

## Atspindžio átaka akustiniu metodu ieðkant nehermetiðkumø vietas dujotiekiø vamzdynuose.

G. Gudavièius, L. Jakevièius, O. Tumðys, J. Butkus

*Kauno technologijos universitetas  
Srautø diagnostikos laboratorija*

Gamtinës dujos plaèiai vartojamos buityje ir gamyboje. Todël miestuose ir tankiai apgyvendintose vietovëse yra tiesiami ir eksploatuojami dujotiekiø vamzdynai. Tokiose vietose dujotiekiø vamzdynø tinklas gana tankus, todël netinkamai juos eksploatuojant iðkyla avarijø ir nelaimingø atsitikimø grësmë. Nors tokiose vietose gamtinës dujos vamzdynais tiekiamos þemu slëgiu (apie 0,002 MPa) ir dideliø avarijø tikimybë maþa, taèiau pastovi hermetiðkumo kontrolë bûtina. Nehermetiðkumø aptikimui ir jø vietos nustatymui paplitæ akustiniai koreliaciniai matavimo prietaisai [1].

Nuotëkio vietoje besiverþianëios dujos generuoja akustiná triukðmá. Ðis triukðmas vamzdþio vidumi sklinda á abi puses. Tiriama ruoþo galuose ant vamzdþio tvirtinami du lankstymosi virpesiø davikliai, registruojantys akustinius triukðmus. Davikliui priimamus akustinius signalus keièia á elektrinius virpesius, juos sustiprina ir perduoda á informacijos apdorojimo bloká. Ðiame bloke filtrais iðskiriama naudojama signalø daþninë juosta, analoginiai signalai keièiami skaitmeniniais ir persiunëiami á kompiuterá. Kompiuteris pagal gautus duomenis apskaièiuoja koreliacinæ kreivæ.

$$K(\tau) = \frac{1}{T_L} \sum_{t=0}^{T_L} X(t)Y(t+\tau) - \mu_x \mu_y, \quad (1)$$

Èia  $X(t)$ ,  $Y(t)$  - atitinkamai kanalais X ir Y priimami signalai,  $\mu_x$ ,  $\mu_y$  - signalø vidutinës reikðmës,  $T_L$  - signalø nuskaitymo laikas. Pagal koreliacinës kreivës maksimalios reikðmës vietá (maksimumo eilës numerá j) programiðkai nustatoma nehermetiðkumo vieta  $l_{kan}$ :

$$l_{kan} = \frac{l - \tau c}{2}, \text{ kai } \tau = \frac{l_j}{2^9 c}; \quad (2)$$

èia  $l$  - atstumas tarp davikliø,  $c$  - akustiniø signalø sklidimo greitis,  $\tau$  - X ir Y tarpusavio vëlinimo laikas. Idealiu atveju ant koreliacinës kreivës matysime viená ryðkiá smailæ. Taèiau atliekant bandymus laboratorinëm ir realiøm sàlygom pastebëta, kad ant kreivës atsiranda keletas gana ryðkiø panaðios amplitudës smailiø. Nustatant pagal koreliacinës kreivës maksimumá nehermetiðkumo vietá kompiuterinë programa gali uþfiksuoti ne pagrindiná (informaciná), o ðalutiná (parazitiná) maksimumá. Todël atliekami matavimai tampa nepatikimi.

Ðiø smailiø atsiradimá galima paaiðkinti tuo, kad, esant nuotëkiui, dujotiekiø vamzdynuose sklindanëios

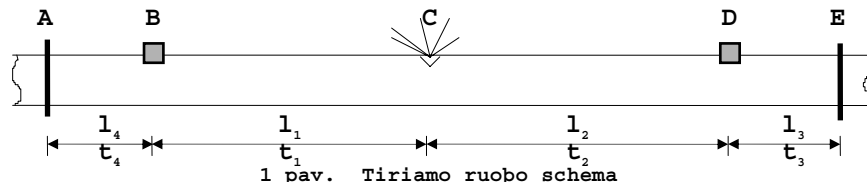
ULTRAGARSAS, 1996, Nr.1 (26)

