

ОБРОБКА РЕЗУЛЬТАТІВ МЕТРОЛОГІЧНИХ ТА ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ ПРИ ВИМІРЮВАННІ ОСНОВНИХ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПАРАМЕТРІВ ВИПРОМІНЮВАЧІВ ЗВУКУ

С.А.Чеховський, Л.А.Витвицька, Н.М.Піндус, В.В.Останів, Н.Б.Долішня,
В.Б.Кропивницька

ІФНТУНГ, 76019, м. Івано-Франківськ, вул. Карпатська, 15, тел. (03422) 41166
e-mail: public@nung.edu.ua

Розроблено систему контролю теплових характеристик випромінювачів звуку. Проведено оцінку невизначеності системи на підставі наявної апріорної інформації щодо її складових шляхом побудови причинно-наслідкової діаграми, де вказано джерела невизначеності і їх вплив на результуючу величину. Складено бюджет невизначеності системи контролю акустичних та теплових характеристик випромінювачів звуку. Для рівня довіри 0,95 розширена невизначеність системи склала 8,67%.

Ключові слова: невизначеність, випромінювачі звуку, бюджет невизначеності

Разработана систему контроля тепловых характеристик излучателей звука. Проведена оценка неопределенности системы на основании имеющейся априорной информации о ее составляющих путем построения причинно-следственной диаграммы, где указаны источники неопределенности и их влияние на результирующую величину. Составлен бюджет неопределенности системы контроля акустических и тепловых характеристик излучателей звука. Для уровня доверия 0,95 расширенная неопределенность системы составила 8,67%.

Ключевые слова: неопределенность, излучатели звука, бюджет неопределенности

A control system for the thermal characteristics of the sound emitters was developed. An uncertainty assessment was made on the basis of a priori information about its components using a causal diagram, which shows the sources of uncertainty and their impact on the resulting value. An uncertainty budget of the control system for acoustic and thermal characteristics of the sound emitters was calculated. The expanded uncertainty for the 0.95 confidence level equals 8.67%.

Keywords: uncertainty, sound emitters, budget of uncertainty

Враховуючи відомі [4] найвагоміші чинники впливу на роботу випромінювачів звуку (ВЗ), доцільним є застосування системи контролю його теплових та акустичних характеристик, які дають змогу оцінити його інтегровані характеристики. Основним завданням такої системи є визначення розподілу температурного поля всередині корпусу ВЗ, що має істотний вплив на акустичні характеристики. Це пов'язано зі зміною механічних властивостей матеріалів конструкційних елементів випромінювача звуку при зміні температури.

Для ВЗ динамічного типу доцільною є оцінка невизначеності вимірювання на підставі наявної попередньої інформації щодо структурних елементів системи вимірювання.

У відповідності до закону України про метрологічну діяльність результат вимірювання фізичної величини повинен подаватися у вигляді числового значення оцінки вимірної величини, характеристики точності цієї оцінки як похибка або невизначеність та характеристики імовірності отриманого результату вимірювання, як довірчу імовірність або рівень довіри, при яких розраховувалось числове значення похибки або невизначеності.

Розглянемо оцінювання невизначеності вимірювання під час розробки ВЗ на підставі наявної попередньої інформації щодо структурних елементів вимірювання.

Якість вимірювання буде задовільною, якщо похибку або невизначеність результату вимірювання узгоджено з вихідними вимогами щодо точності вимірювання, сформульованими постановкою задачі процесу вимірювання.

На якість звуковідтворення електродинамічного ВЗ істотний вплив має розподіл температурного поля усередині його корпусу. Це пов'язано із зміною механічних властивостей матеріалів конструкційних елементів динаміка при зміні температури. Тому створено систему контролю теплових характеристик ВЗ, структуру якої подано в [5].

