

Efectul vârtejurilor asupra conductelor submarine

Timur Chis

CENTRUL INFO-MEDIU CONSTANTA

B/DUL TOMIS, NR.325, BL.TAV9, AP.26, CONSTANTA, 900463

Email:tchis@yahoo.com

Rezumat

Vortex-induced oscillations, often of concern when a bluff structure is exposed to fluid cross-flow, are considered herein using a semi-empirical modeling approach. Based on the fluid momentum theorem, the model involves a highly simplified abstraction of the complex flow field, and major assumptions concerning the nature of the coupling between the fluid and the oscillating structure.

1. Introducere

In lucrare se prezintă modelarea matematică a fenomenelor care apar la curgerea fluidului pe lîngă un clinindru imersat, tip riser. Modelul ia în considerare efectele induse în structura tubului de către vârtejurile care se formează în jurul lui. Modelul propus are drept scop matematizarea experimentelor efectuate pe un sistem de conducte supuse acțiunii vântului, curenților marini și valurilor.

Integrarea numerică a modelului se obține cu ajutorul metodei Runge-Kutta de ordinul patru pe baza caruia sunt ridicate curbele de variație ale forței, parametrului de excitație și combinarea acestor doi factori de analiză a comportării conductelor la efectele vârtejurilor.

Orice clindru imersat într-un fluid aflat în mișcare, produce, în punctele de separație a straturilor de fluid față de suprafața cilindrului, vârtejuri care se separă alternativ de pe cele două părți ale cilindrului cu o anumită frecvență fv.

Acest fenomen se numește „vortex shedding” (desprindere de vîrtejuri) și generează fluctuații periodice ale câmpului de presiuni hidrodinamice din jurul conductei.

Ca efect al acestor variații, apar forțe oscilatorii de tip hidroelastic, una „in-line” (pe aceeași direcție cu cea de curgere-a vectorului viteza) și alta, perpendicular pe direcția de curgere de frecvență.

În cazul conductelor submarine astfel de fenomene pot apărea în cazul „riserelor” sau mai ales, al porțiunilor de conductă suspendată la o distanță mai mare sau mai mică de fundul mării.

Acstei forțe oscilatorii produc vibrații "in-line" cu o amplitudine tipică de circa 0,1 din diametrul conductei, puțin periculoase de cele mai multe ori, sau vibrații „cross-flow” (perpendiculare pe direcția de curgere) cu o amplitudine de circa un diametru al conductei.

Vibrațiile generează sarcini și tensiuni variabile în pereții conductei, care pot provoca ruperea ei la oboseală.

2. Modelul matematic propus

Pentru analizarea comportării conductelor submarine imersate în fluid se consideră un tub (Figura 1) cu structura uniformă prins la capete în bolturi care lasă tubului grade de libertate în mișcare.

Pentru această structură marină ecuația de mișcare este;

$$M \frac{\partial^2 y}{\partial t^2} + EI \frac{\partial^4 y}{\partial t^4} - (T_0 - S \cos \omega t) \frac{\partial^2 y}{\partial x^2} + B_v \left| \frac{\partial y}{\partial t} \right| \frac{\partial y}{\partial t} = 0 \quad (1)$$

Unde:

- M este masa totală pe unitatea de lungime de segment;
- EI este modulul de elasticitate;
- T_0 este tensiunea axială;
- S este variația temporară a amplitudinii forței axiale;
- ω este variația unghiulară a forței axiale;

$$B_v = 0,5 C_d \rho_w d_0 \quad (2)$$

- C_d este coeficientul de lovire;
- d_0 este diametrul interior al tubului;
- ρ_w este densitatea apei de mare;

Fenomenul de „desprindere de vârtejuri” și efectele sale depind mult de caracterul curgerii fluidului pe lângă conductă, existând diferențe între efectele produse de o curgere staționară (curenți constanti) și cele produse de o curgere oscilatorie (indusă de valuri) sau o combinație a celor două tipuri de curgere.

Astfel, vibrațiile „in-line” generate de valuri sunt mai ample decât cele generate de curenți constanti, iar apariția rezonanței, în primul caz, va depinde și de frecvența valurilor.

În absența altor influențe ale mediului marin, circulația fluidului în jurul unui cilindru introdus în fluid se divide într-un număr de regimuri de curgere care depind de numărul lui Re .

