

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Демкин Н. Б. Контактное шероховатых поверхностей. М., 1970.
[2] Северин Ф. М. Нелинейные явления при отражении звука от границы раздела твердых тел: Автореф. дис. ... канд. физ.-мат. наук. М. (МГУ), 1990. [3] Северин Ф. М., Солодов И. Ю., Шкуланов Ю. Н. // Вестн. Моск. ун-та. Физ. Астрон. 1988. 29, № 4. С. 94. [4] Richardson T. // Intern. J. Eng. Sci. 1979. 17, N 1. P. 73. [5] Исакович М. А. Общая акустика. М., 1973.

Поступила в редакцию
24.05.93

ВЕСТН. МОСК. УН-ТА, СЕР. 3, ФИЗИКА. АСТРОНОМИЯ. 1993. Т. 34, № 5

УДК 621.394

ТРЕХКАНАЛЬНЫЙ СИММЕТРИЧНЫЙ ПРИЕМНИК УСКОРЕНИЙ С ОБЩЕЙ ИНЕРЦИОННОЙ МАССОЙ

О. С. Тонаканов
(кафедра акустики)

Предлагается конструкция и приводятся основные параметры приемника ускорений, имеющего три канала приема, ориентированных перпендикулярно друг другу. Приемник может найти применение в гидроакустике и сейсмометрии.

Методы исследования колебаний в акустике и сейсмологии зачастую имеют общие задачи и в определенной части совпадают. Так, использование в акустике кроме приемников звукового давления еще и приемников градиента давления позволяет расширить объем получаемой информации о структуре звуковых полей, местонахождении источников звука. Приемник градиента давления соколеблющего типа имеет в своей основе определенным образом ориентированные (как правило, по осям декартовой системы координат) датчики смещения, скорости или ускорения, обладающие независимыми от частоты дипольными характеристиками направленности.

Выбор типа датчика и его конструкции является одной из основных задач при разработке приемников такого типа. Собственно датчик (одно- или многоканальный) представляет собой первичный преобразователь механических колебаний, будь то звуковая волна или колебания грунта, как правило, в электрические. Поэтому датчик градиентного приемника соколеблющего

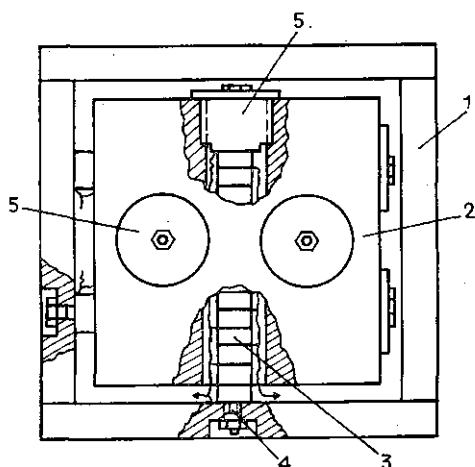


Рис. 1. Общий вид приемника ускорений: 1 — корпус, 2 — груз, 3 — пьезоэлементы, 4 — стяжная шпилька, 5 — крышки

типа может играть роль сейсмоприемника. В литературе широко освещены принципы построения градиентных сейсмоприемников, методы их калибровки и их функционирование в различных условиях [1—5]. Наиболее предпочтительными являются трехканальные приемники с автономными датчиками на каждом канале. Частичное объединение их конструктивных элементов представляет определенный практический интерес.

Известно, что градиентный приемник в идеальном случае должен обладать симметричной конструкцией. На это, в частности, обращается внимание в работе [5]. Так, в работе [6] приводится описание трехканального сейсмоприемника с общей инерционной цилиндрической массой. Очевидно, что такой приемник несимметричен

относительно декартовой системы координат, что может приводить к неидентичным параметрам его каналов приема, различным образом ориентированных относительно осей координат. Такая сложность исчезает, если выбрать форму приемника и его инерционной массы в виде какого-либо симметричного по всем осям тела, например в форме куба, что и было реализовано в рассматриваемой ниже конструкции.

