

## Akustinio koreliacinio metodo taikymas dujų vamzdynų nesandarumui aptikti

L. Jakevičius, J. Butkus

KTU Ultragarso mokslo institutas

Studentų g. 50-136, 3031 Kaunas

### Įvadas

Vamzdynų, kuriais transportuojami skysti ir dujiniai produktai, nesandarumui aptikti geriausiai tinka akustinis koreliacinis matavimo metodas [1,2,3]. Jis yra pigus, efektyvus ir patikimas. Turint prielaidą apie vamzdyno tik tiriamo ruožo galuose, šiuo metodu galima patikrinti viso ruožo sandarumą ir aptikti nuotėkio vietą  $\pm 0,5m$  tikslumu [4,5]. Tai leidžia gerokai sumažinti žemės darbų apimtį, o kartu ir materialines išlaidas, susijusias su vamzdyno atidengimu, ieškant nuotėkio vietos. Akustinį koreliacinį matavimo metodą galima sėkmingai taikyti tiek vamzdynų hidraulinių bandymų metu, tiek įprastinėmis jų eksploatacinių sąlygomis. Šis matavimo metodas yra pagrįstas akustinių triukšmų registravimu elektroakustiniais keitikliais, pritvirtintais tiriamo vamzdyno ruožo galuose, ir šių triukšmų tarpusavio koreliacijos nustatymu. Jei tiriamo vamzdyno ruožo dalyje yra nesandarumas, tai per jį nutekėdami vamzdynu transportuojami produktai sukelia akustinių triukšmų. Atlikus registruojamų akustinių triukšmų tarpusavio koreliaciją, nustatomas nuotėkio vietoje generuojamų akustinių triukšmų sklaidimo iki elektroakustinių keitiklių laikų skirtumas  $\Delta t$ . Žinant tiriamo vamzdyno ruožo ilgį  $l$  ir akustinių triukšmų sklaidimo greitį  $c$ , pagal algoritmą [6,7]

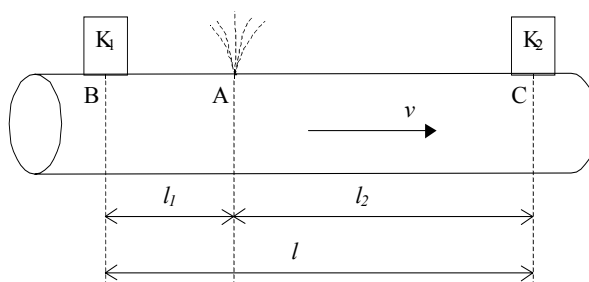
$$l_1 = \frac{l - c\Delta t}{2} \quad (1)$$

apskaičiuojama vamzdyno nesandarumo vieta.

### Problema

Tiek skystus, tiek dujinius produktus transportuojančių vamzdynų nesandarumo vietoje generuojamų akustinių triukšmų atsiradimo mechanizmas yra toks pat. Tačiau dėl didelių skysčių ir kietų kūnų bei dujų ir kietų kūnų akustinių varžų santykių skirtumo, generuojamų akustinių triukšmų energija pasiskirsto nevienodai. Nuotėkio vietoje besiveržiantys skysti produktai didelę generuojamo akustinio triukšmo energijos dalį perduoda vamzdžio sienelėms [8,9]. Todėl, tiriant vamzdynus, transportuojančius skystus produktus (pramoninį ir termofikacinį vandenį, naftą ir pan.), elektroakustiniais keitikliais registruojami akustiniai triukšmai, sklindantys vamzdžių sienelėmis. Tuo tarpu vamzdynuose, kuriais transportuojami dujiniai produktai (gamtinės dujos, termofikacinis garas ir pan.), didžioji nuotėkio vietoje generuojamo akustinio triukšmo energijos dalis lieka dujose ir beveik neperduodama vamzdžio sienelėms [10,11]. Dėl šios priežasties, ieškant vamzdynų, transportuojančių dujinius produktus, nesandarumų,

registruojami akustiniai triukšmai, sklindantys vamzdyną užpildančiomis dujomis [12].



1 pav. Nuotėkio vietos nustatymo struktūrinė schema

Ši dujinius produktus transportuojančių vamzdynų savybė nulemia (1) algoritmo taikymo galimybes. Jei vamzdyno sandarumas, taikant akustinį koreliacinį matavimo metodą, tiriamas hidrostatiinių bandymų metu, tai nesandarumo vietos nustatymui galima naudoti (1) algoritmą. Tačiau, ieškant vamzdynų nesandarumo jų eksploatacinių metu, dėl dujinių produktų judėjimo pakinta laiko tarpai, per kuriuos akustiniai signalai, atsiradę nuotėkio vietoje, pasiekia elektroakustinius keitiklius (1 pav.).

