

Wojciech BATKO, Paweł PAWLIKAGH AKADEMIA GÓRNICZO-HUTNICZA, KATEDRA MECHANIKI I WIBROAKUSTYKI
Al. A. Mickiewicza 30, 30-059 Kraków**Nowa metoda oceny niepewności identyfikacji źródeł hałasu****Prof. dr hab. inż. Wojciech BATKO**

Kierownik Naukowego Centrum Inżynierii Akustycznej w AGH. Autor i współautor ponad 300 publikacji, w tym 12 książkowych. Zajmuje się zagadnieniami dynamiki i wibroakustyki maszyn. W szczególności zagadnieniami: diagnostyki technicznej, monitoringu akustycznego środowiska oraz technologiami pomiarowymi w badaniach akustycznych. Członek Komitetu Akustyki PAN oraz Komitetu Budowy Maszyn PAN.



e-mail: batko@agh.edu.pl

Mgr inż. Paweł PAWLIK

Jest doktorantem Katedry Mechaniki i Wibroakustyki Akademii Górniczo-Hutniczej w Krakowie. W ramach swojej pracy doktorskiej zajmuje się analizą niepewności w modelowaniu parametrów akustycznych. Zajmuje się również budową systemów ciągłego monitoringu diagnostycznego urządzeń przemysłowych, opartych o analizę sygnałów wibroakustycznych.



e-mail: pawlik@agh.edu.pl

Streszczenie

W artykule przedstawiono nową metodę oceny niepewności estymacji poziomu dźwięku pochodzącego od identyfikowanych źródeł oraz tła akustycznego. Wykorzystano metodę eliminacji w celu zbadania wpływu poszczególnych źródeł na sumaryczny poziom hałasu. Operacje matematyczne opisujące wykorzystaną metodykę obliczeniową, przeprowadzono w formalizmie redukcyjnej arytmetyki przedziałowej, w celu oceny wpływu niepewności pomiarowej na wyniki obliczeń. W artykule przedstawiono ogólny schemat oceny niepewności, dający możliwość uwzględnienia informacji probabilistycznej związanej z wynikami pomiaru. Zaproponowane rozwiązanie oparto na pomiarach zrealizowanych w warunkach laboratoryjnych.

Słowa kluczowe: ocena niepewności, arytmetyka przedziałowa, identyfikacja źródeł hałasu, ocena zagrożeń hałasu, wibroakustyka.

A new method for uncertainty assessment of noise source identification**Abstract**

A new method for uncertainty assessment of the sound level originated from identified noise sources and their acoustic background is presented in the paper. The elimination method [1] was applied in order to investigate influence of individual sources on the cumulative noise level. Mathematical operations describing the used computational method were performed in the reduction interval arithmetic formalism [6] to assess the influence of the measuring uncertainty on the calculation results. The measurement values of the total noise level and the noise levels characteristic for disconnections of successive noise sources were presented in the interval numbers. These numbers contain the measurement values and the uncertainty (Tab. 2). The authors determined the ranges of variation for estimates of the noise levels by individual sources and the background noise using the reductive interval arithmetic (Tab. 3). The general uncertainty estimation scheme presented in the paper provides the possibility of taking into account probabilistic information related to the obtained results. The proposed solution was based on measurements realised under laboratory conditions.

Keywords: uncertainty assessment, interval arithmetic, noise source identification, noise hazard estimation, vibroacoustics.

1. Wprowadzenie

Identyfikacja źródeł hałasu jest jednym z podstawowych problemów zwalczania zagrożeń akustycznych. Problem ten może być rozpatrywany w kategoriach badawczych lokalizacji źródeł w obrębie: pomieszczenia, środowiska, urządzenia, czy konstrukcji podlegającej diagnozowaniu. Oddziaływanie poszczególnych źródeł jest związane z ich: mocą akustyczną, wzajemnymi powiązaniem, czy strukturą częstotliwościową i kierunkową. Wszystkie te elementy mają wpływ na proces propagacji fal akustycznych w pomieszczeniu czy środowisku.

