



О. В. Кочнов,
заместитель
генерального директора
группы компаний ESCORT

109044, Москва, ул. Мельникова, д. 7, оф. 32,
8 (495) 937-5341/42, 663-9144 (многоканальные),
8 (800) 3333-005 (бесплатный),
info@escortpro.ru, support@escortpro.ru,
www.escortpro.ru



ОСОБЕННОСТИ ПРОЕКТИРОВАНИЯ И ПРИМЕНЕНИЯ РУПОРНЫХ ГРОМКОГОВОРИТЕЛЕЙ. ЧАСТЬ 1

Настоящей статьей мы начинаем цикл публикаций, предназначенный для проектировщиков и installаторов систем оповещения. Данные статьи должны помочь сориентироваться в вопросах оптимизации технических решений, как на этапе проектирования, так и на этапе выбора технических средств. Громкоговоритель – как оконечное техническое средство является наиважнейшим элементом в любой системе оповещения. В системах оповещения о пожаре громкоговоритель называется речевым оповещателем, в системах оповещения о ЧС – оконечным техническим средством. Рупор является разновидностью громкоговорителя и характеризуется такими важными параметрами как высокая эффективность и способность работать в различных климатических условиях.

Обозначения

- **НД** – нормативная документация
- **ТД** – техническая документация
- **РГ** – рупорный громкоговоритель
- **РТ** – расчетная точка
- **КПД** – коэффициент полезного действия
- **АЧХ** – амплитудно-частотная характеристика
- **ЧХЗД** – частотная характеристика зависимости звукового давления
- **ХН** – характеристика направленности
- **ДН** – диаграмма направленности
- **НЧ** – низкие частоты

Общие сведения о рупорных громкоговорителях

Рупорный громкоговоритель (далее РГ) – оконечное техническое средство, широко применяемое для озвучивания внешних территорий.

К основным достоинствам рупорного громкоговорителя можно отнести следующие его характеристики:

- Высокая эффективность (высокие КПД)
- Высокая надежность
- Механическая прочность или ванда-ло-устойчивость
- Универсальное климатическое исполнение (пыле-влаго-защищенность, морозостойкость).

Высокая эффективность РГ определяется не только его КПД, но и оптимальным соотношением всех составляющих, в том числе, соотношением размеров озвученной площади (м²) к затратам на проектирование, закупку и монтаж. Высокая эффективность, характерная для рупорного

громкоговорителя, определяется его механической прочностью, климатическим исполнением, степенью защиты (от влаги и от пыли) оболочки, позволяющими РГ функционировать в различных климатических условиях.

Недостатком РГ являются его посредственные акустические характеристики: зауженные амплитудно-частотные характеристики (АЧХ, ЧХЗД), узкие ДН. Однако при грамотном проектировании даже недостатки можно обратить в преимущества, о чем и будет сказано в дальнейшем.

Так, например, при грамотном акустическом расчете, правильной расстановке рупорных громкоговорителей, пусть даже

и узкая, но конкретная ДН может стать преимуществом, позволяющим манипулировать акустическими характеристиками озвучиваемого пространства.

Область применения рупорных громкоговорителей

В настоящее время РГ имеют очень широкое применение и используются для трансляции звуковых сигналов определенной частоты – тональных сигналов, используемых для привлечения внимания в различных тревожных ситуациях, а также для трансляции речевых сообщений. РГ имеют качество достаточное для трансляции не только речевых сообщений, но



Рис. 1. Область применения рупорных громкоговорителей

также и музыкальной трансляции (хотя и с ограниченным качеством).

РГ широко используются для различного назначения:

- В системах оповещения о пожаре (СОУЭ)
- В системах оповещения о чрезвычайных ситуациях (ЧС):
 - объектовые системы оповещения (ОСО);
 - локальные системы оповещения (ЛСО);
 - централизованные системы оповещения (ЦСО).
- В системах громкоговорящей связи (СГГС)
- В системах трансляции и звукового обеспечения (СЗО).

