

VAMZDYNO IR FLUIDO PARAMETRŲ IDENTIFIKAVIMAS CHARAKTERISTIKŲ METODU

M. Bogdevičius

Vilniaus Gedimino technikos universitetas

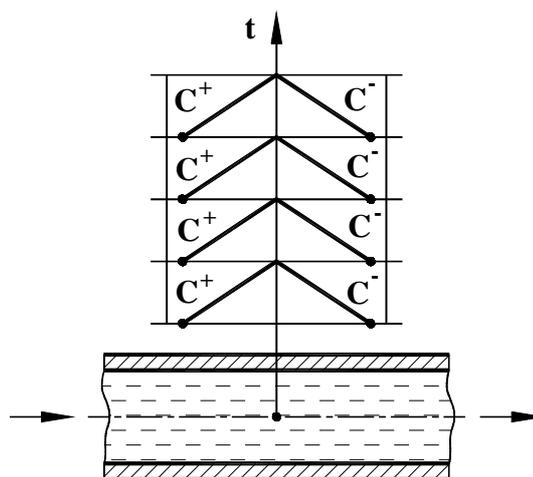
1. Įvadas

Fizinių sistemų tam tikriems parametrms nustatyti taikomi identifikavimo metodai [1, 2, 3]. Pastaruoju metu daug dėmesio skiriama dinaminių procesų parametrų identifikavimui [4, 5]. Gauti rezultatai naudojami fizinių sistemų valdymui. Tokią fizinių sistemų identifikavimo metodologiją pritaikysime vamzdynų, skysčių ir dujų srauto parametrms nustatyti.

2. Identifikavimo metodas

Vamzdynai naudojami transporte, mašinų gamyboje, energetikoje, medicinoje ir kitose srityse. Atsirandant naujoms technologijoms keičiasi ir vamzdynai. Dažniausiai metaliniai vamzdynai keičiami vamzdynais, pagamintais iš sintetinių medžiagų (polivinilchlorido, etileno, gumos, kompozitinių medžiagų ir kt.). Vamzdynų gali tekėti skystis, dujos arba jų mišinys (fluidas). Bendruoju atveju vamzdynų tekantis fluidas charakterizuojamas slėgiu, greičiu ir temperatūra. Šiems parametrms didelės įtakos turi vamzdynų geometriniai parametrai. Svarbiausia vamzdynų fizinė mechaninė charakteristika yra tamprumo modulis. Metalinių vamzdynų tamprumo modulio apytikslę reikšmę galima nustatyti iš žinynų. Kai vamzdynas pagamintas iš sintetinių medžiagų, šių medžiagų tamprumo modulio nepakanka nustatyti vamzdynų įtakos fluידo srauto parametrms. Klampiai tamprūs vamzdynai, be tampriųjų savybių, turi klampių ir plastinių savybių. Tokie vamzdynai pasižymi slėgio pulsacijos dideliu slopinimu. Norint įvertinti šias vamzdynų fizines mechanines savybes, sudaromi reologiniai modeliai, kuriems naudojama daug įvairių parametrų [6, 7, 8]. Reologinių modelių parametrai nustatomi eksperimentais. Šiame darbe parodoma, kaip galima nustatyti vamzdynų geometrinius ir reologinių modelių parametrus žinant tam tikruose vamzdynų taškuose fluידo srauto slėgio ir greičio kitimą laikui bėgant. Be

to, reikia žinoti, kokie fiziniai procesai vyksta vamzdynų. Fluידo tekėjimas vamzdynų matematiškai aprašomas diferencialinėmis lygtimis su dalinėmis išvestinėmis. Jas išsprendę, nustatysime skysčio srauto parametrų kitimą laikui bėgant tokį, kad šių parametrų reikšmės sutaptų su išmatuotų parametrų reikšmėmis. Fluידo srauto parametrų nustatymo schema pateikta 1 pav.



