

# Позиционирование акустического центра сферического гидрофона

В. Г. Арсентьев, Г. И. Криволапов

При технической реализации гидроакустических фазовых пеленгаторов с ультракороткой базой весьма актуальной оказывается задача определения местоположения акустических центров гидрофонов приёмных антенн. Предложен метод фазоразностных измерений смещения акустических центров сферических гидрофонов, позволяющий существенно повысить точность их градуировки.

*Ключевые слова:* гидроакустические фазовые пеленгаторы, акустический центр гидрофона.

## 1. Введение

В гидроакустических навигационных системах, использующих фазовые методы измерения параметров навигационного сигнала, для обеспечения высокой точности позиционирования подводных объектов необходимы сведения о местоположении акустических центров отдельных пространственно-разнесённых гидрофонов приёмной антенны, которые могут быть получены только в результате проведения их градуировки.

Достаточно актуальна задача градуировки приёмных гидрофонов для судовых антенн высокоточных систем позиционирования с ультракороткой базой [1], в которых применяются сферические гидрофоны разных размеров и конструкций. Необходимость градуировки вызвана тем, что имеет место несоответствие геометрического центра гидрофона его акустическому центру.

Несовпадение геометрического и акустического центров гидрофона обусловлено конечными размерами его активного элемента и технологическими погрешностями изготовления. Неопределённость положения акустического центра приводит к появлению погрешности позиционирования, которая в случаях выполнения высокоточных измерений угловых координат подводных объектов может оказаться недопустимо большой, особенно в области высоких частот.

Определить местоположение акустического центра прямыми измерениями не представляется возможным, поэтому используются косвенные методы градуировочной технологии, основанные на измерениях смещения акустического центра относительно геометрического центра гидрофона.

Известный стандартизованный метод [2] основан на том, что положение акустического центра приёмного гидрофона рассчитывается путём измерения звукового давления, производимого гидрофоном-излучателем в свободном поле, в зависимости от расстояния до произвольно выбранной опорной точки. Использование экспериментальной зависимости звукового давления от расстояния при достаточно затратной процедуре измерения может обеспечивать приемлемую для некоторых применений точность определения местоположения акустического центра гидрофона, но погрешность оценки оказывается довольно большой.

Лучшие результаты позволяет получить менее затратный метод [3], в котором приёмный гидрофон и излучатель располагают в измерительном бассейне, ориентируя гидрофон опорным направлением на излучатель, облучают гидрофон тонально-импульсным сигналом, который принимают гидрофоном. Затем, не меняя положения геометрического центра гидрофона относительно излучателя, разворачивают гидрофон на  $180^\circ$  относительно вертикальной оси, снова облучают гидрофон, принимают сигнал излучателя и измеряют временную задержку тонально-импульсного сигнала, принятого гидрофоном, при изменении направления приёма. Смещение акустического центра гидрофона относительно геометрического центра в направлении приёма рассчитывают как половину произведения полученной временной задержки на скорость звука в воде.

Однако и данный метод имеет недостаточную точность определения положения акустического центра гидрофона, поскольку в результате указанных операций рассчитывается величина только одной проекции его смещения от геометрического центра на ось, перпендикулярную выбранному опорному направлению, что в наиболее вероятных случаях измерений приводит к методической ошибке, связанной с отсутствием информации о второй проекции смещения, которая необходима для точного определения положения акустического центра в плоскости поперечного сечения гидрофона. Смещение акустического центра гидрофона вдоль продольной оси в данном методе вообще не определяется.

Предлагаемый метод позволяет устранить отмеченные недостатки и расширить функциональные возможности градуировочной технологии за счёт использования фазоразностных измерений с применением непрерывных сигналов, позволяющих повысить точность определения положения акустического центра сферического гидрофона при относительно низкой стоимости технического обеспечения процесса измерений.

