

## Apie neinvazinio ultragarsinio jutiklio fiksuotam skysčio lygiui indikuoti sukūrimą

V.Sukackas, V.Giedraitienė

Kauno technologijos universitetas

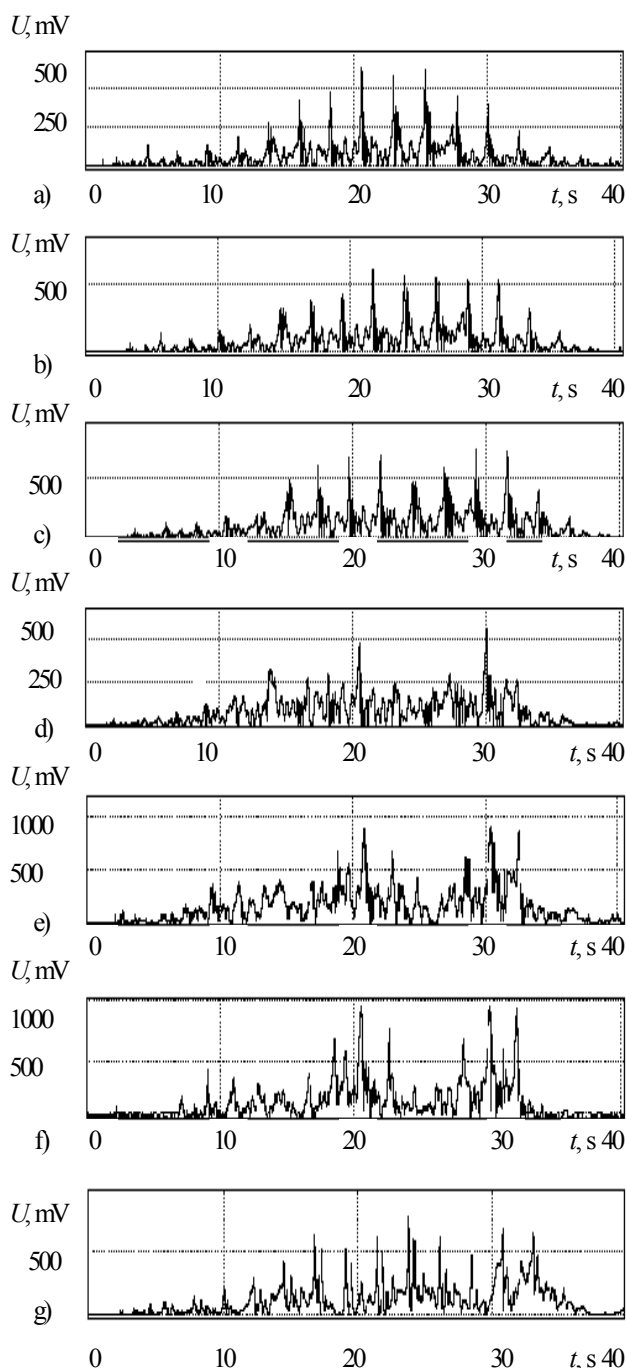
Studentų g. 50-237, 3031 Kaunas

Vamzdynų ar rezervuarų pripildymo iki fiksuoto lygio ultragarsiniuose indikatoriuose skystis paprastai pakeičia bangų spindulio akustinę apkrovą, bangų atspindžio nuo sienelės vidinio paviršiaus sąlygas arba sienelės rezonanso sąlygas [1]. Abiem atvejais bangos ilgis turi būti artimas sienelės storiui arba mažesnis, taigi spindulio pastatymo vietoje neleistini ir didesni sienelės nukrypimai nuo plokščios formos. Tai kliudo taikyti neinvazinius metodus, kai rezervuaro sienelės yra pažeistos korozijos ar vamzdynai yra mažo spindulio

Tarp neinvazinių ultragarsinių sistemos pripildymo skysčio indikatorių perspektyviausiais reikia laikyti tuos, kurių montavimo vietai nekeliama apibrėžtos rezervuaro ar sienelės formos reikalavimai. Šiuo atveju tikti įrenginiai, kuriuose vamzdžio ar sistemos dalies sienelėje sužadamos Lembo bangos, kadangi jų sklidimui sienelės kreivumas bei nukrypimai nuo nustatytos formos neturi įtakos, jei tik kreivumo spindulys ir bangos ilgis didesni už sienelės storį. Sienelės, kuria sklinda banga, kontaktas su skysčiu dvejopai veikia Lembo bangų sklidimą: kinta sklidimo greitis ir didėja slopinimas. Abu šie efektai išnagrinėti literatūroje [2]. Santykiškai imant, slopinimo pokytis yra didesnis, tačiau čia reikia atkreipti dėmesį į tai, jog paprastai labai netiksliai būna žinoma pradinė slopinimo reikšmė, kuri priklauso nuo to, švarūs ar aprūdiję yra paviršiai, lygūs jie ar pažeisti korozijos ir t. t.

