

Mykhaylo DOROZHOVETS¹
Olha ZAHURSKA²

ZWIĘKSZENIE DOKŁADNOŚCI POMIARU CZASU PRZELOTU SYGNAŁU AKUSTYCZNEGO

W artykule omówiono problemy poprawnego wykrywania impulsów, odbieranych podczas pomiaru interwałów czasu w akustycznej tomografii rozkładu pól temperaturowych, spowodowane wpływem szumu oraz ograniczoną szybkością narastania obwiedni odbieranego sygnału. W celu poprawy dokładności pomiaru tych interwałów przeprowadzono analizę możliwości wykorzystania liniowej modulacji okresu impulsów akustycznych. Zaproponowano metodę korekcji bezpośrednio zmierzonego interwału czasu. Metoda ta bazuje na pomiarze dodatkowego interwału czasu trwania zadanej liczby półokresów odebranego sygnału, gdy obwiednia sygnału ustabilizuje się na wystarczającym poziomie. Skuteczność proponowanej metody korekcji zbadano metodą symulacji.

Słowa kluczowe: sygnał akustyczny, tomografia akustyczna, pomiar interwału czasu, modulacja, korekcja.

1. Wprowadzenie

Pomiary akustyczne są wykorzystywane w różnych dziedzinach nauki i techniki: w medycynie, hydrolokacji, w przepływomierzach, pomiarach poziomu cieczy, tomograficznych systemach pomiaru rozkładów przestrzennych wielkości fizycznych, systemach zabezpieczeń, parkowania środków transportu etc. Stosowanie sygnału akustycznego umożliwia nieinwazyjny pomiar parametrów badanych mediów. Akustyczne systemy tomograficzne pozwalają uzyskać przestrzenny rozkład temperatury wewnątrz badanych obiektów [1-8].

Jedną z podstawowych metod wykonania pomiarów akustycznych opiera się na pomiarze czasu propagacji sygnału akustycznego w badanym środowisku. Przy użyciu tej metody niezbędna jest znajomość relacji pomiędzy prędkością fal akustycznych a parametrami środowiska, w którym te fale się rozchodzą. Prędkość v sygnału akustycznego w gazach określana jest przez znaną zależność [9]:

¹ Autor do korespondencji: Mykhaylo Dorozhovets, Politechnika Rzeszowska, Rzeszów, al. Powstańców Warszawy 12, 35-959, tel. +48178651575, e-mail: michdor@prz.edu.pl

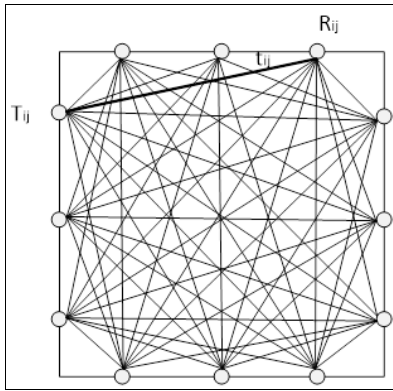
² Olha Zahurska, Narodowy Uniwersytet „Politechnika Lwowska”, ul. S. Bandery 12, Lviv, Ukraina, +380932293243, zahurska.olha.m@gmail.com

$$v = \sqrt{\frac{\gamma RT}{M}} \quad (1)$$

gdzie: γ – pojemność cieplna przy stałym ciśnieniu i stałej objętości,
 R – stała gazowa,
 T – temperatura bezwzględna,
 M – masa molowa gazu.

W mieszkankach gazowych prędkość propagacji dźwięku zależy też od stężenia składników gazu.

W celu wyznaczenia przestrzennego rozkładu temperatury (lub pola temperaturowego) wewnątrz badanego obiektu mierzone są interwały czasu $t_{m,i,j}$ pomiędzy wszystkimi nadajnikami (T_{ij}) oraz odbiornikami (R_{ij}) sygnałów akustycznych (rys. 1), umieszczonych na obrzeżu badanego obiektu [1-7].



Rys. 1. Ogólny schemat kierunków pomiarów interwałów czasu w tomografii akustycznej w celu określenia rozkładu temperatury w obiekcie o prostokątnym kształcie.

Fig. 1. Generalized diagram of the directions of measurement time intervals in the acoustic tomography used for the estimate a temperature distribution inside of a rectangular object.

