

УДК 534.843.7

В.С. Дидковский, д-р техн. наук, В.Ю. Завертайло, С.А. Лунева, канд. физ.-мат. наук

Конфигурация зоны максимального звукового давления, создаваемого линейной группой из трех излучателей

Исследована конфигурация и изменение относительных размеров зоны максимального звукового давления, создаваемого линейной группой из трех источников звука в зависимости от их размещения и различного направления акустических осей. Геометрия искомой зоны найдена путем сопоставления расчетов звуковых полей одиночного и трех излучателей. Результаты расчетов подтверждены экспериментально.

The configuration and change of the relative sizes of a zone of the maximum sound pressure created by linear group of three sources of a sound depending on their placing and a various direction of acoustic axes is investigated. The geometry of required zones is found by comparison of calculations of sound fields single and three emitters. Results of calculations are confirmed experimentally.

Ключевые слова: *излучатель звука, линейная группа, звуковое давление, интерференция, амплитудно-модулированный сигнал, метод координат, характеристика направленности, акустическая ось, заглушенная камера.*

Введение

При одновременной работе нескольких источников звука в их результирующем поле возникает сложная интерференционная картина [1–3], причем, характер звукового поля усложняется по мере увеличения количества излучателей. Если при работе двух тональных излучателей звука, в случае их незначительной разбалансировки по частоте, возникают биения [1], то при большем количестве излучателей суперпозиция полей излучения отдельных источников звука приводит к образованию сложных амплитудно-модулированных сигналов. Изменение амплитуды этих сигналов происходит с частотами, равными разности рабочих частот излучателей. В результате слушатели оказываются под воздействием низкочастотного изменения громкости сигнала (порядка нескольких Герц), что может вызывать у них психологический дискомфорт [4].

Целью работы является нахождение зоны максимального звукового давления, создаваемого линейной группой идентичных синфазных

тональных источников звука. В пределах этой зоны амплитуды звуковых давлений отдельных излучателей практически равны между собой, что при разбалансировке излучателей по частоте приводит к максимальным изменениям амплитуды результирующего модулированного сигнала. Таким образом, зона максимального звукового давления соответствует зоне устойчивой интерференции звуковых сигналов.

Задача решена для трех эквидистантно расположенных звуковых источников, находящихся в открытом пространстве. Максимальная зона звукового давления, на основе положений, изложенных в [1], определена по границам области, в которой звуковые давления утраиваются по сравнению с полем одиночного излучателя.

Определение области максимального звукового давления, создаваемого группой излучателей в зависимости от направления акустических осей и расстояния между ними

Расчеты звукового поля, создаваемого тремя излучателями на площадке со слушателями размерами 20×20 м, выполнены методом координат [5] для свободного поля. Излучатели установлены вдоль одной из сторон площадки на высоте 3 м от наземной поверхности.

Акустические оси излучателей по вертикали ориентированы на плоскость, расположенную на уровне голов слушателей. В горизонтальной плоскости акустическая ось центрального источника звука перпендикулярна противоположной стороне площадки. Для осей крайних излучателей рассмотрены следующие варианты направления:

- направлены параллельно друг другу (рис. 1);
- сведены в центр противоположной стороны озвучиваемой площадки (рис. 2);
- перекрещиваются и направлены в противоположные углы площадки (рис. 3).

Расстояние между излучателями изменяется от половины до одной четвертой ширины излучаемого пространства.

Взаимное расположение излучателей, конфигурация зоны максимального звукового давления и результаты расчета звукового поля представлены на рис. 1–3.

