

## Srauto profilio ir aplinkos nevienalytiškumo ataka srauto parametrø matavimams

L. Jakevičius, O. Tumšys

Prof. K. Barðausko ultragarso mokslo centras

Kauno technologijos universitetas

Ávairiø technologiniø procesø kontrolei pramonėje daþnai reikia tiksliai iðmatuoti ávairiø medþiagø, nutekanëiø vamzdynais, kiekius. Ðiam tikslui gerai tinka impulsiniai matavimo metodai, pagrãsti akustiniø signalø sklidimo tarp siunëianëiojo ir priimanëiojo elektroakustiniø keitikliø laiko  $\tau$  matavimu. Daþnai tiriamosios aplinkos judėjimo greitis  $u$  yra maþas, palyginti su akustiniø signalø sklidimo ðia aplinka greiëiu  $c$ , t.y.  $u \ll c$ , o pati aplinka yra vienalytë. Tokiais atvejais daroma prielaida, kad akustiniø signalø sklidimo kryptis tiriamosios aplinkos atþvilgiu sutampa su tiesës, einanëios per elektroakustiniø keitikliø centrus, kryptimi. Tuomet akustiniø signalø sklidimo laikas apraðomas algoritmu:

$$\tau = \frac{l}{c \pm u \cos \alpha}; \quad (1)$$

ëia  $l$  - akustiniø signalø nueitas kelias;  $\alpha$  - kampas tarp statmens srautui ir akustiniø signalø sklidimo krypties.

Didėjant Macho skaiëiui  $M$  ( $M = u/c$ ) tenka naudoti tikslesnã algoritmã, kuriame ávertinama srauto greiëio ataka akustiniø signalø sklidimo matavimo kanalu krypëiai:

$$\tau = \frac{l}{\sqrt{c^2 - u^2 \cos^2 \xi + u \sin \xi}}; \quad (2)$$

ëia  $\xi$  - kampas tarp tiesës, einanëios per akustiniø keitikliø centrus, ir srauto krypties normalës. Abi ðios iðraiðkos naudojamos matuojant akustiniø signalø sklidimo tiriamãja aplinka greitã  $c$  bei ðios aplinkos srauto greitã  $u$ . Kai matavimams naudojamas dvipusis tiriamos aplinkos zondavimo metodas, iðmatavus akustiniø signalø sklidimo pagal srautã trukmã  $\tau_1$  ir priëð srautã  $\tau_2$ , gaunamos atitinkanëios (1) ir (2) lygtis akustiniø signalø sklidimo greiëio iðraiðkos:

$$c = \frac{l \left( \frac{1}{\tau_1} + \frac{1}{\tau_2} \right)}{2}; \quad (3)$$

$$c = \frac{l \sqrt{\tau_1^2 + \tau_2^2 - 2\tau_1\tau_2 \cos 2\xi}}{2\tau_1\tau_2 \sin \xi}. \quad (4)$$

Tiriamosios aplinkos srauto greitis abiem atvejais iðreiðkiamas vienodai:

$$u = \frac{l}{2 \sin \xi} \left( \frac{1}{\tau_1} - \frac{1}{\tau_2} \right). \quad (5)$$

Ðiose iðraiðkose padaryta prielaida, kad tiriamoji aplinka yra vienalytë, o srauto greitis  $u$  visuose taðkuose vienodas. Kai  $u \ll c$  ir tiriamoji aplinka artima vienalytei, matavimø sisteminës paklaidos, atsirandanëios dël ðios prielaidos, yra minimalios ir jø daþnai galima nepaisyti.

Taëiau esant dideliems srauto greiëiams bûtina atsipvelgti ir á srauto profilio atakã matavimø rezultatams. Taip pat reikia ávertinti didelìø tiriamos aplinkos nevienalytiðkumø (esant dideliems temperatûriniams gradientams ar dvifaziams srautams) atakã matavimø rezultatams [1,2]. Tuo tikslu pasirinkime koordinaëiø sistemã, kurios  $x$  aðis statmena, o  $y$  aðis lygiagreti su tiriamosios aplinkos srauto kryptimi. Tarkime, tiriamosios aplinkos srauto greiëio erdvinis pasiskirstymas apraðomas funkcija  $u(x)$ , o akustiniø signalø sklidimo greiëio -  $c(x)$ . Tuomet remiantis [3] akustiniø signalø sklidimo nuo taðko  $A(0,0)$  iki taðko  $B(x,y)$  trukmë  $\tau$  apraðoma lygtimi:

$$\tau = \int_A^B \frac{c_0 - (u(x) - u_0) \sin \alpha_0}{A(x) \sqrt{[c_0 - (u(x) - u_0) \sin \alpha_0]^2 - c^2(x) \sin^2 \alpha_0}} dx; \quad (6)$$

ëia  $\alpha_0$  - kampas tarp akustiniø signalø sklidimo krypties tiriamosios aplinkos atþvilgiu ir statmens srauto normalei akustiniø signalø spinduliavimo taðke;  $c_0$  ir  $u_0$  - akustiniø signalø sklidimo ir aplinkos srauto greiëiai spinduliavimo taðke. Naudojantis (6) iðraiðka, galima nustatyti akustiniø signalø sklidimo pagal srautã trukmã  $\tau_1$  ir priëð srautã  $\tau_2$ . Áraðius ðio trukmiø reikðmes á (4) ir (5) iðraiðkas, apskaiëiuojamas akustiniø signalø sklidimo greitis  $c^*$  ir srauto greitis  $u^*$ . Atsipvelgiama á ðio greiëio erdvinã pasiskirstymã.