Interwał czasu przelotu impulsów akustycznych $t_{m,i,j}$ (rys. 1) może być wyznaczony z wystarczającą dla celów praktycznych dokładnością przez całkę wzdłuż linii l_{ij} pomiędzy odpowiednim nadajnikiem i odbiornikiem:

$$t_{m,i,j} = \int_{l_{ij}} \frac{dl(x,y)}{v(x,y)} = \int_{l_{ij}} w(x,y) dl(x,y) \quad (2)$$

gdzie $v(x,y)$ jest przestrzennym rozkładem prędkości propagacji sygnału akustycznego we współrzędnych (x,y) ; $w(x,y) = 1/v(x,y)$ jest odwrotnością prędkości.

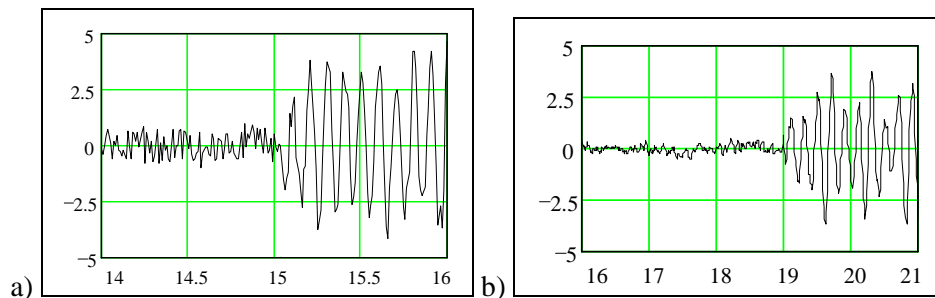
Liczba wyników pomiarów interwałów czasu określanych wg wzoru (2) wynosi $M = 6 \cdot n^2$, gdzie n jest liczbą przetworników akustycznych na jednej stronie obiektu.

Wyniki te są wykorzystywane jako dane wejściowe w algorytmie rekonstrukcji, na wyjściu którego bezpośrednio otrzymuje się przestrzenny rozkład odwrotności prędkości $w(x,y)$ [1-8]. Następnie w wyniku prostych przekształceń funkcjonalnych wyznaczany jest rozkład prędkości $v(x,y)$, a następnie na podstawie zależności (1) można obliczyć rozkład temperatury $T(x,y)$ wewnątrz badanego obiektu.

Dokładność zrekonstruowanego rozkładu temperatury zależy od rodzaju i dokładności aproksymacji przestrzennego rozkładu odwrotności prędkości, metody rekonstrukcji, liczby zmierzonych interwałów, jednak w największym stopniu zależy od dokładności pomiaru interwałów czasu przelotu impulsów akustycznych.

2. Problemy dokładnego pomiaru interwałów czasu przelotu impulsów akustycznych

Podczas przelotu przez badane medium sygnał akustyczny jest częściowo rozpraszany, odbija się od różnego rodzaju przeszkód, a także zniekształca się pod wpływem szumu. Oprócz tego obwiednia odbieranego impulsu w jego początkowej fazie narasta z ograniczoną szybkością [8,10-13]. Typowy kształt początkowej części impulsu akustycznego o częstotliwości 10 kHz, odebranego z środowiska gazowego w oknie czasowym od 14 ms do 16 ms, przedstawiono na rysunku 2a [12]. Podobny kształt mają impulsy ultradźwiękowe (częstotliwość przetwornika piezoelektrycznego wynosi ok. 5 MHz) odebrane z obiektu z wodą (interwał informacyjny około 19 μ s) pokazane na rysunku 2b [8]. Utrudnia to prawidłową detekcję odbieranych impulsów i zmniejsza dokładność pomiaru interwałów czasowych.



Rys. 2. Typowy kształt impulsów odebranych ze środowiska gazowego (czas w ms) (a) oraz z wody (czas w μ s) (b).

Fig. 2. The typical shape of the received acoustic pulses: in gas (time in ms) (a) and in water (time in μ s) (b).