## **2. Фазоразностный метод измерения смещения акустического центра сферического гидрофона**

Сущность и техническую реализацию предлагаемого метода удобнее всего рассматривать в контексте соответствующей процедуры, которая включает в себя несколько этапов.

### **2.1. Градуировочная разметка гидрофона**

Выполняется позиционирование сферического гидрофона в декартовой системе координат (рис. 1) путём нанесения на его боковую поверхность градуировочных меток, соответствующих направлениям полуосей выбранной системы координат: метка «1» (полуось координат  $X$ ), метка «2» (полуось координат  $Y$ ), метка «3» (полуось координат  $-X$ ), метка «4» (полуось координат  $-Y$ ). Перед измерениями поверхность гидрофона обрабатывается специальными средствами для улучшения смачиваемости.

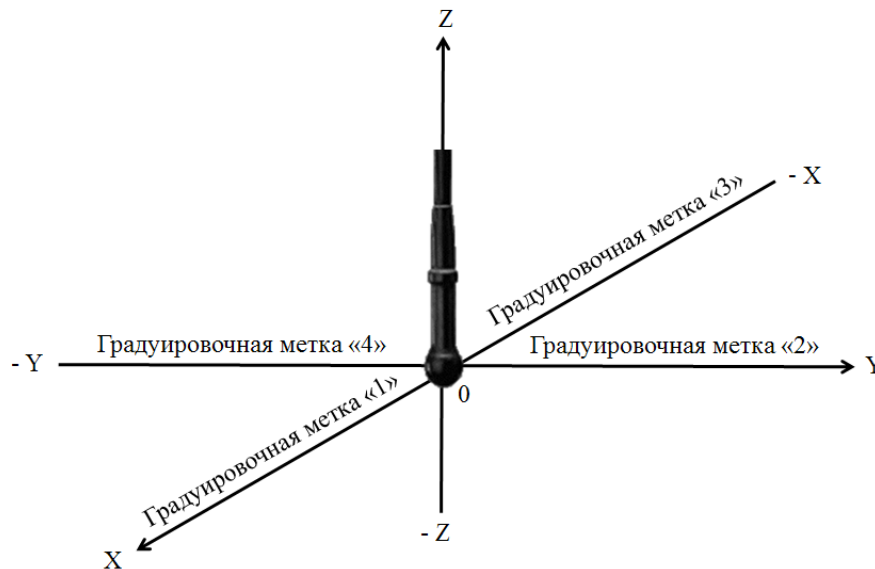


Рис. 1. Позиционирование гидрофона в декартовой системе координат

## 2.2. Монтаж оборудования

Осуществляется размещение и функциональное соединение элементов оборудования (рис. 2) на контрольно-измерительном стенде и в акустически заглушенном измерительном бассейне. Расстояние  $d$  (м) между градуируемым гидрофоном и акустическим излучателем в бассейне выбирается из условия формирования их характеристик направленности [4]:

$$d \geq \frac{2 \cdot (D_1^2 + D_2^2) \cdot f}{c}, \quad (1)$$

где  $D_1$  и  $D_2$  – размеры (м) активных элементов градуируемого гидрофона и акустического излучателя соответственно;  $f$  – рабочая частота (Гц) гидрофона;  $c$  – скорость звука (м/с) в воде.

Например, при существующих размерах  $D_1$  и  $D_2$ , равных 0.04 м и 0.015 м соответственно, средней величине  $c = 1450$  м/с, при градуировке сферических гидрофонов с рабочими частотами до 100 кГц минимально необходимое расстояние  $d$  на основе требования (1) будет составлять чуть больше одного метра, что не потребует измерительного бассейна больших размеров.

Стойка крепления градуируемого гидрофона должна обеспечивать возможность его вращения на  $360^\circ$  вокруг продольной оси (в плоскости  $XOY$ ), проходящей через геометрический центр гидрофона, без её смещения и поворота на  $90^\circ$  в плоскости  $YOZ$ .

