Механика Транспорт Комуникации

Научно списание

ISSN 1312-3823

брой 2, 2007 г.

статия № 0091

http://www.mtc-aj.com

ДИНАМИЧНА УСТОЙЧИВОСТ НА ТРЪБОПРОВОДИ ТИП „НЕПРЕКЪСНАТА ГРЕДА", ПРОВЕЖДАЩИ ФЛУИД И ЛЕЖАЩИ НА ЕЛАСТИЧНИ ОПОРИ

Светлана В. Лилкова-Маркова

lilkova_fhe@uacg.bg, lilkova@hotmail.com

Университет по архитектура, строителство и геодезия
катедра „Техническа механика"
България, 1046 София, бул."Христо Смирненски" 1

Ключови думи: *динамична устойчивост, тръба, флуид, еластични опори*

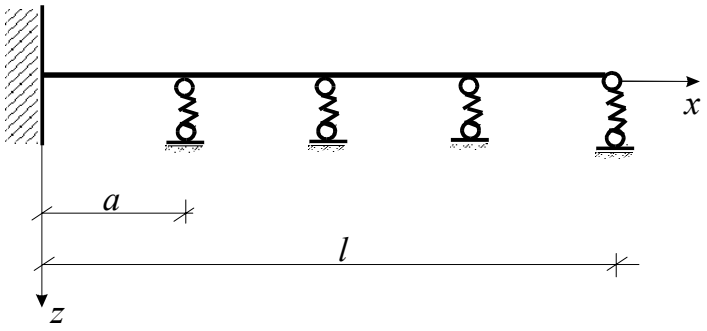
Резюме: *Изследвана е динамичната устойчивост на тръби с протичащ флуид, моделирани като конзолни тръби с допълнителни линейни еластични опори, разположени напречно на оста на тръбата. Определени са критичната скорост на флуида и кръговата честота при флатерна загуба на устойчивост. Изследвано е влиянието на увеличения брой полета върху критичната скорост на флуида.*

През 30-те години на миналия век започва строителството на магистрални тръбопроводи, пренасящи нефт и газ. Малко по-късно е началото на научните им изследвания. При тръбопроводите съществува възможен риск от повреди, водещи до прекъсване на транспорта на полезните течности и имащи катастрофално отражение върху екологичните условия в районите, през които преминава съответното трасе.

Динамичната устойчивост на тръби, провеждащи флуид, се изследва от различни гледни точки. Трептенията на тръби тип "непрекъснати греди" са изучавани от S. S. Chen [1], J. Rousselet & G. Herrmann[2] и др. Някои изследователи като Y. Sugiyama [3,4] и M. P. Paidoussis [5] разглеждат влиянието на допълнителна линейна еластична опора върху динамичната устойчивост на конзолна тръба.

Един от водещите български учени в областта на динамичната устойчивост на тръбопроводи е проф. д.т.н. инж. Венцеслав Джупанов [6,7].

В настоящето изследване са разгледани конзолни тръби, подпрени на допълнителни линейни еластични опори напречно на оста. Моделът им е показан на **фиг. 1**.



Фиг. 1.

Тези тръби са многоотворни. Всички полета са с равна дължина ***a***. Дефинирани са *къси* непрекъснати тръби на еластични опори (с брой на полетата до пет) и *дълги* непрекъснати тръби на еластични опори (с брой на полетата над пет).

При решаване на задачата за динамичната устойчивост са приети предпоставките за хомогенен, изотропен и линейно-еластичен материал на стройна тръба и протичащ несвиваем, невискозен и тежък флуид. Валидна е и хипотезата на Бернули. При изследването не са отчетени вискозното демпфиране и триенето между флуида и тръбата.

Функцията на напречните премествания $w(x,t)$ за всяко поле от тръбата удовлетворява известното диференциално уравнение [1]

$$Kw_{n,xxxx} + MU^2 w_{n,xx} + 2MUw_{n,xt} + (m + M)w_{n,tt} = 0. \quad (1)$$

В него с ***n*** е означен номерът на полето от тръбата. ***K*** е коравината на огъване на тръбата. ***M*** е масата на флуида на единица дължина от тръбата, а ***m*** – масата на тръбата на единица дължина. ***U*** е скоростта на протичащия флуид.

При късите и дългите тръби е изследвана глобалната неустойчивост. Тръбите са с крайна дължина и се разглеждат условията на границите между отделните полета. Диференциалното уравнение (1) описва локалното поведение на произволна точка от оста на тръбата - греда.

Кривата на преместванията за всяко поле може да се представи във вид на произведение на функциите по следния начин:

$$w(x,t) = W(x).exp(i\sigma t), \quad (2)$$

където σ е кръговата честота.

