

## МЕТОДЫ ОЦЕНКИ ХАРАКТЕРИСТИК НАПРАВЛЕННОСТИ ДЛЯ ОПТИМИЗАЦИИ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ЗВУКА РУПОРНЫМИ ГРОМКОГОВОРИТЕЛЯМИ

© 2019 О. В. Кочнов, А. В. Кочегаров, А. С. Мальцев, С. А. Бабкин, С. А. Кончаков

ООО «ЕскортГрупп» (Москва, Россия)

Воронежский институт – филиал Ивановской пожарно-спасательной академии ГПС МЧС России (Воронеж, Россия)

В данной работе рассматриваются недостатки оценочных характеристик громкоговорителей используемых в системах звуковой (речевой) трансляции, описаны основные параметры и особенности использования, представлены недостатки. Приведен пример расчета уровня звукового давления, учитывающий характеристики направленности источника, и эффективной дальности звукового давления. Доказано, что величина индекса направленности (ИН), обусловлена дополнительными дивергенциями на высоких частотах и будет резко отличаться от практически измеренных. Выявлено, что в случае озвучивания открытых площадок, диаграммы направленности (ДН) рупорных громкоговорителей удобней всего представлять (аппроксимировать) эллипсами, у которых актуальными являются 2 параметра – ШДН и эффективная дальность. Выполненные исследования показывают, что в случаях нахождения параметра ИН, для практического использования необходимо пользоваться параметром называемым ширина диаграммы направленности – ШДН. Это дает возможность определить минимальную (оптимальную) мощность включения рупорных громкоговорителей для обеспечения максимальной эффективности озвучивания открытой площадки и определить оптимальный угол поворота.

**Ключевые слова:** оценочные характеристики, индекс направленности, эффективная дальность, коэффициент осевой концентрации, оптимизация распределения звука.

### Введение

Рупорный громкоговоритель – техническое средство, широко применяемое для озвучивания внешних территорий. К основным достоинствам рупорного громкоговорителя можно отнести следующие его характеристики:

- высокую эффективность;
- высокую надежность (прочность, вандало-устойчивость);
- климатическое исполнение (не ниже IP 54).

Недостатками рупорного громкоговорителя являются:

- зауженная амплитудно-частотная характеристика,
- зауженная диаграмма (характеристика) направленности (ДН).

Однако, даже недостатки, при грамотном проектировании можно обратить в преимущества. Так, например, при правильной расстановке рупорных громкоговорителей узкая ДН становится мощным инструментом, позволяющим формировать акустический дизайн, см. далее.

Высокая эффективность (по сути КПД), обеспечивается конструктивными особенностями рупорного громкоговорителя, в котором рупор является согласующим элементом между драйвером (излучателем) и окружающей средой. Драйвер – электромагнитная катушка, жестко связанная с рупором, преобразует электрический сигнал в звуковую энергию, поступающую и дополнительно усиливаемую в рупоре. Усиление звуковой энергии осуществляется за счет специальной геометрической формы, обеспечивающей высокую концентрацию звуковой энергии внутри рупора. Использование в конструкции рупора дополнительного концентрического канала позволяет существенно уменьшить его размеры при сохранении

---

Кочнов Олег Владимирович – ООО «ЕскортГрупп» заместитель генерального директора, okochnov@yandex.ru.

Кочегаров Алексей Викторович – Воронежский институт-филиал Ивановской пожарно-спасательной академии ГПС МЧС России, д-р техн. наук, профессор, kochiegharov77@mail.ru.

Мальцев Алексей Сергеевич – Воронежский институт-филиал Ивановской пожарно-спасательной академии ГПС МЧС России, канд. техн. наук, доцент, m.zin 1@mail.ru.

Бабкин Сергей Александрович – Воронежский институт-филиал Ивановской пожарно-спасательной академии ГПС МЧС России, канд. техн. наук, доцент, babkinsk@mail.ru.

Кончаков Сергей Александрович – Воронежский институт-филиал Ивановской пожарно-спасательной академии ГПС МЧС России канд. техн. наук, доцент, konchakov82@mail.ru.

