

УДК 534.222.2:692.5

Э. В. Ретлинг**ОЦЕНКА ТОЧНОСТИ ИЗМЕРЕНИЙ ИЗОЛЯЦИИ УДАРНОГО ШУМА
ПЕРЕКРЫТИЯМИ ЗДАНИЙ**

Изложена методика оценки точности измерений ударного шума. Рассмотрены систематические и случайные ошибки измерений при использовании аппаратуры с аналоговым способом обработки сигналов. Предлагаемую методику можно использовать и для аппаратуры с цифровой обработкой сигналов.

К л ю ч е в ы е с л о в а: ошибки, дисперсия, ударный шум, измерение, перекрытия зданий.

The method of assessment of accuracy in measurements of impact sound is given. System and probability errors in measurements when using the equipment with analogue signal treatment technique are considered. This method can also be used for equipment with digital treatment technique.

К e y w o r d s: errors, dispersion, impact sound, measurement, floor slabs.

Мы будем оценивать точность измерений приведенного уровня ударного шума с учетом одновременного действия систематических и случайных ошибок. Предлагаемая методика разработана для аналоговой аппаратуры. Используя ее, можно дать оценку погрешности измерений и для аппаратуры с цифровой обработкой сигналов.

Систематические ошибки. При измерении приведенного уровня ударного шума возникают систематические ошибки, создаваемые как приемным, так и передающим трактами.

Рассмотрим ошибки приемного тракта. Они складываются из погрешностей микрофона и погрешностей спектрометра. При пользовании микрофонами 4131 и 4132 фирмы «Брюль и Кьер» возникают наибольшие абсолютные ошибки вследствие: неравномерности частотной характеристики $\Delta_1 = \pm 1$ дБ; изменения поляризованного напряжения $\Delta_2 = \pm 0,5$ дБ; колебаний атмосферного давления на $\pm 6666,1$ Па $\Delta_3 = \pm 0,1$ дБ; погрешности калибровки микрофона $\Delta_4 = \pm 0,2$ дБ; потерь в катодном повторителе $\Delta_5 = \pm 0,2$ дБ. Влиянием изменения температуры пренебрегаем (0,01 дБ на 1 °С). Все перечисленные ошибки взяты из инструкции к микрофонам 4131 и 4132.

При использовании спектрометра типа 2112 фирмы «Брюль и Кьер» возникают наибольшие абсолютные ошибки, равные:

у делителя meter range $\Delta_6 = \pm 0,15$ дБ;

у делителя range multiplier $\Delta_7 = \pm 0,10$ дБ;

у детектора rms $\Delta_8 = \pm 0,5$ дБ;

у стрелочного прибора $\Delta_9 = \pm 0,2$ дБ;

$\Delta_{10} = \pm 0,2$ дБ при установке фактора коррекции микрофона;

$\Delta_{11} = \pm 0,3$ дБ при изменении напряжения сети на $\pm 10\%$;

$\Delta_{12} = \pm 0,4$ дБ вследствие изменения эффективной ширины полосы фильтров по отношению к идеальному фильтру.

Абсолютные ошибки взяты из инструкции к спектрометру типа 2112.

Рассмотрим погрешности передающего тракта. При использовании топальной машины типа 3204 фирмы «Брюль и Кьер» возникают наибольшие абсолютные ошибки, равные: $\Delta_{13} = \pm 0,1$ дБ из-за изменения высоты падения молотков на ± 1 мм; $\Delta_{14} = \pm 0,1$ дБ вследствие погрешности в весе молотков. Погрешностью, возникающей из-за изменения радиуса закругления ударной части молотков, пренебрегаем. Все абсолютные ошибки взяты из инструкции к топальной машине типа 3204.

Ошибками, возникающими при измерении реверберационной поправки, пренебрегаем, так как суммарное среднеквадратическое отклонение составляет менее 0,1 дБ.

