

ОСОБЕННОСТИ АКУСТИЧЕСКОГО РАСЧЕТА НА ПРОМЫШЛЕННЫХ ПРЕДПРИЯТИЯХ

Кочнов Олег Владимирович
руководитель учебно-производственного отдела ГК ESCORT

Интенсивные экономические преобразования, происходящие в нашей стране, усовершенствованная и упрочненная нормативная база способствуют возрождению промышленности, росту числа производственных предприятий. Во исполнение федерального закона от 22.07.2008 – ФЗ № 123-ФЗ «Технический регламент о требованиях пожарной безопасности», имеющиеся на промышленных предприятиях производственные помещения с работающими в них людьми должны быть защищены системами противопожарной безопасности. Наиважнейшей частью, обеспечивающей комплексную безопасность зданий и сооружений, являются организационные мероприятия, элементом которых является электроакустический расчет. Цель данной статьи – познакомить читателя с методикой электроакустического расчета (ЭАР), дать его как нормативное, так и фактическое обоснование – очертить специфику расчета в условиях высоких шумов, характерных для промышленных предприятий, продемонстрировать примеры расчета.

При возникновении пожара (или иных чрезвычайных ситуаций), возникающих внутри производственных помещений (или на территории защищаемого предприятия), задается (автоматически включается) система оповещения, осуществляющая трансляцию специально разработанных текстов, необходимых для эффективной эвакуации людей в безопасное место.

На промышленных предприятиях используются следующие типы систем оповещения:

- системы оповещения и управления эвакуацией (СОУЭ), проектируемые на основании [1];

- объектовые (ОСО) и локальные (ЛСО) системы оповещения при чрезвычайных ситуациях, а также системы громкоговорящей связи, проектируемые на основании [2].

Нормативным основанием для проектирования централизованных, локальных и объектовых систем оповещения является федеральный закон № 68-ФЗ «О защите населения и территорий от чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера» от 21.12.1994.

На особо крупных объектах, таких как атомные или гидроэлектростанции, используются командно-поисковые системы (комплексы).

Достоверность передачи аварийного сообщения определяется характеристиками, функциональностью и надежностью технических средств систем оповещения, а вот достоверность восприятия может быть подтверждена только расчетами.

Электроакустический расчет позволяет с достаточно высокой точностью определить уровень звукового давления в так называемой расчетной точке (РТ) – точке (месте) возможного нахождения людей. Такие точки выбираются в местах наиболее критичных с точки зрения как удаления, так и присутствующего в них шума. Зная расстояние между расчетной точкой и звуковым источником, легко определить степень уменьшения звукового давления на расстоянии, однако этого совсем не достаточно. Согласно требованиям нормативной документации [1] необходимо обеспечить условия, при которых полученный уровень попадет в определенные границы.

В специфике промышленных предприятий наиболее важной задачей является определение точного значения уровня шума на рабочих местах. Следует заметить, что измерительные приборы в такого рода задачах могут использоваться лишь как вспомогательные средства в силу постоянно меняющихся условий. Таким образом, условия четкого восприятия могут быть достигнуты решением двух задач – эффективной расстановкой громкоговорителей и защитными акустическими мероприятиями.

Любая из этих систем в качестве конечного исполнительного элемента использует громкоговоритель – устройство, осуществляющее преобразование электрического сигнала на входе в акустический (слышимый) сигнал на выходе. В зависимости от требований к характеру передаваемой (транслируемой) информации, к громкоговорителю предъявляются различные требования. Так, по требованиям, изложенным в [1], если

численность людей, работающих на производственном объекте: в цеху, на складском помещении, в лаборатории и т. д., превышает 100 человек, то для защиты такого объекта применяется СОУЭ 3 типа – речевая система оповещения, осуществляющая трансляцию специально разработанных текстов. В этом случае громкоговоритель должен эффективно работать в диапазоне от 200 Гц до 5 кГц. Под понятием эффективности следует понимать как величину звукового давления (громкости), так и КПД громкоговорителя. Для повышения степени информативности СОУЭ включают и световой способ оповещения.