akustinės bangos savo sklidimo kelyje susiduria su kliūtimis, t.y. vamzdžio atsiūkojimas, sulenkimas, ventiliais, vamzdžio išlenkimais, nuo kurių dalis šios bangos energijos atsispindi ir pakeičia sklidimo kryptį. Šio atsispindžio ataką koreliacinės funkcijos formai aprašyta [2]. Mažos energijos atsispindžiai neturi didelės atakos koreliacinės funkcijos skaičiavimui, tačiau absoliūtūs atsispindžiai (pvz. užsuktas ventilis) stipriai pakeičia koreliacinės kreivės formą. Koreliacinėje kreivėje atsiranda gana ryškios smailės, kurios gali būti didesnės už nehermetiškumo vietą nurodančią smailę. Todėl patartina prieš naudojant koreliacinius nuotėkių iediklius išnagrinėti tiriamo ruožo geometriją, daviklių prijungimo vietas, numatomas akustinių bangų sklidimo kliūtis ir atsispindžio vietas. Būnant tiriamo ruožo savybės galima numatyti koreliacinėje kreivėje dėl atsispindžio atsirandančios nepageidaujamos smailės vietas.

Tarkim, turim tiriamą vamzdinį ruožą, kuriame yra nuotėkių vieta C (1 pav.). Tiriame ruožo galuose pritvirtiname daviklius B, D. Tarp jų taško C yra nuotėkių vieta, nuo kurios

be kliūčių sklinda akustinės bangos iki daviklių. Tačiau akustinės bangos susiduria su kliūtimis A, E ir atsispindi. Tarkime, kad būnoms atstumus tarp daviklių B ir D ( $l_1$ ), kliūtis A ir daviklio B ( $l_4$ ), bei kliūtis E ir daviklio D ( $l_3$ ), tačiau nebūnoms kokių atstumu yra nutolusi nuotėkių vieta iki daviklių ( $l_1$  ir  $l_2$ ) (1 pav.).

Iš nuotėkių vietas C signalai gali pasiekti daviklius skirtingais keliais. Tarkim, atsispindėję nuo kliūtis A signalai pasiekia daviklį B dviem keliais: be atsispindžio (kelias CD) ir su atsispindžiu (kelias CBAB). Esant dviem atsispindžiams gauname uždara sistemą, kurioje sklindantys signalai pastoviai atsispindės nuo kliūčių. Tačiau daug kartų atsispindėjusių signalų sklidimo kelias ilgėja ir signalai slopsta. Todėl nagrinėsime signalus, kurių sklidimo kelyje bus ne daugiau kaip du atsispindžiai. Tokiu būdu, bet kurį daviklį signalai gali pasiekti keturiais keliais: kelias be atsispindžio, du keliai su vienu atsispindžiu ir vienas kelias su dviem atsispindžiais. Visais galimais keliais sklindantys signalai yra fiksuojami daviklių. Dėmiau pateiktos



išraiškos aprašo taškuose B ir D daviklius pasiekusius signalus:

$$X(t) = X_{CB}(t) + X_{CBAB}(t) + X_{CDED}(t) + X_{CDEDCBAB}(t) \quad (3)$$

$$Y(t) = Y_{CD}(t) + Y_{CDED}(t) + Y_{CBABCD}(t) +$$

$$+ Y_{CBABCDEDED}(t) \quad (4)$$

Ši formulė (1) atstata išraišką (3) ir (4) gauname šio signalo tarpusavio koreliaciją aprašantą algoritmą:

ULTRAGARSAS, 1996, Nr.1 (26)

$$K(\tau) = \frac{1}{T_L} \sum_{t=0}^{T_L-1} (X_{CB}(t) + X_{CBAB}(t) + X_{CDEDCB}(t) + X_{CDEDCBAB}(t)) \times (Y_{CD}(t+\tau) + Y_{CDED}(t+\tau) + Y_{CBABCD}(t+\tau) + Y_{CBABCEDE}(t+\tau)) - \mu_x \mu_y$$

Išskleidę šią sandaugą gauname dešiolika narių, kurių kiekvienas atitinka konkrečią akustinių signalų sklidimo kelių kombinaciją:

$$K(\tau) = K_1(\tau) + K_2(\tau) + \dots + K_{16}(\tau) - \mu_x \mu_y \quad (5)$$

Šio nario koreliacinės funkcijos grafiko smailė atitinka vėlinimo laiką  $\tau = t_1 - t_2$ , t.y. laiką, pagal kurį, (2) nustatomos nehermetiškumo vietos koordinatės. Visos kitos koreliacinės kreivės smailės yra trukdžiai, apsunkinančios vamzdyno nehermetiškumo vietas suradimą.