качественных характеристик. Рупорный громкоговоритель работает следующим образом: электрический звуковой сигнал поступает на вход компрессионного драйвера, преобразующего его в акустический сигнал на выходе. Экспоненциальная форма рупора, обеспечивает высокое звуковое давление. Драйвер состоит из жесткой металлической диафрагмы, приводимой в движение звуковой катушкой намотанной на цилиндрический (или кольцевой) магнит. Звук в данной системе распространяется от драйвера, проходя через концентрический канал, экспоненциально усиливается в рупоре, после чего поступает на выход.

### Материалы и методы

Наиболее важные характеристики громкоговорителей используемых в системах звуковой (речевой) трансляции:

- $P_0$ , дБ – (характеристическая) чувствительность громкоговорителя – уровень звукового давления, развиваемого громкоговорителем на рабочей оси на расстоянии 1 м, от раскрытия, при подведении к нему мощности 1 Вт;

- $P_{эм}$ , Вт – паспортная мощность громкоговорителя, как правило, максимально не искажаемая мощность, воспроизводимая громкоговорителем;

- ШДН – ширина диаграммы направленности громкоговорителя приводимая в градусах;

- Эффективно воспроизводимый диапазон частот – частотный диапазон, в пределах которого звуковое давление понижается не более чем на определенную величину, называемую неравномерностью АЧХ (и указываемую в паспорте);

- Неравномерность АЧХ – разница между минимальным и максимальным давлением, в указанном диапазоне частот.

Зная чувствительность и паспортную мощность громкоговорителя, можно рассчитать звуковое давление, развиваемое громкоговорителем, при подведении к нему определенной (номинальной) мощности:

$$P_{об} = P_0 + 10 \log P_{эм} . \quad (1)$$

Зависимость данной величины от частоты называется частотной характеристикой звукового давления (ЧХЗД), по простому АЧХ.

На рисунке 1 приведена АЧХ рупорного громкоговорителя HS-50T при подведении к нему мощностей 25/50 Вт.

Из рисунка 1 видно, что на частоте 1 кГц, данный громкоговоритель развивает мощность 126 дБ, на 50Вт и 123 дБ на 25 Вт, имеет эффективный частотный диапазон: 0,3-3кГц, с неравномерностью 15дБ (12%), что соответствует требованиям ГОСТ 42.3.01.2014, обеспечивая при данной неравномерности слоговую разборчивость не ниже 95%, а это 100% словесная разборчивость.



Рисунок 1. ЧХЗД рупорного громкоговорителя HS-50T, при подведении к нему мощностей 25/50Вт.

Одними из наиболее проблематичных для использования (в расчетах) являются параметры, связанные с характеристиками

направленности громкоговорителя. У большинства инсталляторов и проектировщиков, на сегодняшний день, нет не только единого,

но и достаточно четкого представления, о том в каком виде предоставляется и как учитывается характеристика направленности.

Рассмотрим определения из ГОСТ Р 53575-2009 [5], пп.3,5,8:

**Характеристика направленности:** Зависимость звукового давления, развиваемого громкоговорителем на частоте или в полосе частот со среднегеометрической частотой в точке свободного поля, находящейся на определенном расстоянии от рабочего центра, от угла между рабочей осью и направлением на указанную точку.

И многие производители действительно представляют характеристику направленности, как и положено, в полярных координатах, но как работать с этой характеристикой не вполне понятно. Проблему запутывает другая характеристика, сопряженная с данной, [5] пп. 3.5.10.

**Коэффициент осевой концентрации:** Отношение квадрата звукового давления, развиваемого громкоговорителем, измеренного на частоте или в полосе частот со среднегеометрической частотой в условиях свободного поля на рабочей оси на определенном расстоянии от рабочего центра громкоговорителя, к среднему по сфере, в центре которой находится громкоговоритель, квадрату звукового давления, измеренному при тех же условиях и на том же расстоянии от рабочего центра.

