

УНИФИЦИРОВАННЫЙ РЯД СКАЛЯРНО-ВЕКТОРНЫХ ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ ГИДРОАКУСТИЧЕСКИХ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ

В.Н. Зюзин, Б.П. Смирнов

ФГУП «ВНИИФТРИ», Менделеево, Московская область.

Приводятся технические характеристики серийно изготавливаемых скалярных и векторных гидроакустических преобразователей, работающих в частотном диапазоне государственной поверочной схемы.

Ключевые слова: гидроакустические преобразователи, гидростатическое давление, технические характеристики.

Государственная поверочная схема для средств измерений звукового давления в водной среде в диапазоне частот от $1 \cdot 10^{-3}$ до $1 \cdot 10^6$ Гц (ГОСТ Р 8.727- 2010) предполагает наличие в обращении таких средств измерений. За последние годы во ФГУП «ВНИИФТРИ» разработаны и серийно изготавливаются скалярные (гидрофоны) и векторные (комбинированные гидроакустические приемники) гидроакустические преобразователи, работающие в частотном диапазоне поверочной схемы.

Гидрофоны Г61Н, ГИ50Э, ГИ53, ГИ54, ГИ55, ГИ57, ГИ800 группы 1 класса II по ГОСТ РВ 51235 предназначены для преобразования в электрический сигнал акустических давлений в водной среде в диапазоне частот от 0,5 Гц до 1 МГц с низкими и сверхнизкими уровнями. Четырехканальные комбинированные гидроакустические приемники КГП 1 и КГП 10 предназначены для преобразования в электрические сигналы акустического давления и трех компонент вектора градиента акустического давления в диапазоне частот от 10 до 10000 Гц. Каналы преобразования компонент вектора градиента давления градуируются в единицах эквивалентного звукового давления плоской бегущей волны. КГП 1 и КГП 10 являются инерционными приемниками градиента давления соколеблющегося типа.

Гидрофоны и комбинированные гидроакустические приемники изготовлены в виде единой неразборной конструкции, в которой объединены пьезо-керамические чувствительные элементы, преобразующие акустические давления и компоненты градиента давления в электрический сигнал, малошумящая электроника и кабель, заканчивающийся герметичным соединителем. Конструктивной особенностью данных преобразователей является полная изоляция экранирующих цепей от внешней среды, что обеспечивает им электрическую помехоустойчивость. Все преобразователи имеют два режима работы - режим «измерение» и режим «электрический контроль», отличающиеся тем, что в режиме «электрический контроль» пьезоэлектрические

чувствительные элементы заменяются на их емкостные эквиваленты. В режиме «измерение» акустические сигналы преобразуются в пропорциональные напряжения, а в режиме «электрический контроль» измеряется электрическая составляющая собственных шумов, контролируется частотный и динамический диапазоны как самих преобразователей, так и измерительных трактов в целом. Блок коммутации, поставляемый с преобразователями, обеспечивает их соединение с измерительной аппаратурой, подачу напряжения питания и дистанционное переключение режимов работы.

Рабочие условия применения преобразователей:

рабочая среда - морская или пресная вода;

температура окружающей среды - от минус 4 до плюс 35 °С;

избыточное гидростатическое давление - не более 3,0 МПа для ГИ50Э, ГИ53, ГИ54, КГП-1, КГП-10, не более 4,0 МПа для ГИ55 и не более 6,0 МПа для Г61Н.