Kurdami neinvazinių vamzdynų vidaus ertmės diagnostikos metodą [3], taškiniu keitikliu žadinome vamzdžio sienelėje lėtai kintančio dažnio Lembo bangas. Sienelė rezonavo - joje susidarydavo stovinčiosios bangos kiekvieną kartą, kai bangų kelyje, t.y. vamzdžio perimetre, išsidėstydavo sveikas bangų skaičius. Šis signalas, teisingiau, gaubiamoji, buvo registruojamas kitu, priėmimo keitikliu ir jį sudaro beveik periodiškai pasikartojantys (dažnių atžvilgiu) rezonansiniai pikai (1 pav., a, b, c). Beje, priėmimo keitiklio pastatymo vieta nefiksuota, jis nebūtinai turi būti priešais siuntimo keitiklį, netgi gali būti pritvirtintas greta jo. Pripildžius vamzdį vandens, kai kurie pikai pranyksta o išlikusiųjų amplitudės daugiau ar mažiau sumažėja (1 pav., d, e, f). Buvo naudotas plieninis 152 mm išorinio skersmens vamzdis su 8 mm. storio koroduotomis ir aprūdijusiomis sienelėmis. Palyginimui buvo registruoti rezonansiniai pikai analogiškame vamzdyje, kurio vidinis paviršius apdirbtas tekiniu staklėmis ir yra gerokai glotnesnis. Šis signalas (1 pav., g) šiek tiek "švaresnis".

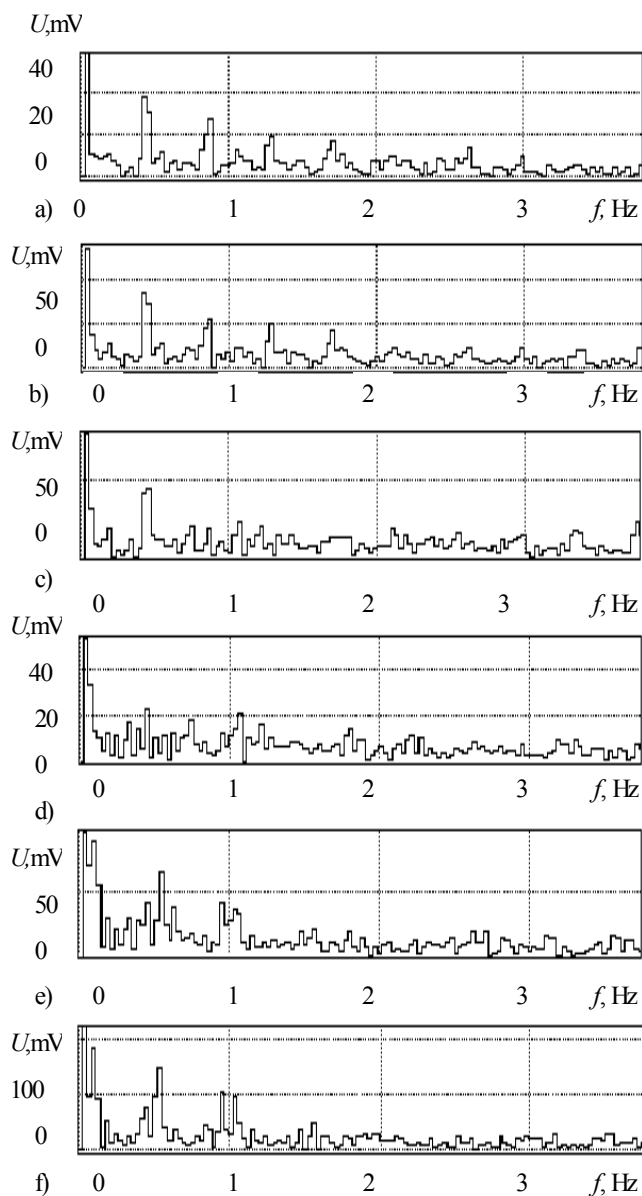
Amplitudės sumažėjimą aiškiname bendru didesniu bangų slopinimu esant skysčiui, o kai kurių pikų pranykimą – rezonansiniu slopinimu. Mūsų naudotas autokoreliacinis metodas nuosėdų sluoksniui vamzdyje