1 pav. Vamzdynų ir fluידo srauto parametrų identifikavimo schema

Fig 1. The identification scheme of the pipe line and fluid flow

Iš šių sąlygų galima nustatyti vamzdynų parametrų reikšmes. Fluידo judėjimo vamzdynų lygtis spręsiame charakteristikų metodu [9, 10, 11].

Užrašysime funkcionalą ir surasime minimalią jo reikšmę:

$$\min I = \sum_{k=1}^N (p_k - p_{ok})^2 + (v_k - v_{ok})^2, \quad (1)$$

čia p_{ok}, v_{ok} – žinomos fluידo srauto slėgio ir greičio reikšmės laiko momentu t_k ; p_k, v_k – ieškomos slėgio ir greičio reikšmės. Tarkim, reikia identifiukuoti vamzdynų parametrus α_i ($i = 1, \dots, m$). Minimali funkcionalo I reikšmė nustatoma iš sąlygos:

$$\frac{\partial I}{\partial \{\alpha\}} = \sum_{k=1}^N \frac{\partial I}{\partial p_k} \frac{\partial p_k}{\partial \{\alpha\}} + \frac{\partial I}{\partial v_k} \frac{\partial v_k}{\partial \{\alpha\}} = \sum_{k=1}^N [A_k] \{X_k\} = 0, \quad (2)$$

$$\text{čia } [A_k] = \begin{bmatrix} \frac{\partial I}{\partial p_k} & \frac{\partial I}{\partial v_k} & 0 & 0 & 0 & \dots & 0 \\ 0 & 0 & \frac{\partial I}{\partial p_k} & \frac{\partial I}{\partial v_k} & 0 & \dots & 0 \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \frac{\partial I}{\partial p_k} & \frac{\partial I}{\partial v_k} \end{bmatrix},$$

$$\{X_k\}^T = \left[\frac{\partial p_k}{\partial \alpha_1} \frac{\partial v_k}{\partial \alpha_1} \dots \frac{\partial p_k}{\partial \alpha_m} \frac{\partial v_k}{\partial \alpha_m} \right]. \quad (3)$$

Tam tikru laiko momentu t_k fluideo srauto slėgis p_k ir greitis v_k nustatomi (2 pav.) išsprendus lygčių sistemą [8, 9, 10]:

$$\{\Phi_k(p_k, v_k, \alpha_1, \dots, \alpha_m)\} = \begin{Bmatrix} \Phi_{1k} & (p, v, \alpha_i) \\ \Phi_{2k} & (p, v, \alpha_i) \end{Bmatrix} = 0, \quad (4)$$

čia

$$\begin{aligned} C^+ : \Phi_{1k} &= v_k - v_L + \\ &+ \frac{1}{2}(p_k - p_L) \left[\left(\frac{1}{a\rho} \right)_L + \left(\frac{1}{a\rho} \right)_k \right] - \\ &- \frac{\Delta t}{2} \left[\left(\frac{f_1}{a\rho} \right)_L + \left(\frac{f_1}{a\rho} \right)_k \right] - \\ &- \frac{\Delta t}{2} [(f_2)_L + (f_2)_k] = 0, \end{aligned} \quad (5)$$

$$\begin{aligned} C^- : \Phi_{2k} &= v_k - v_R + \\ &- \frac{1}{2}(p_k - p_R) \left[\left(\frac{1}{a\rho} \right)_R + \left(\frac{1}{a\rho} \right)_k \right] + \\ &+ \frac{\Delta t}{2} \left[\left(\frac{f_1}{a\rho} \right)_R + \left(\frac{f_1}{a\rho} \right)_k \right] - \\ &- \frac{\Delta t}{2} [(f_2)_R + (f_2)_k] = 0. \end{aligned} \quad (6)$$

L, R, D – indeksai, kuriais atitinkamuose taškuose pažymėti kintamieji ir funkcijos.