Ecuația diferențială (1) se reduce la o ecuație ordinată utilizând separarea variabilelor și ținând cont de forma de încastrare a capetelor conductei.

$$y(x, t) = h(t) \frac{x}{L} + \sum_{n=1}^{\infty} f_n(t) \sin \frac{xn\pi}{L} \quad (3)$$

Prinii doi termeni ai ecuației (3) reprezintă descrierea comportării rigide și elastice a conductei iar $h(t)$ descrie mișcarea structurii de legătură a conductei cu amplitudinea y_0 și frecvența ω .

$$h(t) = -y_0 \sin \omega t \quad (4)$$

Substituind ecuația (3) și (4) în ecuația (1) obținem:

$$\frac{d^2 F_m}{d\tau^2} + (\alpha - \beta \cos \omega t) F_m + c \int_0^l \left[-Y_0 X \cos \tau + \sum_{n=1}^{\infty} \sin n\pi X \frac{dF_n}{d\tau} \right] \cdot \left[-Y_0 X \cos \omega t + \sum_{n=1}^{\infty} \sin n\pi X \frac{dF_n}{d\tau} \right] \sin m\pi X \frac{dF_m}{d\tau} dx = (-1)^m \frac{2Y_0}{m\pi} \sin \tau \quad (5)$$

Pentru derivarea ecuației (5) se folosesc urmatorii termeni nedimensionali:

$$F_m = f_m / d_0, Y_0 = y_0 / d_0, X = x / L \quad \text{si} \quad \tau = \omega t \quad (6)$$

c din ecuație este coeficientul comportării hidrodinamice (de lovire a tubului) iar α și β sunt parametrii de descriere ai mișcării conductei:

$$\alpha = \left(\frac{\varpi_m}{\omega}\right)^2, \beta = \frac{S}{EI(m\pi/L)^2} \left(\frac{\varpi_m}{\omega}\right)^2, c = 2 \frac{B \sqrt{d_0}}{M} \quad (7)$$

$$\varpi_m^2 = \frac{EI}{M} \left(\frac{m\pi}{L}\right)^2 + \frac{T_0}{M} \left(\frac{m\pi}{L}\right)^2 \quad (8)$$

Ecuația (5) reprezintă vibrațiile structurii datorate vârtejilor.

3. Rezultate experimentale

Ecuația (5) s-a rezolvat cu ajutorul metodei Runge-Kutta de ordinul patru.

Pe baza rezolvării acestei probleme sunt ridicate curbele de variație ale forței, parametrului de excitare și combinarea acestor doi factori de analiză a comportării conductelor la efectele vârtejilor.

Ca date inițiale de plecare s-au luat valorile $f(0)=0,1$ și $dF(0)/dt=0,0$.

Pentru validarea modelului numeric s-a luat în considerare comportarea a trei conducte a caror parametrii sunt date în tabelul de mai jos.

Lungime, m	114	310	510
Tensiunea la capatul liber, N	$8.0 \cdot 10^6$	$15.7 \cdot 10^6$	$3.75 \cdot 10^6$
Modulul de elasticitate, N m ²	$5.29 \cdot 10^7$	$14.57 \cdot 10^8$	$3.22 \cdot 10^8$
Diametrul exterior, m	0.26	0.812	0.6
Densitatea materialului fara lichid in el, kg/m ³	472	726.3	276

Se mentioneaza ca pentru acest studiu s-a luat ca puncte finale de sustinere a conductei, la ambele capete legaturi elastice, cea de la capatul superior fiind legata de o structura navală.

Ca element principal al modelarii numerice a comportarii conductelor s-a reusit determinarea valorilor minime și maxime, valori între care tubul intra in starea de vibrație.

Pentru aceasta s-a definit viteza redusă și parametru de stabilitate, valori care definesc plaja de aparitie a vibratiilor.

Experimentele efectuate de noi au arătat că apariția vibratiilor sunt legate de condițiile:

	Vibrații în linie	Vibrații transversale
Curent	-viteza redusă să fie cuprinsă intre 1,25 si 3,55 -parametru de stabilitate să fie mai mic de 1,25	-viteza redusă să fie mai mare sau cel mult egală cu 3,55; -parametru de stabilitate să fie mai mic de 16,5.
Valuri	-viteza redusă să fie mai mare sau cel mult egală cu 1,25 și mai mică sau cel mult egală cu 3,55; -numărul lui Keulegan Carpenter să fie mai mare de 3,5	-viteza redusă să fie mai mare sau cel mult egală cu 3,55; -numărul lui Keulegan Carpenter să fie mai mare de 3,55.
Vant	-viteza redusă să fie cuprinsă între 1,25 si 3,55. -parametru de stabilitate să fie mai mic de 1,25.	-viteza redusă să fie mai mare sau cel mult egală cu 3,55; -parametru de stabilitate să fie mai mic de 16,5.

Viteza redusa Viteza redusa este un parametru adimensional echivalent cu inversul numarului lui Strohual.

$$v_r = \frac{v}{f_i d} \quad (9)$$

Parametru de stabilitate Acest parametru reprezintă în esență lovitura pe care o dezvoltă fluidul asupra tubului imersat (damping). Este o mărime adimensională.

$$K_s = \frac{2M_e \delta}{d^2 \rho} \quad (10)$$

Numarul lui Strouhal. Numarul lui Strouhal este un parametru adimensional care dat de formula adimensională:

$$S = f_0 \frac{d}{v} \quad (11)$$

Frecventa tuburilor Fluidul care loveste tubul induce eforturi în sistem.

