

Применение метода эквивалентных источников для калибровки излучателей звука в бассейне с отражающими стенками.

А.Л. Вировлянский¹⁾, М.С. Дерябин^{1,2)}, В.К. Бахтин^{1,2)}

¹⁾ Институт прикладной физики РАН

²⁾ ННГУ им. Н.И. Лобачевского

Актуальность и постановка задачи

Большинство методов калибровки акустических излучателей в бассейне с отражающими границами основаны на выделении прямого сигнала, приходящего в точки приема без отражения от границ. Но эти методы эффективны только для достаточно высоких частот.

Метод эквивалентных источников¹⁾ позволяет провести калибровку излучателя без выделения прямого сигнала, при этом предполагается, что поля, возбуждаемые калибруемым излучателем и в бассейне, и в свободном пространстве могут быть представлены в виде суперпозиции полей одних и тех же акустических монополей, играющих роль эквивалентных источников с одними и теми же амплитудами. В рамках данного метода комплексная амплитуда u поля в производной точке наблюдения \mathbf{R} представляется в виде суперпозиции полей акустических монополей с амплитудами A_1, \dots, A_N , расположенных в N точках $\mathbf{r}_1, \dots, \mathbf{r}_N$ (1).

$$u(\mathbf{R}) = \sum_{n=1}^N G(\mathbf{R}, \mathbf{r}_n) A_n \quad (1)$$

$$G(\mathbf{R}, \mathbf{r}) = -\frac{1}{4\pi|\mathbf{R} - \mathbf{r}|} e^{-ik|\mathbf{R} - \mathbf{r}|} \quad (2)$$

,где $G(\mathbf{R}, \mathbf{r})$ функция Грина акустического монополя в свободном пространстве, следовательно по измерениям в бассейне необходимо найти амплитуды акустических монополей (*калибровка бассейна*).

1) А.Л. Вировлянский , А.Ю. Казарова, Л.Я. Любавин. Реконструкция диаграммы направленности источника звука в свободном пространстве по измерениям его поля в бассейне

Метод эквивалентных источников

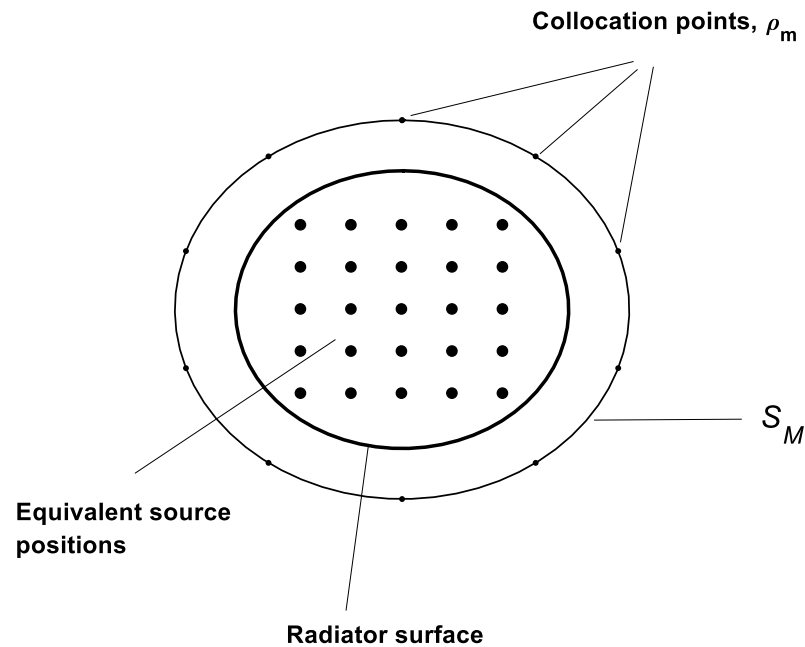


Рис. 1

В бассейне формула (1) переходит в (3).

$$\tilde{u}(\mathbf{R}) = \sum_{n=1}^N \tilde{G}(\mathbf{R}, \mathbf{r}_n) A_n \quad (3)$$

где A_n те же самые амплитуды, что и в свободном пространстве. Для нахождения A_n рассматривается некоторая поверхность S_M , охватывающая излучатель. На этой поверхности выбирается M точек коллокации (Рис.1) ρ_1, \dots, ρ_M . Линейная система уравнений относительно неизвестных A_n получается приравниванием значений поля излучателя и сумм (3).