$$\begin{aligned} \{f\} &= \begin{Bmatrix} f_1 \\ f_2 \end{Bmatrix} = \\ &= \left\{ \begin{array}{l} \frac{a^2 F_1(x)}{S(x)} - \frac{a^2 \rho v}{S(x)} \frac{\partial S}{\partial x} \\ \frac{1}{S(x)} [F_2(x) - v F_1(x)] - \frac{\tau \Pi(x)}{S(x)} - a_x \end{array} \right\}, \end{aligned} \quad (7)$$

a – garso greitis fluide; ρ – tankis; $S(x) \Pi(x)$ – vamzdyno skerspjūvio plotas ir perimetras; a_x – pagreitis; τ – fluideo tangentinis įtempis ant vidinio vamzdyno paviršiaus; $F_1(x)$ – skysčio masės debitas į ilgio vienetą, patenkantis į vamzdyną; $F_2(x)$ – skysčio srauto, patenkančio į vamzdyną, kinetinė energija, tenkanti ploto vienetui.

Diferencijuojama lygčių sistema (4) pagal parametrus α_i :

$$\left\{ \frac{\partial \Phi_k}{\partial \alpha} \right\} = [B_k] \{X_k\}. \quad (8)$$

Iš lygčių sistemos (8) randamas vektorius $\{X_k\}$:

$$\{X_k\} = [B_k]^{-1} \left\{ \frac{\partial \Phi_k}{\partial \alpha} \right\}. \quad (9)$$

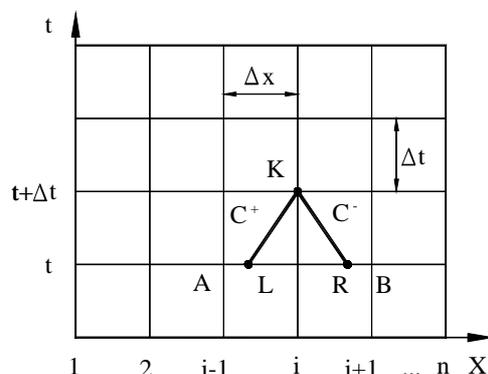
Gautas vektorius $\{X_k\}$ įrašomas į (2) lygtį:

$$\{Z_1\} = \sum_{k=1}^N [A_k] \{X_k\} = \sum_{k=1}^N [A_k] [B_k]^{-1} \left\{ \frac{\partial \Phi_k}{\partial \alpha} \right\} = 0. \quad (10)$$

Laiko momentais t_k fluideo srauto slėgį ir greitį aprašančios lygtys (4) įrašomos į vektorių:

$$\{Z_2\}^T = [\Phi_1, \dots, \Phi_N]. \quad (11)$$

Gautos netiesinių algebrinių lygčių abi sistemos (10) ir (11) sujungiamos į vieną sistemą:



2 pav. Skysčio srauto parametrų nustatymo taške K schema
Fig 2. Scheme of definition of fluid flow parameters in the point K

$$\{Z(p_k, v_k, \alpha)\} = \begin{cases} Z_1(p_k, v_k, \alpha) \\ Z_2(p_k, v_k, \alpha) \end{cases} = 0. \quad (12)$$

Bendras nežinomųjų skaičius lygus $2N + m$. Netiesinę algebrinių lygčių sistemą (12) galima spręsti Niutono metodu. Išsprendus šią lygčių sistemą gaunami fluído srauto parametrai (slėgis ir greitis) ir ieškomi vamzdyno parametrai $\alpha_i (i = 1, \dots, m)$.

4. Išvados

1. Taikant sukurtą vamzdynų ir fluído srauto parametrų identifikavimo metodiką galima nustatyti šių sistemų būdingųjų parametrų reikšmes.
2. Identifikavimo metodika gali būti pritaikyta naftos produktų ir dujų magistralinių vamzdynų parametrams identifikuoti.
3. Identifikavimo metodika leidžia nustatyti nestacionaraus, spūdaus, izoterminio ir neizoterminio fluído srauto judėjimo parametrų reikšmes ir patikslinti bemačio trinties veiksnio reikšmes.