Antras koreliacinės funkcijos narys. Signalas sklinda keliu **CDED** ir atsispindi nuo kliūties **E**, o kitą daviklį signalas pasiekia tiesiogiai:

1 lentelė. Koreliacinėje kreivėje stebimų smailių egzistavimo sąlygos

Koreliacinės funkcijos nariai	Kliūtys	Signalų sklidimo keliai	Vėlinimo laikas, $\tau$	Smailės egzistavimo sąlygos	Pastabos
1	-	CB-CD	$t_1 - t_2$	-	Rodo nuotėkio vietą
2	E	CB-CDED	$t_1 - t_2 - 2t_3$	$t_1 > 2t_3$	
3	A	CD-CBAB	$t_1 - t_2 - 2t_3$	$t_1 > 2t_3$	
4	A, E	CBAB-CDED	$t_1 - t_2 - 2(t_4 - t_3)$	$-t_4 < t_1 - t_2 < t_3$	
5	E	CDEDCB-CDED	$t_1 + t_2$	-	matosi kreivės gale
6	A, E	CBABCD-CDEDCB	$t_1 - t_2 - 2(t_4 - t_3)$	$-t_4 < t_1 - t_2 < t_3$	atitinka 4 narį
7	A	CBABCD-CBAB	$t_1 + t_2$	-	matosi kreivės gale

Signalų sklidimo laikas nuo vieno daviklio iki kito yra maksimalus galimas informacija nešančio signalo vėlinimo laikas  $\tau_{\max} = l/c$ .

Tačiau ne visose kombinacijose signalų sklidimo keliai vienodi, vadinasi ne visose nariuose signalų vėlinimo laikai bus mažesni už maksimalų vėlinimo laiką. Atlikus visų narių analizę šią sąlygą tenkina daugiausia septyni nariai. Likusių devynių narių signalų vėlinimo laikai visais atvejais didesni nei  $\tau_{\max}$  ir juos nenagrinėsime, nes juos poveikyje atsiradusios smailės nepatenka į nagrinėjamos koreliacinės kreivės ruopą.

Pirmas koreliacinės funkcijos narys. Signalai sklinda į daviklius tiesioginiu keliu:

$$K_1(\tau) = \frac{1}{T_L} \sum_{t=0}^{T_L-1} X_{CB}(t) Y_{CD}(t+\tau) \quad (6)$$

$$K_2(\tau) = \frac{1}{T_L} \sum_{t=0}^{T_L-1} X_{CB}(t) Y_{CDED}(t+\tau) \quad (7)$$

Šio signalų  $X_{CB}$  ir  $Y_{CDED}$  vėlinimo laikas bus  $\tau = t_1 - t_2 - 2t_3$ . Tačiau šio nario smailės nagrinėjame koreliacinės kreivės ruope gali ir nebūti, jei kliūtis **E** bus gana dideliu atstumu nuo daviklio **D**, t.y. bus netenkinama sąlyga  $t_1 > 2t_3$ . Iš šios sąlygos matome, kad smailė koreliacinėje kreivėje bus tik tuo atveju, jei atstumas  $l_3$  bus daugiau nei du kartus mažesnis nei  $l_1$ .

Akustinių signalų koreliacinėje kreivėje stebimos smailės bei jų egzistavimo sąlygos pateiktos 1 lentelėje.

Kaip matome, koreliacinėje kreivėje gali būti penkios smailės, iš kurių tik viena, naudojant algoritmą (2), āgalina apskaičiuoti tikrąją nuotėkio

ULTRAGARSAS, 1996, Nr.1 (26)

vietà. Todël reikia ieðkoti bûdø kaip iðvengtì smailiø, atsirandanëiø atspindþiø átakeje.