### Teorinis modeliavimas

Išnagrinėsime kokią įtaką dujų judėjimas vamzdyje turi vamzdyno nesandarumo vietos nustatymo tikslumui. Nehermetiškoje vietoje (tš. A) generuojami akustiniai triukšmai, sklindami prieš dujų srautą, elektroakustinį keitiklį  $K_1$ , esantį taške B pasiekia praėjus laiko tarpui

$$t_1 = \frac{l_1}{c - v} \quad (2)$$

Savo ruožtu, akustiniai triukšmai, sklindantys nuo nehermetiškoje vietoje srauto kryptimi, elektroakustinį keitiklį  $K_2$ , esantį taške C, pasiekia praėjus laiko tarpui

$$t_2 = \frac{l_2}{c + v} \quad (3)$$

Naudodamiesi 1 pav., iš (2) ir (3) lygčių surandame algoritmą, kuris įvertina dujų srauto greičio įtaką nuotėkio vietos koordinatų  $l_1^*$  nustatymui, kai matavimai atliekami veikiančiuose dujinius produktus transportuojančiuose vamzdynuose:

$$l_1^* = \frac{l(c - v) - (c^2 - v^2)\Delta t}{2c} \quad (4)$$

Čia  $\Delta t = t_2 - t_1$ . Kad kiekybiškai įvertintume vamzdyno viduje esančių dujų srauto greičio  $v$  įtaką nuotėkio vietos nustatymo tikslumui, iš (4) lygties išreikškime  $\Delta t$ :

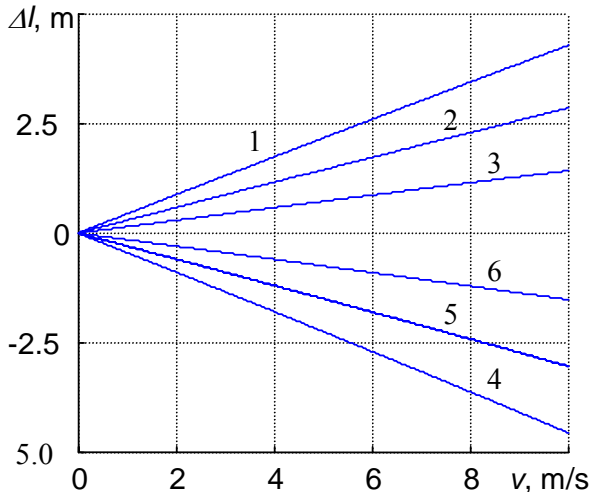
$$\Delta t = \frac{l(c-v) - 2cl_1^*}{c^2 - v^2}. \quad (5)$$

Apskaičiuota  $\Delta t$  reikšmė rodo realų akustinių triukšmų sklidimo vamzdyną užpildančiomis dujomis nuo nuotėkio vietos iki elektroakustinių priėmimo keitiklių laikų skirtumą. Tuomet (5) išraišką įrašę į (1) lygtį, rasime taško, kuriame apskaičiuotume nuotėkio vietą naudodami (1) algoritmą, koordinates:

$$l_1 = \frac{lv}{2(c+v)} + \frac{l_1^* c^2}{c^2 - v^2}. \quad (6)$$

Naudodamiesi (4) ir (6) išraiškomis, rasime absoliutinį nuotėkio vietos nustatymo nuokrypį  $\Delta l = l_1 - l_1^*$ . Jis atsiranda akustiniu koreliaciniu matavimo metodu tiriant dujų vamzdynų nesandarumą, kai neįvertinamas dujų judėjimo greitis  $v$  vamzdyno viduje. Šis nuokrypis aprašomas lygtimi:

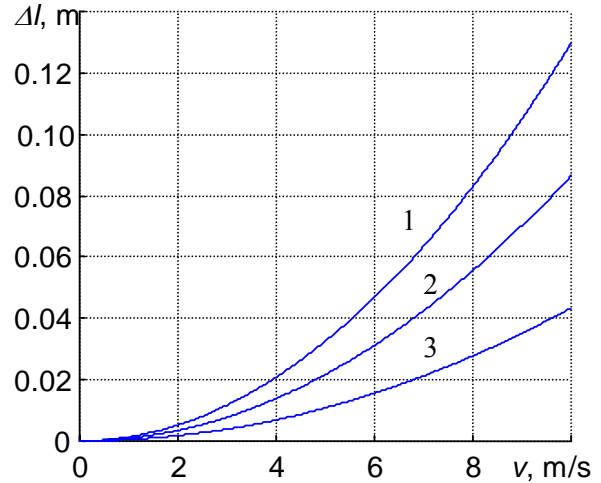
$$\Delta l = \frac{lv}{2(c+v)} + \frac{l_1^* v^2}{c^2 - v^2}. \quad (7)$$