Moment wykrycia sygnału wejściowego zależy od poziomu szumu oraz szybkości narastania obwiedni sygnału i może być opóźniony o pół okresu a nawet do kilku półokresów od momentu rzeczywistego [8]. Na przykład przy częstotliwości sygnału akustycznego 10 kHz (okres 0,1 ms) i czasie przelotu impulsu około 15 ms (jak na rys. 2a) opóźnienie wykrycia impulsu o 3 półokresy (tj. 0,15 ms) może powodować błąd pomiaru interwału czasu około 1 %. W celu rekonstrukcji średniej temperatury w badanej przestrzeni z dokładnością na poziomie 1 % wymagana jest dokładność pomiaru interwałów czasu impulsów akustycznych na poziomie około 0,1 % do 0,2 %. Jednak do rekonstrukcji lokalnych temperatur dokładność pomiaru tych interwałów powinna być znacznie wyższa, tj. ponad 10 razy w stosunku do wymaganej dokładności przy rekonstrukcji średniej temperatury. Stawia to bardzo rygorystyczne wymagania odnośnie dokładności metody i sposobu pomiaru interwałów czasu w tomografii akustycznej.

3. Metoda poprawy dokładności pomiaru interwałów czasu przelotu impulsów akustycznych

Aby zapewnić potrzebną dokładność pomiaru interwałów czasu przelotu impulsów akustycznych należy rozwiązać problem poprawnej detekcji impulsów akustycznych.

W celu zwiększenia dokładności pomiaru odbieranych impulsów akustycznych wykorzystywane są różne metody, np. metoda bazująca na liniowej [13] lub na hiperbolicznej [12] modulacji częstotliwości, metoda korelacyjna i inne. Przy modulacji częstotliwości sąsiednie okresy modulowanego sygnału mają różny czas trwania. Daje to możliwość dokładnego określenia czasu przybycia impulsu na podstawie wyznaczania czasu zadanej liczby okresów odebranego sygnału w najmniej zniekształconej części [12].

W metodzie opisanej w pracy [12] sygnał z odbiornika jest porównywany z progami detekcji o jednej polaryzacji i dlatego dodatkowo można mierzyć tylko liczbę pełnych okresów sygnału. W związku z tym, czas dodatkowego pomiaru może przekroczyć trwałość odebranego impulsu w jego części regularnej (bez składowych odbitych).

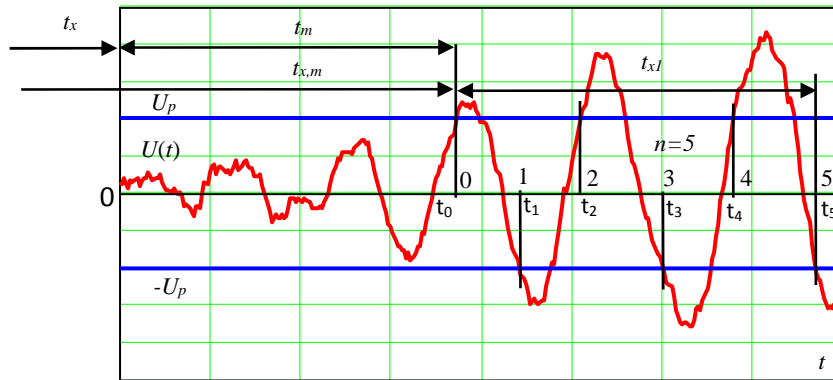
Poprawa tej metody dotyczy porównania odebranego sygnału z progami obydwu polaryzacji $\pm U_p$ oraz dodatkowego pomiaru czasu zadanej liczby półokresów sygnału. Wymaga to modyfikacji algorytmu wyznaczania poprawki korygującej, która zostanie dodana do zmierzonego bezpośrednio interwału czasowego po wykryciu odebranego impulsu. Główną ideę metody proponowanego pomiaru pokazano na rysunku 3. Zastosowano tam następujące oznaczenia:

$t_0, t_1, t_2, t_3, \dots$ są kolejnymi momentami czasu przekroczenia przez odebrany sygnał progów $\pm U_p$;

$t_{x,m}$ jest bezpośrednio zmierzonym interwałem czasu do pierwszego przekroczenia (w momencie czasowym t_0) przez sygnał poziomu progowego;

t_{x1} jest dodatkowo zmierzonym interwałem czasu n półokresów (na rys. 3 $n = 5$) po pierwszym przekroczeniu przez sygnał poziomu progowego;

t_m jest interwałem czasu od momentu rzeczywistego przybycia sygnału do momentu pierwszego przekroczenia przez sygnał poziomu progowego (opóźnienie wykrycia sygnału).