Стойка крепления акустического излучателя должна иметь атрибуты конструкции, позволяющие осуществлять его перемещение по высоте установки и удалению от градуируемого гидрофона.

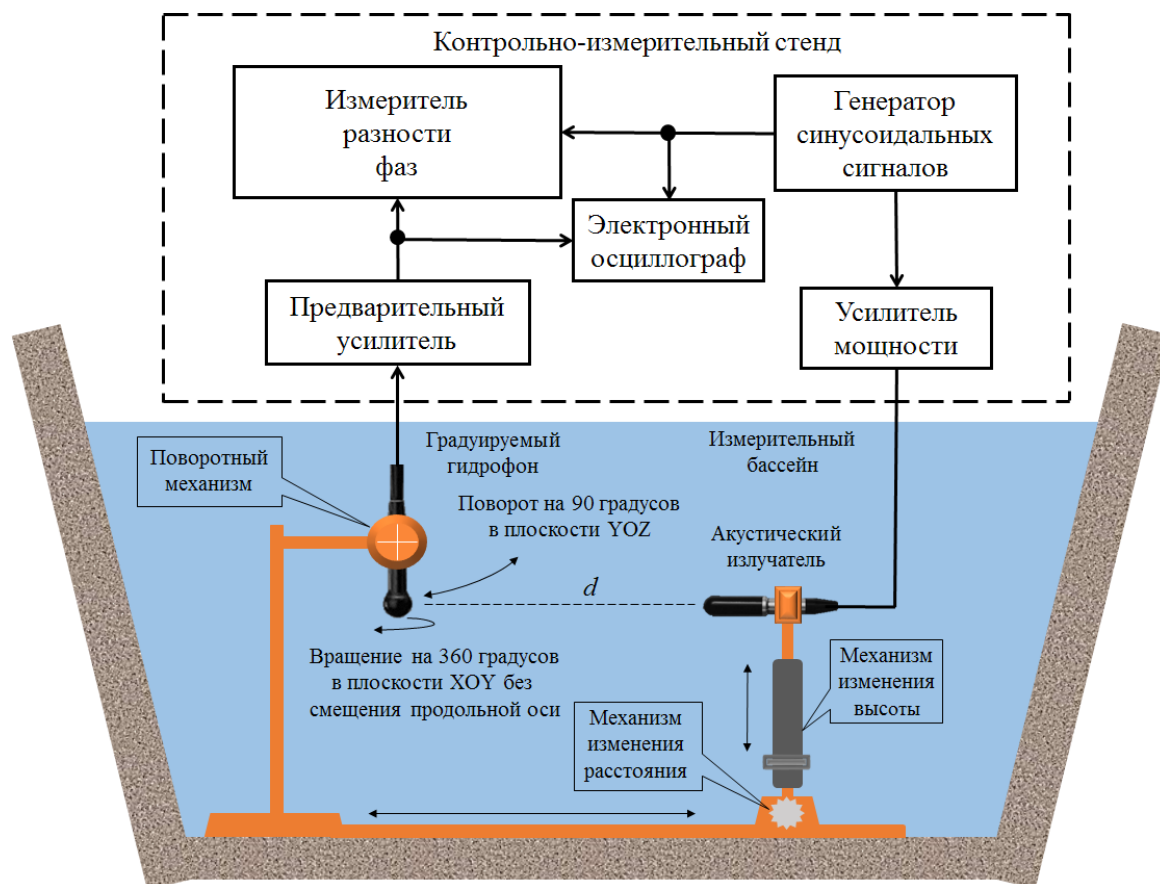


Рис. 2. Состав и размещение оборудования

### 2.3. Подготовительные операции

Измеряется температура воды в бассейне, производится проверка и настройка оборудования. Частота колебаний генератора синусоидальных сигналов  $f$  (Гц) выбирается равной рабочей частоте градуированного гидрофона, при этом длина волны колебаний не должна превышать предполагаемого максимального смещения акустического центра гидрофона от его геометрического центра:

$$f \leq \frac{c \cdot 10^3}{\Delta r_{\max}}; \quad c = 1402.39 + 4.99 \cdot T - 0.05 \cdot T^2, \quad (2)$$

где  $c$  – скорость звука (м/с) в пресной воде при измеренной температуре  $T$  (°C) [5];  $\Delta r_{\max}$  – предполагаемое максимальное смещение (мм) акустического центра гидрофона, которое зависит от особенностей конструкции и размеров градуированного гидрофона.