ОСНОВЫ ЭЛЕКТРОАКУСТИЧЕСКОГО РАСЧЕТА

Понятие «акустический расчет» (АР) само по себе является достаточно емким. В контексте обеспечения безопасности людей, находящихся внутри производственных помещений, выполняется так называемый электроакустический расчет (ЭАР), в процессе которого:

- анализируется защищаемое помещение;
- выбираются расчетные точки (РТ);
- рассчитывается звуковое давление в РТ;
- определяются уровни шума (УШ) в РТ, характерные для данного помещения;
- выявляются дополнительные источники шума;
- проверяются граничные условия расчета;
- выбираются параметры громкоговорителей и определяются схемы их расстановки;
- в случае невыполнения граничных условий разрабатываются организационные мероприятия, повышающие достоверность передачи информации.

Требования, предъявляемые к ЭАР, можно найти в [1], а методику – в Приложении А, к [2], однако, следует заметить, что имеющаяся в данном приложении методика для какого-либо серьезного расчета совершенно непригодна.

Название расчета – электроакустический – обусловлено учетом электрических параметров звукового тракта, являющихся входными для акустического расчета. Следует заметить, что требования к расчету, изложенные в [1], не вполне достаточны, однако, являются необходимыми, поэтому основное внимание в данной статье будет уделено выполнению именно этих требований. Что касается специфики данного расчета, в частности высоких шумов, будем опираться на СНиП по Шуму [5], в котором достаточно подробно излагаются как расчетные, так и организационные мероприятия по расчету, учету и борьбе с высокими шумами.

Рассмотрим основные понятия, необходимые для выполнения ЭАР.

ОСНОВНЫЕ ПАРАМЕТРЫ ГРОМКОГОВОРИТЕЛЯ

Согласно нормативной документации, громкоговорители должны воспроизводить звуковой или речевой сигнал в диапазоне: 200 Гц – 5 кГц.

Звуковое давление громкоговорителя измеряется в децибелах (дБ) и определяется как его чувствительностью P_o , дБ, так и электрической мощностью, $P_{вт}$, Вт, подведенной к его входу:

$$P_{дб} = P_o + 10 \log (P_{вт} / P_{пор}), \tag{1}$$

где

P_o – чувствительность громкоговорителя, дБ;

$P_{вт}$ – мощность громкоговорителя, Вт;

$P_{пор}$ – пороговая мощность, = 1Вт.

Чувствительность громкоговорителя, дБ – уровень звукового давления, измеренного на рабочей оси громкоговорителя на расстоянии 1 м от рабочего центра на частоте 1кГц при мощности 1Вт. Мощность громкоговорителя берется из паспорта, предоставляемого производителем или поставщиком, при этом, следует обращать внимание на следующие обстоятельства:

1) Если в паспорте нет никаких специальных ссылок или указаний, то (в большинстве случаев) указывается т. н. RMS мощность, измеренная на 1кГц.

2) На т. н. «градации включения».

Здесь требуется комментарий. Дело в том, что громкоговорители, используемые в системах оповещения, являются трансформаторными. Первичная обмотка трансформатора имеет, как правило, несколько отводов, имеющих различный импеданс и позволяющих работать на различных мощностях, поэтому в формуле (1) необходимо указывать конкретную мощность включения.

Исполнение. Немаловажным параметром громкоговорителя, характерным для производственных помещений, является параметр, называемый «исполнение». Для различных условий эксплуатации (температура, влага, пыль, агрессивные среды) могут использоваться громкоговорители с различными классами исполнения (защиты). При низких температурах используются морозостойкие громкоговорители. При повышенной концентрации влаги и пыли – громкоговорители с различными степенями защиты, определяемые индексом IP:

- IP-41 – закрытые помещения;
- IP-54 – уличное исполнение;
- IP-67 – высокая степень защиты от пыли и влаги.

Дополнительные параметры громкоговорителя будут рассмотрены ниже.

ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ ДЛЯ ЭЛЕКТРОАКУСТИЧЕСКОГО РАСЧЕТА

Исходными данными для ЭАР (на производственных предприятиях) являются:

- план и разрез помещения с расположением технологического и инженерного оборудования с целью выбора расчетных точек;
- определение уровня шума в расчетных точках;
- сведения о характеристиках ограждающих конструкций помещения (коэффициенты поглощения);
- технические характеристики и геометрические размеры источников шума.