1 pav. 58+186 kHz dažnio Lembo bangų rezonansai vertikalaus plieninio 152 mm išorės ir 136 mm vidaus skersmens vamzdžio sienelėje; vandens lygis keitiklių pastatymo vietos atžvilgiu: a) - 25, b) - 14, c) - 3, d) 0, e) + 2.5, f) + 12 cm. Kreivė g – tuščias vamzdis su tekintu vidiniu paviršiumi. Pradinio dažnio padėtis laiko skalėje ir vertikalus stiprinimas nereglamentuoti

matuoti [4] šiuo atveju yra neefektyvus: išlikę rezonansiniai pikai keičia autokoreliacijos funkciją, panašiai kaip ir esant tuščiam vamzdžiui, nes bendras slopinimas padidėja nedaug.

Kur kas didesnę įtaką turi rezonansinis slopinimas. Stovinčioji Lembo banga sienelėje (nagrinėjamu atveju tai antisimetrinė nulinės eilės – lankstymosi banga) sužadina skystyje išilgines radialines bangas. Šių bangų frontas apytikriai atkartoja vamzdžio vidinį paviršių, iškraipyta stovinčiosios bangos sienelėje normaliosios dedamosios fazės šuolių mazguose. Čia reikia suprasti taip, kad mazguose frontas ir vamzdžio paviršius (ar panašus į jį) sutampa, o pūpsniuose, tarkime, lyginiuose, prie vamzdžio ar panašaus paviršiaus radialine kryptimi pridedame ketvirtį bangos ilgio skystyje, nelyginiuose - tiek pat atimame. Radialinių cilindrinųjų bangų rezonansų dažniai aprašomi Beselio funkcijomis ir, kaip nurodoma literatūroje [5], nėra kartotiniai. Dėl dispersijos nėra kartotiniai ir rezonansinių Lembo bangų pikų dažniai.



2 pav. Signalų, pavaizduotų 1 pav. a – f, spektrai

Taigi beveik neįtikėtina, kad visi rezonansų skystyje ir sienelėje dažniai sutaps arba nesutaps. Taip pat beveik neįtikėtina, kad priimtame signale pranyks visi rezonansiniai pikai arba nepranyks nė vienas. Tą ir matome 1 pav. Traktuojant 1 pav. pavaizduotas kreives kaip laiko funkcijas, jų kitimą galima kokybiškai įvertinti spektrinės analizės metodu. Atlikome greitą šių kreivių Fourier'o transformaciją (FFT). Jų spektrai pavaizduoti 2 pav., a-f.

Analizuojant spektrus, matyti, kad jie susideda iš harmoningųjų signalų ir triukšmo, savo savybėmis artimo baltajam. Kai vamzdis tuščias, gana aiškiai matomos 4-oji ir 5-oji harmonikos, o kai vamzdis pripildytas vandens, jau 3-ioji harmonika sunkiai išskiriama iš triukšmo. Taigi harmoningųjų signalų amplitudės  $a_{n,j}$  ar galios santykis su atitinkamais triukšmo parametrais gali indikuoti vamzdžio pripildymą skysčiu. Mes skaičiavome santykį:

$$N = \frac{\sum_{n=1}^5 \sum_{j=1}^3 a_{n,j}}{\sum_{k_1}^{k_2} a_k}, \quad (1)$$

čia  $n$  – harmonikos numeris,  $j = 1...3$  – kiekvienai harmonikai skirti dažnio taškai,  $k$  – dažnio taško eilės numeris. (1) formulės skaitiklyje susumuotos amplitudės  $a_{n,j}$  vardiklyje nesumuojamos. Amplitudė  $a_{1,2}$  atitinka pirmosios harmonikos maksimumą;  $a_{2,2}, a_{3,2}, \dots$  atitinka 2, 3, ... kartų didesnę dažnį. Numeriai  $k_1$  ir  $k_2$  parenkami taip, kad atitinkami dažniai būtų viduryje tarp nulinės ir 1-osios bei tarp 5 -osios ir 6 -osios harmonikų.

Nagrinėjamu atveju kiekviena dažninė amplitudės charakteristika (1 pav.) buvo registruojama 40 sekundžių; dažnis kito nuo 58 iki 186 kHz. Iš neapibrėžtumų sąryšio, žinomo iš fizikos bei signalų teorijos išplaukia, kad kiekviena gaubiamosios spektro linija gali būti registruojama su neapibrėžtumu:

$$\Delta f = \frac{1}{\tau} = 0.025 \text{ Hz}, \quad (2)$$

čia  $\tau$  - realizacijos laikas.