Основные технические характеристики гидрофона Г61Н

- рабочий диапазон частот от 0,5 Гц до 10 кГц;

- среднее значение чувствительности M_0 на равномерном участке частотной характеристики (диапазон частот от 1 Гц до 2,5 кГц) в пределах (10 ± 1) мВ/Па;

- неравномерность частотной характеристики чувствительности в диапазоне частот от 0,5 Гц до 10 кГц не более 10 дБ;

- неравномерность диаграммы направленности в горизонтальной плоскости на частоте 10 кГц не более 3 дБ;

- уровень эквивалентного шумового давления $P_{ши}$ относительно $2 \cdot 10^{-5}$ Па не более 50 дБ;

- верхний предел динамического диапазона должен быть более 148 дБ относительно $2 \cdot 10^{-5}$ Па при коэффициенте нелинейных искажений не более 1 %;

- изменение уровня чувствительности при изменении гидростатического давления на каждые 0,1 МПа не более 0,03 дБ;

- температурный коэффициент чувствительности в рабочем диапазоне температур не более 0,1 дБ/°С;

- относительная доверительная погрешность поверки (градуировки) при доверительной вероятности $P=0,95$ не более 1 дБ;

- сопротивление нагрузки гидрофона не менее 5,1 кОм;

- емкость нагрузки не более 10 нФ;

- напряжение питания гидрофона двухполярное $\pm (12 \pm 1)$ В;

- ток потребления (покоя) не более 1 мА.

Габаритные размеры: диаметр 58 мм, длина 110 мм.

Гидрофоны сертифицированы. Свидетельство об утверждении типа средств измерений RU.C.36.018.B №41745. Общий вид гидрофона Г61Н представлен на рис. 1.



Рис. 1. Общий вид гидрофона Г61Н

Типовые характеристики гидрофонов приведены на рис. 2 – 4.