2 pav. Vamzdyno nesandarumo vietos absoliutinio nuokrypio nustatymo priklausomybė nuo srauto greičio, kai tiriamo ruožo ilgis: 3, 6 – 100 m, 2, 5 – 200 m, 1, 4 – 300 m

Kaip matome iš (7) lygties, absoliutinis nuotėkio vietos nustatymo nuokrypis priklauso nuo dviejų narių. Vienas iš jų (pirmas (7) lygties dešinės pusės narys) yra tiesiog proporcingas tiriamo vamzdyno ruožo ilgiui ir visiškai nepriklauso nuo nuotėkio vietos koordinatė. Savo ruožtu antro (7) lygties dešinės pusės nario dydį lemia nuotėkio vietos koordinatės, o tiriamo vamzdyno ruožo ilgis jam įtakos neturi.

Išanalizuokime šių narių įtaką nesandarumo vietos nustatymo tikslumui. Tiriamas vamzdyno ruožo ilgis  $l$  paprastai neviršija 300 m. Tuomet maksimalus atstumas  $l_{1\max}^*$  tarp nuotėkio vietos ir artimiausio elektroakustinio keitiklio neviršys 150 m. Sakykime, kad vamzdynas



3 pav. 300 m. vamzdyno ruožo nesandarumo vietos absoliutinio nuokrypio nustatymo priklausomybė nuo srauto greičio, kai nuotėkio vieta nuo tiriamo ruožo vidurio: 1 – 150 m, 2 – 100 m, 3 – 50 m

užpildytas oru. Tada akustinių signalų sklidimo greitis  $c$  bus apie 340 m/s. Dujų judėjimo greitis  $v$  vamzdyje gali padidėti iki 10 m/s. Kaip matyti 2 paveiksle, esant ribinėms matavimo reikšmėms, pirmojo nario sąlygojamas nuokrypis  $\Delta l_1$ , nustatant vamzdyno nesandarumo vietą, gali padidėti iki 4,5 m. Be to, kai akustiniai triukšmai nuo nuotėkio vietos iki artimesnio elektroakustinio keitiklio sklinda dujų judėjimo kryptimi, nustatyta nuotėkio vieta, palyginti su jos tikrąja padėtimi, būna arčiau tiriamojo ruožo galo (2 pav. 1-3 kreivės). Tais atvejais, kai akustiniai triukšmai iki artimesnio elektroakustinio keitiklio sklinda prieš dujų srautą, apskaičiuota nuotėkio vieta realiosios nuotėkio vietos atžvilgiu pasislenka arčiau tiriamojo vamzdyno ruožo centro (2 pav. 4-6 kreivės). Antrojo nario sąlygojamas nuokrypis  $\Delta l_2$ , esant ribinėms matavimo reikšmėms, tesiekia 0,13 m (3 pav.). Kadangi, nustatant vamzdyno nesandarumo vietą, leidžiama matavimų paklaida gali siekti  $\pm 0,5$  m, todėl (7) lygties dešinės pusės antrojo nario sąlygojamo nuokrypio įtakos galima nepaisyti. Tada (7) lygtį galime užrašyti taip:

$$\Delta l \approx \Delta l_1 = \frac{lv}{2(c+v)}. \quad (8)$$

Kaip matome iš 8 lygties, nustatant vamzdynų, transportuojančių dujinius produktus, nesandarumo vietą pagal (1) algoritmą, nuotėkio vietos nustatymo absoliutus nuokrypis didėja didėjant joje dujų judėjimo greičiui  $v$  ir ilginant tiriamą vamzdyno ruožą  $l$  bei mažėja didėjant akustinių signalų sklidimo greičiui  $c$  vamzdyną užpildančiose dujose. Kadangi atsiradęs nuokrypis gali padidėti iki keleto metrų, tai, siekiant tiksliau nustatyti vamzdynų nesandarumo taškų koordinates, būtina įvertinti šių parametru įtaką.