Система контролю складається з двох вимірювальних трактів – акустичного і термодинамічного, до складу яких входять такі пристрої: генератор низьких частот; комутатор; підсилювач низької частоти; мілівольтметр; частотомір; випромінювач звуку; вимірний мікрофон; мікрофонний підсилювач; комутатор; блок фільтрів; інструментальний підсилювач; температурно-частотний перетворювач, АЦП; блок аналізу; блок управління; ПЕОМ; звукова карта [6].

Точність параметрів і характеристик цієї системи визначає якість ВЗ. Створена система була метрологічно проаналізована, внаслідок чого побудовано схему накопичення невизначеностей, здійснено аналіз складових сумарної невизначеності для встановлення їх природи і



Рисунок 1 – "Причинно-наслідкова" діаграма для вимірювання параметрів ВЗ

доцільності введення поправок з урахуванням взаємкореляційних зв'язків.

Виявлення і аналіз джерел невизначеності реалізовано за допомогою "причинно-наслідкової" діаграми, у якій вказано на джерела невизначеності і їх вплив на вимірювану величину, входні параметри рівнянь вимірювань, додаткові чинники, які впливають на результат вимірювання (рис. 1).

Розрахунок невизначеності виміральної техніки, що вноситься засобами, які входять до системи контролю, ґрунтується на відомих значеннях приведеної похибки (класу точності) стандартних складових елементів системи. Дані невизначеності (тип В) розраховані за відомими максимальними відхиленнями вихідного сигналу кожного засобу вимірювання окремо. Оцінка невизначеності типу А одержана шляхом статистичного аналізу ряду спостережень.

На практиці для оцінки розширеної невизначеності застосовують стандартний підхід, описаний, здебільшого, в документі щодо оцінювання невизначеності вимірювань ISO GUM 74-07, і який полягає в оцінці стандартної невизначеності та визначенні коефіцієнта покриття.

Нами визначено такі джерела сумарної складової похибки системи контролю теплових та акустичних характеристик ВЗ (табл. 1).

З метою отримання реальної картини температурного поля котушки в електродинамічних ВЗ як давачі температури було використано діоди типу КД 522 [1]. Для отримання залежності опору діодів від зміни температури було

проведено таке дослідження: вибрані діоди (відбір діодів проводився за подібністю їх вольт-амперних характеристик) по черзі поміщалися в термостат з рідиною, температура якої вимірювалася зануреним на той же, що і діоди, рівень ртутним термометром. Для ізоляції електродів діода і запобігання контакту самого діода з рідиною було використано ПХВ трубку. Для давача з найбільш нелінійною залежністю напруги від температури розраховувалася невизначеність від нелінійності. Максимальне відхилення від лінійної характеристики становить:

для низьких частот – $\Delta_{\text{нел.н.ч}} = 0,3467\%$,
 для середніх частот – $\Delta_{\text{нел.с.ч}} = 0,3568\%$,
 для високих частот – $\Delta_{\text{нел.в.ч}} = 0,3223\%$.

З урахуванням нормального закону розподілу дана невизначеність рівна:

$$u_{\text{нел.н.ч.}} = \frac{0,3467}{\sqrt{36}} = 0,058\%;$$

$$u_{\text{нел.с.ч.}} = \frac{0,3568}{\sqrt{36}} = 0,059\%;$$

$$u_{\text{нел.в.ч.}} = \frac{0,3223}{\sqrt{36}} = 0,054\%;$$

$$u_{np} = \frac{\Delta_{np}}{\sqrt{36}} = 0,167\%.$$

Таблиця 1 – Кількісний опис складових невизначеності

Джерела похибок системи контролю теплових та акустичних характеристик ВЗ	Значення похибки
Нелінійність статичної характеристики давачів температури	$\Delta_{нел.н.ч} = 0,3467\%$ $\Delta_{нел.с.ч} = 0,3568\%$ $\Delta_{нел.в.ч} = 0,3223\%$
Невідповідність реального геометричного розташування давачів від встановленого теоретично	$\Delta h = 0,0558 \%$
Похибка перетворення напруги в звуковий тиск ВЗ	$\gamma = 0.03$
Відхилення від заданих частотних характеристик ВЗ	$\Delta = 3$ дБ
Наведення в лініях зв'язку	$\gamma = 0,4 \times 10^{-2} \%$
Похибка засобів вимірювальної техніки, що входять до системи контролю	$\gamma_{\phi} = 0,5\%$, $\gamma_y = 0,025\%$, $\gamma_m = 0,05\%$, $\gamma_v = 0,05\%$, $\gamma_{\text{ч}} = 0,1\%$, $\gamma_{\text{АЦП}} = 2,8\%$, $\gamma_{\text{к}} = 0,09\%$, $\gamma_{\text{МУ}} = 0,03\%$