Так, например, в системах оповещения о пожаре и о ЧС, кроме аварийных сообщений они могут использоваться для трансляции тонального сигнала (сирены), в системах СГГС для трансляции служебных сообщений, в системах СЗО для трансляции фоновой музыки и рекламы.

Соответствие требований нормативной документации (НД) и области применения РГ, представлено в блок схеме, рис.1.

В каждой из этих систем к громкоговорителям предъявляются свои нормативные требования, однако, опирающиеся на общие понятия и методы измерений, см. рис.1.

Приведем некоторые отличия требований различных ГОСТов. Так, например, требования к частотному диапазону и неравномерности в указанном диапазоне согласно П.6.2.1.11 ГОСТ 53325-2012 [1]:

Диапазон воспроизводимых частот должен быть указан в ТД на речевые пожарные оповещатели конкретных типов, но не уже чем от 500 до 3500 Гц при неравномерности частотной характеристики в диапазоне не более 16 дБ.

Согласно требований к специальному оконечному средству оповещения П.5.3.5 ГОСТ 42.2.01-2014 [2]:

Диапазон воспроизводимых частот звукового тракта должен быть 0,3-3,4кГц.

Для урегулирования несоответствий по нижней частоте (500Гц - в первом случае и 300Гц - во втором), пришлось обратиться к требованиям ГОСТ Р 53033- 2008 [3], в котором (в Таб.1) указан способ определения качества рупорного громкоговорителя для четырех групп, различающих-

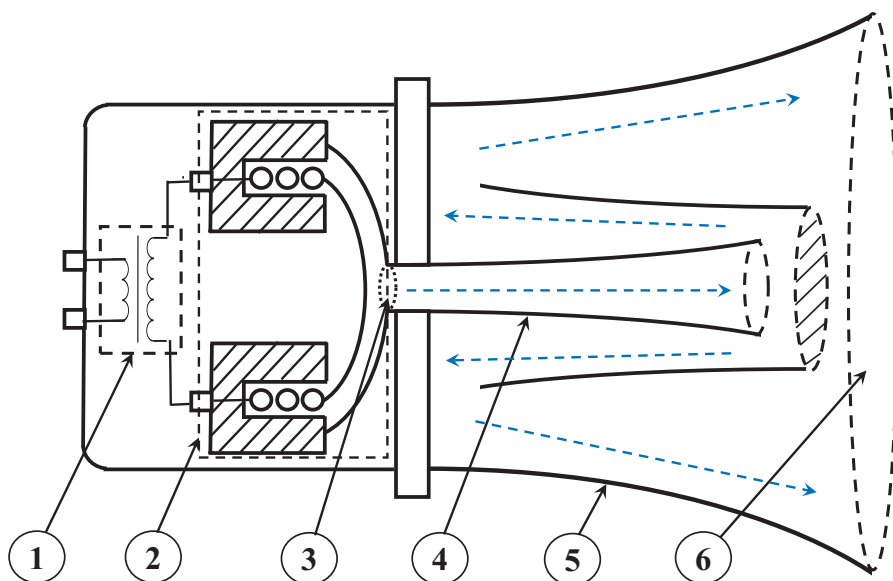


Рис. 2. Устройство рупорного громкоговорителя:

1. Согласующий (понижающий) трансформатор, позволяющий работать в трансляционных сетях (линиях) с повышенным напряжением от 30 до 120 В звукового сигнала (так для России характерными являются стандарты: 30/120/240В, для восточных (Япония, Ю. Корея, Китай) и западных (Европа, Америка) стран: 25/70/100В. Следует заметить, что рупорный громкоговоритель, рассчитанный на работу с большим, например, 120В напряжением, эффективен в сетях и с меньшим напряжением. При этом лишь следует пересчитать его звуковое давление (см. далее ф-лу 1). Обратное же недопустимо.)
2. Компрессионный драйвер – электродинамический преобразователь электрической энергии в акустическую
3. Входное устье
4. Концентрический канал
5. Собственно рупор
6. Выходное устье

ся электрическими и электроакустическими параметрами, табл.1.