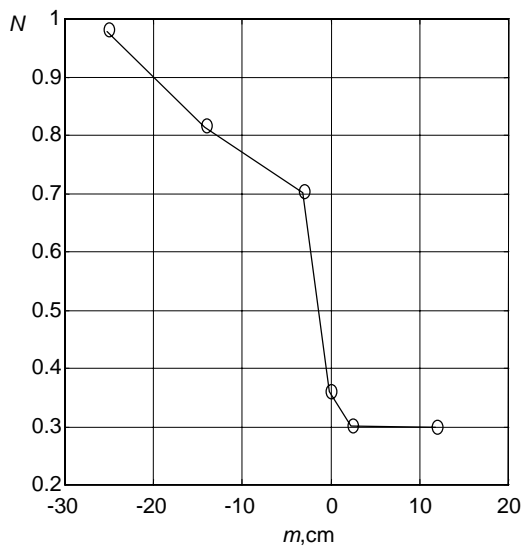
Tai, beje, derinasi su mūsų naudoto programų paketo Nextviewlight galimybėmis: 128 taškai dažniuose 0...5 Hz. Taigi kiekvienai gaubiamosios harmonikai buvo skirta 0.12Hz.

Santykis, gautas pagal (1) formulę kaip vandens lygio vertikaliame vamzdyje funkcija, pavaizduotas 3 pav. ir gali būti panaudotas skysčio lygio indikacijai.

Reikia pažymėti, kad palyginus 2 pav., a ir 2 pav., e-f., pavaizduotus spektrus pastebimas ir harmonikų dažnių pasislinkimas; matyt, taip pasireiškia bangų greičio pokytis sienelėje, besiliečiančioje su vandeniu. Iš esmės mūsų metode buvo panaudoti abu minėti efektai – greičio ir slopinimo pokytis sienelei liečiantis su skysčiu.

Metodo tikslumui ir jautrumui padidinti tikslinga naudoti dažnio kitimo dėsnį, atvirksčią bangų greičio dispersijai, tuo užtikrinant rezonansinių pikų periodiškumą laikui bėgant.

Paminėtina, jog savotiška spektrinė analizė – pirmosios rezonansinių pikų harmonikos išskyrimas – jau buvo taikomas interferometrinuose matavimuose [6].



pav. Santykio  $N$  (f-lė 1) priklausomybė nuo vandens lygio vamzdyje

#### Literatūra

1. **Endress + Hauser**. System Information S1025F/00/en. 1997 10.
2. **Zvanorius V.** Plonasluoksnių struktūrų storio akustinių matavimo metodų sukūrimas bei ištyrimas // Technikos mokslų, metrologijos ir matavimų: daktaro disertacija. Kaunas. 1996. P. 94.

3. **Volkovas V., Sukackas V.** Technical diagnostic of pipelines by the approach of wave interference // Proceedings of XIV IMEKO World Congress (Tampere. 1-6.June, 1997)/ J. Halttunen (ed.). Tampere, Finland. 1997. Vol. VII. P. 67-70.
4. **Sukackas V., Giedraitienė V., Ramanauskas R.** The non - destructive method of estimation of sediment layer thickness in pipes: problems, algorithms, PC-simulation, in: Proceedings of the International Conference "Emerging technologies in NTD" (Athens, 24-26. May 1999). Athens, Greece, 1999.
5. **Илгунас В., Яронис Э., Сукацкас В.** Ультразвуковые интерферометры. Вильнюс: Мокслас, 1983, 144 с.
6. **Яронис Э., Волейшис А., Жилинскас Р.** О метрологической надежности измерений скорости ультразвука при помощи цифрового интерферометра// Науч. тр. вузов Лит. ССР. Ультразвук. 1969. 1. С. 101-106.

V. Sukackas, V. Giedraitienė

#### On the problem of developing of the ultrasonic fixed liquid level sensors

#### Summary

A new method of the liquid level sensing in a pipe-line is described. The Lamb waves with slowly increasing frequency were excited in the pipe wall. The envelope of the Lamb waves as a time function was stored and FFT carried out. The ratio of the harmonic and unharmonic parts of the spectrum may be used as an output signal.

Pateikta spaudai 2000 05 24

DOI: 10.5755/j01.u.35.2.7977