Общий вид приемника ускорений с частичными вырезами в одной из плоскостей со снятой передней крышкой показан на рис. 1. Приемник состоит из корпуса 1, инерционной массы 2 и шести пьезопреобразователей 3. Корпус выполнен из пластин дюралюминия и имеет внешние размеры $110 \times 110 \times 110$ мм. Инерционная масса представляет собой латунный куб с ребром 80 мм. В кубе симметрично относительно его осей в трех взаимно перпендикулярных плоскостях сделаны шесть непересекающихся

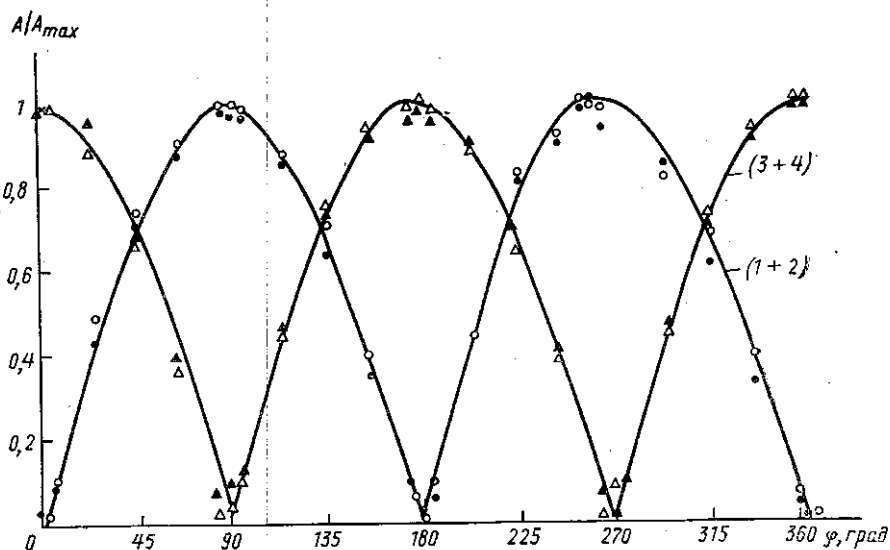


Рис. 2. Нормированная угловая чувствительность попарно включенных соосных датчиков (1+2; 3+4); плоскости датчиков (1+2) и (3+4) ортогональны. Эксперимент: (1+2) — кружки, 20 Гц (светлые) и 80 Гц (темные); (3+4) — треугольники, 20 Гц (светлые) и 80 Гц (темные). Сплошные кривые — функции $\sin \varphi$ и $\cos \varphi$

сквозных цилиндрических отверстий, по две в каждой плоскости. В отверстиях размещаются шесть пьезопреобразователей, по два на каждое из направлений декартовой системы координат. Пьезопреобразователь представляет собой набор из отдельных пьезоэлементов 3, насаженных на стяжные шпильки 4 и включенных параллельно. Пьезоэлементы изготовлены из керамики ЦТС-19 и имеют форму полых цилиндров. С одной стороны шпильки, на которые насажены пьезоэлементы, закреплены резьбовыми соединениями с инерционной массой с помощью крышек 5, закрывающих отверстия, а с другой стороны крепятся к корпусу.

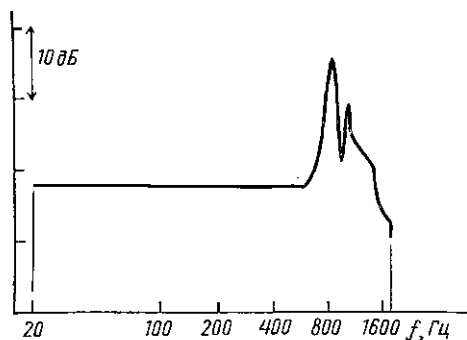
Частота собственных колебаний цилиндрической массы вдоль одной из осей, когда в качестве элементов упругости выступают две шпильки и надеты на них пьезоэлементы, как показывают расчеты, оказывается около 1 кГц.