Очевидно е следното:

- кривата на динамичните премествания ще е непрекъсната и гладка;
- диаграмата, изобразяваща ъгъла на наклона на кривата, също ще е непрекъсната и гладка;
- доколкото върху тръбата действуват реактивни сили от еластичните опори, диаграмата на огъващите моменти ще бъде непрекъсната, но негладка крива. Негладкостите ще бъдат във вид на рогови точки с различен ъгъл на разтваряне на двете тангенти в тях;
- диаграмата на срязващите сили ще бъде крива с краен брой скокообразни прекъсвания. Броят на тези прекъсвания ще бъде равен на броя на вътрешните опори.

При *къси* тръби е възприета следната процедура за изследване:

1. За всяко поле с дължина ***a***, разгледано като независимо, след заместване на (2) в (1) и преобразувания се получава диференциалното уравнение, описващо напречните трептения в полето:

(3) $$W_{n,\xi\xi\xi\xi} + (MU^2a^2/K)W_{n,\xi\xi} + (2i\sigma MUa^3/K)W_{n,\xi} - [\sigma^2(m + M)a^4/K]W_n = 0.$$

Интегралът на това уравнение зависи от четири неизвестни константи.

2. На границите между всеки две полета се удовлетворяват следните условия:

2.1. Динамичните премествания от двете страни на еластичната опора са равни:

(4а) $$W_n - W_{n+1} = 0;$$

2.2. Динамичните завъртания от двете страни на еластичната опора са равни:

(4б) $$W_{n,x} - W_{n+1,x} = 0;$$

2.3. Огъващите моменти от двете страни на еластичната опора са равни:

(4в) $$W_{n,xx} - W_{n+1,xx} = 0;$$

2.4. Разликата между напречните сили от двете страни на еластичната опора е равна на реакцията, възникваща в нея (еластичната опора):

(4г) $$K(W_{n,xxx} - W_{n+1,xxx}) - c_n W_n = 0.$$

Константата $\boldsymbol{c_n}$ е дефинирана като сила, породена от единично преместване по направление на ***n***-тата еластична опора.

3. В мястото на запъването динамичното преместване и динамичното завъртане са равни на нула:

(5) $$W_1 = 0 \ ; \qquad W_{1,x} = 0.$$

4. В десния край на тръбата огъващият момент е равен на нула, а напречната сила е равна на реакцията, възникваща в най-дясната еластична опора:

(6) $$W_{N,xx} = 0 \ ; \qquad KW_{N,xxx} - c_N W_N = 0 \ .$$

Константата $\boldsymbol{c_N}$ е силата, породена от единично преместване по направление на крайната дясна опора на тръбата.

Записаните гранични условия представляват хомогенни системи линейни алгебрични уравнения, от ред съответстващ на броя на полетата, за неизвестните интеграционни константи, участвуващи в интеграла на ЧДУ за всяко поле. Дисперсионното уравнение се получава след приравняване на нула на детерминантите от коефициентите на горните системи.

5. Управляващи параметри в задачата са: безразмерният масов параметър $\mu = m/(m+M)$ и пружинната константа на всяка опора. При всеки брой на полетата се определя критичната скорост на флуида и кръговата честота на

флуида при флатерна загуба на устойчивост на тръбата в зависимост от тези два параметъра.

В случая на тръби с повече от пет полета (т.е. при *дълги* тръби) задачата е решена, като за всяка опора и за динамичния случай специално е изведено петмоментово уравнение [9]**.** Получените линейни алгебрични системи уравнения за моментите над опорите са хомогенна. Приравнените на нула техни детерминанти водят до съответните дисперсионни уравнения.

За късите и за дългите тръби, с разработени програми на MATLAB, се определят критичната скорост на флуида и кръговата честота при флатерна загуба на устойчивост.

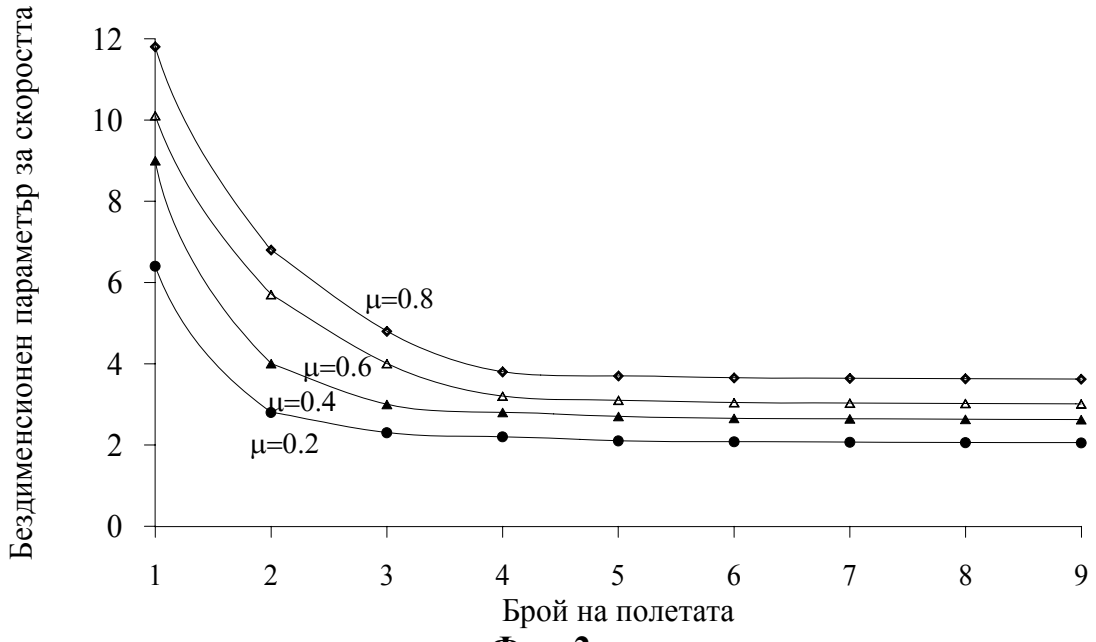
Резултатите от изследванията са публикувани в наши и чуждестранни списания [8] и др.