Для расчета уровня звукового давления в расчетной точке необходимо рассмотреть два важных понятия:

- само понятие «расчетная точка» (РТ);
- понятие «уровень шума» (УШ) в РТ.

РАСЧЕТНАЯ ТОЧКА

Расчетная точка – место возможного (вероятного) нахождения людей наиболее критичное с точки зрения положения и удаления от звукового источника (громкоговорителя). РТ выбирается на расчетной плоскости – (мнимой) плоскости, проведенной параллельно полу на высоте 1,5 м, (1,2 м для сидячих мест) в месте с наихудшими условиями – точке наиболее удаленной от громкоговорителя или в точке с наибольшим УШ.

Согласно НД [5], РТ выбираются:

- в зоне прямого звука;
- в зоне отраженного звука;
- в середине толпы (месте максимальной концентрации людей).

Данный выбор (способ) не подходит для ЭАР, кроме последнего пункта, и вот почему. Под зоной прямого звука в контексте [5] имеется в виду расстояние, не превышающее двойного размера источника звука. В [5] под источниками звука (шума) подразумеваются машины, турбины, агрегаты и т. д. При использовании в качестве звукового источника даже самого большого громкоговорителя это расстояние не превысит 1 м, что не актуально.

В зоне отраженного звука. Здесь имеется в виду точка, расположенная, во-первых, вблизи отражающей поверхности и, во-вторых, максимально удаленная от источника звука. Вы-

бор РТ вблизи отражающей поверхности объясняется спецификой акустического расчета как расчета именно для шумовых источников, для которых учитывается как энергия прямого звука, так и диффузионная энергия. При удалении от источника шума на расстояние, вдвое превышающее его размеры, начинает резко превалировать влияние диффузионной составляющей, см. далее формулу (7). Электроакустический же расчет, по своей специфике, близок к акустическому расчету, выполняемому для кинотеатров, концертных залов, в которых характерной информацией является музыка или речь. Такие расчеты для обеспечения надлежащей разборчивости выполняются с использованием так называемой геометрической-лучевой теории, позволяющей учитывать отражения и определять уровни прямого звука, приходящего (поступающего) в РТ. Согласно данной теории, известной еще древним грекам, звуковая энергия отождествляется с тонким лучом (света). При попадании на предметы часть звуковой энергии поглощается, а часть отражается под тем же самым углом.

В акустике под прямым звуком подразумевается как прямой звук – звук, распространяющийся напрямую от источника до РТ, так и первичные отражения – звук, поступающий в РТ, отразившись от поверхности (площадок) не более 1 раза.

УРОВНИ ШУМА

Для выполнения ЭАР необходимо знать точное значение УШ. С определением УШ сопряжен ряд сложностей. Какую именно величину УШ необходимо использовать, на какой частоте его измерять и т. д.

Определить величину УШ можно несколькими способами:

- непосредственным измерением;
- из нормативных таблиц [4];
- дополнительными расчетами.

Относительно УШ имеется достаточно серьезная документация в виде [5], однако, например, проектировщики СОУЭ в своих расчетах на данный (подробный) СНиП не опираются. Отсутствие четких методик ЭАР не дает возможности подметить однозначную взаимосвязь между двумя величинами – необходимым уровнем звукового давления в РТ и УШ, определяемым в этой же точке. Это первое. Второе – в [5] для определения УШ используется достаточно специфичный, непривычный для среднестатистического проектировщика СОУЭ расчетный аппарат, связанный с октавными уровнями, расчетом диффузионной энергии. Такие расчеты, как правило, выполняют специалисты по акустике, в то время как непосредственного требования выполнить ЭАР нет и он выполняется либо по требованию (по техническому заданию) заказчика либо по желанию проектировщика. Непосредствен-

ное измерение УШ сопряжено с рядом сложностей. Во-первых, для такого измерения необходим профессиональный, а главное, поверенный измеритель УШ (шумомер). Во-вторых, измерение необходимо производить не только на различных частотах, но и в различные промежутки (отрезки) времени. Согласно [4], для производственных предприятий необходимо использовать период рабочей смены. При невозможности выполнить подобные измерения необходимо пользоваться уже имеющимися данными, взятыми из конструкторской документации или из ТЗ заказчика, а в случае их отсутствия необходимо обратиться к Шум-таблицам, например, СП 51.13330.2011. Защита от шума [4].