Если предположить, что  $\Delta r_{\max}$  достигает, например, величины 2 мм (не самые передовые технологии изготовления гидрофонов), то из условия (2) при усреднённом значении скорости звука в воде 1450 м/с можно оценить верхнюю границу частотного диапазона применимости фазоразностного метода, которая в данном случае будет равна 725 кГц.

В условиях непрерывного излучения колебаний выбранной частоты генератора синусоидальных сигналов, при вертикальной ориентации гидрофона и развороте гидрофона одной из градуировочных меток в направлении на акустический излучатель небольшим изменением расстояния между акустическим излучателем и градуированным гидрофоном добиваются того, чтобы показания измерителя разности фаз находились в средней части его рабочего диапазона.

При этом с помощью электронного осциллографа на выходе предварительного усилителя контролируется амплитуда измерительного сигнала, которая должна превышать уровень шумов как минимум на 40 дБ [6].

С использованием достаточно простой вспомогательной конструкции в виде штанги с перемещающейся рамкой, действующей по принципу штангенрейсмаса, механически фиксируется расстояние между градуируемым гидрофоном и акустическим излучателем.

Контролируя электронным осциллографом амплитуды сигналов на входах измерителя разности фаз, изменением уровня выходного сигнала генератора синусоидальных сигналов и коэффициентов усиления двух усилителей выравниваются амплитуды сигналов на входах измерителя разности фаз – это позволяет дополнительно уменьшить погрешности измерений.

## 2.4. Выполнение измерений

В режиме непрерывного излучения акустическим излучателем колебаний выбранной частоты осуществляются измерения разностей фаз  $\Delta\psi_1, \Delta\psi_2, \Delta\psi_3, \Delta\psi_4$  колебаний сигналов на выходе генератора синусоидальных сигналов и выходе предварительного усилителя при вертикальной ориентации градуируемого гидрофона для четырёх углов его поворота в плоскости XOY (без смещения продольной оси) соответствующей градуировочной меткой («1», «2», «3», «4») в направлении на акустический излучатель.

## 2.5. Определение поперечных смещений акустического центра гидрофона

Вычисляются величины смещений  $\Delta r_x$  и  $\Delta r_y$  (мм) акустического центра от геометрического центра гидрофона по осям X и Y в плоскости его поперечного сечения по формулам:

$$\Delta r_x = \frac{-(\Delta\psi_1 - \Delta\psi_3) \cdot c \cdot 10^3}{720 \cdot f}; \quad \Delta r_y = \frac{-(\Delta\psi_2 - \Delta\psi_4) \cdot c \cdot 10^3}{720 \cdot f}, \quad (3)$$

где  $\Delta\psi_1, \Delta\psi_2, \Delta\psi_3, \Delta\psi_4$  – измеренные на этапе 2.4 разности фаз колебаний сигналов (град);  $c$  – скорость звука в пресной воде (м/с), определённая на этапе 2.3;  $f$  – частота излучаемого гармонического сигнала (Гц), равная рабочей частоте градуируемого гидрофона.

## 2.6. Определение продольного смещения акустического центра гидрофона

Градуируемый гидрофон разворачивается на  $90^\circ$  относительно продольной оси и ориентируется в направлении акустического излучателя.

Акустический излучатель устанавливается на одной высоте с продольной осью градуируемого гидрофона и расстоянии, механически зафиксированном на этапе 2.3.