Jedną z klasycznych metod oceny wpływu poszczególnych źródeł dźwięku na sumaryczny poziom hałasu, jest metoda eliminacji [1]. Metoda ta, polega na pomiarze poziomu dźwięku w punkcie odbioru przy kolejnym wyłączaniu poszczególnych źródeł hałasu. Na podstawie tych pomiarów wyznaczane są poziomy dźwięku pochodzące od poszczególnych źródeł oraz poziom tła akustycznego. Jest to metoda najczęściej stosowana, ze względu na bardzo ograniczone wymagania aparaturowe.

Jak wynika z licznych prac Katedry Mechaniki i Wibroakustyki AGH, omówionych w opracowaniu [2], wykorzystywane powszechnie w akustycznej praktyce badawczej rozwiązania dotyczące wyznaczania niepewności, są mało wiarygodne. Bardzo często jest obserwowalna przepaść, pomiędzy akceptowalnością ich założeń, a więzami jakie dostarczają dotychczasowe wyniki badań akustycznych. W szczególności dotyczy to kwestii niegaussowskiego rozkładu zbioru parametrów pomiarowy, mało licznej próby niezbędnej do weryfikacji poprawności hipotez stanowiących założenia dla stosowanych metod, czy też występowania korelacji wyników pomiarowych. Pewne propozycje obejścia tych krępujących ograniczeń zostały przedstawione w artykułach [3-5].

W niniejszej pracy przedstawiono wpływ niepewności pomiarowej na wynik wyznaczania poziomów dźwięku poszczególnych źródeł hałasu oraz poziomu tła akustycznego. Ze względu na niegaussowski rozkład zbiorów parametrów pomiarowych, do oceny niepewności wykorzystano Redukcyjną Arytmetykę Interwałową [6], uwzględniającą korelację pomiędzy poszczególnymi zbiorami parametrów wejściowych. Podobne podejście oceny niepewności w wyznaczaniu parametrów akustycznych zostało przedstawione w pracy [7, 8].

2. Arytmetyka przedziałowa

W akustyce większość zadań modelowych charakteryzuje się niejednoznacznością uwarunkowań, tzn. posiada pewien stopień nieokreśloności (nieokreśloności) parametrów wejściowych. Opis parametrów wejściowych może być zrealizowany metodami probabilistycznymi, sieciami neuronowymi czy liczbami rozmytymi. Metodyka rozwiązywania takich zadań zmieniła swój charakter z analitycznych na procedury związane z wykorzystaniem technik numerycznych, które generują nowe możliwości rozwiązywania różnych zadań badawczych.

W pracy zajęto się kwestią oceny niepewności, z jaką mamy do czynienia w procesie identyfikacji źródeł hałasu, realizowanej metodą wyłączeń kolejnych źródeł. Autorzy widzą w tym zadaniu dużą przydatność formalizmu arytmetyki przedziałowej.

Operacje na liczbach przedziałowych były znane już w latach 60-tych, kiedy to zaproponowana została arytmetyka przedziałowa, przez Moore'a [9]. Głównym jej zastosowaniem, była kontrola błędów zaokrągleń w obliczeniach numerycznych. Operacje przeprowadzane w formalizmie arytmetyki przedziałowej dają możliwość kontroli błędów na każdym etapie obliczeń. Wiąże się to z faktem, iż zamiast na liczbach, wszystkie operacje matematycz-

ne przeprowadzane są na przedziałach. W niniejszej pracy przedziały te, reprezentują zmienność parametrów, zarówno wejściowych jak i wyjściowych oraz zawierają niepewność pomiarową i numeryczną.

W arytmetyce przedziałowej, liczby przedziałowe reprezentowane są jako domknięte ograniczone zbiory liczb rzeczywistych:

$$\mathbf{x} = [\underline{x}, \bar{x}] = \{x \in R : \underline{x} \leq x \leq \bar{x}\}, \quad (1)$$

gdzie \underline{x} jest dolną granicą przedziału – infimum, natomiast \bar{x} oznacza górną granicę – supremum, natomiast x jest dowolną liczbą rzeczywistą należącą do przedziału.

Na zbiorze przedziałów zdefiniowane są podstawowe operacje arytmetyczne:

$$\mathbf{x} \diamond \mathbf{y} = \{z = x \diamond y : x \in \mathbf{x} \quad y \in \mathbf{y}\}, \quad (2)$$

gdzie \diamond jest jednym z operatorów: dodawania, odejmowania, mnożenia lub dzielenia. Operatory te, oprócz dzielenia, zdefiniowane są dla dowolnych przedziałów. Dla dzielenia należy założyć, że $0 \notin y$.