В настоящата работа е изучено влиянието на увеличаването на броя на полетата на тръбата върху критичната скорост на флуида. Всяко поле е с дължина 1.2 *m*. За масовия параметър μ са приети последователно четири стойности – 0.2, 0.4, 0.6 и 0.8.

Въведен е безразмерен параметър за скоростта

$$u = Ua\sqrt{\frac{M}{K}}\,. \tag{7}$$

На **фиг. 2** е показана зависимостта на параметъра ***u*** от броя на полетата на тръбата ***n***. Отделните характерни точки за всяка стойност на масовия параметър $\boldsymbol{\mu}$ са съединени с криви, които имат условен характер. Броят на полетата може да приема само цели стойности. Вижда се, че с увеличаване на броя на полетата параметърът ***u*** клони към постоянна стойност. Това се отнася за всички големини на масовия параметър μ.



Фиг. 2.

Тази закономерност се забелязва и по отношение на кръговата честота на трептенията, което е отразено в [8].

ЛИТЕРАТУРА:

[1] Chen, S.-S. Vibrations of continuous pipes conveying fluid. In Flow-Induced Structural Vibrations (Editor E. Naudascher), Berlin: Springer-Verlag, 1972, pp.: 663-675

[2] Rousselet, J. & Herrmann, G. Dynamic behavior of continuous cantilevered pipes conveying fluid near critical velocities, *ASME*, *Journal of Applied mechanics* Vol. 48, 1981, pp.: 943-947.

[3] Sugiyama, Y., Tanka, Y., Kishi, T. & Kawagoe, H. Effect a spring support on the stability of pipes conveying fluid, *Journal of Sound and Vibration*, Vol. 100; 1985, pp.: 257-270.

[4] Sugiyama, Y., Katayama, T., Akesson, W. & Sallstrom, J. H. Stability of cantilevered pipes conveying fluid and having intermediate spring support, Transactions 11th International Conference on Structural Mechanics in Reactor Technology (SMiRT), Tokyo, 1991, Paper J10/1.

[5] Paidoussis, M. P., Semler, C. Nonlinear dynamics of a fluid-conveying cantilevered pipe with an intermediate spring support, *Journal of Fluids and Structures* Vol. **7**; 1993, pp.: 269-298. (Addendum in Vol. **7**; 1993 pp: 565-566).

[6] Dzhupanov, V. A. Twelve Methodical Notes on the Paradoxical results in a Class of Dynamic Problems (Part 1). *BAS*, *JTAM*, Vol.31, No. 3; 2001, pp.: 74–100.

[7] Dzhupanov, V. A. Twelve Methodical Notes on the Paradoxical results in a Class of Dynamic Problems (Part 2). *BAS*, *JTAM*, Vol.31, No. 4; 2001, pp.: 55–72.

[8] Лилкова-Маркова Св.В., Джупанов В.А. Параметрично изследване на звука от флатер на тръба, провеждаща течност и лежаща на еластични опори, Конференция по Акустика, 2002.

[9] Lilkova – Markova, S. V., V. A. Dzhupanov. Dynamic Stability of Cantilevered Pipes Suprted by Additional Structural Spring Supports, Part 2 - Long Pipes, Proceedings of the 9-th Bulgarian National Congress of TAM. Sept. 19-22, 2001, pp.: 535-541.

DYNAMIC STABILITY OF PIPES (AS CONTINUOUS BEAMS) CONVEYING FLUID AND LYING ON ELASTIC SUPPORTS

Svetlana V. Lilkova - Markova

University of architecture, civil engineering and geodesy
Department of Technical Mechanics
1 Hristo Smirnenski blvd. 1046, Sofia, Bulgaria

Key words: *dynamic stability, pipe, fluid, elastic supports*

Abstract: *The dynamic stability of pipes conveying fluid is investigated. They are modeled as cantilevered pipes with additional linear elastic supports transversally to the axis of the pipe. The critical fluid velocity and the circular frequency are determined in the case of the flutter loss of stability. The influence of the increasing of the number of the spans to the critical flow velocity is investigated.*