

УДК 389.534.6

П.В. Бугайцова¹, В.А. Яцук¹, А.А. Костеров²¹Национальный университет «Львовская политехника», Львов, Украина²Государственный научно-исследовательский институт «СИСТЕМА», Львов, Украина

АНОРМАЛЬНОСТЬ ЗАКОНА РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ПРИ ОЦЕНИВАНИИ НЕОПРЕДЕЛЕННОСТИ ЭТАЛОНА ЗВУКОВОГО ДАВЛЕНИЯ В ВОЗДУШНОЙ СРЕДЕ, ПРИ ОПРЕДЕЛЕННЫХ НЕОПРЕДЕЛЕННОСТЯХ ТЕМПЕРАТУРЫ

Проведено моделювання розподілу щільності ймовірності вихідної величини при зміні неопределенности температури від 0 до 5 °С на частотах до 10 кГц при об'ємі вибірки 100000 спостережень методом Монте-Карло. З отриманих результатів можна зробити висновок, що з збільшенням неопределенности оцінки температури, змінюється вигляд закону розподілу вихідної величини і вже для значень цієї неопределенности в 5 градусів, закон розподілу вихідних величин суттєво відрізняється від нормального закону і наближається до трапецеєвидного.

Ключевые слова: эталон, неопределенность, оценивание, температура, выборка, частота.

Введение

Акустические измерения в Украине, как и в других развитых странах, применяются во всех отраслях народного хозяйства, а также в медицине, биологии, охране окружающей среды, в науке. Невозможно представить без акустических измерений такие отрасли как звукозапись, связь, контроль шумовых характеристик самолетов, машин, охрану труда, диагностику слуха. В связи с развитием международного сотрудничества, вступлением в Мировую организацию торговли и постепенным вхождением Украины в Европейское и мировое экономическое пространство, расширяются масштабы применения акустических измерений, значительно растут требования к точности результатов измерения [1].

Постановка задачи исследований. Для повышения точности акустических измерений необходимо учитывать все больше факторов, которые влияют на результат измерения, строить более адекватные модели измерений, объект измерения рассматривать, как случайную величину или случайный процесс, его оценку делать на основе многократных наблюдений. В результате модельные функции осложняются и становятся нелинейными.

Использование аналитического метода является слишком трудоемким и принципиально нецелесообразным. Поэтому были внедрены числовые методы оценки точности измерений: метод числового дифференцирования и метод имитационного моделирования (метод Монте-Карло). Метод числового дифференцирования является гибче и менее трудоемким по сравнению с аналитическим методом. Он дает возможность получить более корректную априорную оценку характеристик точности во всем пространстве входных параметров, дополнительную информацию о модельной функции, оценить степень влияния отдельных входных величин на конечный результат и спрогнозировать априорную оценку неопределенности при тех или других усло-

виях. Однако в методе числового дифференцирования, как и в аналитическом методе, считается, что исходная величина распределена по нормальному закону. Действительно, из предельной теоремы вытекает, что зортка распределения плотности вероятности следует к нормальному закону с увеличением числа входных величин [2]. Но именно это условие в ряде случаев не выполняется. Найти границы, в пределах которых еще можно использовать приближение к нормальному распределению, можно экспериментальным путем, набрав необходимый объем данных. Однако, для получения статистически достоверных данных, особенно на краях распределения, необходимо набрать несколько тысяч наблюдений, что не реально ни из организационной, ни из технической, ни с экономической точки зрения. Решить эту задачу можно лишь путем имитационного моделирования процесса измерения.

Цель исследований. Целью данной статьи является исследование возможных изменений в измерении неопределенности воссоздания единицы звукового давления на эталоне, в зависимости от неопределенности измерения температуры.

Метод имитационного моделирования

Идея имитационного моделирования заключается в следующем: в модельную функцию каждый раз при расчете исходной измеряемой величины подставляются случайные значения входных величин, каждая из которых варьирует вокруг своего номинального значения в пределах интервала неопределенности в соответствии со своим законом распределения плотности вероятности с учетом корреляционных связей. Коэффициент корреляции также рассматривается, как случайная величина, которая варьирует вокруг своего среднего значения.