РГ первой группы предназначены для высококачественного воспроизведения звуковых сигналов на открытых пространствах и в закрытых помещениях, (например, стадионы, парки, эстрадные площадки и т.п.);

РГ второй группы предназначены для воспроизведения звуковых сигналов на открытых пространствах в условиях повышенного уровня шума (например, городские улицы, перроны вокзалов и т.п.);

РГ второй и третьей группы предназначены для воспроизведения звуковых сигналов в производственных условиях с высоким уровнем шума (например, цеха заводов, шахты, карьеры и т.п.).

Каждой из групп предъявляется соответствующее требование к искажениям (данный параметр, в связи с неоднозначностью требований, в данной статье не рассматривается) и неравномерности, для чего используется такой параметр как характеристическая чувствительность, Таб. 1.

Способы определения характеристической чувствительности и других параметров РГ мы рассмотрим далее.

Устройство и работа рупорного громкоговорителя

Высокая эффективность рупорного громкоговорителя в большей степени обеспечивается конструктивными особенностями и оптимальным согласованием различных его частей (подсистем). Как и любой преобразователь электрической энергии на входе в акустическую слышимую энергию на выходе, рупорный громкоговоритель представляет собой устройство, состоящее из 2-х основных подсистем:

- Электро-механической
- Механико-акустической

На рис. 2 показано устройство (современного) рупорного громкоговорителя трансформаторного типа, в котором нас будет интересовать 6 основных компонент.

Табл. 1.

Наименование параметра	Норма по группам			
	1	2	3	4
Номинальное входное напряжение, В	30/70/100/120/240 В			
Эффективный рабочий диапазон частот, ограниченный полем допусков +6/-14 дБ от уровня среднего звукового давления в полосе частот 800–3150 Гц, не уже	80–10000	100–6300	315–5000	400–4000
Уровень характеристической чувствительности в полосе частот 800–3150 Гц, дБ, не менее	100	102	103	103



Рис. 3. Конструктив рупорного громкоговорителя: 1 – понижающий трансформатор, 2 – драйвер, 3 – рупор, 4 – акустический конус

Согласующий трансформатор будет рассмотрен в примере далее. Компрессионный драйвер – электро-механическое устройство, состоящее из электромагнитной звуковой катушки (каркаса из алюминиевой фольги), и жестко скрепленной с ней купольной диафрагмой, изготовленной, как правило, из жестких материалов (титановая, бериллиевая, алюминиевая фольга, пропитанная стеклоткань и др.).

Драйвер жестко связан с рупором – трубой переменного сечения. Рупоры могут иметь различную форму и раскрыв. Наиболее распространены рупора с логарифмическим раскрывом, обеспечивающие усиление нижних частот и хорошие акустические характеристики. По размеру входного устья рупора делятся на узкогорлые и широкогорлые; по форме выходного раскрыва – на круглые и прямоугольные. На выходе рупоров с прямоугольным раскрывом формируется т.н. двуполярная ДН, позволяющая формировать акустический дизайн озвучиваемого пространства. Высокую концентрацию звуковой энергии можно интерпретировать как дополнительное звукоусиление. Высокая эффективность РГ, при сохранении небольших размеров, достигается наличием дополнительного концентрического канала, усиливающего (разгоняющего) звуковую энергию.

Работа

Рупорный громкоговоритель работает следующим образом. Понижающий трансформатор, рис. 3 (1), согласует импеданс высоковольтной линии с импедансом драйвера (понижает напряжение).

Электрический звуковой сигнал со вторичной обмотки понижающего трансформатора поступает на вход компрессионного драйвера – электро-магнитного преобразователя электрического сигнала на входе в акустический сигнал на выходе, рис. 3 (2). Диафрагма драйвера жестко скрепленная с катушкой – проволокой, намотанной на цилиндрический каркас, выталкивается из магнитного поля благодаря эффекту электромагнитной индукции, создавая продольные колебания

воздуха. Звук, создаваемый диафрагмой, поступает во входное устье рупора, рис. 3 (3), проходит через концентрический канал акустического конуса, рис.3 (4), усиливается и поступает в выходное устье рупора, создавая продольные колебания воздушной среды.

Конструкция рупорного громкоговорителя на примере модели ROXTON HP-15CPT

На рис. 4 изображена линейка РГ ROXTON, в том числе модели HP-15CPT.