Случайные ошибки. Приведенный уровень ударного шума определяется по формуле

$$L_p = L + C + 10 \lg 3,$$

где L — уровень звукового давления в 1/3 октавной полосе частот в камере низкого уровня (КНУ); C — реверберационная поправка,

$$C = 10 \lg \frac{0,16V}{A_0 T},$$

где M — объем КНУ, T — время реверберации в КНУ, $A_0 = 10 \text{ м}^2$.

При m измерениях уровня шума L в КНУ и n измерениях реверберационной поправки среднее арифметическое значение L_p равно

$$\bar{L}_p = \bar{L} + \bar{C} + 4,8 \text{ дБ},$$

$$\text{где } \bar{L} = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m L_i; \bar{C} = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n 10 \lg \frac{0,16V}{AT_j}.$$

Случайные ошибки можно разделить на объективные и субъективные погрешности. Результаты измерений L и C можно представить так:

$$L = L_{tr} + L_{ob} + L_{sub},$$

$$C = C_{tr} + C_{ob} + C_{sub}.$$

где индекс tr относится к истинным значениям измеряемых величин; ob — к случайным ошибкам, вызванным объективными факторами; sub — к случайным ошибкам, вызванным субъективными факторами.

Если измерение уровня L проводится одним сотрудником в m_1 точках при одном положении топальной машины, то выборочная дисперсия среднего арифметического $\bar{L}$ составит

$$s_{\bar{L}obm}^2 = \frac{s_{obm}^2}{m_1},$$

где $s_{\bar{L}obm}^2 = \frac{1}{m_1 - 1} \sum_{i=1}^{m_1} (L_i - \bar{L})^2$ есть выборочная дисперсия величины L по объему КНУ.

При измерении L в какой-либо точке p КНУ при m_2 положениях топальной машины выборочная дисперсия среднего арифметического $\bar{L}_p$ будет

$$s_{Lp}^2 = s_{Lobt}^2 = \frac{s_{Lobt}^2}{m_2},$$

$$\text{где } s_{Lobt}^2 = \frac{1}{m_2 - 1} \sum_{i=1}^{m_2} (L_{pi} - \bar{L}_p)^2.$$

При измерении уровня L в какой-либо точке p КНУ m_3 сотрудниками или при расшифровке записи L m_3 сотрудниками выборочная дисперсия среднего арифметического $\bar{L}$ составит

$$s_{Lsub}^2 = \frac{s_{Lsub}^2}{m_3}, \quad s_{Lsub}^2 = \frac{1}{m_3 - 1} \sum_{i=1}^{m_3} (L_i - \bar{L})^2.$$

Для выборочной дисперсии среднего арифметического реверберационной поправки $\bar{C}$ при ее измерении одним сотрудником в n_1 точках имеем

$$s_{\bar{C}ob}^2 = \frac{s_{\bar{C}ob}^2}{n_1},$$

где $s_{\bar{C}ob}^2 = \frac{1}{n_1 - 1} \sum_{i=1}^{n_1} \left(10 \lg \frac{C_i}{\bar{C}} \right)^2$ есть выборочная дисперсия величины C по объему камеры.

Если запись времени реверберации, измеренной в какой-либо точке p объема камеры, расшифрована n_2 сотрудниками, то выборочная дисперсия среднего арифметического величины $\bar{C}$ будет

$$s_{\bar{C}sub}^2 = \frac{s_{\bar{C}sub}^2}{n_2},$$

$$\text{где } s_{\bar{C}sub}^2 = \frac{1}{n_2 - 1} \sum_{i=1}^{n_2} \left(10 \lg \frac{C_{pi}}{\bar{C}_p} \right)^2.$$

Суммарная предельная погрешность измерений. Выборочная дисперсия средней величины приведенного уровня ударного шума $\bar{L}_n$

$$s_{Ln}^2 = s_{Lobt}^2 + s_{Lobt}^2 + s_{Lsub}^2 + s_{\bar{C}ob}^2 + s_{\bar{C}sub}^2 + \sigma_{Lsist}^2,$$

где σ_{Lsist}^2 — суммарная дисперсия систематических погрешностей, рассматриваемых как случайные величины, при измерении уровня шума $\bar{L}$.