Klasyczna arytmetyka przedziałowa była znana również z przeszacowania wyniku obliczeń, jednym z powodów jest to, że formalizm ten nie uwzględnia korelacji pomiędzy zbiorami błędów. Powstało więc wiele rozwinięć tejże arytmetyki, jak i metod redukcji przedziałów. Jednym z tego typu rozwinięć jest redukcja arytmetyka interwałowa, zaproponowana przez Jakubca [6].

Zasadniczą zaletą redukcji arytmetyki przedziałowej jest wprowadzenie, współczynnika koherencji, który opisuje właściwości oraz korelację pomiędzy przedziałami, co sprowadza się do redukcji szerokości interwału.

$$r_{ij} \in R, \quad -1 < r_{ij} < 1 \quad (3)$$

Operacje matematyczne dla arytmetyki redukcyjnej opisane są w następujący sposób [6]:

– dodawanie liczb przedziałowych:

$$\mathbf{y} = \mathbf{x}_1 + \mathbf{x}_2 = \tilde{y} + [-rad(y), +rad(y)] \quad (4)$$

gdzie:

$$mid(y) = mid(x_1) + mid(x_2) \quad (5)$$

$$rad(y) = \sqrt{rad^2(x_1) + rad^2(x_2) + 2rad(x_1)rad(x_2)r_{12}} \quad (6)$$

– odejmowanie liczb przedziałowych:

$$\mathbf{y} = \mathbf{x}_1 - \mathbf{x}_2 = \tilde{y} + [-rad(y), +rad(y)] \quad (7)$$

gdzie:

$$mid(y) = mid(x_1) - mid(x_2) \quad (8)$$

$$rad(y) = \sqrt{rad^2(x_1) + rad^2(x_2) - 2rad(x_1)rad(x_2)r_{12}} \quad (9)$$

– mnożenie liczb przedziałowych:

$$\mathbf{y} = \mathbf{x}_1 \cdot \mathbf{x}_2 = \tilde{y} + [-rad(y), +rad(y)] \quad (10)$$

gdzie:

$$mid(y) = mid(x_1) \cdot mid(x_2) \quad (11)$$

$$rad(y) = \sqrt{\tilde{x}_1^2 rad^2(x_1) + \tilde{x}_2^2 rad^2(x_2) - 2\tilde{x}_1 \tilde{x}_2 rad(x_1)rad(x_2)r_{12}} \quad (12)$$

Liczby przedziałowe w redukcyjnej arytmetyce interwałowej zapisywane są jako suma niezależnych składników: środka \tilde{x} i interwału nieobciążonego $\pm rad(\mathbf{x})$:

$$\mathbf{x} = [\underline{x}, \bar{x}] = [\tilde{x} - rad(\mathbf{x}), \tilde{x} + rad(\mathbf{x})] = \tilde{x} \pm rad(\mathbf{x}) = \tilde{x} + [-rad(\mathbf{x}), rad(\mathbf{x})] \quad (13)$$

Zastosowanie redukcyjnej arytmetyki przedziałowej jest dosyć przystępne w implementacji numerycznej, ponieważ sprowadza się jedynie do implementacji podstawowych operacji matematycznych na liczbach przedziałowych. Funkcje elementarne wyznaczane są na podstawie rozwinięcia Taylora.

3. Identyfikacja źródeł hałasu

Pole akustyczne w pomieszczeniu, ukształtowane identyfikowanymi źródłami hałasu ma charakter pola rozproszonego, gdzie sumaryczny poziom hałasu można opisać zależnością:

$$L_s = 10 \log \left(10^{0,1L_{tla}} + \sum_{i=1}^k 10^{0,1L_{zi}} \right) \quad (14)$$

gdzie:

L_{tla} – poziom tła akustycznego,

L_{zi} – poziom hałasu pochodzący od i -tego źródła,

k – ilość identyfikowanych źródeł hałasu.