Эффективность данной модели достигается оптимальным согласованием конструктива, формы и материала из которого он изготовлен. Высокое звуковое давление и хорошее качество звучания обеспечивается физическими и технологическими преимуществами: оптимальным согласованием электро-механических и механико-акустических частей с формой рупора. За счет жесткого конструктива данный рупор

имеет высокое КПД, а качественный материал обеспечивает возможность его долгосрочного использования. Хорошо согласованный драйвер обеспечивает широкий частотный диапазон и достаточно высокую равномерность частотной характеристики звукового давления, см. далее.

Громкоговоритель сделан из прочного, устойчивого к морозу АБС-пластика и имеет высокую степень защиты оболочки (IP-66), что позволяет эксплуатировать его на открытых площадках в условиях существенных температурных перепадов. Кромки раскрыва рупора защищены высоко-эффективным поливинилхлоридным (PVC) материалом для предания рупору дополнительной прочности и минимизации нелинейных искажений, а также для дополнительной защиты от повреждений.

На рис. 5 изображена электрическая схема подключения РГ ROXTON HP-15CPT.



Рис. 4. Линейка рупорных громкоговорителей производства ROXTON

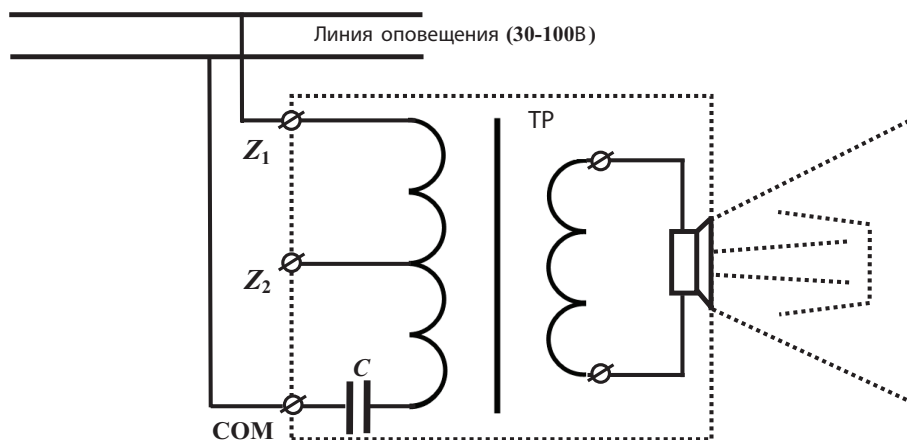


Рис. 5. Электрическая схема подключения рупорного громкоговорителя ROXTON HP-15CPT

Данный рупорный громкоговоритель предназначен для использования в 30/70/100 В трансляционных линиях. РГ комплектуется понижающим согласующим трансформатором, предназначенным для:

- Гальванической развязки высоковольтной линии оповещения и драйвера РГ

- Для понижения напряжения, с целью согласования импеданса 100В линии с импедансом (8 Ом) драйвера.

Трансформатор состоит из 3-х отводов:

- COM – общий провод
- Отвод 15 Вт (белый) – максимальная мощность
- Отвод 7,5 Вт (зеленый) – половина мощности.

Указанные значения мощности соответствуют импедансам первичной обмотки согласующего трансформатора: 15 Вт – 666 Ом, 7,5Вт – 1333 Ома, (именно) в 100 В линии.

Конденсатор номиналом 2,2 мкФ, последовательно включенный в общий отвод трансформатора, предназначен для ограничения низких частот НЧ с целью повышения КПД РГ, а также для работы с системами оповещения, у которых контроль линий осуществляется либо по стандарту EN 54-16, либо по схеме контроль по постоянному току (с терминирующим резистором на конце линии).

При работе в линиях с напряжением $U < 100В$ мощность, развиваемая данным громкоговорителем определяется по формулам:

$P = U^2 / 666$ – для отвода 15 Вт (белый);

$P = U^2 / 1333$ – для отвода 7,5 Вт (зеленый);

Где U – напряжение в линии, В.