Полученный в процессе многократных наблюдений массив значений исходной величины обрабатывается статически. Устанавливается фактическое

распределение исходной (измеряемой) величины, которое несет в себе полную информацию о результате измерения. Из него можно получить среднее M , дисперсию D , среднее квадратичное отклонение (СКВ) и при необходимости, коэффициент асимметрии S_k , эксцесс и другое, не удаваясь любых дополнительных предположений. В частности, непосредственно из интегрального распределения при выбранном уровне доверительной вероятности можно получить надежную оценку расширенной неопределенности при произвольном законе дифференциального распределения исходной величины, рис. 1.

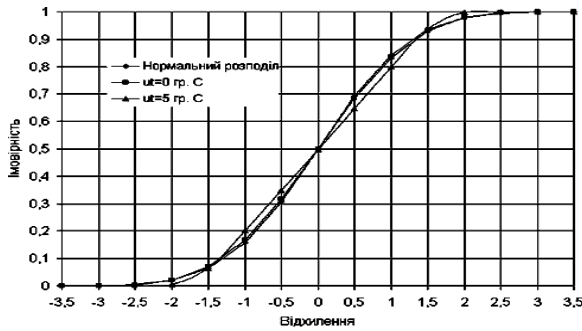


Рис. 1. Зависимость интегрального распределения исходной величины при равномерном распределении входных величин от неопределенности измерения температуры при 100000 «наблюдений»

При этом отпадает потребность в предыдущем расчете коэффициента охватывания. Напротив, если возникает необходимость иметь информацию о коэффициенте охватывания, то его можно получить через определенную приведенным выше способом расширенную неопределенность.

Соответственно расширена неопределенность при уровне доверительной вероятности $P = 0,95$ (рис. 1) в первом случае равняется 1,93 (значение СКВ), а во втором – 1,7. Полученное в первом случае значение коэффициента охватывания $= 1,93$, близкое к заказному $k = 2$, а при увеличении t к 5°C оно существенно уменьшается до 1,7.

Результаты имитационного моделирования

Общая методика оценивания неопределенности измерений при калибровании на государственном первичном эталоне единицы звукового давления в воздушной среде – методом взаимности в квазистатическом поле («за давлением») в камере малого объема, регламентированный международным стандартом ИЕС 61094-2 [4, 5].

Согласно ИЕС 61094-2 нужно подавать чувствительность микрофона при таких опорных условиях ($t = 23^\circ\text{C}$, $H = 101325\text{ Па}$, $H_r = 50\%$). Однако в действительности условия окружающей среды быстро изменяются, внося свои коррективы в результат оценки исходной величины неопределенности эталона звукового давления. Было проведено имитационное мо-

делирование методом Монте-Карло при изменении неопределенности температуры, давления и влажности при 100000 «наблюдений». Для получения достоверного значения расширенной неопределенности, которая должна выражаться не больше как двумя значимыми цифрами, необходимо иметь выборку не меньше как 10000 «наблюдений». Кривая распределения есть гладко (рис. 2), при объемах выборки не менее 10 тыс. и 100 тыс. «наблюдений».

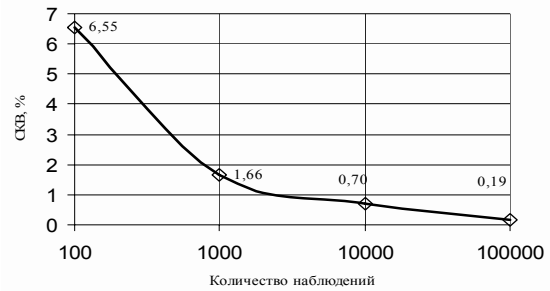


Рис. 2. Зависимость СКВ расширенной неопределенности от числа «наблюдений»

Из результатов проведенного имитационного моделирования при изменении неопределенности давления и влажности (соответственно рис. 3 и рис. 4) для частот 250 Гц и 10 кГц, закон распределения входных величин существенно не отклоняется от нормального и не изменяет свой вид.