Aceste eforturi provin de la fortele ce deriva din vartejurile provocate de miscarea fluidului pe lângă tub și generează excitări complexe. Este de înțeles că excitările sunt armonice și ca depinde în cele mai multe cazuri de frecvența de excitare.

$$f_i = \frac{A_i}{2\pi} \sqrt{\frac{EI}{M_e L_0^4}} \quad (12)$$

- Ce este important în studiul efectelor vartejurilor asupra conductelor tip riser:
 a.apar vibratii de amplitudini variabile;
 b.toate elementele de calcul sunt variabile functie de parametrii mediului de lucru (viteza curent, amplitudine val, viteza vant);
 c.misarea fluidului în jurul tubului este turbulentă;
 d.estă foarte importantă studiul acestor vibratii și mai ales a eforturilor induse pentru a stabili condițiile de proiectare;
 f.chiar dacă frecvențele miscarilor sunt mici (pană la 2 Hz) și misarea tubului este redusă (maximum 0,3 m) în timp pot apărea obosiști a materialului cu efect imediat ruperea conductei.g.proiectarea conductelor marine trebuie să prevada toate elementele preveniri formării vartejurilor în zona de lucru.

Pentru rezolvarea acestor probleme în cazul riserelor se impune montarea conductei în tuburi protecțoare sau .montarea pe conducte de elemente de spargere valurilor;

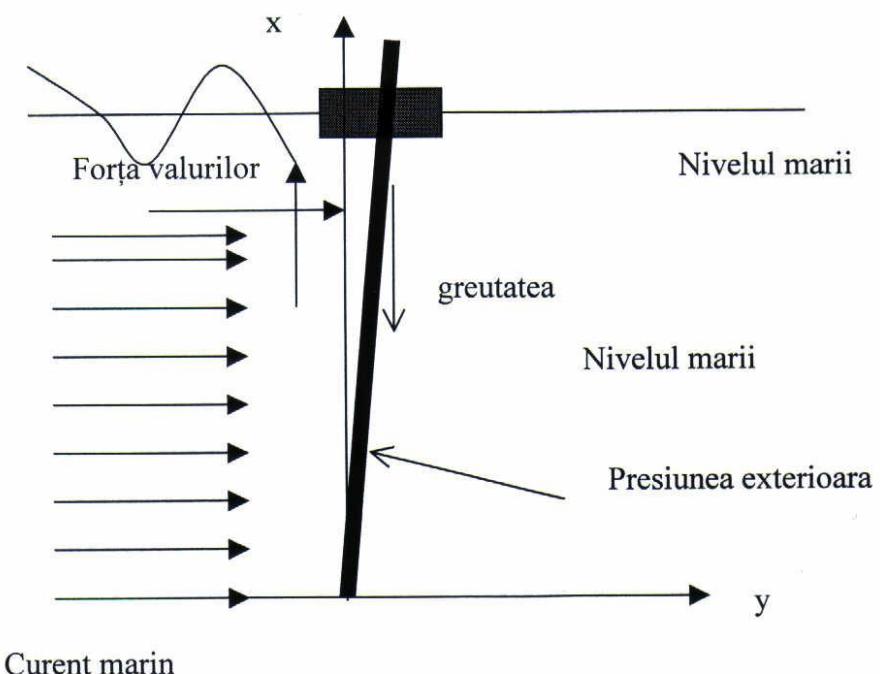


Fig. 1. Conducta tip riser

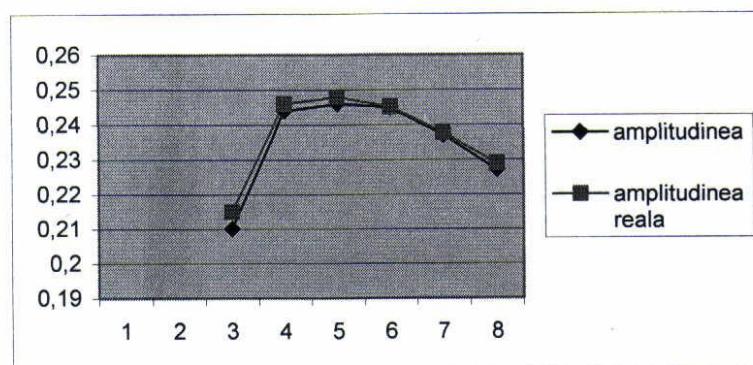


Fig. 2. Variația amplitudinii reale față de amplitudinea calculată

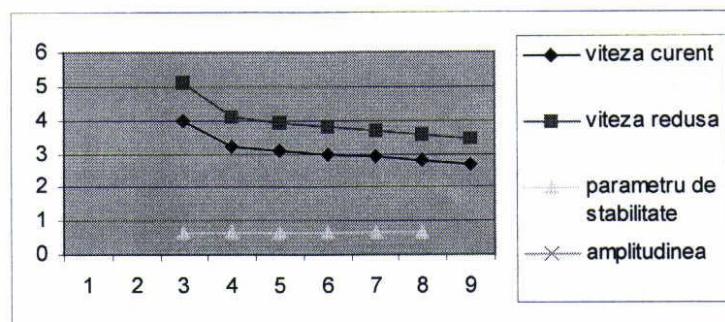


Fig. 3. Variația amplitudinii față de elementele de calcul (viteza curentului variabilă)