Основные характеристики рупорного громкоговорителя

РГ широко используются для трансляции речи, в связи с чем, должны обладать хорошими характеристиками.

Наиболее важными являются громкоговорителей, в том числе РГ, используемых в

системах звуковой (речевой) трансляции, являются:

- Амплитудно-частотная характеристика (АЧХ)

- Характеристика направленности (ХН)

Другое название АЧХ, используемое в ГОСТ 53575-2012 [4] – частотная характеристика звукового давления (ЧХЗД).

Рассмотрим рис. 6, на котором изображена зависимость звукового давления (чувствительности) рупорного громкоговорителя HS-50T от частоты.

Данная характеристика, измеренная на рабочей оси, на расстоянии 1м от геометрического центра РГ представляется наиболее важной, поскольку демонстрирует его качество. Данная характеристика включает, а также позволяет определить следующие параметры, необходимые для практических расчетов:

- Максимальный уровень звукового давления, развиваемого громкоговорителем, при подведении к нему мощности 1Вт

- Уровень звукового давления на частоте 1кГц при подведении к нему мощности 1Вт, по другому называемый чувствительностью громкоговорителя на частоте 1кГц

- Характеристическая чувствительность
- Частотный диапазон
- Неравномерность ЧХЗД в указанном частотном диапазоне.

Рассмотрим каждый из этих параметров отдельно, но первоначально дадим элементарные разъяснения относительно понятия «звуковое давление».

Звуковое давление, развиваемое громкоговорителем, это громкость, с которой мы его слышим. Громкость определяется уровнем – значением, измеряемым в Паскалях. Исторически, для выполнения инженерных расчетов был осуществлен переход к более удобной единице измерения громкости – Децибелу, определяемому как двадцать десятичных логарифмов от Паскаля.

Итак, звуковое давление $P_{дб}$, развиваемое РГ измеряется в децибелах и определяется:

$$P_{дб} = P_0 + 10 \log P_{вт} \quad (1)$$

где: P_0 – чувствительность громкоговорителя – уровень звукового давления (на определенной частоте, например 1 кГц), развиваемый громкоговорителем на рабочей оси, на расстоянии 1 м от геометрического центра (раскрыва РГ) при подведении к нему мощности 1 Вт, дБ; $P_{вт}$ – паспортная мощность – электрическая мощность, указанная в паспорте громкоговорителя, Вт.

Согласно ГОСТ Р 53575-2009 [4]: Паспортная мощность – наибольшая неискаженная мощность усилителя, с которой громкоговоритель может длительное время (до 1 часа) удовлетворительно работать на реальном звуковом сигнале. Паспортная мощность не может быть меньше номинальной.

Номинальная мощность – электрическая мощность, ограниченная тепловой и механической прочностью громкоговорителя и возникновением нелинейных искажений, превышающих заданную величину (оговаривается в

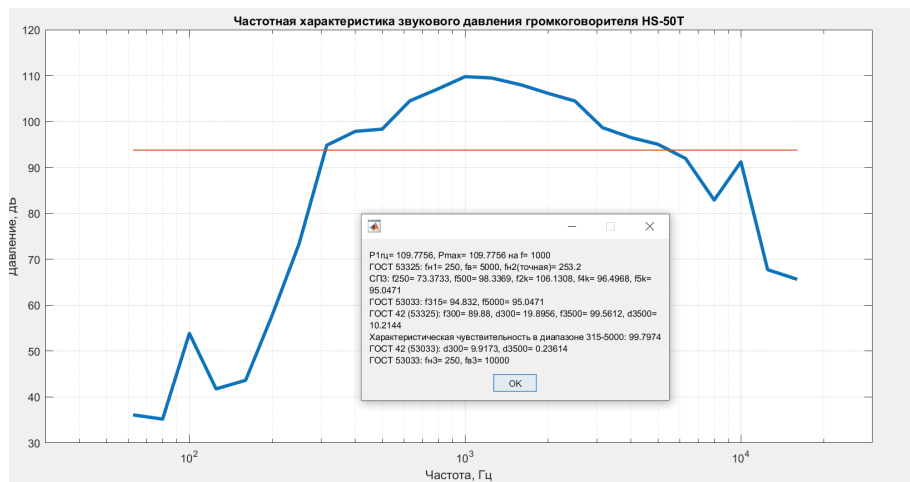


Рис. 6. Частотная характеристика звукового давления рупорного громкоговорителя HS-50T

технической документации на громкоговоритель).