Rys. 3. Początkowy fragment odebranego sygnału wraz z momentami czasowymi przekroczenia progów $\pm U_p$.

Fig. 3. The initial part of the received signal with the time moments of crossing of thresholds $\pm U_p$.

Na podstawie dodatkowo zmierzonego interwału czasu t_{x1} n półokresów (na rys. 3 $n = 5$) po pierwszym przekroczeniu przez sygnał poziomu progowego można określić opóźnienie czasowe t_m wykrycia sygnału. Obliczone opóźnienie jako poprawkę można wykorzystać do korekcji wartości zmierzonego interwału czasu $t_{x,m}$, czyli do oszacowania rzeczywistej wartości interwału czasu przelotu impulsu:

$$t_{x,kor} = t_{x,m} - t_m \quad (3)$$

Zależność pomiędzy dodatkowo zmierzonym interwałem t_{x1} , liczbą n półokresów, parametrem modulacji częstotliwości ε a opóźnieniem t_m można ustalić w niżej podany sposób.

Okres liniowo modulowanego sygnału przy początkowej wartości T_0 dla parametru modulacji ε zmienia się w czasie wg zależności:

$$T(t) = T_0 \cdot \left(1 + \varepsilon \frac{t}{T_0} \right) \quad (4)$$

A zatem częstotliwość takiego sygnału zmienia się w czasie jako:

$$f(t) = \frac{1}{T(t)} = \frac{f_0}{1 + \varepsilon \cdot f_0 t} \quad (5)$$

W pierwszym przybliżeniu modulowany sygnał wejściowy z obwiednią $U_m(t)$ (dla zerowej fazy początkowej) można opisać za pomocą wzoru:

$$U_{in}(t) = U_m(t) \cdot \sin\left(\frac{2\pi f_0 \cdot t}{1 + \varepsilon \cdot f_0 \cdot t}\right) + u_n(t) \quad (6)$$

gdzie $u_n(t)$ jest addytywnym szumem.

Kolejne momenty czasowe t_k ($t_0, t_1, t_2, t_3, \dots$) przekroczenia przez odebrany sygnał progów $\pm U_p$ (rys. 3) można wyznaczyć rozwiązując nieliniowe równanie:

$$U_m(t) \cdot \sin(\omega_0 t_k / (1 + \varepsilon t_k / T_0)) + u_n(t) = \pm U_p, \quad (k = 0, 1, 2, \dots) \quad (7)$$

Jeśli wartość stosunku sygnał-szum $SNR = U_m / \sqrt{2} \sigma_n$ (gdzie U_m jest amplitudą sygnału w części ustalonej, σ_n jest odchyleniem standardowym szumu) jest większa niż $20 \div 30$ ($\approx 26 \div 30$ dB), wtedy wartości progów można ustawić na poziomie mniejszym niż $U_p < (0,2 - 0,5) \cdot U_m$, i w pierwszym przybliżeniu momenty czasowe t_k można obliczyć z uproszczonego równania:

$$\sin(2\pi f_0 t_k / (1 + \varepsilon t_k / T_0)) \approx 0, \quad 2\pi f_0 t_k / (1 + \varepsilon t_k / T_0) \approx \pi k \quad (8)$$

Ze wzoru (8) wynika, że przybliżone wartości momentów czasowych t_k są równe:

$$t_k \approx T_0 k / (2 - k \cdot \varepsilon) \quad (9)$$

Na podstawie zależności (9) możliwe jest obliczanie momentu t_m (gdzie m jest liczbą półokresów opóźnionego wykrycia sygnału) oraz momentu t_{m+n} - końca interwału t_{x1} dodatkowo zmierzonych n półokresów sygnału (rys. 3). Dla $k = m$ ze wzoru (9) mamy:

$$t_m = T_0 m / (2 - m \cdot \varepsilon) \quad (10)$$

a dla $k = m + n$:

$$t_{m+n} = t_m + t_{x1} = T_0 (m+n) / (2 - (m+n) \cdot \varepsilon). \quad (11)$$