Vienas ið galimø keliø yra koreliacinis ir autokoreliacinis matavimo metodø tarpusavio derinimas. Autokoreliacinà matavimo metodà galima panaudoti, jei tiksliai þinome, kad

Ástatà  $X(t)$  á (4) iðraiðkà ir iðskleidà ðià sandaugà gauname ðeðiolika nariø, kuriø kiekvienas atitinka konkreèià akustinis signalø sklidimo keliø kombinacijà

$$K_x(\tau) = K_{x_1}(\tau) + K_{x_2}(\tau) + \dots + K_{x_{16}}(\tau) - \mu_x^2 \quad (9)$$

2 lentelë. Autokoreliacinëje kreivëje matomø smailiø egzistavimo sàlygos, priimant akustinius signalus davikliu B.

Autokoreliacinës funkcijos nariai	Kliûtys	Signalø sklidimo keliai	Vëlinimo laikas, $\tau$	Smailës egzistavimo sàlygos	Pastabos
1	A	CB-CBAB	$\pm 2t_4$	$t_2 + t_1 > 2t_4$	
2	E	CB-CDEDCB	$\pm(2t_2 + 2t_3)$	$t_1 > t_2 + 2t_3$	Nuotëkio vieta
3	A, E	CB-CDEDCBAB	$\pm(2t_1 + 2t_2 + 2t_3)$	$t_1 > t_2 + 2t_3 + 2t_4$	
4	A, E	CBAB-CDEDCB	$\pm(2t_2 + 2t_1 - 2t_4)$	$t_1 > t_2 + 2t_3 - 2t_4$	
5	A, E	CBAB-CDEDCBAB	$\pm(2t_2 + 2t_3)$	$t_1 > t_2 + 2t_3$	atitinka 2 narà
6	A, E	CDEDCB-CDEDCBAB	$\pm 2t_4$	$t_2 + t_1 > 2t_4$	atitinka 1 narà

3 lentelë. Autokoreliacinëje kreivëje matomø smailiø egzistavimo sàlygos, priimant akustinius signalus davikliu D.

Autokoreliacinës funkcijos nariai	Kliûtys	Signalø sklidimo keliai	Vëlinimo laikas, $\tau$	Smailës egzistavimo sàlygos	Pastabos
1	E	CD-CDED	$\pm 2t_1$	$t_2 + t_1 > 2t_3$	
2	A	CD-CBABCD	$\pm(2t_1 + 2t_4)$	$t_2 > t_1 + 2t_4$	Nuotëkio vieta
3	A, E	CD-CBABCDED	$\pm(2t_1 + 2t_2 + 2t_3)$	$t_2 > t_1 + 2t_3 + 2t_4$	
4	A, E	CDED-CBABCD	$\pm(2t_1 + 2t_2 - 2t_3)$	$t_2 > t_1 + 2t_4 - 2t_3$	
5	A, E	CDED-CBABCDED	$\pm(2t_1 + 2t_4)$	$t_2 > t_1 + 2t_4$	atitinka 2 narà
6	A, E	CBABCD-BABCDED	$\pm 2t_3$	$t_2 + t_1 > 2t_3$	atitinka 1 narà

tiriamajame vamzdyno ruoþe yra kliûtis, nuo kurios signalai pilnai atsispindi ir þinomas atstumas nuo daviklio iki kliûties. Autokoreliacinë funkcija iðreiðkiama per vieno signalo koreliacinà funkcijà. Tada ið (1) iðraiðkos gauname signalo  $X(t)$  autokoreliacinà iðraiðkà:

$$K(\tau) = \frac{1}{T_L} \sum_{t=0}^{T_L-1} X(t)X(t+\tau) - \mu_x^2 \quad (8)$$

Atlikus visø nariø analizà matyti, kad, nariø, kuriø signalø sklidimo keliai vienodi, smailës yra autokoreliacinës kreivës pradþioje. Taip pat pastebëta, kad ðeðiø nariø sklidimo keliai sutampa su kitais nariais, tik skiriasi vëlinimo laiko þenklas. Todël nagrinësimë tik po ðeðis narius davikliams B (2 lentelë) ir D (3 lentelë).