Naudojamiesi pateiktu algoritmu ávertinkime akustiniø signalø sklidimo ir srauto greiëio paklaidas, kai tiriamoji medþiaga teka vamzdþiu, kurio spindulys  $R$ . Akustiniø signalø sklidimo skersai vamzdþio trukmës  $\tau$  iðraiðka analogiðka (6) iðraiðkai, kai integruojama nuo 0 iki  $2R$ . Sakykime,

vamzdpiu teka ákaitintø dujø srautas, o pats vamzdis ið iðorës auðinamas (pvz., plazmotronas). Tuomet akustiniø signalø sklidimo greiðio  $c$  pasiskirstymas sraute artimas paraboliniam dësniui [4]:

$$\alpha(x) = 3c_{vid} \frac{X(2-X)(Q-1)+1}{2Q+1}; \quad (7)$$

èia  $c_{vid}$  - vidutinë akustiniø signalø sklidimo greiðio reikðmë;  $Q$  - akustiniø signalø sklidimo greiðio vamzdpio centre  $c_c$  ir prie sienelës  $c_0$  santykis;  $X$  - normuota vamzdpio skersmens  $R$  atþvilgiu  $x$  koordinatë.

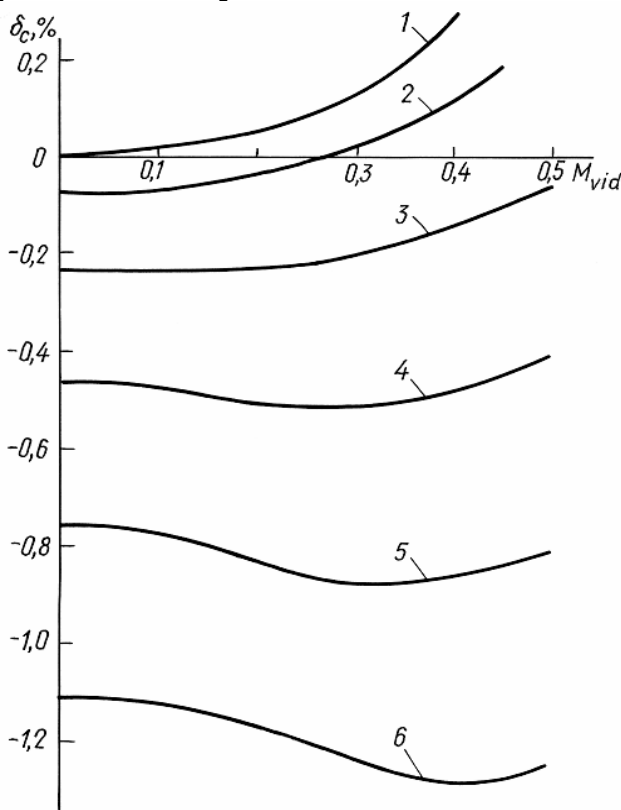
Srauto greièio  $u$  pasiskirstymas vamzdyje laminarinio tekèjimo atveju apraðomas tokia iðraiðka [5]:

$$u(x) = 1,5u_{vid}(2X - X^2) \quad (8)$$

o turbulencinio -ðitokia:

$$u(x) = \begin{cases} \frac{8}{7}u_{vid}X^{\frac{1}{7}}, & \text{kai } 0 \leq X \leq 1 \\ \frac{8}{7}u_{vid}(2-X)^{\frac{1}{7}}, & \text{kai } 1 \leq X \leq 2 \end{cases} \quad (9)$$