Z zależności (10) i (11) można obliczyć wartość dodatkowo zmierzonego

interwału t_{x1} :

$$t_{x1} = t_{m+n} - t_m = 2T_0 n / (2 - \varepsilon \cdot (m+n))(2 - \varepsilon \cdot m). \quad (12)$$

Ponieważ początkowy okres T_0 , parametr modulacji ε i liczba n dodatkowo zmierzonych półokresów są znane, więc z równania (12) można określić liczbę m półokresów opóźnionego wykrycia sygnału:

$$m = \text{round} \left[\frac{2}{\varepsilon} - \frac{n}{2} \left[1 + \sqrt{1 + \frac{8T_0}{t_{x1} \varepsilon^2 n}} \right] \right]. \quad (13)$$

Po podstawieniu m do wzoru (10) możemy oszacować czas t_m i następnie wykorzystać tę wartość w (3) jako poprawkę do oszacowania skorygowanej wartości interwału przybycia impulsu $t_{x, \text{kor}}$:

$$t_{x, \text{kor}} = t_{x, m} - t_m = t_{x, m} - T_0 m / (2 - m \cdot \varepsilon). \quad (14)$$

4. Analiza dokładności i badania symulacyjne metody

Wpływ szumu $u_n(t)$ może zmienić w zależności (13) wartość liczby wyznaczonych półokresów opóźnienia m . Niech spowodowana przez szum standardowa niepewność zmierzonego dodatkowego interwału czasowego t_{x1} jest $u(t_{x1})$. Na podstawie (13) współczynnik wpływu zmiany interwału t_{x1} na wartość m jest równy:

$$S_t = \frac{\partial m}{\partial t_{x1}} = \frac{2T_0}{\varepsilon \cdot t_{x1} \sqrt{(\varepsilon \cdot t_{x1})^2 + \frac{8t_{x1}T_0}{n}}} \approx \frac{1}{\varepsilon \cdot t_{x1}} \sqrt{\frac{nT_0}{2t_{x1}}} \quad (15)$$

Ponieważ w przybliżeniu $t_{x1} \approx n \cdot T_0 / 2$, więc standardowa niepewność wartości m obliczonej ze wzoru (13) w przybliżeniu jest równa:

$$u(m) = |S_t| \cdot u(t_{x1}) \approx \frac{u_{\text{rel}}(t_{x1})}{\varepsilon} \quad (16)$$

Gdzie $u_{\text{rel}}(t_{x1}) = u(t_{x1}) / t_{x1}$ jest względną standardową niepewnością wyniku pomiaru dodatkowego interwału t_{x1} .

Ze względu na zaokrąglenie w (13) błąd wyznaczania m nie wystąpi, jeśli spowodowana szumem zmiana wartości m jest mniejsza niż $\pm 0,5$. W związku z tym stabilna wartość m i następnie stabilna wartość poprawki (obliczonego

interwału t_m) może być uzyskana, jeśli rozszerzona niepewność $U(m) = k \cdot u(m) < 0,5$, gdzie k jest współczynnikiem rozszerzenia, zazwyczaj $k = 2 \div 3$. Z tego wynika, że w (16) wartość parametru modulacji powinna spełniać warunek:

$$\varepsilon \gg (4 \div 6) \cdot u_{rel}(t_{x1}). \quad (17)$$

Na przykład, jeśli względna standardowa niepewność wyniku pomiaru interwału czasowego t_{x1} jest około 0,5%, wtedy na podstawie (17) wartość parametru modulacji powinna być większa od około 0,02 ÷ 0,03.

Skuteczność proponowanej metody przeanalizowano symulacyjnie w programie Mathcad-11. Zadano następujące parametry sygnałów: początkowa (niemodulowana) częstotliwość $f_0 = 12,5$ kHz, początkowy okres $T_0 = 80$ μ s; amplituda sygnału $U_m = 1$ V, odchylenie standardowe Gaussowskiego szumu losowego $\sigma_n = 70$ mV, SNR = 20 dB; parametr modulacji $\varepsilon = 0,05$; progi bipolarne $\pm 0,5$ V.