Точно так же в режиме непрерывного излучения измеряется разность фаз  $\Delta\psi_5$  колебаний сигналов на выходе генератора синусоидальных сигналов и выходе предварительного усилителя.

Рассчитывается величина смещения  $\Delta r_z$  (мм) акустического центра от геометрического центра гидрофона по продольной оси Z с использованием соотношений:

$$\Delta r_z = \frac{-\left(\frac{\Delta\psi_1 + \Delta\psi_3}{2} - \Delta\psi_5\right) \cdot c \cdot 10^3}{360 \cdot f} = \frac{-\left(\frac{\Delta\psi_2 + \Delta\psi_4}{2} - \Delta\psi_5\right) \cdot c \cdot 10^3}{360 \cdot f}. \quad (4)$$

Значения смещений  $\Delta r_x, \Delta r_y, \Delta r_z$  заносятся в градуировочный лист гидрофона.

### 3. Погрешности измерений

Согласно известной методике [7] несложно получить оценки абсолютных среднеквадратических погрешностей  $\mu\Delta r_x, \mu\Delta r_y, \mu\Delta r_z$  (мм) вычисления смещений акустического центра сферического гидрофона по координатным осям:

$$\begin{aligned}\mu\Delta r_x &= \frac{c \cdot 10^3}{720 \cdot f} \sqrt{(\delta\Delta\psi_1)^2 + (\delta\Delta\psi_3)^2}; \quad \mu\Delta r_y = \frac{c \cdot 10^3}{720 \cdot f} \sqrt{(\delta\Delta\psi_2)^2 + (\delta\Delta\psi_4)^2}; \\ \mu\Delta r_z &= \frac{c \cdot 10^3}{360 \cdot f} \sqrt{0.25 \cdot [(\delta\Delta\psi_1)^2 + (\delta\Delta\psi_3)^2] + (\delta\Delta\psi_5)^2} = \\ &= \frac{c \cdot 10^3}{360 \cdot f} \sqrt{0.25 \cdot [(\delta\Delta\psi_2)^2 + (\delta\Delta\psi_4)^2] + (\delta\Delta\psi_5)^2},\end{aligned}\quad (5)$$

где  $\delta\Delta\psi_1, \delta\Delta\psi_2, \delta\Delta\psi_3, \delta\Delta\psi_4, \delta\Delta\psi_5$  – абсолютные погрешности измерения соответствующих разностей фаз  $\Delta\psi_1, \Delta\psi_2, \Delta\psi_3, \Delta\psi_4, \Delta\psi_5$  гармонических колебаний, имеющие место на этапе 2.4 описанной выше процедуры градуировки гидрофона.

Принимая во внимание тот факт, что современные измерители разности фаз имеют погрешности измерения не хуже 0.1 градуса, можно оценить порядок величин абсолютных среднеквадратических погрешностей  $\mu\Delta r_x, \mu\Delta r_y, \mu\Delta r_z$ , используя соотношения (5).

Так, например, при градуировке сферических гидрофонов для гидроакустических навигационных систем с ультракороткой базой диапазона частот 5 – 30 кГц погрешности  $\mu\Delta r_x, \mu\Delta r_y$  с большой вероятностью будут находиться в интервале значений 0.01 – 0.06 мм, а погрешности  $\mu\Delta r_z$  попадут в область величин 0.02 – 0.1 мм, что является хорошим показателем эффективности фазоразностного метода.

### 4. Контрольно-измерительное оборудование

При технической реализации предлагаемого метода может быть использовано стандартное аудио и контрольно-измерительное оборудование.

В качестве генератора синусоидальных сигналов может быть взят, например, низкочастотный генератор ГЗ-110, имеющий диапазон частот 0.01 Гц – 2 МГц с высокой точностью и стабильностью частоты [8].

Усилителем мощности может быть, например, оконечный усилитель А1560 с частотным диапазоном 0.5 Гц – 350 кГц и большим диапазоном регулируемой мощности [9].