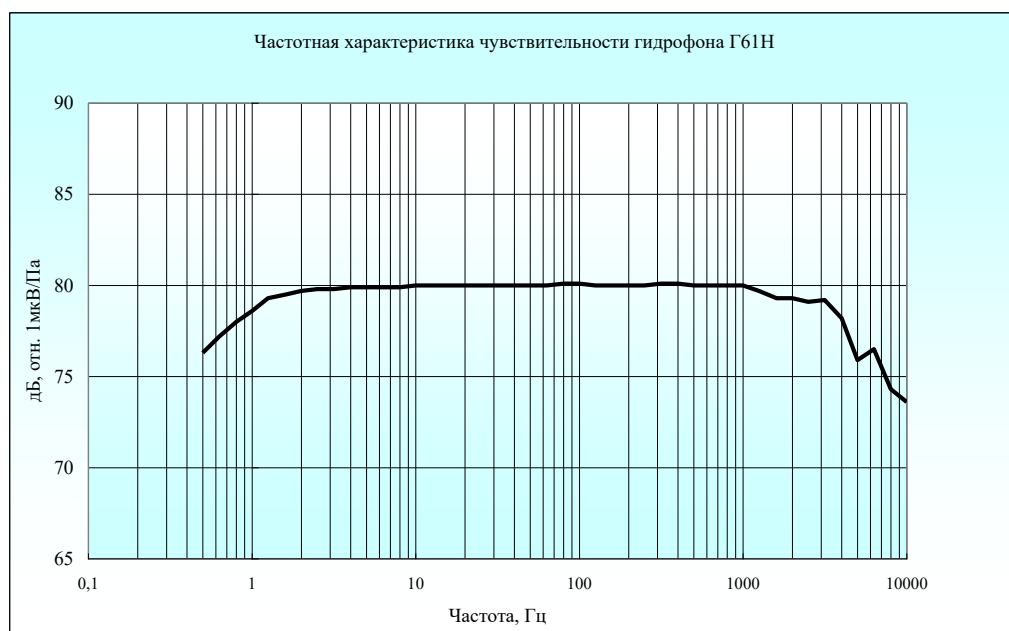


Рис. 2. Частотная характеристика чувствительности гидрофона Г61Н

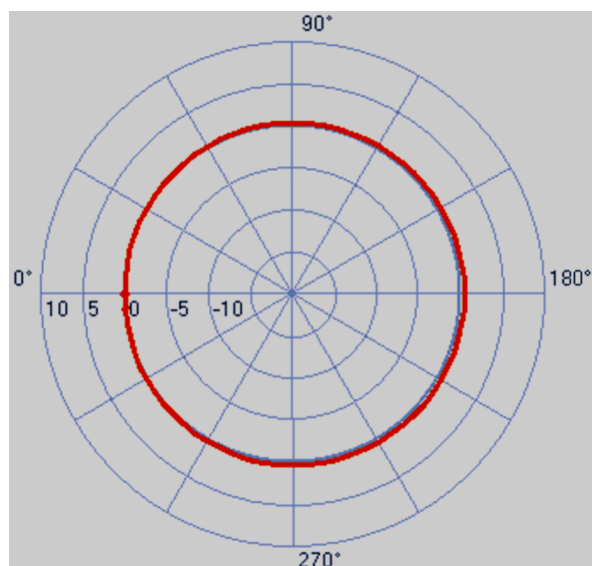


Рис. 3. Диаграмма направленности в горизонтальной плоскости на частоте 10 кГц гидрофона ГИ61Н

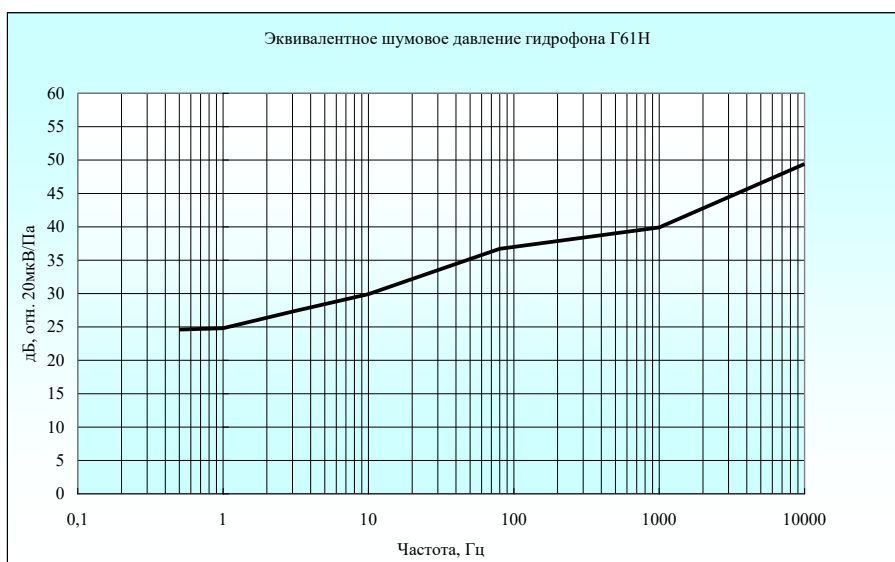


Рис. 4. Уровни электрической составляющей эквивалентного шумового давления гидрофона ГИ61Н в третьоктавной полосе частот

Основные технические характеристики гидрофона ГИ50Э

- рабочий диапазон частот от 2 до 20000 Гц;
- номинальный уровень чувствительности на частоте 80 Гц относительно 1 мкВ/Па в пределах 90 ± 2 дБ;