Максимальный уровень звукового давления

Данный параметр важен и интересен тем, что он указывает на возможности (громкость и т.д.) РГ как таковые. Дело в том, что не у всех рупоров максимальный уровень совпадает с частотой 1 кГц, как в примере рис.6. Так, например, РГ ROXTON HP-15T, максимальное звуковое давления развивается на частоте 1,6 кГц, которая также важна для восприятия, как и частота 1 кГц. В связи с этим эффективность РГ определяет еще один (важный) параметр – характеристическая чувствительность.

Характеристическая чувствительность

Характеристическую чувствительность согласно ГОСТ Р 53575-2009 [4] (см. ф-лы 13,17) можно определить как среднюю в номинальном (указанном) диапазоне частот, как:

$$P_{\text{хар}} = \frac{\sum_{i=1}^n P_i}{n} \quad (2)$$

где: P_i – чувствительность громкоговорителя в октавной или 1/3 октавной полосе; n – количество частот (точек) в указанном диапазоне (полосе частот).

Характеристическая чувствительность демонстрирует возможности РГ во всем его диапазоне.

Частотный диапазон

В таблице 1 указаны диапазоны частот для 4 групп РГ, различающихся по качеству. Так, для 3 группы, актуальной в области транспортной безопасности, диапазон частот составляет: 315–5000 Гц. В данном диапазоне присутствует 16 третьоктавных частот, таким образом для нее: $n=16$. В примере на рис. 1, характеристическая чувствительность $P_{\text{хар}} = 99$ дБ. Данный результат получен в результате измерений в акустической камере (см. далее), затем программной обработкой (в программе Matlab).

Для самостоятельного расчета необходимо использовать результаты предоставляемые производителем или использовать значения полуоктавных частот. В указанном диапазоне их всего 4: 500/1000/2000/4000 Гц, $n=4$, поэтому результат будет менее точен, так как для любого РГ на частотах ниже 500 наблюдается активный завал (спад) частотной характеристики.

Определим неравномерность РГ, соответствующего требованиям ГОСТ 53033-2008 [3], например для 3 категории. Так, согласно Таблице 1, РГ, для третьей категории «неравномерность»,

определяется как разность между уровнем характеристической чувствительности в диапазоне 315–5000 Гц и значениями на границах данного частотного диапазона. И она должна находиться в норме допусков: +6, -14 дБ.

В нашем примере неравномерность: $P_{315} - P_{\text{хар}} = 94 - 99 = -5$ дБ, $P_{5000} - P_{\text{хар}} = 95 - 99 = -4$ дБ. Таким образом РГ ROXTON HS-50T соответствует требованиям данного ГОСТа для 3 категории.

Таким образом, согласно требованиям ГОСТ 53033 [3]: частотный диапазон РГ – диапазон, в пределах которого чувствительность не уменьшается более чем на 14 дБ относительно значения характеристической чувствительности.

Для нашего примера он составляет: 250–10000 Гц.

Однако, согласно требованиям ГОСТ 53325[1]: частотный диапазон – диапазон, в пределах которого чувствительность не уменьшается более чем на 16 дБ относительно максимального значения чувствительности во всем диапазоне.

Для нашего примера он составляет: 250–5000 Гц.

Есть очень простой способ определить ширину частотного диапазона РГ согласно требованиям ГОСТ Р 53325-2012 [1]:

- Находим максимальное значение во все частотном диапазоне P_{max}
- Проводим прямую параллельную частотной оси на уровне $P_{\text{max}} - 16$ дБ
- Точки пересечения характеристики и данной прямой, как раз и будут значениями ширины частотного диапазона

Характеристика направленности

В данном разделе мы начинаем очень важный разговор, который планируем продолжить и в последующих статьях. Он касается способа учета характеристик на-

правленности РГ для применения их на практике.