Interwały czasu wyznaczano przy częstotliwości zegara $f_w = 0,5$ MHz (okres $T_w = 2$ μ s). W badaniach podczas pomiaru interwałów czasu zliczone zostały następujące liczby impulsów:

- podstawowego interwału czasu $t_{x,m}$: $Nt_{x,m} = 1426$;
- prawdziwej wartości interwału czasu przybycia impulsu $t_{x,true}$: $Nt_x = 1277$;
- dodatkowego interwału czasu t_{x1} : $Nt_{x1} = 122$;
- liczba zmierzonych półokresów w dodatkowym interwale czasu: $n = 4$;

Obliczenia:

1) wartość podstawowego interwału czasu:

$$t_{x,m} = Nt_{x,m} \cdot T_w = 1426 \cdot 2 \mu\text{s} = 2,852 \text{ ms};$$

2) wartość dodatkowego interwału czasu:

$$t_{x1} = Nt_{x1} \cdot T_w = 122 \cdot 2 \mu\text{s} = 0,244 \text{ ms};$$

3) liczba półokresów opróżnionego wykrycia sygnału (13):

$$m = \text{round} \left[\frac{2}{0,05} - \frac{4}{2} \left[1 + \sqrt{1 + \frac{8 \cdot 0,080 \text{ ms}}{0,244 \text{ ms} \cdot 0,05^2 \cdot 4}} \right] \right] = \text{round}[5,547] = 6;$$

4) wartość poprawki korygującej (10):

$$t_m = 0,080 \text{ ms} \cdot 6 / (2 - 0,05 \cdot 6) = 0,282 \text{ ms};$$

5) skorygowana wartość interwału czasu (14):

$$t_{x,kor} = t_{x,m} - t_m = 2,852 \text{ ms} - 0,282 \text{ ms} \approx 2,570 \text{ ms};$$

6) prawdziwa wartość interwału przybycia impulsu:

$$t_{x,true} = 1277 \cdot 2 \mu\text{s} = 2,554 \text{ ms};$$

7) błąd po korekcji zmierzonego interwału czasu:

$$\Delta t_{x,kor} = t_{x,kor} - t_{x,true} = 2,570 \text{ ms} - 2,554 \text{ ms} = 0,016 \text{ ms};$$

8) względny błąd po korekcji zmierzonego interwału czasu:

$$\delta_{t,kor} = \frac{\Delta t_{x,kor}}{t_x} 100\% = \frac{0,016 \text{ ms}}{2,554 \text{ ms}} 100\% = 0,63 \%$$

9) błąd bez korekcji zmierzonego interwału czasu:

$$\Delta t_{x,meas} = t_{x,m} - t_{x,true} = 2,852 \text{ ms} - 2,554 \text{ ms} = 0,298 \text{ ms}$$

10) względny błąd bez korekcji zmierzonego interwału:

$$\delta_{t,x,meas} = \frac{\Delta t_{x,meas}}{t_x} 100\% = \frac{0,298 \text{ ms}}{2,554 \text{ ms}} 100\% \approx 11,7 \%$$

11) Skuteczność korekcji:

$$E_{kor} = \left| \frac{\Delta t_{x,meas}}{\Delta t_{x,kor}} \right| = \left| \frac{0,298 \text{ ms}}{0,016 \text{ ms}} \right| \approx 18,6 \text{ razy.}$$

5. Wnioski

W akustycznej tomografii przestrzennych rozkładów temperatury dokładność pomiaru interwałów czasu ma być kilkadziesiąt razy większa niż wymagana dokładność rekonstrukcji temperatury. Głównym problemem podczas pomiaru interwałów czasu przelotu impulsów akustycznych przez badane środowisko jest poprawne wykrywanie odbieranego sygnału. Błąd wykrycia impulsu może osiągać połowę okresu, a nawet kilka półokresów i jest zależny od poziomu szumu oraz szybkości narastania obwiedni odbieranego sygnału. Skuteczną metodą poprawy dokładności pomiaru interwałów czasu jest metoda oparta na liniowej modulacji okresu sygnału akustycznego. Wyznaczanie poprawki korygującej do wyniku bezpośrednio zmierzonego interwału czasu polega na pomiarze dodatkowego interwału kilku półokresów modulowanego sygnału w najmniej zniekształconej części otrzymanego sygnału. Wyniki badań teoretycznych i symulacyjnych potwierdziły skuteczność zaproponowanej metody. Dalsze badania, które zostaną przeprowadzone dla rzeczywistych eksperymentów, będą dotyczyły szczegółowej analizy skuteczności metody w zależności od poziomu szumu, czasu narastania obwiedni sygnału, parametru modulacji i liczby dodatkowo mierzonych półokresów.