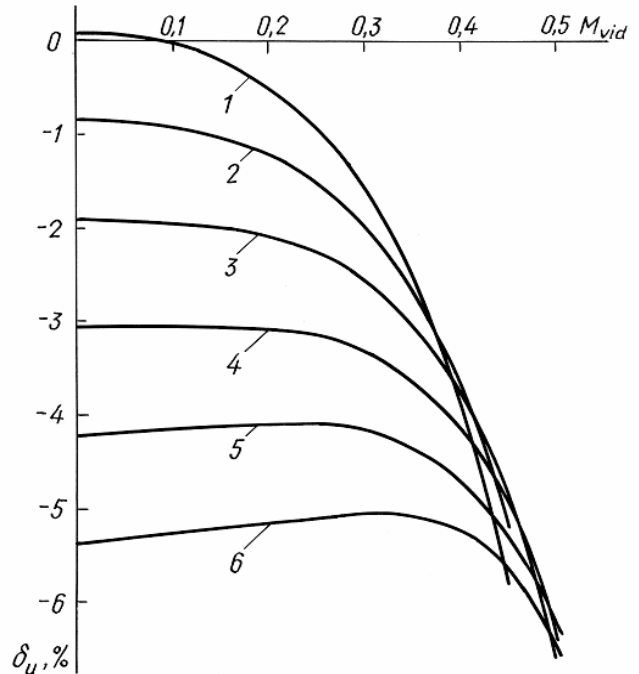
èia  $u_{vid}$  - vidutinè srauto greièio reikòmè. Remdamiesi (6), (7) - (9) iðraiðkomis apskaièiuojame akustiniø signalø sklidimo pagal srautà trukmæ  $\tau_1$  ir prièd srautà  $\tau_2$ , o ðias trukmes áraðæ á (4) ir (5) iðraiðkas gauname atitinkamai akustiniø signalø sklidimo greièio  $c^*$  ir srauto greièio  $u^*$  reikòmes. Èia atsipvelgiame á aplinkos nevienalytiðkumà  $Q$  ir srauto profilá. Santykinè akustiniø signalø sklidimo greièio pokyèio  $\delta_c$  priklausomybè, ávertinus tiriamojo srauto ir akustiniø signalø sklidimo greièiø erdvinius pasiskirstymus, palyginti su greièiu  $c$ , apskaièiuotu pagal (4) algoritmá, pavaizduota 1 paveiksle.



1 pav. Santykinis akustiniø signalø sklidimo greièio pasikeitimas, sálygojamas tiriamosios aplinkos nevienalytiðkumo.  $\xi = 30^\circ$ ;  $Q$ : 1-1,0; 2-1,1; 3-1,2; 4-1,3; 5-1,4; 6-1,5

Matome, kad dël Macho skaièiaus  $M_{vid} = u_{vid}/c_{vid}$  kitimo atsirandanèios sisteminès akustiniø signalø sklidimo greièio matavimo paklaidos nevirðija 0,3 proc. Tuo tarpu paklaidos dël aplinkos nevienalytiðkumo sudaro apie 1

proc. Tiriamosios aplinkos srauto greièio matavimo paklaidos, atsirandanèios neávertinus srauto profilio ir aplinkos nevienalytiðkumo erdvinio pasiskirstymo, didèjant Macho skaièiui, gali iðaugti net iki 7 proc., o dël aplinkos nevienalytiðkumo, net esant maþiems Macho skaièiams ( $M < 0,05$ ), sisteminè paklaida gali siekti keletà procentø (2 pav.).



2 pav. Santykinis vidutinio srauto greièio pasikeitimas, sálygojamas tiriamosios aplinkos nevienalytiðkumo.  $\xi = 30^\circ$ ;  $Q$ : 1-1,0; 2-1,1; 3-1,2; 4-1,3; 5-1,4; 6-1,5

Apibendrinant modeliavimo rezultatus, matyti, kad dël tiriamosios aplinkos nevienalytiðkumo ir srauto profilio kitimo sálygojamø paklaidø akustiniø signalø sklidimo ir srauto greièiø apskaièiuotosios reikòmès gaunamos maþesnès up realiásias.

Literatūra

1. Milius P., Jakevièius L. Akustiniø bangø sklidimo judanèiose aplinkose parametrø ávertinimo teorinis modelis // Ultragarasas.-1991.-Nr.23.-P.47-56.
2. Milius P., Jakevièius L. Akustiniø signalø sklidimo sluoksniuotoje judanèioje aplinkoje matematinis skaièiavimas // Ultragarasas.-1992.-Nr.24.-P.18-29.
3. Elektroakustinio matavimo kanalo parametrø parinkimas / Jakevièius L., Tumðys O., Butkus J., Gudavièius G. // Ultragarasas.-1996.-Nr.1(26).-P.22-25.
4. Ìeþn Ì., Èaæen Ð., Áóðeón È. Ósuððaçáóèiáñe èçiáðeðáèu ðáñiáðáðóðu áaçiðaçýáñe reaçiú // Èçiáðeðáèuráý ðáðièeá.-1982.-Í11.-N.41-44.
5. Milius P., Motiejúnas J., Jakevièius L. Akustiniø signalø trajektorijø judanèiose aplinkose analizè // Ultragarasas.-1990.-Nr.22.-P.61-68.

L.Jakevièius, O.Tumðys

The influence of a flow profile and inhomogeneity of medium on measurements of flow parameters

Summary

The errors of the measurement of velocities of signal propagation and flow caused by inhomogeneity of medium under investigation and by profile of the flow are estimated. It is shown that the errors of the measurement of velocity of acoustic signals propagation do not exceed 1,5 % even at great Mach number. Meanwhile, the measurement error of the flow of velocity reaches 7%.