Известно, что для обеспечения круговой направленности, используются т.н. кластерные включения – варианты установки нескольких РГ, направленных в разные стороны, рис. 7.

Учет характеристик направленности является одними из наиболее проблематичных для использования в практических расчетах. У большинства installаторов и проектировщиков на сегодняшний день нет достаточно четкого представления о том, в каком виде предоставляется и как учитывается характеристика направленности.

Рассмотрим определения из ГОСТ Р 53575-2009 [4], 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.

Большинство производителей действительно предоставляют характеристику направленности, как и положено, в полярных координатах, но как работать с этой характеристикой остается не вполне понятным. Проблему запутывает другая характеристика, сопряженная с предыдущей ГОСТ Р 53575-2009 [4] 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



Рис. 7. Пример установки рупорных громкоговорителей для увеличения зоны охвата

находится громкоговоритель, квадрату звукового давления, измеренному при тех же условиях и на том же расстоянии от рабочего центра.

Сложность, собственно, вот в чем. Уровень звукового давления, учитывающий характеристики направленности источника, при расчете уровня звукового давления в определенном направлении, согласно [6], может быть рассчитан:

$$L_{дб} = P_0 + 10 \cdot \log \frac{\xi_0 \cdot \xi_{\theta} \cdot P}{\Omega \cdot r^2} \quad (3)$$

где: ξ_0 – коэффициент осевой концентрации [11]; ξ_{θ} – коэффициент направленности ГОСТ 31295.2-2005 [7]; Ω – пространственный угол излучения источника, рад; r – расстояние от громкоговорителя до расчетной точки (РТ), м.

Часть параметров данной формулы была приведена нами ранее (ф-ла 1).

Величина $10 \log(\xi_0)$, согласно [6], называется индексом направленности (ИН). Но дело в том, что для проектных расчетов этой формулой пользоваться нельзя, так как практически у всех производителей величина звукового давления на рабочей оси указывается уже с учетом этого параметра. Другими словами, при использовании данной формулы, результаты будут резко отличаться от практически измеренных.

Так, на рис. 8 изображена диаграмма направленности рупорного громкоговорителя HS-50T, измеренная в лабораторных и подтвержденная в реальных (на испытательном полигоне) условиях на частотах 1/4 кГц (В международном стандарте IEC-268-5 измерение (оценка) направленных свойств громкоговорителей осуществляется именно на 4кГц).

Из диаграммы в частности следует, что направленность громкоговорителя, измеренная в реальных условиях не только притупляется, чего от нас требует операция логарифмирования согласно ф-ле (3), но и наоборот обостряется, что может быть объяснено, например, дополнительными дивергенциями градиентным влиянием на высоких частотах. Во всяком случае, мы четко видим, что для расчета звукового давления при каком-либо отклонении, необходим другой метод, а именно: в ф-ле (1) достаточно значение P_0 заменить на значение P_{θ} – звуковое давление на определенном (заданном) угле раскрытия. Данное значение берется из диаграмм для конкретного угла отклонения и нам остается только рассчитать уменьшение звукового давления на расстоянии, например, по методике изложенной в ГОСТ 31295.2-2005 [7].

В следующей статье мы планируем продолжить рассмотрение данной темы и продемонстрировать практические методы электроакустических расчетов, активно использующих характеристики направленности.

Список литературы

1. ГОСТ Р 53325-2012 «Техника пожарная. Технические средства пожарной автоматики. Общие технические требования и методы испытаний».
2. ГОСТ Р 42.3.01-2014 «Технические средства оповещения населения».
3. ГОСТ Р 53033-2008 «Громкоговорители рупорные».
4. ГОСТ Р 53575-2009 (МЭК 60268-5:2003) Громкоговорители. Методы электроакустических испытаний.
5. Свод правил СП-3-13130-2009 от 2009 г. «Требования пожарной безопасности к звуковому и речевому оповещению и управлению эвакуацией людей».
6. Ш. Я. Вахитов, Ю. А. Ковалгин, А. А. Фадеев, Ю. П. Шевьев. Акустика (Москва, 2009г.).
7. ГОСТ 31295.2-2005. Шум. Затухание звука при распространении на местности. Часть 2. Общий метод расчета, дата введения 2007-01-01.