В матричных обозначениях полученная система имеет вид (4).

$$\tilde{u} = \tilde{G}A \quad (4)$$

Экспериментальная установка

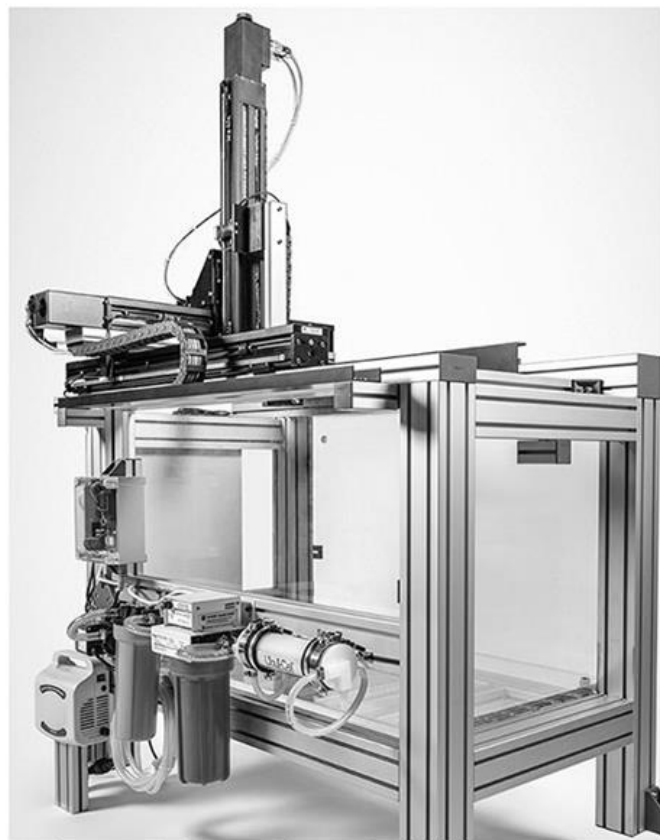


Рис. 2

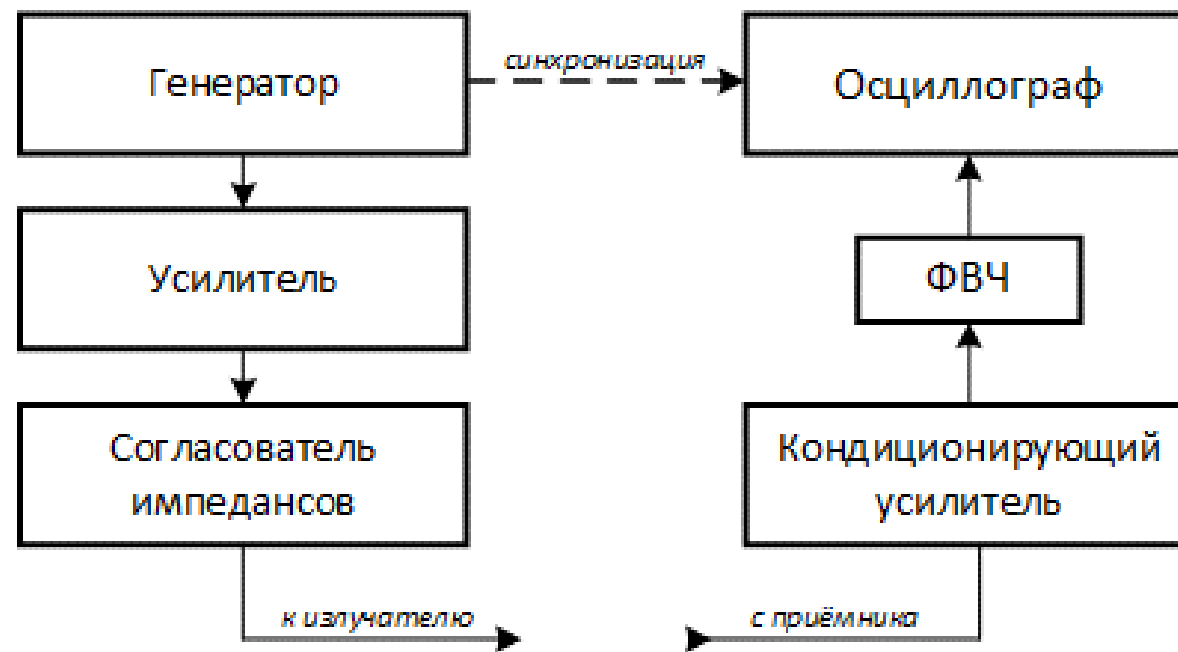


Рис. 3

Калибровка бассейна

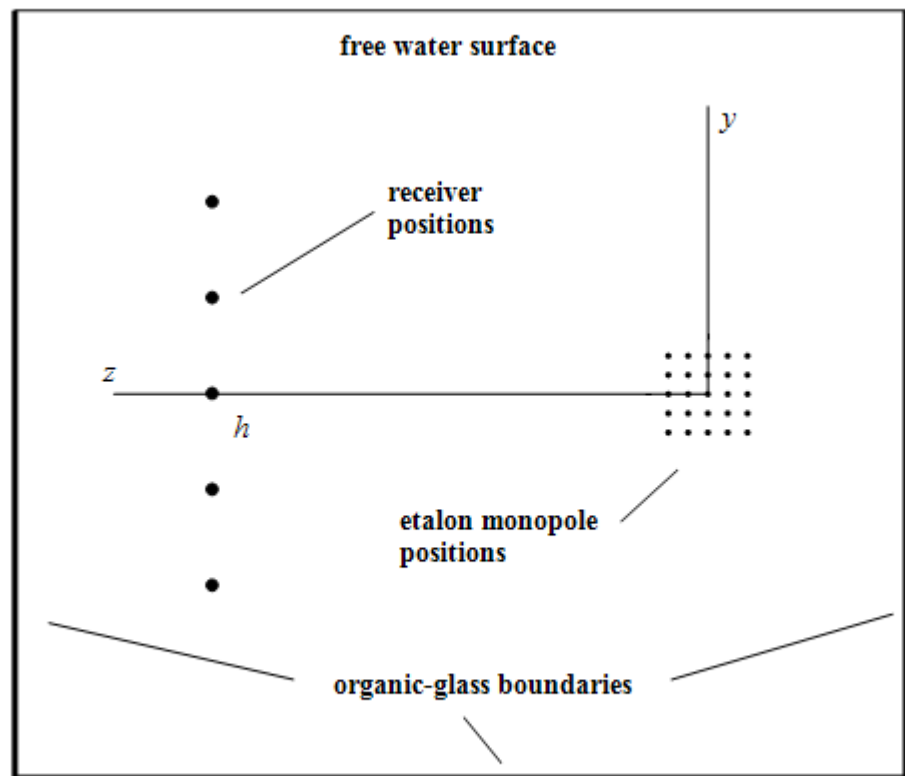


Рис. 4

Для калибровки бассейна использовались два обратных гидрофона V&K8103. Один использовался в качестве приёмника звука и находился в позициях, изображенных жирными точками (Рис. 4). Вторым гидрофоном поочередно помещался в точки, образующие куб со стороной 5 см, и излучал тональный сигнал на несущей частоте 7,6 или 26 кГц или импульсный сигнал на частоте 13 кГц. Расстояние между ближайшими точками куба равно 1 см. Измерения проводились следующим образом: пока приёмный гидрофон находился в одной из точек приёма гидрофон, играющий роль источника, проходил все 125 точек, образующих куб. Из каждой точки он излучал один и тот же сигнал, который с некоторой задержкой, позволяющей завершиться всем переходным процессам, связанным с отражением сигнала от стенок бассейна, регистрировался приёмным гидрофоном.

Таким образом были найдены $5 \times 125 = 625$ значений функции Грина в бассейне.

Что нового?