СПЕЦИФИКА ОПРЕДЕЛЕНИЯ ОКТАВНЫХ УРОВНЕЙ ШУМА

В [4] указаны уровни для 9-октавных полос от 31,5 Гц до 8 кГц. Согласно пп. 5.1 [5] расчет выполняется для 8-октавных полос от 63 Гц до 8 кГц. Согласно же [1], частотный диапазон 0,2-5 кГц вмещает лишь 5 полос со среднегеометрическими частотами – 0,25/0,5/1/2/4 кГц. Данное расхождение преодолевается требованием выполнять расчет в дБА – уровнях звукового давления, скорректированных по шкале А. Можно показать, что суммарный эффект восприятия с учетом корректировки по шкале А 8-октавных (шумовых) полос практически равносильно восприятию 5-октавных полос, что дает нам право в ЭАР в качестве величины УШ использовать эквивалентные уровни непостоянного (прерывистого и колеблющегося во времени) звукового давления $L_{АЭКВ}$ дБА, приведенные в [4] и в [5].

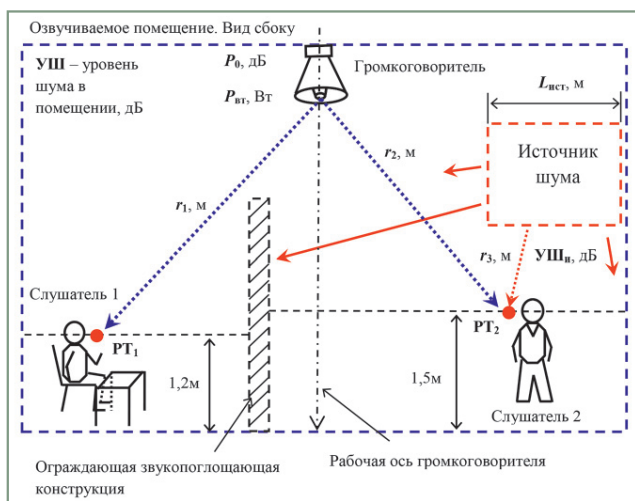
УШ, взятые из Шум-таблиц, являются лишь обобщающими, их можно назвать собственными шумами. Так, например, согласно [4], для помещений с постоянными рабочими местами на производственных предприятиях $L_{АЭКВ} = 80$ дБА. Однако, для каждого конкретного предприятия необходимы дополнительные расчеты, учитывающие дополнительные, привнесенные шумы – шумы, возникающие в результате работы каких-либо источников шума – агрегатов, станков, или шумы, проникающие через окна, двери и т. д.

ПРИМЕРЫ АКУСТИЧЕСКИХ РАСЧЕТОВ, В УСЛОВИЯХ ВЫСОКОГО ШУМА

Рассмотрим пример. На *рисунке 1* изображена элементарная ситуация – производственное помещение с двумя РТ и двумя звуковыми источниками: громкоговорителем и источником шума.

На *рисунке* изображены две расчетные точки РТ₁ и РТ₂. Предположим, что в РТ₁ – влияние источника шума, изображенного в верхней правой части рисунка, в силу удаления и экранирования звукопоглощающей конструкцией не значительно.

Рис. 1. Пример, демонстрирующий особенности учета уровней шумов



УРОВЕНЬ ЗВУКОВОГО ДАВЛЕНИЯ В РАСЧЕТНОЙ ТОЧКЕ

Рассчитаем уровень звукового давления, дБ, в РТ, формируемого громкоговорителем [3]:

$$L = P_0 + 10 \log P_{вт} - 20 \log (r_1), \quad (2)$$

где

r_1 – расстояние от источника звука (громкоговорителя) до РТ, м. При $r_0 = 1$ м.

КРИТЕРИИ РАСЧЕТА

Критерием правильности расчета будет выполнение следующих требований [1]:

Звуковые сигналы СОУЭ должны обеспечивать общий уровень звука (уровень звука постоянного шума вместе со всеми сигналами, производимыми оповещателями) не менее 75 дБА

на расстоянии 3 м от оповещателя, но не более 120 дБА в любой точке защищаемого помещения. Звуковые сигналы СОУЭ должны обеспечивать уровень звука не менее, чем на 15 дБА выше допустимого уровня звука постоянного шума в защищаемом помещении.