Из результатов проведенного имитационного моделирования при изменении неопределенности давления и влажности (соответственно рис. 3 и рис. 4) для частот 250 Гц и 10 кГц, закон распределения входных величин существенно не отклоняется от нормального и не изменяет свой вид.

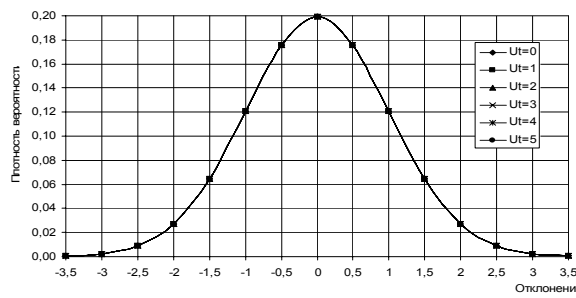
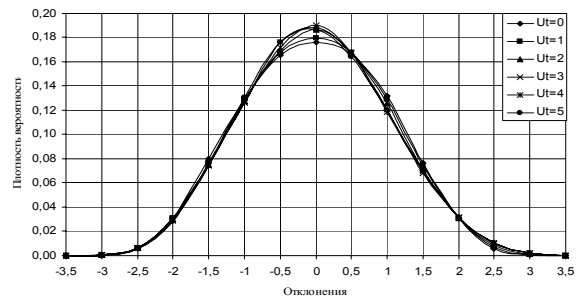


Рис. 3. Зависимость дифференциального распределения исходной величины при равномерном распределении входных величин при 100000 «наблюдений» от неопределенности измерения температуры камеры связи на разных частотах: а – 10 кГц; б – 250 Гц

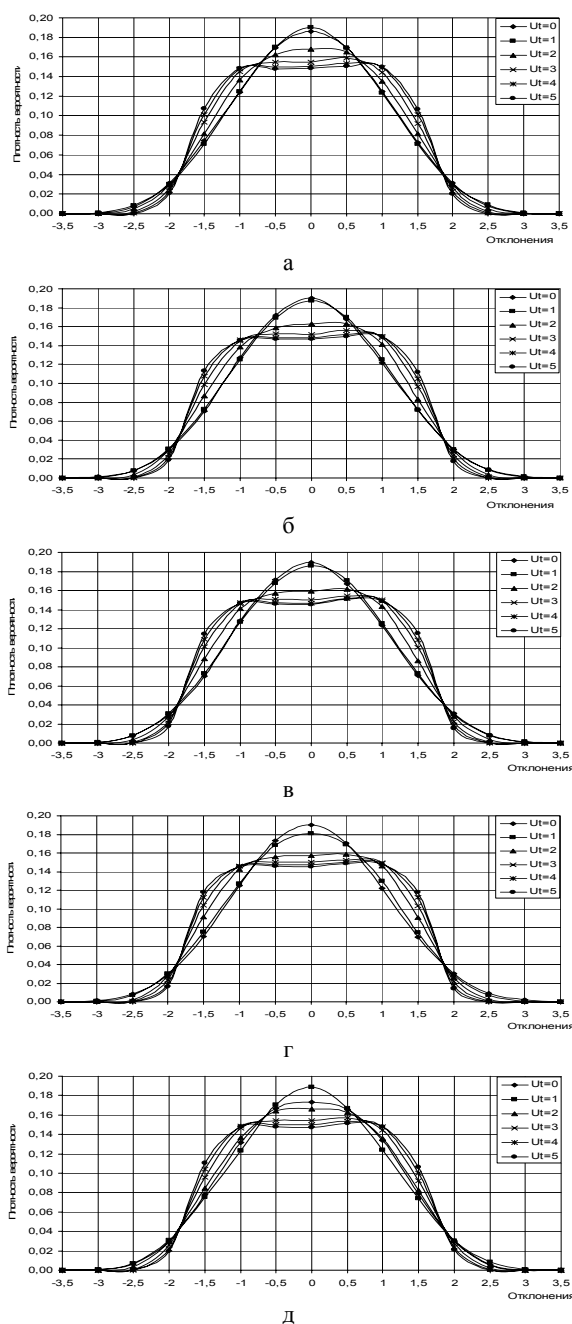


Рис. 4. Зависимость дифференциального распределения исходной величины при равномерном распределении входных величин при 100000 "наблюдений" от неопределенности измерения температуры камеры связи на разных частотах : а – 3,15 кГц; б – 4 кГц; в – 5 кГц; г – 6,3 кГц; д – 8 кГц