Стандартный предусилитель модели Р1260 может использоваться в качестве предварительного усилителя. Он имеет частотный диапазон 0.5 Гц – 400 кГц, высокую чувствительность по входу и большой диапазон регулировки усиления [10].

Из стандартных измерителей разности фаз предпочтительнее взять модель Ф2-34 с диапазоном частот 0.5 Гц – 5 МГц, погрешностью измерений 0.1 градуса, разрешающей способностью индикатора 0.01 градуса и диапазоном входных уровней 2 мВ – 2 В [11].

В качестве акустического излучателя можно использовать, например, гидрофон компании Брюль и Кьер модели 8104 – широкодиапазонный стандартный измерительный преобразователь для производства измерений в частотном диапазоне 0.1 Гц – 120 кГц [12].

Модель используемого двухлучевого электронного осциллографа принципиального значения не имеет, можно пользоваться любым имеющимся в распоряжении прибором.

## 5. Сравнительная оценка эффективности фазоразностного метода

Отличием предлагаемого метода от достаточно эффективного тонально-импульсного метода [3] является выполнение фазоразностных измерений в совокупности с вычислением трёх проекций смещения акустического центра, что позволяет существенно повысить общую точность определения местоположения акустического центра градуируемого гидрофона.

Покажем, что фазоразностный метод определения смещения акустического центра гидрофона в рамках современных подходов к автоматизации процедуры градуировки гидрофонов превосходит по точности известный тонально-импульсный метод.

Смещение акустического центра  $\{\Delta r\}_H$  гидрофона в указанном тонально-импульсном методе вычисляется по формуле:

$$\{\Delta r\}_H = \frac{c \cdot (t_1 - t_2)}{2}, \quad (6)$$

где  $c$  – скорость звука в воде;  $t_1$  и  $t_2$  – регистрируемые на выходе гидрофона времена прихода импульсного сигнала в первом и втором (повороте на  $180^\circ$ ) его положениях соответственно.

Поскольку разность времён и разности фаз связаны соотношением:

$$t_1 - t_2 = \frac{\Delta\psi_1 - \Delta\psi_2}{360 \cdot f}, \quad (7)$$

где  $\Delta\psi_1$  и  $\Delta\psi_2$  – измеряемые разности фаз сигналов на входе акустического излучателя и выходе гидрофона соответственно в первом и втором положениях,  $f$  – частота излучаемого гармонического сигнала, то смещение  $\{\Delta r\}_\phi$  акустического центра гидрофона в фазоразностном методе на основании зависимостей (6) и (7) рассчитывается по формуле:

$$\{\Delta r\}_\phi = \frac{c \cdot (\Delta\psi_1 - \Delta\psi_2)}{720 \cdot f}. \quad (8)$$

В теории оценивания параметров сигналов [13] показано, что дисперсия ошибки  $\sigma_u^2$  определения времени прихода тонального импульса длительности  $\tau_u$  равна

$$\sigma_u^2 = \frac{\tau_u}{2 \cdot h^2 \cdot \Delta f}, \quad (9)$$

где  $\Delta f$  – ширина спектра импульса;  $h^2$  – отношение сигнал/шум в среде распространения.

Считая процессы определения времён прихода тональных импульсов при двух измерениях независимыми, можно считать дисперсию ошибки оценивания разности времён  $t_1 - t_2$  равной удвоенной величине, определяемой выражением (9). Если длительность измерительного импульса  $\tau_u$  согласована с полосой частот гидрофона, то среднее квадратическое отклонение ошибки  $\Delta\sigma_u$  определения разности времён будет равно

$$\Delta\sigma_u = \frac{1}{\Delta f \cdot \sqrt{h^2}}. \quad (10)$$

Для корректности, необходимой при сравнении двух методов, введём понятие разрешения метода – минимального смещения акустического центра гидрофона, которое может быть определено с заданной точностью – в нашем случае среднее квадратическим отклонением.

