

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ОЦЕНИВАНИЕ ЗАВИСИМОСТИ ЧУВСТВИТЕЛЬНОСТИ ПРИЕМНИКА ГРАДИЕНТА ДАВЛЕНИЯ ИНЕРЦИОННОГО ТИПА ОТ ЕГО ПЛАВУЧЕСТИ

Горовой С.В.^{1,2}, Тагильцев А.А.¹, Костив А.Е.¹

¹*Тихоокеанский океанологический институт им. В.И. Ильичева, г. Владивосток*

²*Дальневосточный федеральный университет, г. Владивосток*

GorovoySV@mail.ru, atagiltsev@poi.dvo.ru, kostiv@poi.dvo.ru

Для исследования гидроакустических полей в океанской среде, в том числе вызванных сейсмическими явлениями, используются приемные системы, чувствительные элементы которых в большей степени «реагируют» на скалярную составляющую акустического поля – звуковое давление (скалярные приемники), а также приемные системы, чувствительные элементы которых в большей степени «реагируют» на векторные составляющие акустического поля: колебательную скорость и градиент давления (векторные приемники) [1, 2]. Разработаны конструкции т.н. комбинированных (векторно-скалярных) приемников, в состав которых входят чувствительные элементы, реагирующие как на векторные, так и на скалярные составляющие акустического поля [3, 4]. В [5] описана конструкция низкочастотного гидроакустического приемника градиента давления (ПГД) инерционного типа (в соответствии с приведенной в [3] классификацией), представляющего собой жесткий корпус малых волновых размеров, внутри которого установлены три чувствительных элемента – пьезоэлектрические акселерометры, направления максимальной чувствительности которых ортогональны друг другу. Выходные сигналы акселерометров пропорциональны проекциям вектора ускорения корпуса ПГД на направления максимальной чувствительности акселерометров, поэтому характеристики направленности каждого из измерительных каналов, образованных акселерометрами, описываются функцией $\cos(\varphi)$, где φ – угол между вектором ускорения и направлением максимальной чувствительности акселерометра [3]. В акустических задачах зачастую пренебрегают влиянием вязкости (идеальная жидкость) и конвективной составляющей ускорения среды, в которой распространяются колебания. В силу уравнения движения такой жидкости ускорение ее частиц оказывается пропорциональным градиенту давления. При этом предполагается

ся, что в поле звуковой волны корпус ПГД движется вместе с частицами среды как единой целое и не деформируется, поэтому выходной сигнал жестко связанного с ним акселерометра оказывается пропорциональным соответствующей проекции градиента давления. Данное предположение преимущественно оправдано в воздушной акустике. В гидроакустике, в силу относительно низкой сжимаемости воды, даже малые деформации корпуса ПГД под воздействием звуковой волны (в начальном приближении сжатия – растяжения) могут обуславливать дополнительные колебания акселерометра, что приведет в том числе к искажению характеристики направленности ПГД.

Кроме эффектов, обусловленных деформацией корпуса, на характеристики ПГД инерционного типа оказывает влияние отличие его средней плотности от плотности воды, т.е. его плавучесть. Теоретические вопросы, связанные с указанным различием плотностей, рассмотрены в [6].

Корпус ПГД может иметь различную форму. В настоящей работе приведены результаты экспериментального исследования характера зависимости чувствительности одной из конструкций одноканального ПГД инерционного типа от его плавучести. При проведении экспериментов корпус ПГД подвешивался на гибких растяжках в металлической рамке.

В данном ПГД используется установленный внутри его корпуса, вблизи центра масс, одноканальный акселерометр типа 393B05 производства PCB PIEZOTRONICS, США [7]. Чувствительность использованного экземпляра акселерометра составляет 1.01 В/мс^{-2} , диапазон частот $0.7 - 450 \text{ Гц}$, минимальное среднеквадратическое значение регистрируемого изменения ускорения (Broadband Resolution) $4 \cdot 10^{-5} \text{ мс}^{-2}$, масса – 50 г . Корпус ПГД, изготовленный из алюминиевого сплава АМг6 ГОСТ 4784-97, плотность которого составляет 2.64 кг/дм^3 , имеет форму цилиндрического стакана с наружным диаметром 44 мм и толщиной стенки 5 мм . Для герметизации корпуса используется резьбовая пробка из сплава АМг6 с гермовводом для соединительного кабеля. Внешний вид акселерометра типа 393B05 и корпуса ПГД показаны на рисунке 1. Соотношения размеров корпуса и герметизирующей его пробки выбраны с таким расчетом, чтобы при установленном акселерометре и заполнении пространства внутри корпуса воздухом средняя плотность ПГД с учетом кабеля составляла не более 0.9 кг/дм^3 , что обеспечивает его положительную плавучесть. При проведении экспериментов для регулировки плавучести, в сторону ее уменьшения, внутреннее пространство корпуса заполнялось кусочками свинца, стальными, латунными, алюминиевыми опилками, песком и др.

Оценивание влияния плавучести корпуса ПГД на его чувствительность проводилось путем полосовой фильтрации и сравнения усредненных уровней поступающих с акселерометра сигналов как на лаборатор-



Рис. 1. Внешний вид акселерометра 393B05 и герметичного корпуса ПГД

ном стенде, так и в натуральных условиях, при воздействии на ПГД сигналов, создаваемых погруженным в воду вращающимся винтом вблизи плавучего пирса. Глубина места в районе работ составлял 3 м, рамка с ПГД и вращающийся винт были погружены на глубину 1 м.

Результаты оценивания зависимости чувствительности описанной конструкции ПГД от его плавучести показали, что в данном эксперименте, с учетом погрешностей, в диапазоне частот 10 – 30 Гц

при уменьшении плавучести за счет увеличения средней плотности от 0.9 до 1.3 кг/дм³ чувствительность понижалась по закону, близкому к линейному.

Работа выполнена при поддержке Программы фундаментальных исследований РАН АААА-А20-120031890011-8.

Литература

1. Боббер Р. Дж. Гидроакустические измерения. М.: Мир. 1974. 360 с.
2. Гордиенко В.А. Векторно-фазовые методы в акустике. М.: ФИЗМАТЛИТ. 2007. 480 с.
3. Скребнев Г.К. Комбинированные гидроакустические приемники. СПб. Изд-во «Элмор». 1997. 200 с.
4. Щуров В.А. Движение акустической энергии в океане. Владивосток: ТОИ ДВО РАН. 2019. 204 с.
5. Коренбаум В.И., Тагильцев А.А., Горовой С.В., Костив А.Е., Ширияев А.Д. Низкочастотные приемники градиента давления инерционного типа для океанологических исследований // ПТЭ. 2017. № 4. С. 142–146.
6. Ржевкин С.Н. О колебаниях тел, погруженных в жидкость, под действием звуковой волны // Вестник Московского университета. 1971 № 1. С. 52–61.
7. <https://www.pcb.com/nx/search-results?q=393b05>, проверено 25.06.2023.