Данное требование содержит 3 условия:

1. Требование к минимальному уровню. Уровень звукового давления громкоговорителя должно быть не ниже 85 дБ:

$$P_{дб} > 85 \text{ дБ} \quad (3)$$

В случае невыполнения данного условия необходимо выбрать громкоговоритель с большим звуковым давлением.

2. Требование к максимальному уровню. Уровень звукового давления в РТ должно быть не выше 120 дБ:

$$(P_{дб} - 20 \log(r_{мин})) < 120 \text{ дБ}, \quad (4)$$

где

$r_{мин}$ – расстояние от громкоговорителя до ближайшего слушателя.

В случае невыполнения данного условия можно уменьшить звуковое давление громкоговорителя или использовать распределенную схему расстановки громкоговорителей.

3. Условие правильности ЭАР:

$$L > УШ + 15, \quad (5)$$

где

УШ – уровень шума в помещении, дБ;

15 – запас звукового давления, согласно [1], дБ.

В случае невыполнения данного условия можно:

- выбрать громкоговоритель с большей чувствительностью $P_{ор}$, дБ;
- выбрать громкоговоритель с большей мощностью $P_{втр}$, Вт;
- увеличить количество громкоговорителей;
- изменить схему расстановки громкоговорителей.

УЧЕТ ДОПОЛНИТЕЛЬНОГО ШУМА

В РТ₂ влияние источника шума очевидно. Если уровень шума, создаваемый источником шума, УШ_и, дБ в РТ, превосходит УШ, дБ в помещении УШ_и ≥ УШ необходимо учитывать суммарное воздействие двух шумов УШ_{сум}, дБ:

$$УШ_{сум} = 10 \log(10^{0,1УШ} + 10^{0,1УШ_{и}}), \quad (6)$$

и затем подставить полученный результат в формулу (5), приравняв УШ = УШ_{сум}.

РАСЧЕТ ЗВУКОВОГО ДАВЛЕНИЯ

В РАСЧЕТНОЙ ТОЧКЕ,

ФОРМИРУЕМОГО ИСТОЧНИКОМ ШУМА

Из рисунка 1 видно, что источник звука находится на некотором расстоянии, r_3 , м, от РТ. Для расчета УШ_и, дБ, воспользуемся результатами, изложенными в [5]:

$$УШ_{и} = P_{ист} + 10 \log(\chi \Phi_n / \Omega r_2^2 + 4\psi / V), \quad (7)$$

где

$P_{ист}$ – октавный (на частоте 1 кГц) уровень звуковой мощности звукового источника, дБ [5], берется из спецификаций или технических характеристик на оборудование;

χ – коэффициент, учитывающий влияние ближнего поля в тех случаях, когда расстояния от источника шума, до РТ, $r_3 < 2L_{ист}$ (принимают по таблице 2, [5]);

Φ_n – фактор направленности источника шума (для источников с равномерным излучением $\Phi = 1$);

Ω – пространственный угол излучения источника, рад. (при-

нимают по таблице 3, [5]);

r_2 – расстояние от громкоговорителя до РТ, м;

ψ – коэффициент, учитывающий нарушение диффузности звукового поля в помещении, таблица 1;

V – акустическая постоянная помещения, м².

АКУСТИЧЕСКАЯ ПОСТОЯННАЯ ПОМЕЩЕНИЯ

Расчет акустической постоянной помещения V сопряжен с определением основного фонда звукопоглощения или эквивалентной площади звукопоглощения, A , м², формула (3), [5].

Коэффициент, учитывающий нарушение диффузности звукового поля в помещении ψ зависит от отношения постоянной помещения V к площади ограждающих поверхностей S , таблица 1:

Табл. 1. Коэффициент, учитывающий нарушение диффузности звукового поля помещений (ψ)

V/S	<0,2	0,3	0,45	0,55	0,7	1,2	1,8
ψ	1	0,9	0,8	0,7	0,6	0,5	0,4

Для приблизительного определения V можно воспользоваться следующей формулой:

$$V = \mu * V_{1000},$$

где

V_{1000} – постоянная помещения на частоте 1 кГц;

μ – частотный множитель, таблица 2.