Альманах современной метрологии, 2015, №4

- неравномерность частотной характеристики чувствительности в частотном диапазоне от 2 Гц до 20000 Гц не более 6 дБ;
- неравномерность диаграмм направленности в горизонтальной плоскости в рабочем угловом секторе $\pm 180^\circ$ в диапазоне частот 1/3-октавного ряда от 6,3 кГц до 20 кГц не более 3 дБ;
- неравномерность диаграмм направленности в вертикальной плоскости в рабочем угловом секторе $\pm 120^\circ$ относительно оси гидрофона в диапазоне частот 1/3-октавного ряда от 6,3 кГц до 20 кГц не более 4 дБ;
- верхний предел динамического диапазона относительно 20 мкПа не менее 136 дБ при коэффициенте нелинейных искажений не более 0,01%;
- уровень эквивалентного шумового давления относительно 20 мкПа в рабочем диапазоне частот не более 30 дБ;
- температурный коэффициент чувствительности в диапазоне температур от минус 4°C до 35°C не более 0,03 дБ/°C;
- изменение уровня чувствительности при изменении гидростатического давления на каждые 0,1 МПа не более 0,03 дБ;
- напряжение питания двухполярное $\pm (12 \pm 2)$ В;
- ток покоя, потребляемый гидрофоном, не более 8 мА;
- минимальное сопротивление нагрузки 10 кОм;
- максимальная емкость нагрузки 33 нФ;
- масса не более 200 г (без кабеля);
- габаритные размеры: диаметр 28 мм, длина 87 мм;
- относительная доверительная погрешность поверки (градуировки) гидрофона при доверительной вероятности $P=0.95$ не более 1 дБ.

Гидрофоны сертифицированы. Сертификат об утверждении типа средств измерений RU.C.36.002.A. Общий вид комплекта поставки гидрофона ГИ50Э представлен на рис. 5



Рис. 5. Общий вид комплекта поставки гидрофона ГИ50Э

Типовые характеристики гидрофона ГИ50Э приведены на рис. 6 – 8.