Невизначеність, викликана відхиленням від заданих частотних характеристик ВЗ, визначалася за типом А [3]. Для цього було проведене десятиразове вимірювання амплітудо-частотної характеристики випромінювача на кожній з частот: 32, 63, 125, 250, 500, 1000, 2000, 4000, 8000 Гц. Максимальне відхилення рівня звукового тиску від його середнього значення на кожній з вказаних частот склало 3 дБ, а максимальну невизначеність виявлено на частоті 32 Гц і склало в абсолютних одиницях $u_{\Delta, \text{част}} = 1,92$ дБ. За середнього значення сигналу збудження, рівного 102 дБ, невизначеність у відносних одиницях складає $u_{\text{част}} = 1,88\%$.

Невизначеність від наведень в лініях зв'язку визначено таким чином. За допомогою електронного вимірювача з вхідним опором 1 МОм, підключеного до лінії зв'язку, визначено струм, що проходить крізь нього, рівний 0,0001 мА. При замиканні лінії зв'язку на датчик, опір якого рівний $R_d = 4$ Ом, падіння напруги на ньому складатиме $U = 4 \times 10^{-4}$ мВ. Таким чином, відносне відхилення напруги від наведення у разі максимального сигналу давача 1000 мВ становить $0,4 \times 10^{-2}\%$. Причому абсолютне значення даного відхилення має адитивний характер, оскільки не залежить від величини вимірюваного сигналу. Закон розподілу даної невизначеності – арксинусоїдальний [2], тому розраховане за типом В значення невизначеності рівне:

$$u_{\text{нав}} = \frac{\Delta_n}{k_{\text{арк}}} = 0,0014\%.$$

Розрахунок невизначеності вимірювальної техніки, що вноситься засобами, які входять до системи контролю, ґрунтується на відомих значеннях відносної похибки (класу точності) стандартних складових елементів системи. Дані щодо невизначеності розраховані за типом В по відомих максимальних відхиленнях вихідного сигналу кожного засобу вимірювання окремо. Ці похибки, відхилення і відповідні невизначеності в припущенні про рівномірний розподіл похибки усередині меж рівні:

для фільтру заданого діапазону частот відносна приведена похибка становить $\gamma_{\phi} = 0,5\%$, максимальне відхилення $\Delta_{\phi} = 0,194\%$, а невизначеність $u_{\phi} = 0,1121\%$;

для підсилювача потужності $\gamma_y = 0,025\%$, $\Delta_y = 0,0968\%$, $u_y = 0,056\%$;

для вимірного мікрофону $\gamma_m = 0,05\%$, $\Delta_m = 0,0194\%$, $u_m = 0,01121\%$;

для вольтметра, омметра, інструментального підсилювача $\gamma_v = 0,05\%$, $\Delta_v = 0,04\%$, $u_v = 0,0231\%$;

для частотоміра $\gamma_{\text{ч}} = 0,1\%$, $\Delta_{\text{ч}} = 0,0387\%$, $u_{\text{ч}} = 0,0223\%$;

для аналого-цифрового перетворювача $\gamma_{\text{АЦП}} = 2,8\%$, $\Delta_{\text{АЦП}} = 0,0774\%$, $u_{\text{АЦП}} = 0,0447\%$;

для електронного комутатора $\gamma_{\text{к}} = 0,09\%$, $\Delta_{\text{к}} = 0,0348\%$, $u_{\text{к}} = 0,0201\%$;

для мікрофонного підсилювача $\gamma_{\text{МУ}} = 0,03\%$, $\Delta_{\text{МУ}} = 0,0116\%$, $u_{\text{МУ}} = 0,0067\%$.