Табл. 2. Частотный множитель μ

Объем помещения, м ³	Среднегеометрическая частота, кГц							
	0,63	0,125	0,25	0,5	1	2	4	8
$V \ll 200$	0,8	0,75	0,7	0,8	1	1,4	1,8	2,5
$V = 200, 1000$	0,65	0,62	0,64	0,75	1	1,5	2,4	4,2
$V \gg 1000$	0,5	0,5	0,55	0,7	1	1,6	3	6

Постоянная помещения V_{1000} для частоты 1 кГц в зависимости от объема помещения V , м³, определяется следующим способом:

$V_{1000} = V/20$ – для помещений без мебели с небольшим количеством людей (металлообрабатывающие цеха, машинные залы, испытательные стенды и т. д.);

$V_{1000} = V/10$ – для помещений с жесткой мебелью или с небольшим количеством людей и мягкой мебелью (лаборатории, кабинеты и т. д.);

$V_{1000} = V/6$ – для помещений с большим количеством людей и мягкой мебелью (рабочие помещения административных зданий, жилые комнаты и т. п.);

$V_{1000} = V/1,5$ – для помещений со звукопоглощающей облицовкой потолка и части стен.

Поясним, почему УШ, определяет точность расчетов. Для выбора параметров громкоговорителя или схемы их расстановки используется следующий подход (метод):

1. Выбираем РТ.
2. Определяем УШ в РТ.
3. Определяем ожидаемый уровень звукового давления в РТ.
4. Определяем место установки и расстояние до предполагаемого громкоговорителя.
5. Рассчитываем минимально необходимый уровень звукового давления предполагаемого громкоговорителя.

ДОПОЛНИТЕЛЬНЫЕ ОРГАНИЗАЦИОННЫЕ МЕРОПРИЯТИЯ

При высоких уровнях шумов возникает ситуация, когда использование громкоговорителя становится нерациональным. В этом случае на первый план выступают организационные мероприятия. Так, на основании [1]:

В защищаемых помещениях, где люди находятся в шумозащитном снаряжении, а также в защищаемых помещениях с уровнем звука шума более 95 дБА звуковые оповещатели должны комбинироваться со световыми оповещателями. Допускается использование световых мигающих оповещателей.

ЭФФЕКТИВНАЯ РАССТАНОВКА ГРОМКОГОВОРТЕЛЕЙ

Для выполнения полноценного ЭАР одних нормативных требований крайне недостаточно, поэтому приходится вводить дополнительные характеристики. Продемонстрируем некоторые из них [3]:

Ширина диаграммы направленности (ШДН) – угол раскрытия, определяемый из (круговой) диаграммы направленности громкоговорителя, при котором уровень звукового давления уменьшается на 6 дБ относительно рабочей (геометрической) оси громкоговорителя.

Эффективная дальность D , м, звучания громкоговорителя – расстояние от громкоговорителя до точки, звуковое давление p , дБ, в которой превышает УШ на 15 дБ.

Эффективную дальность можно определить как:

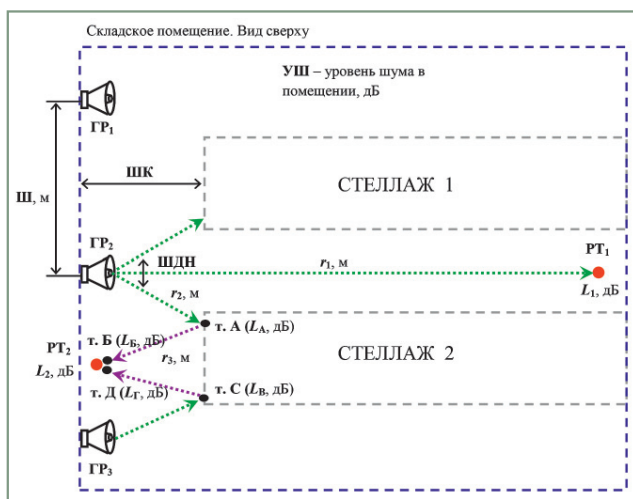
$$D = 10^{1/20(p_{дб} - УШ - 15)}, \quad (8)$$

где

$p_{дб}$ – звуковое давление, развиваемое громкоговорителем на определенной мощности, дБ.