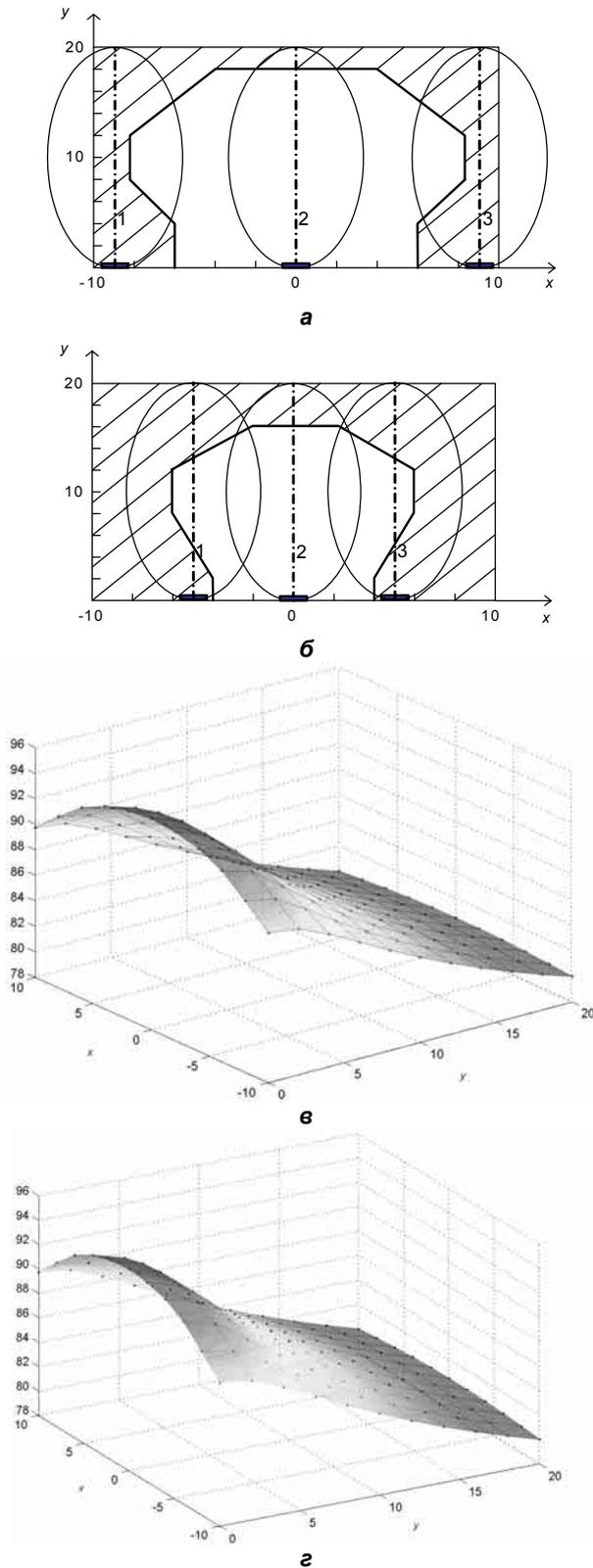


Рис. 1. Иллюстрация звуковых полей трех излучателей с параллельными акустическими осями (1, 2, 3): а, б – взаимное расположение излучателей и зона максимального звукового давления (заштрихованная область); в, г – объемные изображения звуковых полей, соответствующие позициям а и б (в горизонтальной плоскости – площадка зрительских мест, м; по вертикали – уровень звукового давления, дБ)