Identyfikacja poziomu hałasu, generowanego przez poszczególne źródła oraz poziomu tła akustycznego L_{tla} w pomieszczeniu, wyznaczana jest na podstawie pomiarów poziomu hałasu L_{s-i} dla $i=1, 2, \dots, k$, charakterystycznych dla braku oddziaływania poszczególnych źródeł, tj. wyłączeń kolejnych i -tych źródeł. Przeprowadzany jest również pomiar poziomu dźwięku przy aktywności wszystkich źródeł. Poziom hałasu pochodzący od i -tego źródła opisany jest zależnością:

$$L_{zi} = 10 \log \left(10^{0,1L_s} - 10^{0,1L_{s-i}} \right) \quad (15)$$

gdzie:

L_s – sumaryczny poziom hałasu,

L_{s-i} – poziom hałasu przy odłączonym i -tym źródle.

Bazując na zmierzonej wartości sumarycznego poziomu hałasu L_s oraz wyznaczonych poziomach L_{zi} można wyznaczyć poziom tła akustycznego z zależności:

$$L_{tla} = 10 \log \left(10^{0,1L_s} - \sum_{i=1}^k 10^{0,1L_{zi}} \right) \quad (16)$$

gdzie:

L_s – sumaryczny poziom hałasu,

L_{zi} – poziom hałasu pochodzący od i -tego źródła,

k – ilość identyfikowanych źródeł hałasu.

4. Analiza niepewności przy wykorzystaniu redukcyjnej arytmetyki interwałowej

Zastosowanie redukcyjnej arytmetyki przedziałowej w procesie identyfikacji źródeł hałasu zobrazowano doświadczeniem w warunkach laboratoryjnych. Wykonano pomiary sumarycznego poziomu dźwięku oraz poziomów hałasu dla wyłączeń kolejnych źródeł. Rozpatrzono przypadek dla trzech źródeł dźwięku umieszczonych w komorze bezchłowej. Wyznaczono również współczynniki korelacji pomiędzy sumarycznym poziomem hałasu L_s

a poziomami L_{S-i} charakterystycznymi dla wyłączeń kolejnych źródeł.

Tab. 1. Współczynniki korelacji parametrów wejściowych
Tab. 1. Correlation coefficients of the input parameters

| $r(L_S, L_{S-1})$ | $r(L_S, L_{S-2})$ | $r(L_S, L_{S-3})$ |
|-------------------|-------------------|-------------------|
| 0,77 | 0,84 | 0,8 |

Zmierzone wartości poziomu hałasu sumarycznego L_S i poziomów hałasu L_{S-i} (charakterystycznych dla wyłączeń kolejnych źródeł hałasu) przedstawiono w postaci liczb przedziałowych, zawierających wartości zmierzone oraz niepewność pomiaru. Wyniki pomiaru wraz z niepewnością przedstawiono w tabeli 2.

Zgodnie z formalizmem redukcyjnej arytmetyki interwałowej wyznaczono przedziały zmienności dla oszacowań poziomów hałasu pochodzącego od poszczególnych źródeł L_{z1} L_{z2} L_{z3} oraz poziomu tła akustycznego L_{tla} . Wyniki analizy przedziałowej umieszczono w tabeli 3.

Tab. 2. Zmierzone poziomy hałasu: L_S , L_{S-1} , L_{S-2} , L_{S-3}
Tab. 2. The measured noise levels: L_S , L_{S-1} , L_{S-2} , L_{S-3}

| L_S [dB] | L_{S-1} [dB] | L_{S-2} [dB] | L_{S-3} [dB] |
|--------------|----------------|----------------|----------------|
| $72 \pm 0,5$ | $70,8 \pm 0,5$ | $69 \pm 0,5$ | $71 \pm 0,5$ |

Tab. 3. Wyznaczone poziomy: L_{z1} L_{z2} L_{z3} L_{tla}
Tab. 3. The calculated levels: L_{z1} L_{z2} L_{z3} L_{tla}

| L_{tla} [dB] | L_{z1} [dB] | L_{z2} [dB] | L_{z3} [dB] |
|----------------|----------------|----------------|----------------|
| 58 ± 2 | $65,8 \pm 0,6$ | $68,9 \pm 0,5$ | $65,1 \pm 0,7$ |

5. Podsumowanie

Przedstawiona w pracy metoda oceny niepewności pozwala na wyznaczenie niepewności oszacowań poziomu hałasu pochodzącego od poszczególnych źródeł. Niepewność ta ściśle związana jest z niepewnością pomiarową oraz zależnościami pomiędzy zbiorami danych pomiarowych. Przedstawiony ogólny schemat

estymacyjny niepewności, daje możliwość uwzględnienia informacji probabilistycznej związanej z wynikami pomiarów.