Тогда с учётом зависимостей (6) и (10) разрешение  $\{\Delta r_{\min}\}_H$  тонально-импульсного метода может быть представлено следующей зависимостью:

$$\{\Delta r_{\min}\}_H = \frac{c}{2 \cdot \Delta f \cdot \sqrt{h^2}}. \quad (11)$$

В ГОСТ Р МЭК 62127-2-2009 [6] указывается, что при градуировке амплитуда измерительного сигнала на выходе гидрофона должна превышать уровень шумов как минимум на 20 дБ. В этом случае дисперсия оценки фазы  $\sigma_\phi^2$  в фазоразностном методе согласно [14] зависит только от величины отношения сигнал/шум в среде распространения и определяется соотношением:

$$\sigma_\phi^2 \approx \frac{1}{h^2} \Big|_{h^2 \gg 1} \text{ [рад}^2\text{]}. \quad (12)$$

При использовании высокостабильного генератора синусоидальных сигналов дисперсия ошибки оценивания разностей фаз  $\Delta\psi_1 - \Delta\psi_2$  будет в два раза больше величины, определяемой зависимостью (12), а среднеквадратическое отклонение этой оценки  $\Delta\sigma_\phi$  соответственно равно

$$\Delta\sigma_\phi = \frac{360}{\pi \cdot \sqrt{2} \cdot h^2} \text{ [град]}. \quad (13)$$

Подставляя (13) в (8), получаем выражение для разрешения  $\{\Delta r_{\min}\}_\phi$  фазоразностного метода:

$$\{\Delta r_{\min}\}_\phi = \frac{c}{\pi \cdot f \cdot \sqrt{8} \cdot h^2}. \quad (14)$$

Сравнивая зависимости (11) и (14), можно оценить выигрыш  $\eta$  в разрешающей способности (увеличении точности определения смещения акустического центра гидрофона) фазоразностного метода по сравнению с тонально-импульсным, который можно записать в следующей форме:

$$\eta = \frac{\{\Delta r_{\min}\}_H}{\{\Delta r_{\min}\}_\phi} = \sqrt{2} \cdot \pi \cdot \frac{f}{\Delta f}, \quad (15)$$

где  $f$  – рабочая частота гидрофона;  $\Delta f$  – полоса его частот.

Следовательно, для широкополосных гидрофонов, у которых  $\frac{\Delta f}{f} \approx 1$ , использование фазоразностного метода измерения позволяет повысить точность определения смещения акустического центра по сравнению с тонально-импульсным методом в четыре раза, а для узкополосных гидрофонов, имеющих отношения  $\frac{\Delta f}{f} \leq 0.1$ , – более чем в 40 раз.

Таким образом, совокупные характеристики предлагаемого метода свидетельствуют о повышении точности определения местоположения акустического центра сферического гидрофона, превосходя функциональные возможности известных методов.



## 6. Заключение

Представленный метод с выявленными элементами новизны может быть использован при первичной градуировке гидрофонов гидроакустических антенн фазовых навигационных систем, использующих алгоритмы с высокой точностью позиционирования подводных объектов. Кроме того, предложенная процедура градуировки может оказаться полезной при контроле качества в процессе производства измерительных гидрофонов. Техническая реализация метода, обеспечивающая достаточно высокую точность градуировки гидрофонов, не требует очень дорогостоящего специализированного измерительного оборудования и поэтому может быть отнесена к категории эффективных среднетрадных технологий.