З вищенаведеної специфікації вимірювань і аналізу складових витікає відсутність кореляційних зв'язків між окремими чинниками впливу на сумарну невизначеність. Тому остання розрахована шляхом геометричного підсумовування стандартних невизначеностей складових і рівна:

$$u_{\Sigma \text{ сист.}} = \sqrt{\sum_{i=1}^n u_i^2} = 4,385\%.$$

Складено бюджет невизначеності системи контролю для вимірювань акустичних і теплових характеристик випромінювачів звуку.

Розширена невизначеність системи контролю для заданого рівня довіри 0, 95 з урахуванням нормальності закону розподілу сумарної похибки рівна:

$$U = k \cdot u_{\Sigma \text{ сист.}} = 2 \cdot 4,385 = 8,67\%.$$

**Бюджет невизначеності системи контролю для вимірювання
акустичних і теплових характеристик ВЗ
Формула для розрахунку сумарної стандартної невизначеності**

$$u_c = \sqrt{\sum u_i^2}$$

Джерело невизначеності	Тип оцінки	Відносна стандартна невизначеність вимірювання, %
Невизначеність, викликана нелінійністю статичної характеристики давачів температури ($u_{\text{нел}}$)	A	$u_{\text{нел}}=0,167$
Невизначеність, викликана невідповідністю реального геометричного розташування давачів від встановленого теоретично ($u_{\text{геом}}$)	B	$u_{\text{геом}}=0,71$
Невизначеність перетворення напруги в звуковий тиск ВЗ ($u_{\text{пр}}$)	A	$u_{\text{пр}}=0,167$
Невизначеність, викликана відхиленням від заданих частотних характеристик збудливого ВЗ ($u_{\text{част}}$)	A	$u_{\text{част}}=1,88$
Невизначеність від наведень в лініях зв'язку ($u_{\text{нав}}$).	B	$u_{\text{нав}}=0,0014$
Невизначеність засобів вимірювальної техніки, що входять в систему контролю ($u_{\Sigma \text{ сист.}}$)	B	$u_{\Sigma \text{ сист.}}=4,385$
Розширена невизначеність ($k=2$)		$U=8,67$

Розширена невизначеність системи контролю для заданого рівня довіри 0,95% з урахуванням припущення про нормальність закону розподілу сумарної похибки рівна 8,67%.

Література

1 Алдошина И. А. Электроакустические громкоговорители / И. А. Алдошина – М.: Радио и связь, 1989. – 272 с.
 2 Новицкий П. В. Оценка погрешностей результатов измерений / П. В. Новицкий, И. А. Зограф – Л.: Энергоатом, 1991. – 302 с.
 3 Захаров И. П.. Теория неопределенности в измерениях / И. П. Захаров, В.Д. Кукуш – Харьков: Консум, 2002. – 247 с.
 4 Піндус Н.М. Система контролю теплових та акустичних характеристик динамічних випромінювачів звуку: дис. на здобуття вченого ступеня канд. техн. наук: спец. 05.11.13 «Методи і прилади неруйнівного контролю» / Н.М.Піндус. – Івано-Франківськ, 2004. – 223 с.

5 Піндус Н.М. Прилад контролю якості динамічних випромінювачів звуку / Н.М.Піндус // Вісник національного технічного університету України “Київський політехнічний інститут”. Приладобудування. – 2002. – №24. – С.27-32.

6 Чеховський С.А. Системи контролю якості для дослідження теплофізичних процесів в електродинамічних гучномовцях / С.А. Чеховський, С.П. Ващишак, Л.А. Витвицька, Н.М. Піндус // Вимірювальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах. – 2002. – №2. – С. 14-16.

*Стаття надійшла до редакційної колегії
24.08.09
Рекомендована до друку професором
В. С. Костишиним*