ULTRAGARSAS, 1996, Nr.1 (26)

Apskaičiavus autokoreliacinę funkciją gauname penkias smailes. Pirmoji smailė - kreivės pradžioje. Pagal antrą autokoreliacinę kreivę smailę galima apskaičiuoti nuotėkio vietą, esant tik vienai kliūčiai (numanoma nuotėkio vieta turi būti tarp daviklio ir kliūties):

$$l_{\text{nuot}} = l - \frac{C\tau}{2} \quad (10)$$

Gautą nuotėkio vietą galima palyginti su koreliaciniu metodu gauta nuotėkio vieta. Rezultatams nesutapus bandymus reikia kartoti ir iš sukaupto rezultato statistiškai apskaičiuoti nuotėkio vietą.

Kai tiriamame ruože yra kelios kliūtys (pvz. **A** ir **E**), koreliacinėje kreivėje bus daugiau smailių, atakojančių nuotėkio vietas apskaičiavimą. Todėl galimi klaidingi rezultatai; autokoreliaciniu metodu gauta nuotėkio fiksuojanti smailė gali būti ne antra, o kuri nors viena iš penkių. Šios smailės koordinatės priklauso nuo atstumo tarp nuotėkio vietos ir daviklio, tačiau šis atstumas nepinomas. Todėl esant dviem kliūtim, jei jos pakankamai arti daviklio, autokoreliacinį metodą naudoti rezultatų kontrolei negalima. Reikia sudėtingų programų, o rezultatai būna nepatikimi. Todėl tais atvejais, kai tiriamajame ruože galima keisti dujų slėgą (pvz. hidraulinių bandymų metu), atspindžio eliminavimui tikslinga panaudoti vieną dujų savybių akustinių signalų slopinimo koeficiento priklausomybę nuo dujų slėgio  $p$ .

Didėjant akustinių signalų dažnio ir dujų slėgio santykiui  $f/p$ , slopinimo koeficientas didėja [3]. Kadangi vamzdžio vidumi sklindančių akustinių signalų dažniai kinta nepymiai, tai slopinimo koeficientą galima keisti oro slėgio reguliavimu

tiriamam vamzdyno ruože. Bandymų metu aiškinamam vamzdyno ruože pripuėiant maėai oro (apie 0,002 MPa) davikliasis registruojamų akustinių signalų tarpusavio koreliacinėje kreivėje dėl atspindžio susiformavusios smailės bus maėesnės, nei dujų nuotėkio atitinkanti smailė. Tokiu būdu, reguliuojant dujų slėgą vamzdyne galima sumaėinti akustinių signalų atspindžio ataką į koreliacinių funkcijų maksimumo skaiėiavime.

#### Literatūros sąrašas:

1. Čааиіеі А.І., Ааіааооаа Р.А., Еаае А.Н., Веіаеаа А.Е. Ідеіаіаеа ЯАІ аеу іаіаоааіеу ооа-ае іа іаооаіаоаооіаіаао // Надеу: Ооаіиіоо е ооаіаеа іаооаіаоаооіа е оаеааіаіоаіаіаі нудуу., ііі. -І., 1989 - 60 н.
2. Ааіаао А.е., Іеоііе А. Ідеіаіаеа еіооаеуоеіііаі е ііаеооаеуііаі аіаеаа: Іао. н аіае. -І.: Іео, 1983-312 н.
3. Оеуооааоое. Іаеаіаеауу іуіоееаіаеу. - І.: "Ніааоаеауу іуіоееаіаеу", 1979. - 400 н.

G. Gudavičius, L. Jakevičius, O. Tumšys, J. Butkus

#### The influence of reflections when searching the leakage of gas pipelines by acoustical method

##### Summary

An acoustical method for searching the nonhermeticities of gas pipelines is described. The reasons for erroneous determination of coordinates of the leakage are revealed. Mathematical model of the negative influence of reflected acoustical signals propagating in the gas pipelines is investigated. Two methods for increasing of an accuracy of determination the coordinates of leakage in the gas pipeline are proposed.

DOI: 10.5755/j01.u.26.1.7832