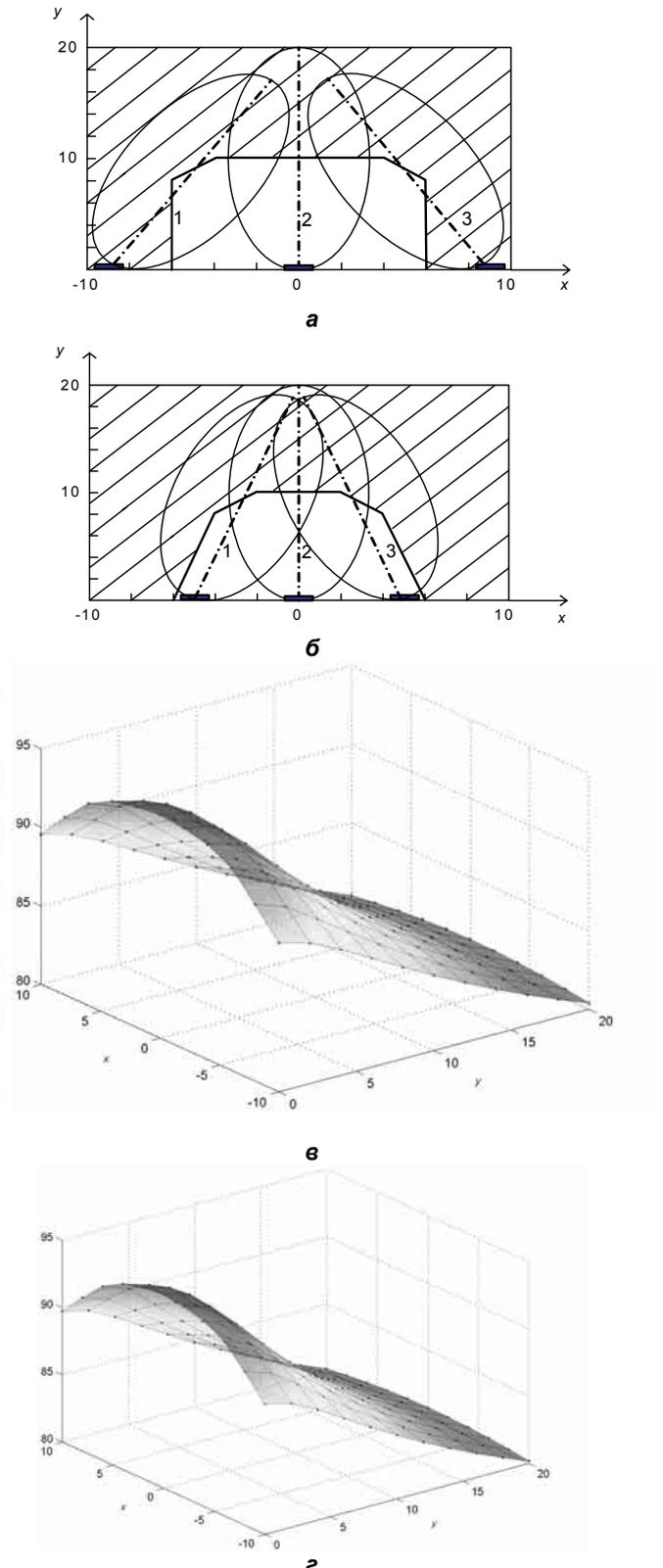


Рис. 2. Иллюстрация звуковых полей трех излучателей, акустические оси (1, 2, 3) которых сведены в центр противоположной стороны площадки: а, б – взаимное расположение излучателей и зона максимального звукового давления (заштрихованная область); в, г – объемные изображения звуковых полей, соответствующие позициям а и б (в горизонтальной плоскости – площадка зрительских мест, м; по вертикали – уровень звукового давления, дБ)