А сложность, собственно, вот в чем. Уровень звукового давления, учитывающий характеристики направленности источника (расчет уровня звукового давления в опре-

деленном направлении), согласно, например, [12] может быть рассчитан:

$$L_{\text{дб}} = P_0 + 10 \cdot \log \frac{\xi \cdot \xi_{\theta} \cdot P_{\text{ем}}}{\Omega \cdot r^2}, \quad (2)$$

где  $P_0$ , дБ – звуковое давление, развиваемое громкоговорителем на расстоянии 1м. в точке, выбранной на рабочей оси громкоговорителя (SPL);

$P_{\text{ем}}$  – мощность громкоговорителя, Вт;

$\xi$  – коэффициент осевой концентрации [5];

$\xi_{\theta}$  – коэффициент направленности [12];

$\Omega$  – пространственный угол излучения источника, рад;

$r$  – расстояние от громкоговорителя до РТ, м.

Величина  $10 \log(\xi)$ , определена и в [5], где она называется индексом направленности (ИН). Но для практических расчетов, этой формулой пользоваться нельзя, так как практически у всех производителей величина SPL указана уже с (фактическим) учетом ИН. Другими словами, при использовании данной формулы, результаты будут резко отличаться от практически измеренных.

Так, на рисунке 2 изображена диаграмма направленности рупорного громкоговорителя HS-50T, измеренная в лабораторных (сплошные кривые) и реальных (на испытательном полигоне – кривые с маркерами) условиях на мощности 25/50Вт на частотах 1/4 кГц.



Рисунок 2. Диаграмма направленности рупорного громкоговорителя HS-50T, измеренного в лабораторных и реальных условиях на мощности 25/50 Вт.

Из диаграммы, в частности следует, что направленность громкоговорителя, измеренная в реальных условиях не только притупляется (чего от нас требует операция логарифмирования согласно (2)), но и наоборот обостряется, что м.б. объяснено, ну, например дополнительными дивергенциями на высоких частотах. Во всяком случае, мы четко видим, что для расчета звукового давления при каком-либо отклонении, необходим другой метод, а именно, в формуле (1) достаточно значение  $P_0$  заменить на значение  $P_{\theta}$ , где последнее – звуковое давление на определенном (заданном) угле раскрытия – значение измеренное (полученное) в лабораторных условиях на расстоянии 1 м от геометрического центра громкоговорителя. И далее, нам остается только рассчитать уменьшение звукового давления на расстоянии (см. ГОСТ 31295.2-2005).[3]

Так как не все производители предоставляют адекватные ДН, очень удобным для практического использования становится параметр называемый ширина диаграммы направленности – ШДН.

В международной практике (IEC 268-5-2000) этот параметр носит название coverage angle – угол покрытия, иногда называемый beamwidth (-6dB) – ширина луча при спаде на -6дБ. Данный параметр можно интерпретировать, как угол, в пределах которого звуковое давление уменьшается не более чем на 6дБ, относительно рабочей оси. Параметр ШДН, очень давно и активно используется

(нами) на практике, например при расстановке громкоговорителей в помещении.

В случае озвучивания открытых площадок, диаграммы направленности (ДН) рупорных громкоговорителей удобней всего представлять (аппроксимировать) эллипсами [12], у которых актуальными являются 2 параметра – ШДН и эффективная дальность, под которой будем подразумевать следующее:

Эффективная дальность  $D_{эф}$ , м – расстояние от громкоговорителя до РТ, на котором звуковое давление громкоговорителя превышает уровень окружающего шума на 15 дБ(А). Численно данное определение можно записать (представить) так:

$$D_{эф} = 10^{0,05(P_{об} - УШ - 15)}, \quad (3)$$

где  $P_{об}$  – уровень звукового давления развиваемый громкоговорителем, при подведении к нему определенной мощности;

УШ – усредненный уровень окружающего шума, дБ;

15 – уровень превышения звукового давления над шумом, дБ.

### Результаты и их обсуждение

Пример расчета шага расстановки рупорных громкоговорителей

На рисунке 3 изображен пример расстановки однонаправленных рупорных громкоговорителей, размещенных на столбах.