Оперирование приведенными характеристиками (параметрами) позволяет в зависимости от типов громкоговорителей – потолочный, настенный, рупорный – строить различные диаграммы – контуры озвучиваемых площадей. Так, например, для потолочного громкоговорителя эффективной озвучиваемой площадью (контуром) является площадь круга. Для ШДН = 90° радиус такого круга: $R = H - 1,5$ м, где H – высота потолков [2]. Для настенных или рупорных громкоговорителей актуальным параметром является эффективная дальность D , м.

Рис. 2. Пример расстановки громкоговорителей для складского помещения



ПРИМЕР АКУСТИЧЕСКОГО РАСЧЕТА ДЛЯ СКЛАДСКОГО ПОМЕЩЕНИЯ

На рисунке 2 изображена упрощенная схема складского помещения, для озвучивания которого используются три рупорных громкоговорителя.

Рупорные громкоговорители по сравнению с другими типами имеют ряд преимуществ:

- класс защиты не ниже IP54 и могут использоваться в неотопляемых помещениях;
- высокое звуковое давление, позволяющее работать в условиях высоких шумов;
- универсальное крепление, позволяющее варьировать результирующей диаграммой направленности.

Расстановка громкоговорителей по одной стене (рис. 2), имеет практическое основание, однако, его необходимо подтвердить расчетами.

ВОЗМОЖНЫЕ АЛГОРИТМЫ РАСЧЕТА

Алгоритм ЭАР (проверки) для $РТ_1$ может быть следующим:

1. Расчетная точка $РТ_1$ выбрана правильно – в месте, максимально удаленном от второго громкоговорителя $ГР_2$.
2. Удостоверимся, что $РТ_1$ попадает в область действия диаграммы направленности (ШДН) второго громкоговорителя ($ГР_2$).
3. Определим УШ в $РТ_1$.
4. Рассчитаем уровень звукового давления в $РТ_1$, L_1 , дБ, по формуле (2).
5. Проверим выполнение граничных условий (3), (4), (5).
6. В случае выполнения условий (3), (4), (5) расчет для $РТ_1$ выполнен.
7. В случае невыполнения условий (3), (4), (5) выбирается другой громкоговоритель, меняется схема расстановки громкоговорителей, выполняются дополнительные организационные мероприятия.

Однако, обосновать ЭАР для $РТ_1$ можно более простым способом:

- определяем эффективную дальность D , м, для второго громкоговорителя;
- сравниваем полученное значение D , м, с расстоянием r_1 , м;
- если $D > r_1$, ЭАР для $РТ_1$ выполнен.

Для $РТ_2$ алгоритм ЭАР может быть следующим:

1. Расчетная точка $РТ_2$ выбрана правильно – в месте, наиболее критичном с точки зрения расположения громкоговорителей.
2. Определим УШ в $РТ_2$.
3. Удостоверимся, что $РТ_2$ попадает в область действия диаграмм направленностей второго ($ГР_2$) или третьего ($ГР_3$) громкоговорителей.

4. Так как $РТ_2$ не попадает ни в одну из областей диаграмм, обратимся к геометрическо-лучевой теории.

5. Из рисунка 2 видно, что в $РТ_2$ попадают 2 луча звуковой энергии, формируемые $ГР_2$ и $ГР_3$ и отраженные от второго стеллажа.

6. Уровень звукового давления L_2 , дБ, в $РТ_2$ может быть рассчитан следующим способом:

- рассчитаем уровень звукового давления в точке А, L_A , дБ, по формуле (2);
- рассчитаем уровень звукового давления в точке В, L_B , дБ, по следующей формуле:

$$L_B = L_A - 20 \log r_3 - 10 \log(1 - K_{\text{полг}}),$$

где

$K_{\text{полг}}$ – коэффициент поглощения отражающей поверхности;

- аналогичным образом рассчитаем уровень звукового давления, формируемый третьим громкоговорителем ($ГР_3$) в точках В, L_B , дБ, и Г, L_G , дБ;

- рассчитаем уровень звукового давления в $RT_2, L_2, \text{дБ}$:

$$L_2 = 10 \log (10^{0,1L_6} + 10^{0,1L_1}).$$

7. Далее все то же самое, что и для RT_1 , проверка граничных условий и т.д.

