

УДК 534:321.9:534.6

С.А. Чеховский, Л.А. Витвицкая, Н.Н. Пиндус, С.П. Ващишак

Ивано-Франковский национальный технический университет нефти и газа, Украина

АНАЛИЗ НЕОПРЕДЕЛЕННОСТИ ИЗМЕРЕНИЯ ТЕПЛОВЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ИЗЛУЧАТЕЛЕЙ ЗВУКА

Проведен метрологический анализ системы контроля тепловых и акустических характеристик излучателей звука. Осуществлен анализ неопределенности измерения тепловых и акустических характеристик электродинамических излучателей звука. Решение задачи осуществлено структурным методом путем представления суммарной неопределенности отдельными составляющими, согласно составленной спецификации измерений. Анализ факторов влияния на неопределенность измерения проводился экспериментально и аналитически.

Ключевые слова: система контроля, излучатель звука динамического типа, суммарная неопределенность, тепловое поле.

Введение

На качество звуковоспроизведения электродинамического излучателя звука (динамика) существенное влияние оказывает распределение температурного поля внутри его корпуса. Это связано с изменением механических свойств материалов конструктивных элементов динамика при изменении температуры [1 – 3]. Поэтому была создана система контроля тепловых характеристик звукоизлучателей, структурная схема которой приведена на рис. 1.

Точность параметров и характеристик этой системы определяет качество громкоговорителя. Поэтому созданная система была метрологически проанализирована, в результате чего построена схема накопления неопределенностей, осуществлен анализ составляющих суммарной неопределенности для установления их природы и целесообразности введения поправок с учетом взаимокорреляционных связей.

Результаты исследований

Основными факторами, которые влияют на суммарную неопределенность измерения, являются:

неопределенность, вызванная нелинейностью статической характеристики датчиков температуры ($u_{\text{нел}}$);

неопределенность, вызванная несоответствием реального геометрического расположения датчиков от установленного теоретически ($u_{\text{геом}}$);

неопределенность преобразования напряжения в звуковое давление излучателем звука ($u_{\text{шпр}}$);

неопределенность, вызванная отклонением от заданных частотных характеристик возбуждающего излучателя звука ($u_{\text{част}}$);

неопределенность от наводок в линиях связи ($u_{\text{нав}}$).

неопределенность средств измерительной техники, входящих в систему контроля.

С целью получения реальной картины температурного поля катушки в электродинамических излучателях звука были использованы в качестве датчиков температуры диоды типа КД 522 [1]. Для получения зависимости сопротивления диодов от изменения температуры было проведено следующее исследование: выбранные диоды (отбор диодов проводился за подобием их вольт – амперных характеристик) поочередно помещались в термостат с жидкостью, температура которой измерялась погруженным на тот же, что и диоды, уровень ртутным термометром. Для изоляции электродов диода и предотвращения контакта самого диода с жидкостью была использована ПХВ трубка. Для датчика с наиболее нелинейной зависимостью напряжения от температуры рассчитывалась неопределенность от нелинейности. Максимальное отклонение от линейной характеристики составило: для низких частот $\Delta_{\text{нел.н.ч}} = 0,3467\%$; для средних частот $\Delta_{\text{нел.с.ч}} = 0,3568\%$; для высоких частот $\Delta_{\text{нел.в.ч}} = 0,3223\%$. С учетом нормального закона распределения данная неопределенность равна:

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

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

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

Для нахождения величины неопределенности измерения теплового поля звуковой катушки от неопределенности установления на ней датчиков температуры были проведены экспериментальные исследования, которые заключались в определении величины изменения температурного поля при несоответствии реального расположения датчиков температуры (диодов) от принятого теоретически геометрического размещения. Это смещение вызвано "ползучестью" припоя при монтаже температурных датчиков.