### Išvados

Gauti modeliavimo rezultatai rodo, kad, tiriant vamzdynų, transportuojančių dujinius produktus,

sandarumą akustiniu koreliaciniu matavimo metodu, būtina įvertinti šių produktų judėjimo greičio įtaką matavimo rezultatams. Transportuojamų dujinių produktų judėjimo sąlygojamas absoliutinis nuotėkio vietos nustatymo nuokrypis, kai tiriamo ruožo ilgis siekia 300 m, atskirais atvejais gali viršyti 4 m. Daugiausia įtakos nuotėkio vietos nustatymo absoliutiniams nuokrypiui  $\Delta l$  turi tiriamas vamzdyno ruožo ilgis  $l$  ir dujų judėjimo greitis  $v$ . Tuo tarpu paties nesandarumo vietos koordinatę  $l_1^*$  pasikeitimas nuotėkio vietos nustatymui turi labai mažai įtakos. Jo sąlygojamas didžiausias absoliutinis nuokrypis tesiekia 0,13 m. Todėl dujinius produktus transportuojančio vamzdyno nesandarumo taškų koordinatėms apskaičiuoti naudojant (1) algoritmą, reikia nustatyti transportuojamų produktų judėjimo greičio sukeltus nuokrypius, kuriuos kiekybiškai įvertina (8) algoritmas.

#### Literatūra

1. Дробот Ю. Б., Грешников В. А., Бачелов В. Н. Акустическое контактное течение. Москва: Машиностроение, 1989. 120 с.
2. Jakevičius L., Tumšys O., Gudavičius G. Akustinių signalų atspindžių vamzdynuose įtakos šių signalų koreliacinėms funkcijoms analizė // Elektronika ir elektrotechnika. 1997. Nr.2(11). P.49-51.
3. Jakevičius L., Tumšys O., Butkus J. An influence of reflection for acoustical correlation measurements in the pipelines// Otwarte Seminarium z Akustiki. Poznan-Kiekrz. 15-18 Września 1998. P.247-252.
4. Jakevičius L., Gudavičius G., Jucius D., Butkus J. Akustinis metodas dujotiekio nehermetiškumo vietai nustatyti// Elektronika ir elektrotechnika. Kaunas: Technologija. 1995. Nr1. P69-72.
5. Тумшис О., Яквичюс Л. Акустическая система для обнаружения утечек в газопроводах низкого давления // Измерительная техника. 1998. №. 5. С. 56-58.
6. Gudavičius G., Jakevičius L., Tumšys O., Butkus J. Akustinių signalų atspindžių įtakos mažinimo būdai nustatant vamzdynų nehermetiškumus // Ultragarasas, 1996. Nr.1(26). P.26-28.
7. Butkus J., Jakevičius L., Tumšys O. An acoustical method for determination of leakage coordinates in the pipelines // Archives of acoustics. Warszawa. 1998. Vol.23. No.4. P.533-539.
8. Годлевский В. С., Владимирский А. А., Владимирский И. А. Методика применения корреляционного теченскателя "Коршун". Киев. 1992. 46 с.
9. Загоскин В. Н., Венгерцев Ю. А., Казак А. С., Яковлев Е. И. Применение ЭВМ для обнаружения утечек на нефтепродуктопроводах // Серия: Транспорт и хранение нефтепродуктов и углеводородного сырья. М. 1989. No 1. 60 с.
10. Jakevičius L., Tumšys O., Butkus J., Gudavičius G. Energetinių objektų vamzdynų akustiniai kontrolės būdai, problemos, jų sprendimai ir perspektyvos // Respublikinės konferencijos "Šilumos energetika ir technologijos" pranešimų medžiaga.- Kaunas: Technologija, 1996. P.47-52.
11. Jakevičius L., Butkus J., Tumšys O. Vamzdyno nehermetiškumo vietoje generuojamų akustinių triukšmų sklaidimo ypatumų tyrimas// Elektronika ir elektrotechnika. Kaunas: Technologija. 1998. Nr.5(18). P.16-18.
12. Jucius D., Butkus J., Jakevičius L., Tumšys O. An acoustical method for detection of leakage of gas pipelines// Proceedings of 23-rd European Conference on Acoustic Emission Testing. Viena. Austria: 6-8 may 1998. P.164-169.

L. Jakevičius, J. Butkus

#### Application of acoustic correlation method for detection of unhermeticity of pipelines transporting gas

##### Summary

An influence of a gas motion in the pipeline on the accuracy of the acoustic correlation method used for determination of the leakage coordinates is investigated. New basic algorithms for determination of leakage coordinates in the gas pipeline with consideration of influence of a flow velocity in pipeline transporting gas are developed. It has been revealed, that the absolute deviation of the determined leakage point, when the velocity of flow is not evaluated, may be rather considerable and consists of two components. The first component is proportional to the length of the section under a control and to the velocity of a flow in the pipeline. The second component of the absolute deviation of the determined point of leakage depends on a leakage in the section under a control and on the second power of the flow velocity to. The results of modelling, when the location of leakage, the length of section under a control and the velocity of flow in the pipeline are varied, are presented.

Pateikta spaudai 2000 04 10