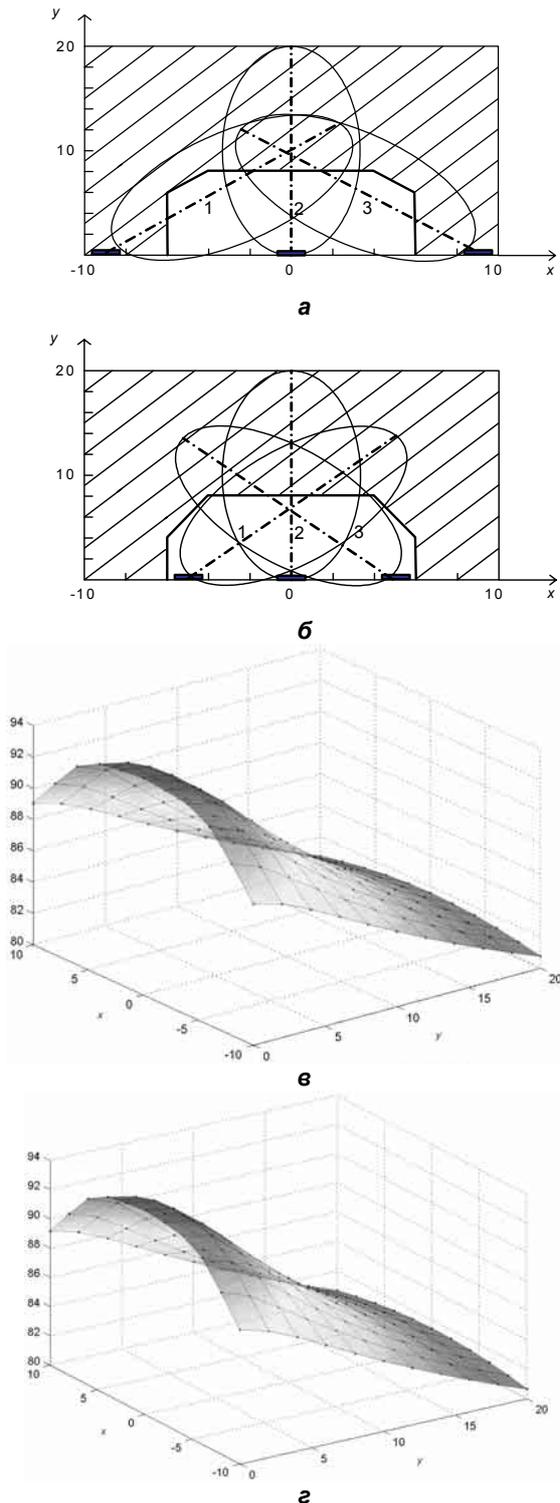


Рис. 3. Иллюстрация звуковых полей трех излучателей при направлении крайних акустических осей (1, 3) в противоположные углы площадки: а, б – взаимное расположение излучателей и зона максимального звукового давления (заштрихованная область); в, г – объемные изображения звуковых полей, соответствующие позициям а и б (в горизонтальной плоскости – площадка зрительских мест, м; по вертикали – уровень звукового давления, дБ)

Как следует из сравнения полученных расчетных данных, представленных на рис. 1–3, а, б, зона максимального звукового давления трех

источников звука имеет наибольшие размеры при направлении акустических осей крайних излучателей в противоположные углы плоскости озвучивания, т. е. в случае, когда акустические оси излучателей пересекаются (рис. 3, а).

Для уменьшения размеров зоны максимального звукового давления желательно, чтобы оси всех трех излучателей были направлены параллельно друг другу (рис. 1, а, б).

Заметим, что по мере сближения крайних источников звука размеры зоны максимального звукового давления возрастают при любом направлении их акустических осей (рис. 1–3, б).

Разность между максимальным и минимальным уровнями звукового давления в пределах рассматриваемой площадки изменяется от 11 до 15 дБ (рис. 1–3, в, г). Среднее значение звукового давления остается приблизительно одинаковым.

Сравнение расчетных данных, представленных на рис. 1–3, с аналогичными результатами, полученными в работе [1] для двух излучателей, свидетельствует о том, что конфигурация зоны максимального звукового давления существенно изменяется при увеличении числа источников звука. Если в случае двух излучателей зона максимального звукового давления занимала центральную часть площадки, исключая лишь области вблизи излучателей, то при одновременной работе трех излучателей искомая зона расположена только вдоль противоположной и боковых сторон площадки.

При пресечении акустических осей излучателей степень их взаимного влияния возрастает, и зона максимального звукового давления занимает большую часть озвучиваемой площадки (по-прежнему, исключая области вблизи излучателей). Следовательно, конфигурация зоны максимального звукового давления зависит от количества излучателей и их взаимного расположения.

Результаты эксперимента

Эксперимент по измерению поля звукового давления трех синфазных тональных излучателей в зависимости от частоты излучения и разности частот излучателей проведен в заглушенной камере Научно-исследовательского института строительных конструкций [6].

Размеры заглушенной камеры составили 5,5×3,5×5,0 м. Коэффициент поглощения стен в камере на частоте 100 Гц равен 0,95, а на частотах свыше 2 кГц – 0,99. Отличие от поля прямого звука составляет не более 0,5 дБ [7].