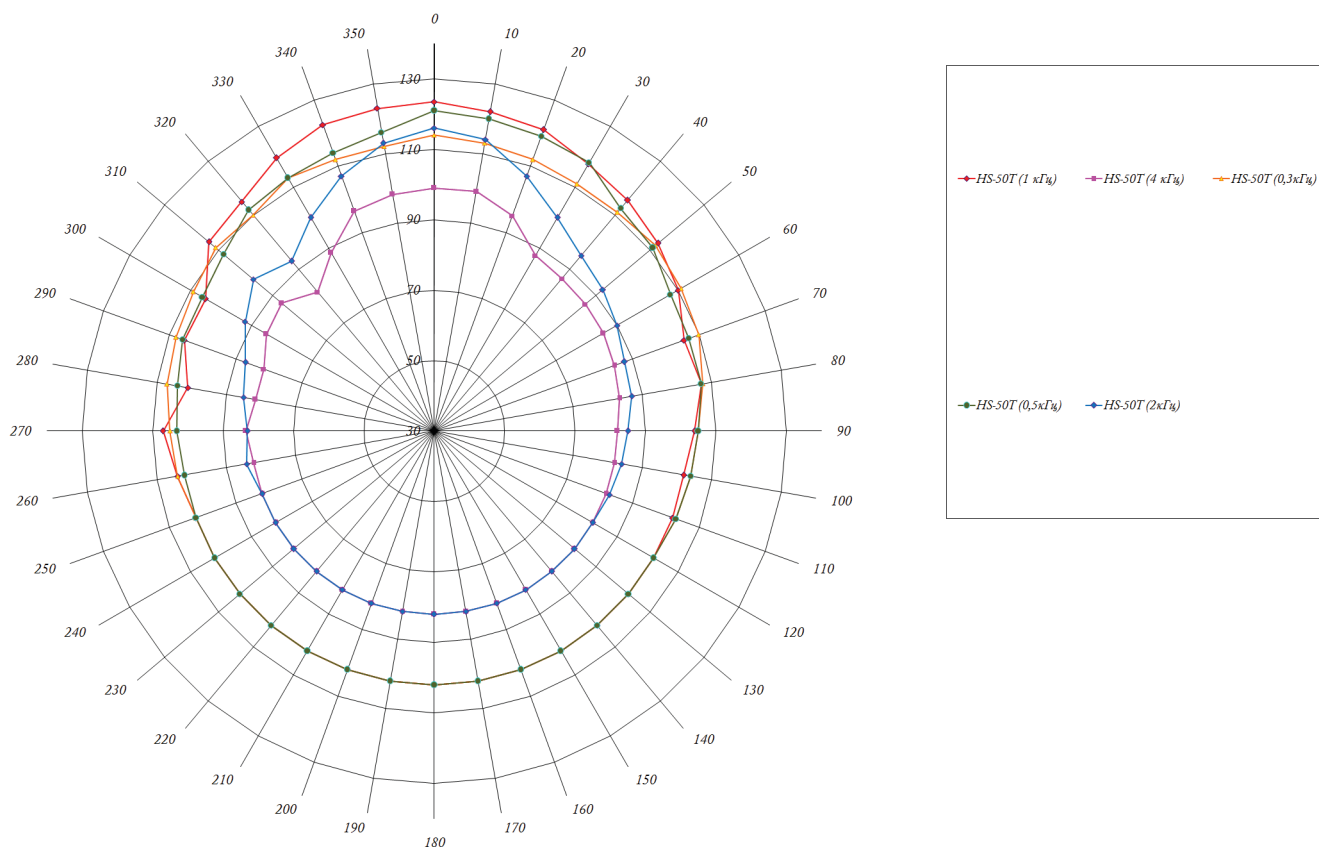


Рис. 8. Диаграмма направленности рупорного громкоговорителя HS-50T на различных частотах, полученная в лабораторных и реальных условиях