Установлено, что предельная суммарная погрешность измерений L_p подчинена нормальному закону распределения, а систематическая погрешность имеет равномерный закон распределения.

С вероятностью p_1 верхняя граница дисперсии $\tilde{\sigma}_{Lp}^2$ средней величины приведенного уровня ударного шума будет

$$\tilde{\sigma}_{Lp}^2 = \tilde{\sigma}_{Lpsl}^2 + \sigma_{Lpsist}^2,$$

где $\sigma_{Lpsl}^2 = \gamma_{Lobm}^2 s_{Lobm}^2 + \gamma_{Lobt}^2 s_{Lobt}^2 + \gamma_{Lsub}^2 s_{Lsub}^2 + \gamma_{Cob}^2 s_{Cob}^2 + \gamma_{Csub}^2 s_{Csub}^2$,

$$\sigma_{Lpsist}^2 = \frac{1}{3} \sum_{i=1}^n \Delta_i^2.$$

Здесь мы пренебрегаем различием между истинной дисперсией σ_{Lpsist}^2 и верхней границей ее выборочной дисперсии. Если измерения производятся N раз, то

$$\sigma_{LpN}^2 = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \sigma_{Lpsl}^2 + \sigma_{Lpsist}^2.$$

Предельная суммарная погрешность измерения величины приведенного уровня ударного шума с вероятностью 0,95 составит

$$|\bar{L}_p \max| = 2,17 \tilde{\sigma}_{Lp}.$$

Результаты исследования точности измерения ударного шума. Исследования точности измерения приведенного уровня ударного шума проводились в больших акустических камерах. Объем КНУ камер составлял 69 м^3 . Для определения погрешности L_{obm} одним сотрудником были измерены уровни звукового давления в 20 точках КНУ при каждом из трех положений топальной машины. Для определения погрешности L_{obt} одним сотрудником измерялись уровни звукового давления в трех точках КНУ. При этом каждый раз топальная машина устанавливалась в 20 точках на железобетонной плите плотностью 290 кг/м^2 , разделявшей КНУ и камеру высокого уровня (КВУ). Верхние границы объективных среднеквадратических отклонений $\tilde{\sigma}_{Lpobm}^2$ и $\tilde{\sigma}_{Lpobt}^2$ приведенного уровня ударного шума определены с доверительной вероятностью $p_1 = 0,98$. Существенное значение имеет погрешность L_{obt} . Ее необходимо учитывать при оценке суммарной ошибки измерений. Дисперсия систематической погрешности составила $\sigma_{Lpsist}^2 = 0,66 \text{ дБ}^2$.

В табл. 1 представлена предельная суммарная погрешность однократного измерения приведенного уровня ударного шума одним сотрудником ($m_3 = n_2 = 1$).

Увеличение количества измерений уровней звукового давления и установки топальной машины более 10, а времени реверберации более 5 не дает заметного уменьшения суммарной предельной погрешности. Наиболее рациональным является измерение уровня звукового давления и установка топальной машины в 5 точках, а для реверберационной поправки — в 3 точках. При неограниченном увеличении m_1 , m_2 и n_1 величина суммарной предельной погрешности обусловлена наличием только субъективных и систематических ошибок при измерении приведенного уровня ударного шума одним

сотрудником. Дальнейшего уменьшения суммарной предельной погрешности целесообразно добиваться увеличением количества измерений приведенного уровня ударного шума N (см. табл. 2).