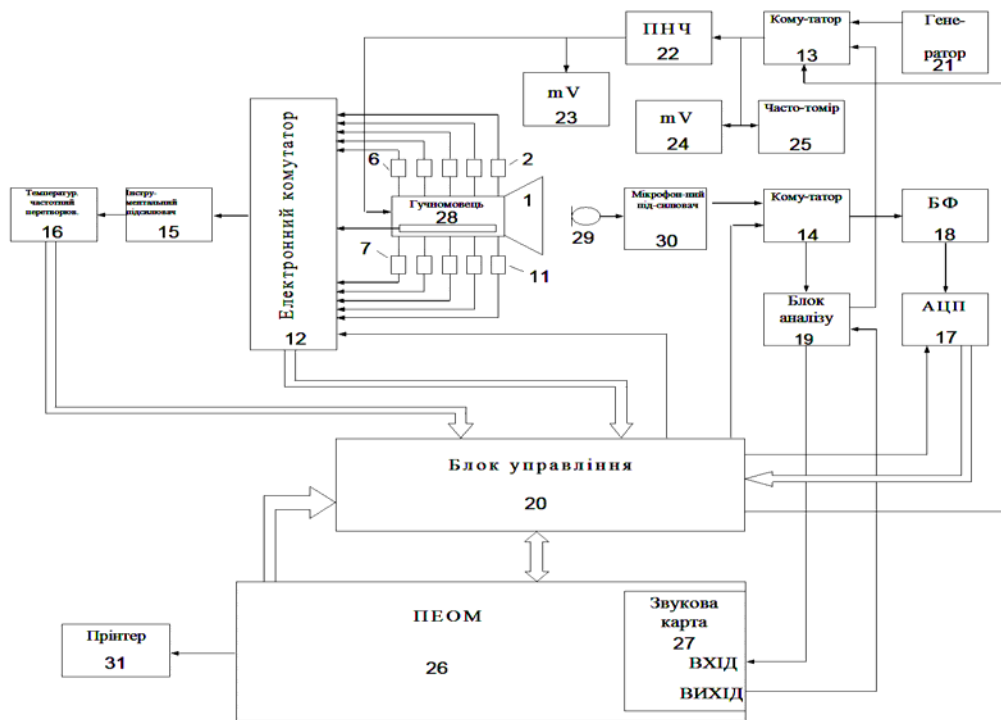


Рис. 1 Система контролю теплових та акустических характеристик излучателей звука

Значение величины смещения датчиков измерялось с помощью универсального измерительного микроскопа типа УИМ – 216, абсолютная погрешность которого составляет 4 мкм. В результате многократного монтажа датчиков (11 датчиков спирально-образно припаивались на поверхность звуковой катушки, высота которой составляла 20 мм) было установлено, что, как правило, два из них имеют максимальное смещение, не превышающее 0,7 мм (у одного датчика 0,547 мм, у второго – 0,638 мм). Относительное смещение при этом составило $\Delta=3,5\%$. Эта неопределенность рассчитана по типу В с учетом того, что расхождение в геометрических размерах для цилиндрических объектов отвечает треугольному закону распределения. Таким образом, неопределенность составила:

$$u_{\text{геом}} = \frac{3,5}{\sqrt{24}} = 0,71\% .$$

Неопределенность преобразования напряжения в звуковое давление излучателем звука ($u_{\text{пр}}$) рассчитывалась относительно основного узла измерения системы контроля тепловых и акустических характеристик электродинамических излучателей звука, которыми являются головка излучателя и измерительный микрофон. Эта неопределенность была определена путем проведения ряда экспериментальных исследований, сущность которых заключалась в многократном измерении уровня сигнала при одинаковых условиях.

Установлено, что среднее значение уровня сигнала (звукового давления) при синусоидальном возбуждении: составило $P_{\text{р.син}} = 109$ дБ. При возбужде-

нии прямоугольным импульсом среднее значение выходного сигнала: $P_{\text{р.прям.}} = 111$ дБ. Абсолютное расхождение уровня выходного сигнала излучателя при различных видах возбуждающего сигнала не превышает $\Delta_{\text{пр}} = 1$ дБ. Закон распределения данной неопределенности можно считать нормальным, поскольку головка является многоэлементным средством, неопределенность которого содержит большое количество составляющих. Исходя из центральной предельной теоремы, вероятности суммарная неопределенность подлжит нормальному закону. Таким образом, неопределенность преобразования головки излучателя равна:

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

Неопределенность, вызванная отклонением от заданных частотных характеристик возбуждающего излучателя звука определялась по типу А [3]. Для этого было проведено десятикратное измерение амплитудо-частотной характеристики излучателя на каждой из частот: 32, 63, 125, 250, 500, 1000, 2000, 4000, 8000 Гц. Максимальное отклонение уровня звукового давления от его среднего значения на каждой из указанных частот составило 3 дБ, а максимальная неопределенность была выявлена на частоте 32 Гц и составила в абсолютных единицах: $u_{\text{А.част}} = 1,92$ дБ. При среднем значении возбуждающего сигнала, равном 102 дБ, неопределенность в относительных единицах составляет $u_{\text{част}} = 1,88\%$

Неопределенность от наводок в линиях связи была определена следующим образом. С помощью электронного измерителя с входным сопротивлени-

