият аналитичен метод за определяне на коефициента ξ , ако резонансната честота, за която се пресмята е в същата област.

5. Заключение

В извършеното теоретико-експериментално научно изследване е доказана практическата възможност за определяне на коефициентите на демпфериране за механични конструкции с познати масови параметри и ограничения на степените на подвижност. Чрез съчетаване на известни аналитични методи с експериментални такива, е получена нова възможност за определяне на този много важен параметър, числената стойност, на който е необходима при решаването на голяма група задачи от честотно-резонансния анализ и динамиката на машините.

Препоръчана за публикуване от
Катедра "Механизация на мините", МЕМФ

В тази връзка могат да бъдат направени следните обобщаващи изводи:

- Необходимо е прецизиране на апроксимиращата функция на коефициента на демпфериране чрез добиване на експериментално получени стойности в серия от изследвания на различни характерни модели. Това е необходимо за да се потвърди или коригира действителната функция на изменение на коефициента на демпфериране ξ в дадената честотна област;
- По същата причина представлява интерес и уточняването на базата на експерименталните известни стойности на ξ за дадени резонансни честоти, на универсалните коефициенти на *Rayleigh* (коефициенти на матрицата на демпфериране);
- На базата на достатъчно експериментални стойности, да се потърси и нелинейна апроксимация на функцията $\xi(\omega)$, с което може да се разшири практическото приложение на метода на (Indrajit Chowdhury) и в понискочестотната работна областта;
- Да се прецизират допълнително всички получени по експериментален метод резултати, чрез паралелен модален анализ на същите механични обекти с инструментите на подходяща компютърна (CAE) програма.

Литература

- Бидерман В. Л., "Прикладная теория механических колебаний", И "Высшая школа" Москва 1972.
- de Silva Clarence W., "VIBRATION: fundamentals and practice", ISBN 0-8493-1808-4, pp. 957 CRC Press Boca-Raton-London-New York-Washington D.C., USA (2000)
- I Jiosan, Dynamic Analysis with Damping for Free Standing Structures using Mechanical Event Simulation, West Coast Engineering Group Ltd., Vancouver, Canada
- Indrajit Chowdhury, Shambhu P. Dasgupta, Computation of Rayleigh Damping Coefficients for Large Systems, The Electronic Journal of Geotechnical Engineering, Volume 8/2003, Bundle 8C
- Дамянов, Цв. Л. и др. Специални приложения на тензометрията за нискочестотна вибродиагностика в областта на минната техника, Сборник доклади от научната конференцията на НИС при МГУ, София 2007.