В качестве источников звука использованы три идентичные звуковые колонки SVEN BF-11.

Рабочие частоты излучателей – 250, 1000 и 4000 Гц

выбраны из стандартного ряда частот. В роли эталона частоты использовалась звуковая карта M-Audio Fast Pro Track ПЭВМ. В процессе измерений частоты сигналов излучателей имели разбалансировку – от 2 до 10 Гц. Измерения поля излучения выполнялись ненаправленным конденсаторным микрофоном Behringer ECH-800 в пяти точках заглушенной камеры. Расположение излучателей и исследуемых точек показаны на рис. 4.

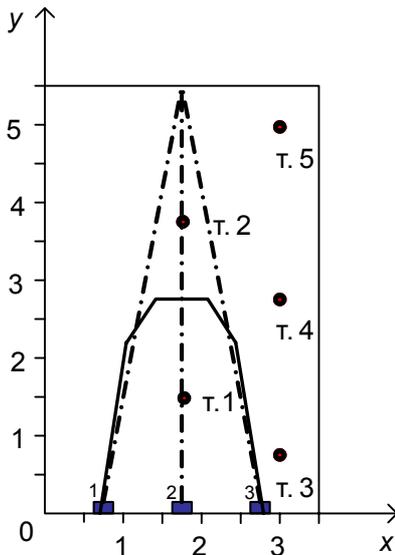


Рис. 4. Расположение экспериментальных точек для измерения характеристик поля: по осям x , y – размеры заглушенной камеры, м

Акустические оси излучателей ориентированы в центр противоположной стороны озвучиваемой камеры (рис. 4). Размеры исследуемой камеры отличаются от размеров ранее рассчитанной площадки. В связи с этим, был произведен перерасчет максимального звукового давления для соответствующих размеров звукопоглощающей камеры.

Для иллюстрации полученных закономерностей на рис. 5–7 представлены сигналы, снятые с микрофона, в точках 1, 2, 4 (рис. 4).

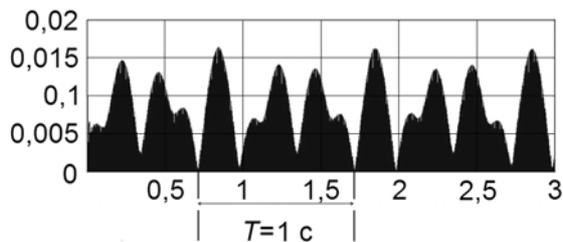


Рис. 5. Полученный экспериментально результирующий сигнал в т. 1 (частоты излучателей 250, 252, 255 Гц): по горизонтали – время, с; по вертикали – напряжение, В

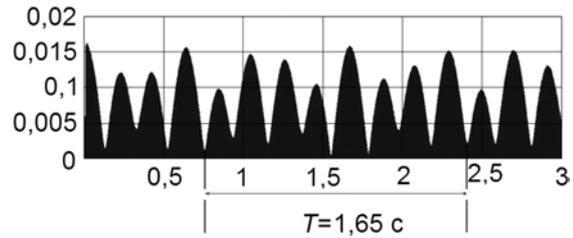


Рис. 6. Полученный экспериментально результирующий сигнал в т. 2 (частоты излучателей 1000, 1002, 1005 Гц): по горизонтали – время, с; по вертикали – напряжение, В

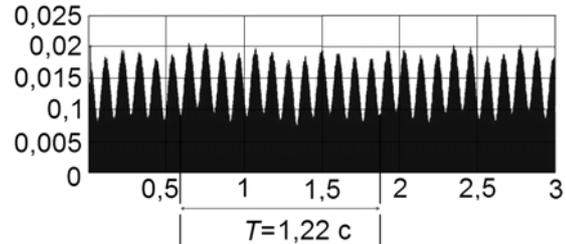


Рис. 7. Полученный экспериментально результирующий сигнал в т. 4 (частоты излучателей 4000, 4003, 4010 Гц): по горизонтали – время, с; по вертикали – напряжение, В