ем 1 МОм, підключеного к линии связи, определен ток, проходящий через него, который составил 0,0001 мА. При замыкании линии связи на датчик, сопротивление которого равно $R_d = 4$ Ом, падение напряжения на нем от этого тока будет составлять $U = 4 \cdot 10^{-4}$ мВ. Таким образом, относительное отклонение напряжения от наводки при максимальном сигнале датчика, равном 1000 мВ, составляет $\Delta_n = 0,4 \cdot 10^{-2}$ %. Причем абсолютное значение данного отклонения имеет аддитивный характер, поскольку не зависит от величины измеримого сигнала. Закон распределения данной неопределенности арксинусоидальный [2], поэтому рассчитанное по типу В значение неопределенности равно:

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

Расчет неопределенности, вносимой средствами измерительной техники, которые входят в систему контроля основывается на известных значениях относительной погрешности (класса точности) стандартных составляющих элементов системы. Данные неопределенности рассчитаны по типу В по известным максимальным отклонениям выходного сигнала каждого средства измерения в отдельности. Эти погрешности, отклонения и соответствующие неопределенности в предположении о равновероятностном распределении погрешности внутри границ равны:

для фильтра заданного диапазона частот относительная приведенная погрешность составляет $\gamma_{\phi} = 0,5\%$, максимальное отклонение $\Delta_{\phi} = 0,194\%$, а неопределенность $u_{\phi} = 0,1121\%$;

для усилителя мощности $\gamma_y = 0,025\%$, $\Delta_y = 0,0968\%$, $u_y = 0,056\%$;

для измеримого микрофона $\gamma_m = 0,05\%$, $\Delta_m = 0,0194\%$, $u_m = 0,01121\%$;

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

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

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

для электронного коммутатора $\gamma_k = 0,09\%$ $\Delta_k = 0,0348\%$, $u_k = 0,0201\%$;

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

Из вышеприведенной спецификации измерений и анализа составляющих вытекает отсутствие корреляционных связей между отдельными факторами влияния на суммарную неопределенность. Поэтому последняя рассчитана путем геометрического суммирования стандартных неопределенностей составляющих и равна:

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

Расширенная неопределенность системы контроля для заданного уровня доверия равного 0,95% с учетом предположения о нормальности закона распределения суммарной погрешности равна:

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

Таким образом, рассчитанная расширенная неопределенность системы контроля дает возможность оценивать результаты измерений акустических и тепловых характеристик излучателей звука с учетом неточности измерений, что в свою очередь позволяет создавать излучатели с более качественным воспроизведением звука.

Список литературы

1. Алдошина И.А. Электроакустические громкоговорители. – М.: Радио и связь, 1989. – 272 с.
2. Новицкий П.В., Зограф И.А. Оценка погрешностей результатов измерений. – Л.: Энергоатом, 1991. – 302 с.
3. Захаров И.П., Кукуш В.Д. Теория неопределенности в измерениях. – Х.: Консум, 2002. – 247 с.

Поступила в редколлегию 6.05.2008

Рецензент: д-р техн. наук, проф. И.П. Захаров, Харьковский национальный университет радиоэлектроники, Харьков.

АНАЛІЗ НЕВИЗНАЧЕНОСТІ ВИМІРЮВАНЬ ТЕПЛОВИХ ХАРАКТЕРИСТИК ВИПРОМІНЮВАЧІВ ЗВУКУ

Чеховский С.А., Витвицька Л.А., Піндус Н.М., Ващишак С.П.

Здійснено аналіз невизначеності вимірювань теплових та акустичних характеристик електродинамічних випромінювачів звуку. здійснено структурний метод шляхом представлення сумарної невизначеності окремими складовими, згідно складеної специфікації вимірювань. аналіз факторів впливу на невизначеність вимірювань проводився експериментально та аналітично.

Ключові слова: система контролю, випромінювач звуку динамічного типу, сумарна невизначеність, теплове поле.

ANALYSIS OF MEASURING VAGUENESS OF MITTERS THERMAL DESCRIPTIONS

Chehovskiy S.A., Vytvytska L.A., Pindus N.M., Vashchyshak S/P.

Analysis of measuring vagueness and acoustic of mitters thermal descriptions is carried out. The decision of task is made by a structural method of presentation the total vagueness by separate constituents, in obedience to specification of measurings. The analysis of influence factors on the vagueness of measuring was conducted experimentally and analytically.

Keywords: checking system, emitter of sound of dynamic type, total vagueness, thermal field.