ОРГАНИЗАЦИОННЫЕ МЕРОПРИЯТИЯ

Приведем некоторые рекомендации (организационные мероприятия), способствующие повышению достоверности восприятия речевой информации в производственных помещениях с высоким шумом [5].

Защита от шума строительно-акустическими методами должна обеспечиваться:

- рациональным с акустической точки зрения решением генерального плана объекта, рациональным архитектурно-планировочным решением зданий;
- применением ограждающих конструкций зданий с требуемой звукоизоляцией;
- применением звукопоглощающих конструкций (звукопоглощающих облицовок, кулис, штучных поглотителей);
- применением звукоизолирующих кабин наблюдения и дистанционного управления;
- применением звукоизолирующих кожухов на шумных агрегатах;
- применением акустических экранов;
- применением глушителей шума в системах вентиляции, кон-

диционирования воздуха и в аэрогазодинамических установках;

- виброизоляцией технологического оборудования. В проектах должны быть предусмотрены мероприятия по защите от шума:
- в разделе «Технологические решения» (для производственных предприятий) при выборе технологического оборудования следует отдавать предпочтение малозумному оборудованию;
- размещение технологического оборудования должно осуществляться с учетом снижения шума на рабочих местах в помещениях и на территориях путем применения рациональных архитектурно-планировочных решений;
- в разделе «Строительные решения» (для производственных предприятий) на основе акустического расчета ожидаемого шума на рабочих местах должны быть, в случае необходимости, рассчитаны и запроектированы строительно-акустические мероприятия по защите от шума;
- шумовые характеристики технологического и инженерного оборудования должны содержаться в его технической документации и прилагаться к разделу проекта «Защита от шума»;
- следует учитывать зависимость шумовых характеристик от режима работы, выполняемой операции, обрабатываемого материала и т.п.;
- возможные варианты шумовых характеристик должны быть отражены в технической документации оборудования.

В КАЧЕСТВЕ ЗАКЛЮЧЕНИЯ

Мы рассмотрели только часть вопросов, касающихся акустических расчетов. Отдельного рассмотрения требуют вопросы расстановки громкоговорителей, определения времени реверберации помещения, расчета разборчивости. Приведем некоторые рекомендации, касающиеся повышения общей разборчивости речи [6].

1. Наибольшее влияние на разборчивость речи оказывают естественные шумы.
2. Существенное влияние на разборчивость речи оказывают реверберационные помехи, снижение которых достигается дополнительными (специальными) мероприятиями.
3. Хорошая разборчивость в реверберирующих помещениях с ограниченным звуковым трактом может быть достигнута при разнице между звуковым давлением в РТ и уровнем шума не меньшей 6 дБ.
4. На разборчивость существенное влияние оказывает качество выбираемых громкоговорителей. При неравномерности АЧХ громкоговорителя приближающейся к 10%, разборчивость ухудшается на 7%.
5. Существенное повышение речевой разборчивости может быть достигнуто увеличением доли прямого звука в суммарной звуковой энергии внутри помещения, за счет:
 - повышением локализации звуковых источников;
 - грамотной расстановкой звуковых источников (громкоговорителей), учитывающей их направленности и расположение, при котором РТ-точка не сильно удалена от источника и не находится в тени.

ЛИТЕРАТУРА

1. ФЗ № 123, свод правил СП 3.13130.2009. Требования пожарной безопасности к звуковому и речевому оповещению и управлению эвакуацией людей.
2. ФЗ № 123, свод правил СП 133.13330.2012 (Приложение А. Упрощенный расчет числа громкоговорителей в системах оповещения).
3. Кочнов О. В. Электроакустический расчет, выполняемый при проектировании СОУЭ // Материалы XV научно-практической конференции «Интеграция науки и практики как механизм развития современного общества». 8-9 апреля 2015.
4. СП 51.13330.2011 Защита от шума. Актуализированная редакция СНиП 23-03-2003. М., 2011.
5. СНиП 23-03-2003. Защита от шума (Sound protection) от 2004-01-01.
6. Кочнов О. В. Расчет разборчивости речи // Материалы XVIII научно-практической конференции «Интеграция науки и практики как механизм развития современного общества». 28-29 декабря 2015.