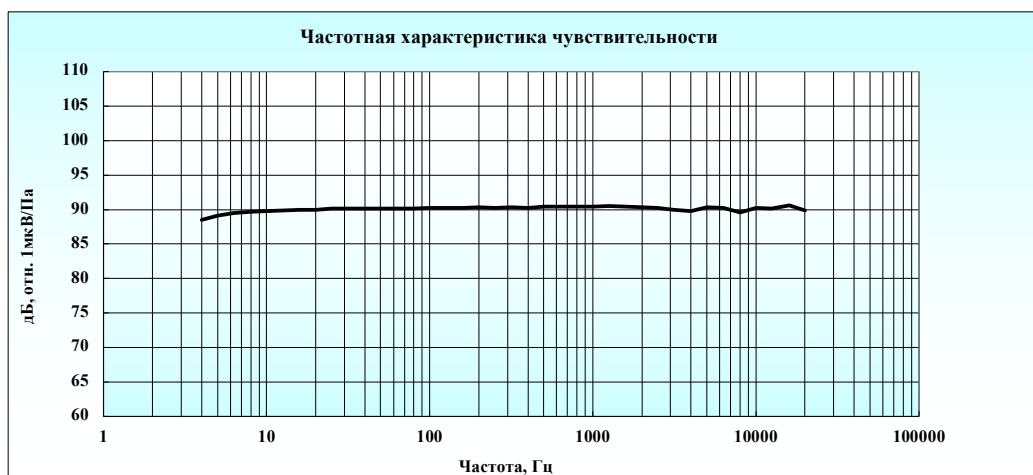


Рис. 6. Частотная характеристика чувствительности гидрофона ГИ50Э

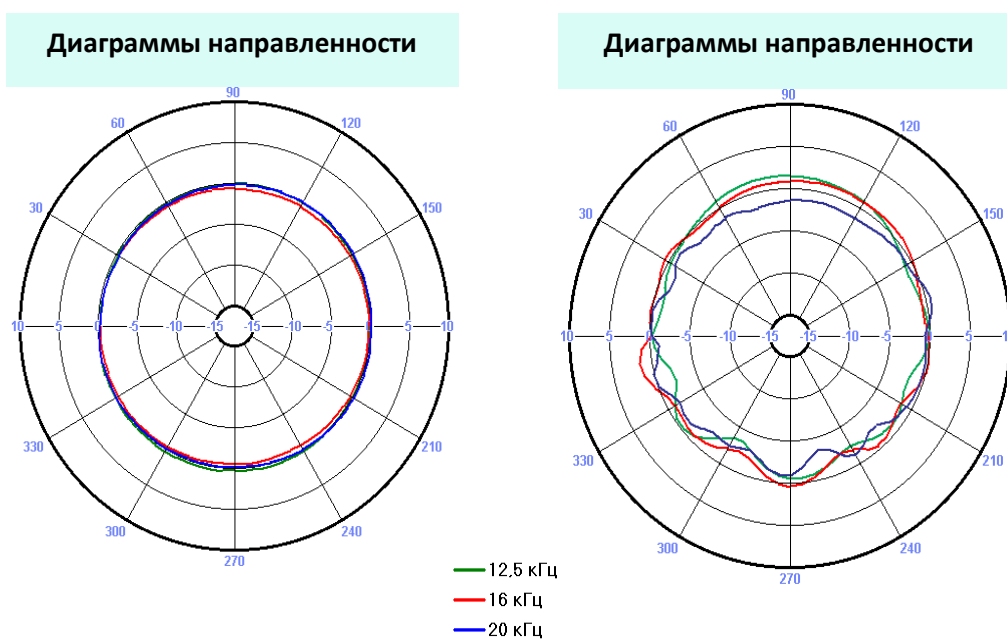


Рис. 7. Диаграммы направленности гидрофона ГИ50Э



Рис. 8. Уровни электрической составляющей эквивалентного шумового давления в третьооктавной полосе частот гидрофона ГИ50Э

Основные технические характеристики гидрофона ГИ53

- рабочий диапазон частот от 2 Гц до 100000 Гц;
- номинальный уровень чувствительности на частоте 80 Гц относительно 1 мкВ/Па в пределах 90 ± 2 дБ;
- неравномерность частотной характеристики чувствительности в рабочем частотном диапазоне не более 8 дБ;
- неравномерность диаграмм направленности в горизонтальной плоскости в рабочем угловом секторе $\pm 180^\circ$ в диапазоне частот 1/3-октавного ряда от 63 кГц до 100 кГц не более 3 дБ;
- неравномерность диаграмм направленности в вертикальной плоскости в рабочем угловом секторе $\pm 30^\circ$ относительно нормали к оси гидрофона в диапазоне частот 1/3-октавного ряда от 63 кГц до 100 кГц не более 4 дБ;
- верхний предел динамического диапазона относительно 20 мкПа не менее 140 дБ при коэффициенте нелинейных искажений не более 0,01%;
- уровень эквивалентного шумового давления относительно 20 мкПа в рабочем диапазоне частот не более 40 дБ;
- температурный коэффициент чувствительности в диапазоне температур от минус 4°C до 35°C не более 0,03 дБ/°C;
- изменение уровня чувствительности при изменении гидростатического давления на каждые 0,1 МПа не более 0,03 дБ;

Альманах современной метрологии, 2015, №4

- напряжение питания двухполярное $\pm (12 \pm 2)$ В;
- ток покоя, потребляемый гидрофоном, не более 8 мА;
- минимальное сопротивление нагрузки 10 кОм;
- максимальная емкость нагрузки 1,5 нФ;
- масса не более 280 г с кабелем длиной 1,5 м;
- габаритные размеры: диаметр 18 мм, длина 185 мм;
- относительная доверительная погрешность поверки (градуировки) гидрофона при доверительной вероятности $P=0.95$ не более 1 дБ.

Гидрофон сертифицирован. Сертификат об утверждении типа средств измерений RU.C.36.018.B № 34776. Общий вид комплекта поставки приведен на рис. 9