Literatura

- [1] Green S.F, Woodham A.V.: Rapid Furnace Temperature Distribution Measurement by Sonic Pyrometer. Central Electricity Generation Board. Matchwood Engineering Laboratories. Matchwood, Southampton, England, 1983.
- [2] Dorozhovets M., Baran A, Kusij A., Stadnyk B.: Mathematical Aspects of Measurement of Temperature Fields in Gases and Flames. VDI/VDE-Gesellschaft

- Mess-und Automatisierungstechnik, "Temperatur '92", Dusseldorf, 1992, pp.249-252.
- [3] Doster M., Hentshel G.: Die akustische Gastemperaturmestechnik ein automatisches, beruhrungsloses Mesverfahren. VDI/VDE- Gessellschaft Mess-und Automatisierungstechnik, "Temperatur '92", Dusseldorf, 1992, pp.169-177.
- [4] Dorozhovets M., Kouzii A., Stadnyk B.: The Measurement of Temperature Field by Ultrasonic Computer Tomography Methods. IMEKO TC-4, International Symposium On Intelligent Instrumentation For Remote And On-Site Measurements, Brussels, 1993, pp 159-163.
- [5] Schwarz A.: Acoustic measurement of temperature and velocity fields in furnaces. Tomographic techniques. Proceeding ECAPT-92, Manchester, UK, 3/1992.
- [6] Prospekt firmy Codel Stack Emission Monitoring. The Total Concept. Combustion Development Ltd. Bakewell, Derbyshire, UK, 1994.
- [7] Dorozhovets M., Basarab Horwath I.: Measurement of the Temperature Distribution in Fluid Using Ultrasonic Tomography. Institute of Electrical and Electronic Engineers. IEEE Ultrasonic Symposium Proceedings, 1994Vol. 3, pp. 1891-1894.
- [8] Barth M.: Akustische Tomographie zur zeitgleichen Erfassung von Temperatur- und Strömungsfeldern, Leipzig, 2009.
- [9] Mayer A.V.: On Acoustic Pyrometer. Philosophical Magazine, 1873, 45, pp.18-22.
- [10] Honarvar F., Sheikhzadeh H., Moles M., Sinclair A. N.: Improving the time-resolution and signal-to-noise ratio of ultrasonic NDE signals," *Ultrasonics*, vol. 41, 2004, pp. 755-763.
- [11] Svilainis L., Dumbrava V., Chaziachmetovas A., Jurkstas P., Aleksandrovas A.: Technique for the Performance Evaluation of the Ultrasonic Preamplifier Input Protection Circuits. Proceedings of the 2015 IEEE 8th International Conference on Intelligent Data Acquisition and Advanced Computing Systems: Technology and Applications (IDAACS). Volume 1, 2015, pp. 102-107.
- [12] Dorozhovets M.: Application of hyperbolic-frequency modulated pulses to improve the accuracy of measurement of time-of-flight intervals in the acoustic tomography system, Automation, Measurement and Control, Lviv Polytechnic National University, N 356, 1998, p. 15 -21, Lviv, (in Ukraine).
- [13] Heyser R.C.: Acoustical Measurement by Time Delay Spectrometry. *J. Audio Eng. Soc.*, vol. 15, 1967, October, p. 370.

IMPROVING ACCURACY OF ACOUSTIC SIGNAL TIME-OF-FLIGHT MEASUREMENT

Summary

This paper describes the main problems that appear during the measurement of time-of-flight intervals in acoustic tomography, which are related to the influence of noise and with a limited slew rate of the signal amplitude envelope. Analysis of possibilities of using linear modulation of period of the acoustic pulses with the aim of improving the accuracy of the time-of-flight measurement in noise conditions and influence of limited slew rate envelope is presented in this

paper. The proposed method of correction of directly measured time interval is based on the additional measurement of duration the given number of half periods of received signal when the signal envelope stabilizes at a sufficient level. Efficiency of was studied by simulation method.

Keywords: acoustic signal, time-of-flight interval, modulation, correction

DOI: 10.7862/re.2015.38

Tekst złożono w redakcji: październik 2015

Przyjęto do druku: grudzień 2015