Literatūra

1. Д. Химмельблау. Анализ процессов статистическими методами. М.: Мир, 1973. 957 с.
2. Современные методы идентификации систем / Под ред. П. Эйкхоффа. М.: Мир, 1983. 400 с.
3. Э. Сэйдж, Дж. Мелса. Идентификации систем управления. М.: Мир, 1974. 327 с.
4. П. В. Куропаткин. Оптимальные и адаптивные системы. М.: Высшая школа, 1998. 287 с.
5. В. Н. Афанасьев, В. Б. Колмановский, В. Р. Носов. Математическая теория конструирования систем управления. М.: Высшая школа, 1998. 574 с.
6. M. Bogdevičius. Berechnung Instationärer Strömungen in elastisch-plastischen und visko-elastisch-plastischen Rohrleitungen. Universität Stuttgart, 1991. 48 p.
7. M. Bogdevičius. Nestacionarus skysčio tekėjimas tarpiais, klampiais ir plastiškais vamzdžiais // Taikomoji mechanika, Nr. 2. Kaunas: Technologija, 1993, p. 117–124.
8. M. Bogdevičius. Non-Stationary Movement of Gas in Elastic Pipelines // Mechanika, Nr.1(21). Kaunas: Technologija, 2000, p. 39–45.
9. G. Bogdevičius. Simulation of complex pneumatic systems // Transportas, Vol XV, No 1. Vilnius: Technika, 2000, p. 20–28.
10. М. А. Богдьявичюс. Моделирование гидравлической системы насоса методом характеристик // Транспорт, № 2(15). Вильнюс: Техника, 1997, с. 30–37.
11. M. Bogdevičius. Simulation and Interaction of Mechanical and Hydraulic System // Proceedings of Tenth World Congress on the Theory of Mechines and Mechanisms. Oulu (Finland), 1999, p. 2110–2115.

Įteikta 2000 05 16

IDENTIFICATION OF PARAMETERS OF PIPE LINES AND FLUID FLOW USING A METHOD OF CHARACTERISTICS

M. Bogdevičius

S u m m a r y

In transport, engineering, power engineering and in other areas metal and synthetic pipe lines are used.

Liquid, gas or their mixture can flow in a pipe line.

Generally fluid is characterized by pressure, velocity and temperature. One of the main characteristics of the pipe line is a modulus of elasticity. The modulus of elasticity of metal pipe lines can be determined by the quick reference of physical quantities. The modulus of elasticity does not suffice for synthetic pipe lines to determine values of effect of the pipe line on parameters of a liquid. Elastically viscid pipe line has the property to suppress pressure fluctuations of a fluid. Taking into account these properties of synthetic pipe lines, the rheological models are developed in which one of the factors will be used. In this article it is possible to determine geometrical parameters and parameters of rheological models, pressure fluctuations of a liquid.

The flow of fluid in pipe lines is described by differential equations of a hyperbolic type. Deciding these equations it is identifiable to change the parameters of a liquid in time and space and we shall demand that values of these parameters coincide with the values obtained in the experiment. From these conditions it is possible to determine the values of parameters of the pipe line. The problem of identification consists of the definition of minimum of a functional (1) and the solution of equations of motion of a liquid by a method of characteristics. As outcome a set of equations for the definition of the parameters of identification and the parameters of the flow of fluid is received.

MARIJONAS BOGDEVĪČIUS

Doctor, Associate Professor and Head (1995) of Department of Transport Technology Equipment's, Vilnius Gediminas Technical University (VGTU), Plytinės g. 27, LT–2040 Vilnius, Lithuania. E-mail: marius@ti.vtu.lt

Doctor of Technical science, Moscow Highway Institute, 1988. First degree in Mechanical Engineering (building and road machines and equipment), Vilnius Civil Engineering Institute (VISI), now VGTU), 1981. Probation: Stuttgart University (Germany), 1990–1991. Academician of International Academy of Noosphere (Sustainable Development) (1998). Publications: author of 22 inventions, more than 80 scientific works. Research interests: dynamics of mechanical, hydraulic and pneumatic systems, computation mechanics, transport traffic safety.