Рис. 9. Общий вид комплекта поставки гидрофона ГИ53

Типовые характеристики гидрофона представлены на рис. 10-12

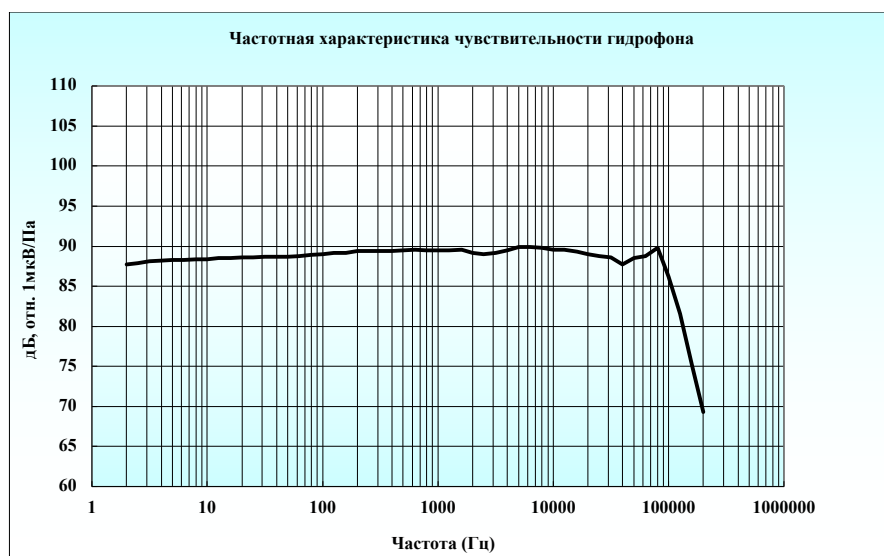


Рис. 10. Частотная характеристика чувствительности гидрофона ГИ53

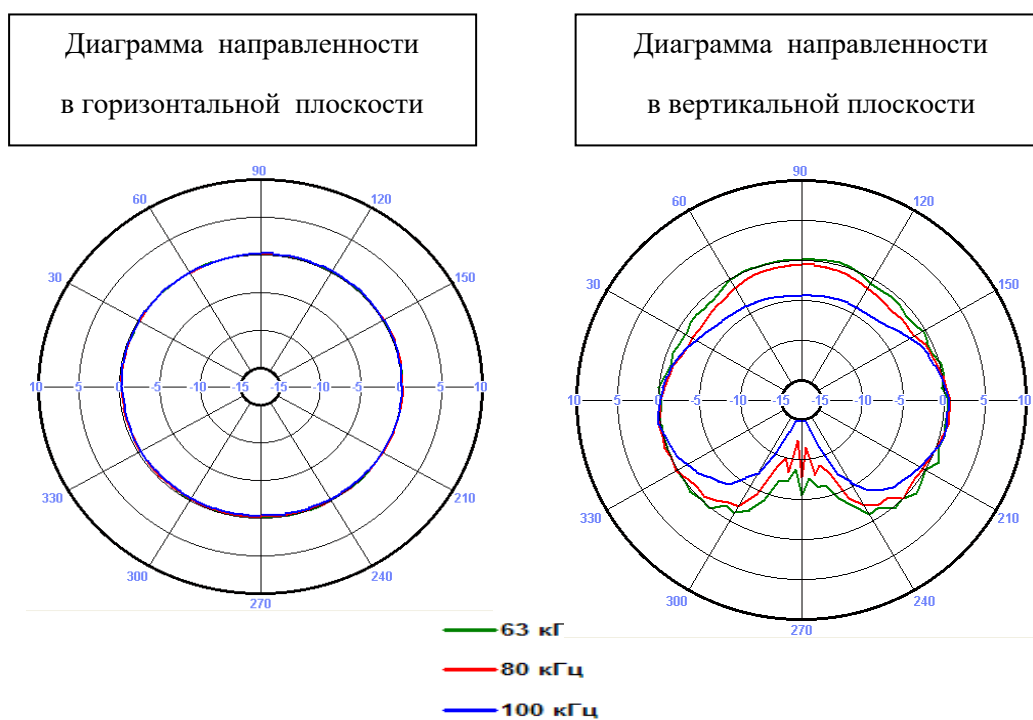


Рис. 11. Диаграммы направленности гидрофона ГИ53

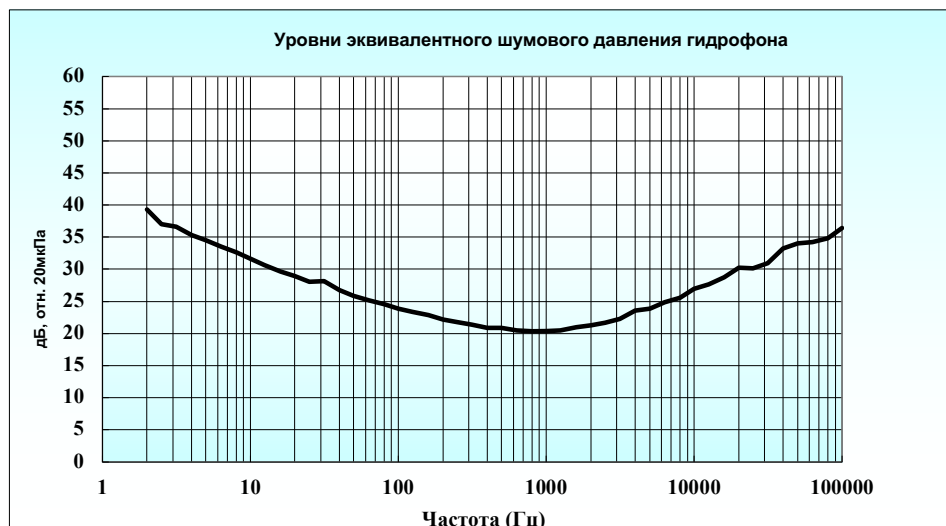


Рис. 12. Уровни электрической составляющей эквивалентного шумового давления гидрофона ГИ53 в третьоктавной полосе частот

Основные технические характеристики гидрофона ГИ54

- рабочий диапазон частот от 2 Гц до 100000 Гц;
- номинальный уровень чувствительности на частоте 80 Гц относительно 1 мкВ/Па в пределах 90 ± 2 дБ;
- неравномерность частотной характеристики чувствительности в рабочем частотном диапазоне не более 8 дБ;
- неравномерность диаграмм направленности в горизонтальной плоскости в рабочем угловом секторе $\pm 180^\circ$ в диапазоне частот 1/3-октавного ряда от 63 кГц до 100 кГц не более 3 дБ;
- неравномерность диаграмм направленности в вертикальной плоскости в рабочем угловом секторе $\pm 30^\circ$ относительно нормали к оси гидрофона в диапазоне частот 1/3-октавного ряда от 63 кГц до 100 кГц не более 4 дБ;