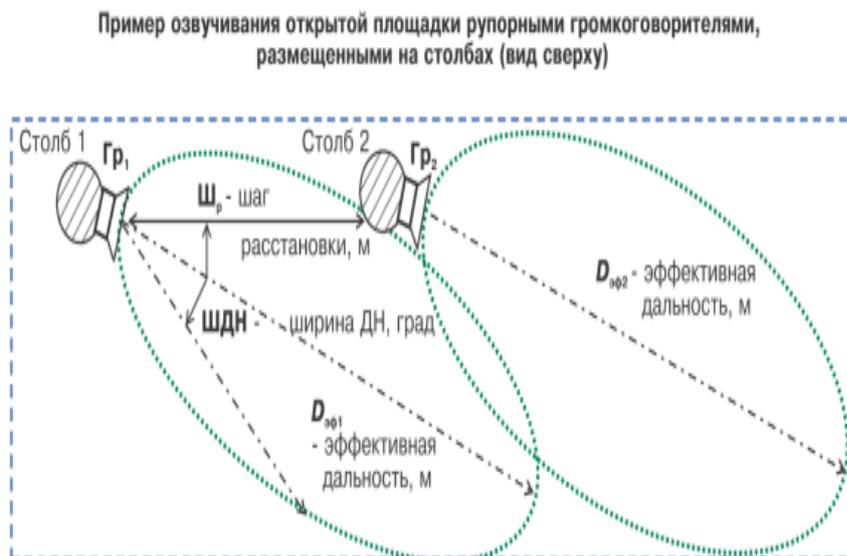


Рисунок 3. Пример озвучивания открытой площадки рупорными громкоговорителями.

**Результат:** определили оптимальный шаг расстановки рупорных громкоговорителей, для обеспечения максимально-эффективной площади покрытия озвучиваемой поверхности.

Примечание. Следует заметить, что не маловажно правильно поставить задачу (правильно поставленный вопрос – на 70% полученный ответ).

Из того же рисунка видно, что при заданном (известном) расстоянии между столбами, задача переформулируется следующим образом:

Определить минимальную (оптимальную) мощность включения рупорных громкоговорителей для обеспечения максимальной эффективности озвучивания открытой площадки. Сопутствующая ей задача – определить оптимальный угол поворота для той же цели.

Решение:

1) В качестве громкоговорителя используем рупорный громкоговоритель HS-50T со следующими характеристиками:

$$P_0=107\text{дБ}, P_{\text{см}}=50\text{Вт}, \text{ШДН}=30 \text{ град.}$$

2) Пусть речь идет об очень шумной улице (например, вблизи трассы) с УШ=80дБ.

3) Рассчитаем эффективную дальность громкоговорителя (формулы 1 и 3).

$$D_{\text{эф}} = 10^{0,05(P_0+10 \log(P_{\text{см}}) - \text{УШ} - 15)} = 28\text{м},$$

4) Из рисунка 2 видно, что ДН рупорного громкоговорителя на 4кГц имеет грушевидную форму и до определенного угла, ШДН действительно равна 30 градусам. Однако при дальнейшем увеличении угла раскрытия ДН превращается в круговую, а точнее в эллиптическую и если данную “грушу” аппроксимировать эллипсом, то не сложно определить его коэффициент сжатия, в нашем случае:  $k \sim 0.8$ .

$$\text{Ш}_p = k_{\text{сж}} \cdot D_{\text{эф}} \cdot \cos\left(\pi \frac{\text{ШДН}}{360}\right) = 21,7 \text{ м}$$

5) Из того же рисунка видно, что рупоры ориентированы таким образом, чтобы максимально эффективно охватить озвучиваемую площадь, что достигается при угле поворота  $\text{УП} = \text{ШДН}/2 = 15 \text{ град.}$

6) Для определения минимальной (оптимальной) мощности громкоговорителя при условии, что шаг расстановки столбов задан, решается обратная задача, а именно вычисляется ожидаемая эффективная дальность  $D_{\text{эф}}$ , логарифмируется выражение из пп.3, находится и минимальная мощность  $P_{\text{см}}$ .

Но самым проблематичной, как уже было сказано, остается задача точного определения УШ. Кроме того, формула пп.3 приближительна. В ней учтены не все аспекты, касающиеся распространения звука на открытом пространстве. Эта формула выведена из формулы дивергенции гласящей, что звуковое давление уменьшается обратно

пропорционально квадрату расстояния –  $20 \log(r)$ , дБ. Однако более точная зависимость выглядит иначе, а именно:

$$L = P_{\text{об}} - A, \quad (4)$$

где  $L$  – уровень звукового давления в расчетной точке (РТ),  $A$  – затухание звуковой энергии на расстоянии до РТ, определяемое согласно [13].