Metoda oceny niepewności bazująca na redukcyjnej arytmetyce przedziałowej jest przystępna w zastosowaniu w rozwiązaniach numerycznych dla skomplikowanych modeli obliczeniowych.

6. Literatura

- [1] Panuszka R.: Metody oceny przemysłowych źródeł dźwięku, Zeszyty naukowe Akademii Górniczo-Hutniczej im. Stanisława Staszica, zeszyt 2, 1983.
- [2] Batko W.: Nowe rozwiązania metrologiczne dla monitoringu stanu zagrożenia akustycznych środowiska realizowane w Katedrze Mechaniki i Wibroakustyki. Problemy Inżynierii Mechanicznej i Robotyki, nr 60, monografia: Badania statutowe na Wydziale Inżynierii Mechanicznej i Robotyki, Wydawnictwo AGH. WIMiR, s.95-130, Kraków 2012.
- [3] Batko W., Przysucha B.: Determination of the Probability Distribution of the Mean Sound Level, Archives of Acoustics, vol 35, No 4, p 543-550, 2010.
- [4] Batko W., Stępień B.: Application of the Bayesian inference for estimation of the long-term noise indicators and their uncertainty, Acta Physica Polonica A, 119, 6-A, s. 916-920, 2011.
- [5] Batko W., Stępień B.: Application of the bootstrap estimator for uncertainty analysis of the long-term noise indicators, Acta Physica Polonica A, 118, 1, s. 11-16, 2010.
- [6] Jakubiec J.: Redukcyjna arytmetyka interwałowa w zastosowaniu do wyznaczania niepewności algorytmów przetwarzania danych pomiarowych, Wydawnictwo Politechniki Śląskiej 2002.
- [7] Batko W., Pawlik P.: New approach to uncertainty assessment of acoustic effects in the environment, Archives of Acoustics, vol. 37 no. 1 s. 57-61, 2012.
- [8] Batko W., Pawlik P.: Uncertainty Evaluation in Modelling of Acoustic Phenomena With Uncertain Parameters Using Interval Arithmetic, Acta Physica Polonica A, vol. 121 No. 1-A, s. A-152-155, Polish Academy of Sciences, Institute of Physics, Warszawa 2012.
- [9] Moore R. E., Interval Arithmetic and Automatic Error Analysis in Digital Computing, Ph.D. Thesis, Stanford University, 1962.

otrzymano / received: 20.03.2013

przyjęto do druku / accepted: 01.05.2013

artykuł recenzowany / revised paper

INFORMACJE

Newsletter PAK

Wydawnictwo PAK wysyła drogą e-mailową do osób zainteresowanych Newsletter PAK, w którym są zamieszczone:

- spis treści aktualnego numeru miesięcznika PAK,
- kalendarz imprez branżowych,
- ważniejsze informacje o działalności Wydawnictwa PAK.

Newsletter jest wysyłany co miesiąc do osób, które w jakikolwiek sposób współpracują z Wydawnictwem PAK (autorzy prac opublikowanych w miesięczniku PAK, recenzenci, członkowie Rady Programowej, osoby które zgłosiły chęć otrzymywania Newslettera).

Celem inicjatywy jest umocnienie w środowisku pozycji miesięcznika PAK jako ważnego i aktualnego źródła informacji naukowo-technicznej.

Do newslettera można zapisać się za pośrednictwem:

- strony internetowej: www.pak.info.pl, po dodaniu swojego adresu mailowego do subskrypcji,
- adresu mailowego: wydawnictwo@pak.info.pl, wysyłając swoje zgłoszenie.

Otrzymywanie Newslettera nie powoduje żadnych zobowiązań ze strony adresatów. W każdej chwili można zrezygnować z otrzymywania Newslettera.

Tadeusz SKUBIS
Redaktor naczelny Wydawnictwa PAK