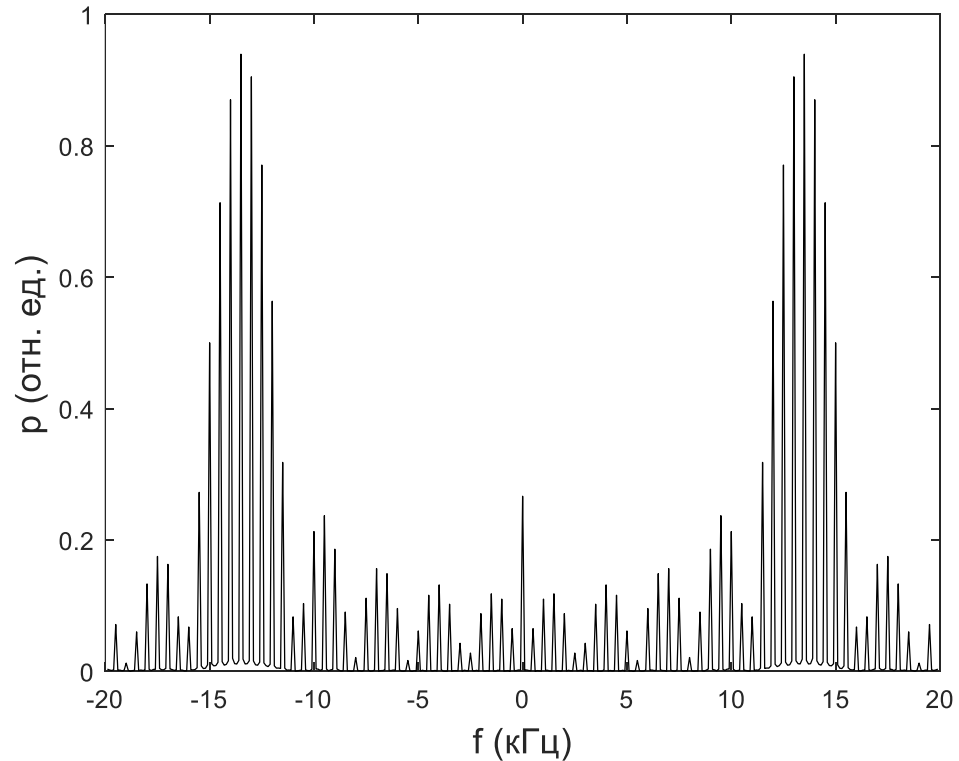


Рис. 5

- Импульсный режим
Излучённый сигнал представляет собой периодическую последовательность одинаковых импульсов с периодом повторения 2 мс. Интервал между соседними максимумами спектра равен 0,5 кГц. На Рис. 5 представлен спектр излучённого сигнала
- Несущие частоты 7,6 и 26 кГц