- верхний предел динамического диапазона относительно 20 мкПа не менее 138 дБ при коэффициенте нелинейных искажений не более 0,01%;
- уровень эквивалентного шумового давления относительно 20 мкПа в рабочем диапазоне частот не более 40 дБ;
- температурный коэффициент чувствительности в диапазоне температур от минус 4°C до 20°C не более 0,03 дБ/°C;
- изменение уровня чувствительности при изменении гидростатического давления на каждые 0,1 МПа не более 0,03 дБ;
- напряжение питания двухполярное $\pm (12 \pm 2)$ В;

- ток покоя, потребляемый гидрофоном, не более 8 мА;
- минимальное сопротивление нагрузки 10 кОм;
- максимальная емкость нагрузки 1,5 нФ;
- масса не более 350 г (без кабеля);
- габаритные размеры: диаметр 24 мм, длина 190 мм;
- относительная доверительная погрешность поверки (градуировки) гидрофона при доверительной вероятности $P = 0.95$ не более 1 дБ.

Гидрофоны сертифицированы. Сертификат об утверждении типа средств измерений RU.C.36.002.B № 31848. Общий вид комплекта поставки приведен на рис. 13.



Рис. 13. Общий вид комплекта поставки гидрофона ГИ54

Типовые характеристики гидрофона представлены на рис. 14-16.