### Заключение

Предложенный метод показывает, что в городских условиях разницей между дивергенцией и теоретически вычисленным значением  $A$ , можно пренебречь, более того в силу множества отражений (формула 3) имеет смысл и может быть интерпретирована как расчетный запас. Таким образом, способы использования результатов прописанные в ГОСТ 31295.2-2005[3] необходимо оптимизировать для практических расчетов.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Актуальные вопросы образования и науки, 30.06.2017, Ч. 1, Тамбов 2017 (Кочнов О.В. Методика расчета индекса направленности).
2. ГОСТ 31295.2-2005 (редакция 2006г.). Шум. Затухание звука при распространении на местности. Часть 1, дата введения 01/01/2007.
3. ГОСТ 31295.2-2005. Шум. Затухание звука при распространении на местности. Часть 2. Общий метод расчета, дата введения 2007-01-01.
4. ГОСТ Р 43.3.01-2014 «Технические средства оповещения населения».
5. ГОСТ Р 53575-2009 (МЭК 60268-5:2003) Громкоговорители. Методы электроакустических испытаний
6. СНиП 23-03-2003. Защита от шума (Sound protection) от 2004-01-01.
7. Свод правил СП-3-13130-2009 от 2009 г. «Требования пожарной безопасности к звуковому и речевому оповещению и управлению эвакуацией людей».
8. Свод правил СП 133.13330.2012 «Сети проводного вещания о оповещения в зданиях и сооружениях. Нормы проектирования».
9. СП 51.13330.2011 – Защита от шума.
10. Кочнов, О. В. Основы проектирования и построения систем оповещения / О. В. Кочнов. Т. 1. – Тверь 2016.
11. Постановление Правительства РФ от 26 сентября 2016 г. N 969 «Об утверждении

нии требований к функциональным свойствам технических средств обеспечения транспортной безопасности и Правил обязательной сертификации технических средств обеспечения транспортной безопасности".

12. Результаты испытаний рупорных громкоговорителей ROXTON О.В. Кочнов,

А. В. Кочегаров, А. С. Мальцев, А. В. Мальцев Современные проблемы гражданской защиты. 2018. № 3 (28). С. 27-32.

13. Вахитов, Ш. Я., Ковалгин Ю. А., Фадеев, А. А. Шевьев Ю. П.. Акустика (Москва, 2009).

## MATHEMATICAL METHODS FOR DETERMINING THE ASSESSMENT OF SOUND DISTRIBUTION BY HANDS

© 2019 O. V. Kochnov, A. V. Kochegarov, A. S. Maltsev, Babkin S. A., Konchakov S. A.

ООО «Escort Group» (Moscow, Russia)

Voronezh Institute - Branch of the Ivanovo Fire and Rescue Academy of the State Fire Service of the Ministry of Emergency Situations of Russia (Voronezh, Russia)

*This paper discusses the shortcomings of the evaluation characteristics of loudspeakers used in sound (speech) broadcast systems, describes the main parameters and features of use, presents shortcomings. An example of calculating the sound pressure level, taking into account the characteristics of the direction of the source, and the effective range of the sound pressure. It is proved that the value of the directivity index (IN) is due to additional divergences at high frequencies and will differ sharply from the practically measured ones. It is revealed that in the case of open areas sounding, the radiation pattern (DN) of horn loudspeakers is most convenient to represent (approximate) ellipses, in which 2 parameters are relevant – the SHDN and the effective range. The studies show that in cases of finding the parameter IN, for practical use it is necessary to use the parameter called the width of the radiation pattern – SHDN. This makes it possible to determine the minimum (optimal) power of the horn speakers to ensure maximum efficiency of the open area and determine the optimal angle of rotation.*

*Key words: the estimated characteristics, the index of orientation, the effective range, the ratio of axial concentration, optimization of the distribution of sound.*