## Литература

1. Пеленгатор гидроакустической навигационной системы с ультракороткой базой: пат. 2179730 RU / Б. А. Касаткин, С. И. Кулинченко, В. Н. Макаров, Ю. В. Матвиенко, Р. Ф. Нургалиев, Р. Н. Рылов. Б. И. 2002. № 5.
2. ГОСТ Р МЭК 61094-3-2001. Микрофоны измерительные. Первичный метод градуировки по свободному полю лабораторных эталонных микрофонов методом взаимности. М.: Госстандарт, 2001. 15 с.
3. Способ определения пространственного смещения акустического центра гидрофона относительно его геометрического центра: пат. 2516607 RU / А. Е. Исаев. Б. И. 2014. № 14.
4. Колесников А. Е. Акустические измерения. Л.: Судостроение, 1983. 260 с.
5. Скорость звука в пресной воде [Электронный ресурс]. URL: [https://studopedia.ru/17\\_47870\\_skorost-zvuka-v-vode.html](https://studopedia.ru/17_47870_skorost-zvuka-v-vode.html) (дата обращения: 01.08.2018).
6. ГОСТ Р МЭК 62127-2-2009. Гидрофоны. Общие требования к методикам калибровки в частотном диапазоне до 40 МГц. М.: Госстандарт, 2011. 61 с.
7. Мирский Г. Я. Электронные измерения. М.: Радио и связь, 1986. 440 с.
8. Генератор ГЗ-110. Технические характеристики и руководство по эксплуатации [Электронный ресурс]. URL: <http://www.tpspribor.ru/pribdescr.php?look=2&look2=1&nov=96&path=gen3-110&sheet=1> (дата обращения: 01.08.2018).
9. Усилитель мощности А1560. Руководство по эксплуатации [Электронный ресурс]. URL: [http://www.samodelka.ru/pictures/data/a\\_1560.pdf](http://www.samodelka.ru/pictures/data/a_1560.pdf) (дата обращения: 01.08.2018).
10. Предварительный усилитель Р1260. Технические характеристики [Электронный ресурс]. URL: [http://www.jazzmobile.ru/images/home/amp/pdf/TA\\_R\\_2013.pdf](http://www.jazzmobile.ru/images/home/amp/pdf/TA_R_2013.pdf) (дата обращения: 01.08.2018).
11. Фазометр Ф2-34. Техническое описание и инструкция по эксплуатации [Электронный ресурс]. URL: [http://www.kiprip.ru/tehs\\_9.html](http://www.kiprip.ru/tehs_9.html) (дата обращения: 01.08.2018).
12. Гидрофон 8104. Сведения об изделии [Электронный ресурс]. URL: <http://asm-tm.ru/wp-content/uploads/2014/08/8101-8106-Gidrofony-NEW-PD.pdf> (дата обращения: 01.08.2018).
13. Авроров С. А. Разработка и исследование методов и программ геоакустической локации мобильными сейсмическими группами: автореф. дис. ... канд. техн. наук (05.13.17). Новосибирск, 2010. 82 с.
14. Лекции по сигналам и системам. Оценка фазы сигнала [Электронный ресурс]. URL: <http://siblec.ru/index.php?dn=html&way=bW9kL2h0bWwvY29udGVudC84c2VtLzA4Ni8yLTMuaHRt> (дата обращения: 01.08.2018).

**Арсентьев Виктор Георгиевич**

к.т.н., ведущий научный сотрудник научно-технического центра специализированных информационных систем СибГУТИ (630008, Новосибирск, ул. Бориса Богаткова, 51), тел. (383) 2-693-938, e-mail: viktor.arsentev.51@mail.ru.

**Криволапов Геннадий Илларионович**

к.т.н., доцент, заведующий лабораторией, руководитель научно-технического центра специализированных информационных систем СибГУТИ, тел. (383) 2-693-942, e-mail: krivolapov@sibsutis.ru.

**Acoustic center positioning of the spherical hydrophone**

**V. Arsent'ev, G. Krivolapov**

With the technical implementation of hydroacoustic phase direction finders with ultrashort base, the problem of determining the hydrophones acoustic centers location of the receiving antennas is very actual. A method for phase-difference measurements of the acoustic centers displacement of spherical hydrophones is proposed allowing to improve significantly the accuracy of their calibration.

*Keywords:* hydroacoustic phase direction finders, hydrophone acoustic center.