Практическая пригодность приемника ускорений, равно как и градиентного (векторного) приемника или сейсмоприемника, определяется набором ряда характеристик, основные из которых — чувствительность в осевом направлении; коэффициент деления, т. е. отношение величины сигнала в направлениях максимальной и минимальной чувствительности; амплитудная и угловая асимметрия, т. е. изменение чувствительности при изменении направления возбуждения на 180° и изменение углового расположения минимальной чувствительности; частотный диапазон, в котором сохраняются постоянными амплитудные и фазовые характеристики; электрические параметры датчиков.

Экспериментальные исследования характеристик трехканального приемника ускорений дали следующие результаты. Электрическая емкость одного набора пьезоэлементов имеет величину 2000 пФ при тангенсе угла потерь $\sim 0,01$, что позволяет без

особых затруднений создать на основе современной микроэлектроники согласующие усилители для работы начиная с частот порядка долей герца. Осевая максимальная чувствительность каналов при попарном параллельном включении пьезопреобразователей составила величину $2 \pm 0,2 \text{ В} \cdot \text{м}^{-1} \cdot \text{с}^2$. Каналы приемника имеют дипольные характеристики направленности с коэффициентом деления свыше 26 дБ, смещение минимальных значений чувствительности от их расчетных направлений менее 5° (точность установки приемника на поворотном вибростоле). В качестве примера на рис. 2 приведено сравнение экспериментальных и теоретических дипольных характеристик для двух ортогональных каналов, лежащих в одной плоскости. Третий канал, ортогональный к указанным двум, имеет весьма схожие диаграммы направленности. Следует отметить, что угловые характеристики рассматриваемого приемника были не хуже, чем у эталонных фирмы «Роботрон», которые использовались в процессе измерений как контрольные.

Рис. 3. Амплитудно-частотная характеристика суммы соосных датчиков 1 и 2, полученная на вибростоле



Амплитудно-частотные и фазовые характеристики для суммы соосных датчиков приемника ускорений постоянны до частоты 400 Гц. В качестве примера на рис. 3 приведена амплитудно-частотная характеристика одного из каналов приемника ускорений. Два резонансных пика соответствуют собственным частотам датчика и подвижной платформы вибростола. Интересной особенностью полученных характеристик явилось то, что для каждого отдельно взятого из пары соосных датчиков они постоянны до 100—150 Гц, в то время как для включенных вместе соосных датчиков эта область расширяется до 400—500 Гц. В настоящий момент достаточно полного объяснения такому расширению рабочего диапазона частот при параллельном включении датчиков не найдено. Для этого нужны дополнительные исследования, в частности исследования поведения несущих пластин корпуса приемника. На это указывает достаточно сложная частотная зависимость сигналов с эталонных приемников, которые крепились именно к пластинам в их геометрическом центре. Предварительно лишь можно заключить, что при параллельном включении двух соосных датчиков происходит усреднение суммарного выходного напряжения с пьезоэлементов.

Предложенный приемник ускорений может найти применение в качестве чувствительного элемента в приемниках градиента звукового давления соколеблющегося типа, а также при геофизических исследованиях в качестве сейсмоприемника. В последнем случае область применимости приемника должна быть определена в соответствии с методиками, изложенными в работе [4].

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Клещев А. А., Ключкин И. И. Основы гидроакустики. Л., 1987. С. 8, 68—70, 56—63. [2] Кравчун П. Н. Генерация и методы снижения шума и звуковой вибрации. М., 1991. С. 35—38. [3] Захаров Л. Н., Ржевкин С. Н. // Акуст. журн. 1974. 20, № 3. С. 393. [4] Некрасов В. Н., Сергеев С. В., Трохан А. М. // Изв. АН СССР, Физика Земли. 1985. № 5. С. 28. [5] Гордиенко А. А., Захаров Л. Н., Ильичев В. И. Векторно-фазовые методы в акустике. М., 1989. С. 43—44, 74—76. [6] Барихин А. А., Лютов В. В., Митько В. Б. и др. // Проблемы метрологии гидрофизических измерений: Тез. докл. Всесоюз. конф. М., 1990. С. 361.

Поступила в редакцию
07.04.93