Как следует из данных эксперимента, не зависимо от частоты сигнала и степени отличия частот излучателей, амплитуда результирующего сигнала изменяется с частотой равной максимальной разностной частоте излучаемых сигналов. Так, например, для сигнала, представленного на рис. 7, $\Delta f_{\max} = 10$ Гц, полный период колебаний равен $T = 1,22$ с. В этом периоде насчитывается $n = 12$ пиков напряжения. Тогда, период пульсаций амплитуды сигнала T_1 составляет 0,102 с, следовательно, частота пульсаций $f_1 \approx 10$ Гц, что соответствует максимальной разности частот трех излучаемых сигналов Δf_{\max} .

Аналогично проводится расчет Δf_{\max} для сигналов, приведенных на рис. 5, 6 (амплитуда этих сигналов изменяется с частотой $\Delta f_{\max} = 5$ Гц).

Таким образом, частота пульсаций амплитуды результирующего сигнала равна наибольшей разностной частоте трех излучателей. Выявленная закономерность характерна для всех исследуемых точек пространства.

В точке 1, находящейся вне зоны максимального звукового давления (рис. 5), диапазон изменения амплитуды принятого сигнала уменьшается, по сравнению с амплитудой сигнала, измеренного в т. 2 (рис. 6). Однако изменения амплитуды сигнала в т. 1 остаются достаточно выраженными, поскольку эта точка расположена на центральной оси группы трех излучателей.

При отклонении от центральной оси группы излучателей (рис. 7, т. 4) даже для точек, которые лежат в рассчитанной области максимального звукового давления, изменения амплитуды результирующего сигнала менее выражены (рис. 6, т. 2). Очевидно, это связано с возрастанием разности фаз суммируемых сигналов в точках поля, расположенных вне центральной оси группы излучателей.

Таким образом, экспериментальные данные свидетельствуют о том, что во всех точках озвучиваемой площадки формируется результирующий амплитудно-модулированный сигнал. Степень изменения амплитуды этого сигнала различна в разных точках поля и является максимальной в рассчитанной зоне максимального звукового давления.

Выводы

Зона максимального звукового давления поля, создаваемого тремя излучателями звука, имеет наибольшие размеры, когда акустические оси крайних излучателей пересекаются и направлены в противоположные углы площадки.

По мере сближения источников звука зона максимального звукового давления увеличивается.

Зона максимального звукового давления имеет наименьшие размеры при озвучивании площадки источниками звука с параллельно направленными акустическими осями.

В рассчитанной зоне максимального звукового давления наблюдаются наибольшие изме-

нения амплитуды результирующего амплитудно-модулированного сигнала, что подтверждается данными проведенного эксперимента, и должно быть учтено при расчетах звуковых полей, создаваемых указанными источниками в открытых пространствах, а также в закрытых и полузакрытых объемах.

Литература

1. *Дидковский В.С., Завертайло В.Ю., Лунева С.А.* Метод определения зоны максимального звукового давления двух излучателей // *Электроника и связь*. – 2009. – № 1 (48). – С. 38–44.
2. *Пейн Г.* Физика колебаний и волн. – М.: Мир, 1979. – 390 с.
3. *Электроакустика и звуковое вещание /* Под ред. Ю.А. Ковалгина. – М.: Горячая линия – Телеком, 2007. – 870 с.
4. *Алдошина И.А., Приттс Р.* Музыкальная акустика. – С.–П.: Композитор, 2006. – 720 с.
5. *Папернов Л.З., Молодая Н.Т., Метер Ч.М.* Проектирование и расчет звукоусиления и озвучения закрытых помещений. – М.: Связь, 1970. – 264 с.
6. *Исследования и паспортизация акустических камер: Отчет 73–17.* НИИ Строительных конструкций Госстроя Украины, 1973. – 120 с.
7. *Громкоговорители.* Методы измерений электроакустических параметров: ГОСТ 16122-87. – М.: Стандарты, 1987. – 94 с.