АНОРМАЛЬНІСТЬ ЗАКОНУ РОЗПОДІЛУ ПРИ ОЦІНЮВАНІ НЕПЕВНОСТІ ЕТАЛОНУ ЗВУКОВОГО ТИСКУ В ПОВІТРЯНОМУ СЕРЕДОВИЩІ, ПРИ ПЕВНИХ НЕВИЗНАЧЕНОСТЯХ ТЕМПЕРАТУРИ

Бугайцова П.В., Яцук В.О., Костеров О.О.

Проведено моделювання розподілу густини ймовірності вихідної величини при зміні невизначеності температури від 0 до 5 °С на частотах до 10 кГц при об'ємі вибірки 100000 спостережень методом Монте-Карло. Зі збільшенням невизначеності оцінки температури, змінюється вид закону розподілу вихідної величини і вже для значень цієї невизначеності в 5 °С, закон розподілу вихідної величини суттєво відрізняється від нормального і наближається до трапецеїдного.

Ключові слова: еталон, невизначеність, оцінювання, температура, вибірка, частота.

ABNORMALNESS OF PROBABILITY DENSITY OF UNCERTAINTY OF STANDARD OF PRESSURE IN AN AIR ARE CONSIDERED. AT A CHANGE OF UNCERTAINTY OF TEMPERATURE

Bugaitsova P., Yatsuk V., Kosterov O.

The simulation of distribution of probability density of output quantity have been carried out by the Monte-Carlo method for variation of uncertainty of temperature from 0 up to 5 degrees on frequencies up to 10 kHz for 100000 samples. With increase in uncertainty of an estimation of temperature, the law of distribution of output quantity changes, and for values of this uncertainty in 5 degrees, this law substantially differs from the normal law and converges to the trapezoidal one.

Keywords: standard, vagueness, evaluation, temperature, selection, frequency.

Выводы

Из анализа зависимости дифференциального распределения исходной величины можно сделать выводы:

- с увеличением неопределенности измерения температуры эталона звукового давления изменяется закон распределения исходной величины и уже для значений этой неопределенности температуры к 5 °С закон распределения исходной величины существенно отклоняется от нормального следует к трапецевидному;
- необходимо учитывать отклонение температуры при оцениваемая неопределенность звукового эталона аналитическим путем за результатами измерения текущих значений температуры, которая является экономически выгоднее от термостатирования помещения;
- измерение температуры проводить на каждой частоте характеристики;
- закон распределения исходной величины максимально приближен к нормальному при условии, что погрешность измерения температуры не превышает 0,5 °С;
- рекомендовать измерять температуру микрофонов и камеры связи с помощью малогабаритных полупроводниковых сенсоров температуры.

Список литературы

1. Колтак Б.Д., Пасько Е.В., Чалий В.П. Состояние и проблемы метрологического обеспечения акустических измерений в Украине // "Метрология и измерительная техника". – Х.: ХДНДИМ. – 2002. – Т. 2. – С. 105-107.
2. Корн Грамма, Корн Т. Справочник по математике для научных работников. – М.: Наука, 1968. – 720 с.
3. Соболев И.М. Численные методы Монте-Карло. – М.: Наука, 1973. – 460 с.
4. IEC 61094-2:1992. Int. Standard. "Primary method for pressure calibration of laboratory standard microphones by the reciprocity technique". – 1992. (Международный стандарт. Первичный метод калибрования "за давлением" лабораторных стандартных микрофонов методом взаимности).
5. Методика оцінювання невизначеності вимірювань при відтворенні/калібруванні на державному первинному еталоні одиниці звукового тиску в повітряному середовищі ДЕТУ 10-01-00 – ДПНДІ "Система". – Львів, 2004. – 120 с.

Поступила в редколлегию 4.04.2008

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