Результаты

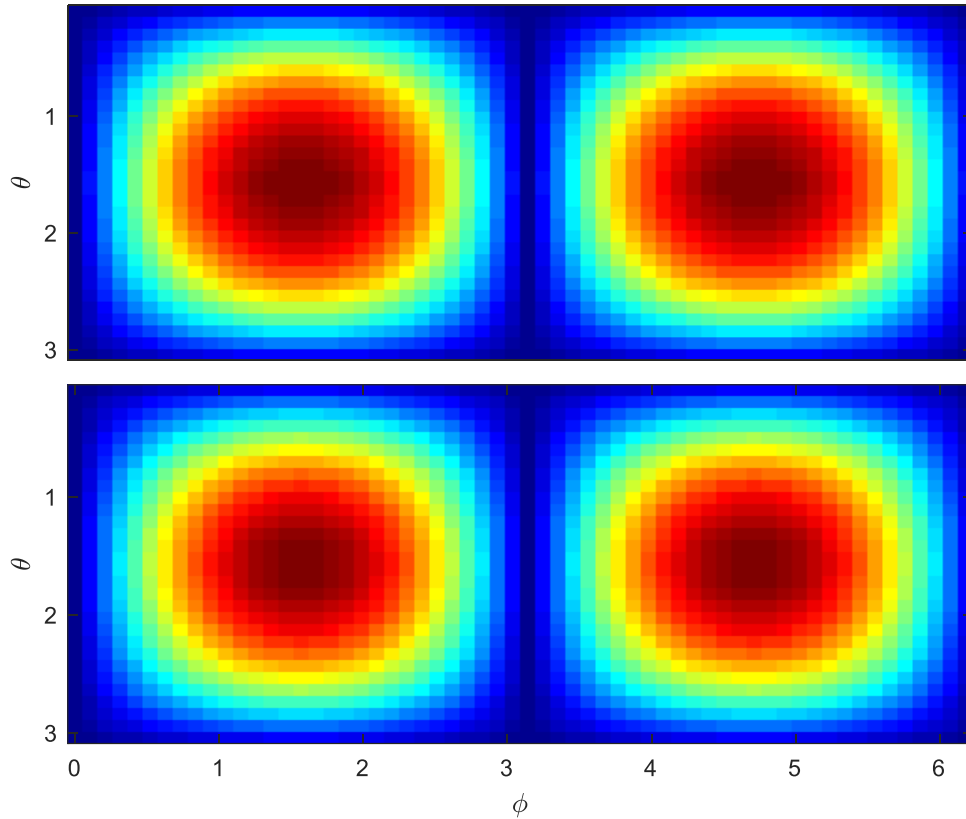


Рис. 6

Результат восстановления диаграммы направленности акустического диполя в свободном пространстве по измерениям его поля в бассейне представлен на Рис. 6.

Вверху: диаграмма направленности акустического диполя $D(\phi, \theta)$, где ϕ и θ – азимутальный и полярный углы. Внизу: результат реконструкции диаграммы направленности по данным измерений в бассейне.

Результаты

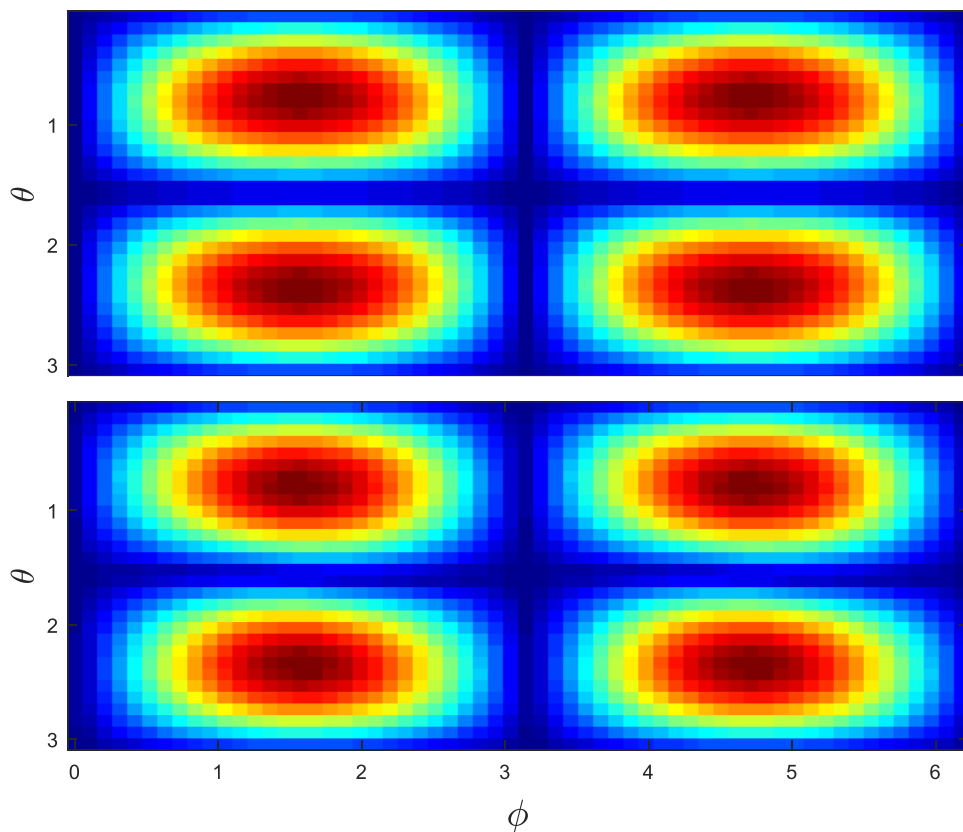


Рис. 7

Результат восстановления диаграммы направленности акустического квадруполь в свободном пространстве по измерениям его поля в бассейне представлен на Рис. 7.

Вверху: диаграмма направленности акустического диполя $D(\phi, \theta)$, где ϕ и θ – азимутальный и полярный углы. Внизу: результат реконструкции диаграммы направленности по данным измерений в бассейне.