Таблица 1

Суммарная предельная погрешность измерения приведенного уровня ударного шума
($m_3 = n_2 = 1, N = 1$)

Частота, Гц	Суммарная предельная погрешность, дБ				
	$m_1 = 1$	$m_1 = 3$	$m_1 = 5$	$m_1 = 10$	$m_1 = \infty$
	$m_2 = 1$ $n_1 = 1$	$m_2 = 3$ $n_1 = 3$	$m_2 = 5$ $n_1 = 3$	$m_2 = 10$ $n_1 = 5$	$m_2 = \infty$ $n_1 = \infty$
160	6,6	4,5	3,9	3,4	2,6
200	6,8	4,7	4,1	3,6	3,0
250	5,1	3,6	3,4	3,1	2,6
315	4,7	3,3	2,9	2,6	2,2
400	4,7	3,5	3,0	2,8	2,6
500	3,6	2,7	2,5	2,3	2,1
630	3,8	3,1	2,9	2,6	2,4
800	3,6	2,7	2,5	2,3	2,1
1000	4,2	3,1	2,9	2,6	2,4
1250	4,0	3,0	2,7	2,5	2,3
1600	4,4	3,3	3,0	2,6	2,4
2000	5,0	3,5	3,1	2,7	2,4
2500	5,0	3,4	3,2	2,9	2,6
3150	5,5	3,6	3,3	2,7	2,4
4000	6,3	4,2	3,6	3,3	2,6

Таблица 2

Суммарная предельная погрешность измерения приведенного уровня ударного шума
($m_1 = m_2 = 5, n_1 = 3, m_3 = n_2 = 1$)

Частота, Гц	Суммарная предельная погрешность, дБ				
	$N = 1$	$N = 2$	$N = 3$	$N = 4$	$N = \infty$
160	3,9	3,0	2,7	2,5	1,8
200	4,1	3,2	3,6	3,0	1,8
250	3,4	2,7	2,4	2,1	1,8
315	2,9	2,4	2,2	2,0	1,8
400	3,0	2,5	2,2	2,0	1,8
500	2,5	2,3	2,2	2,0	1,8
630	2,9	2,4	2,3	2,0	1,8
800	2,5	2,2	2,1	2,0	1,8
1000	2,9	2,5	2,3	2,1	1,8
1250	2,7	2,4	2,3	2,0	1,8
1600	3,0	2,5	2,3	2,1	1,8
2000	3,1	2,5	2,3	2,1	1,8
2500	3,2	2,6	2,4	2,1	1,8
3150	3,3	2,7	2,4	2,1	1,8
4000	3,6	2,9	2,5	2,2	1,8

При неограниченном возрастании N величина суммарной предельной погрешности будет определяться в основном систематической ошибкой и приближаться к значению 1,8 дБ. Если при проведении нескольких измерений время реверберации определяется n_1 раз только при одном из измерений, то суммарная предельная погрешность увеличивается примерно на 0,2 дБ.

Итак, с доверительной вероятностью 0,95 оптимальным является трехкратное измерение приведенного уровня ударного шума каждый раз не менее чем в 5 точках при 5 положениях топальной машины. При этом каждой точке установки микрофона соответствует одно положение топальной машины, а реверберационная поправка определяется в трех точках.

Если приведенный уровень ударного шума измеряется в трех точках при каждом из трех положений топальной машины, то суммарная предельная погрешность оказывается на 0,2 дБ больше, чем по рекомендуемой методике ($N = 1$, $m_1 = m_2 = 5$, $n_1 = 3$). Предлагаемая методика позволяет производить измерения с минимальной трудоемкостью и наибольшей точностью.

© Ретлинг Э. В., 2016

*Поступила в редакцию
в мае 2016 г.*

Ссылка для цитирования:

Ретлинг Э. В. Оценка точности измерений изоляции ударного шума перекрытиями зданий // Интернет-вестник ВолгГАСУ. 2016. Вып. 1—2(41). Ст. 11. URL: <http://www.vestnik.vgasu.ru/>

For citation:

*Retling E. V. [Assessment of accuracy in measurements of impact sound isolation by floor slabs of buildings]. *Internet-Vestnik VolgGASU*, 2016, no. 1—2(41), paper 11. URL: <http://www.vestnik.vgasu.ru/>*