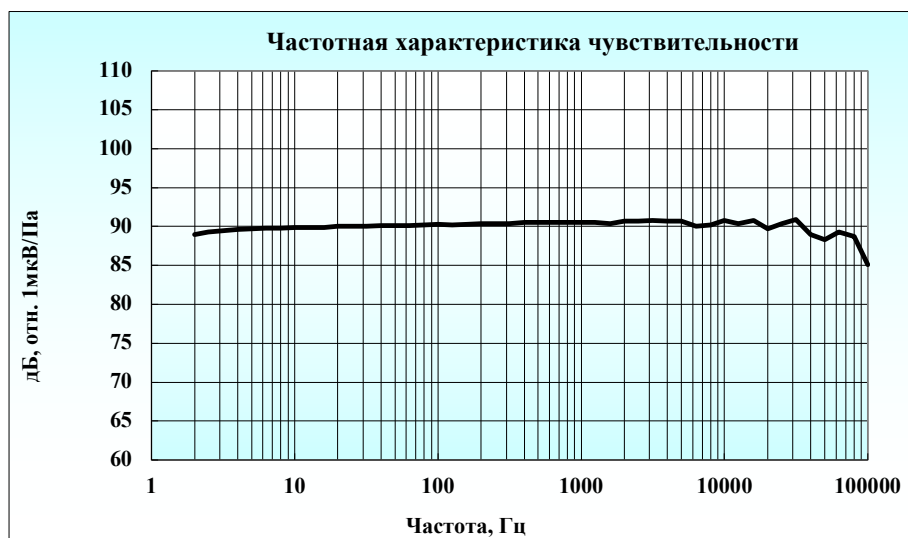


Рис. 14. Частотная характеристика чувствительности гидрофона ГИ54

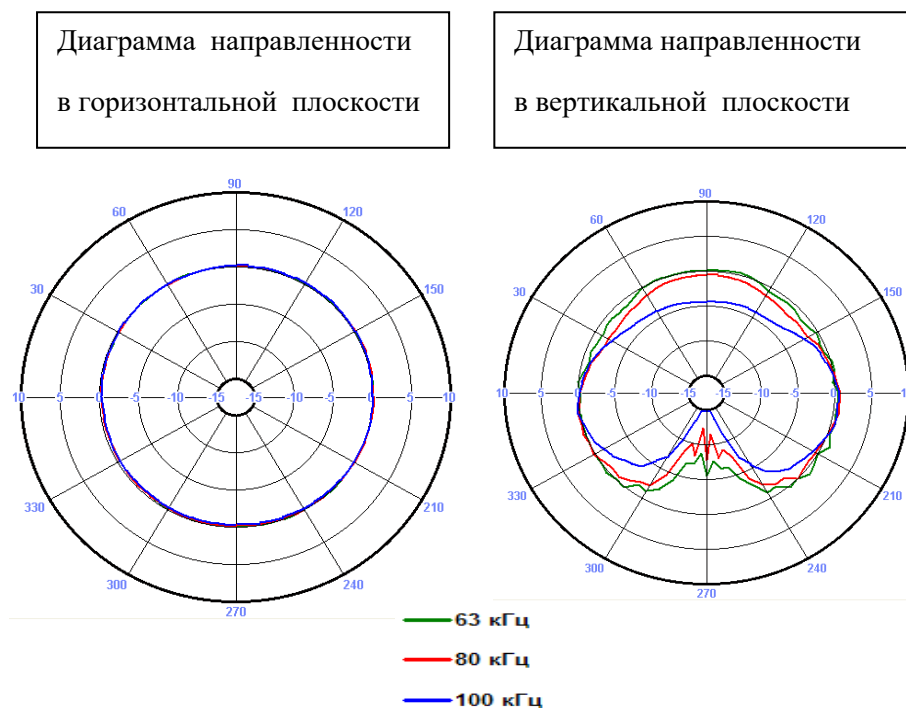


Рис. 15. Диаграммы направленности гидрофона ГИ54

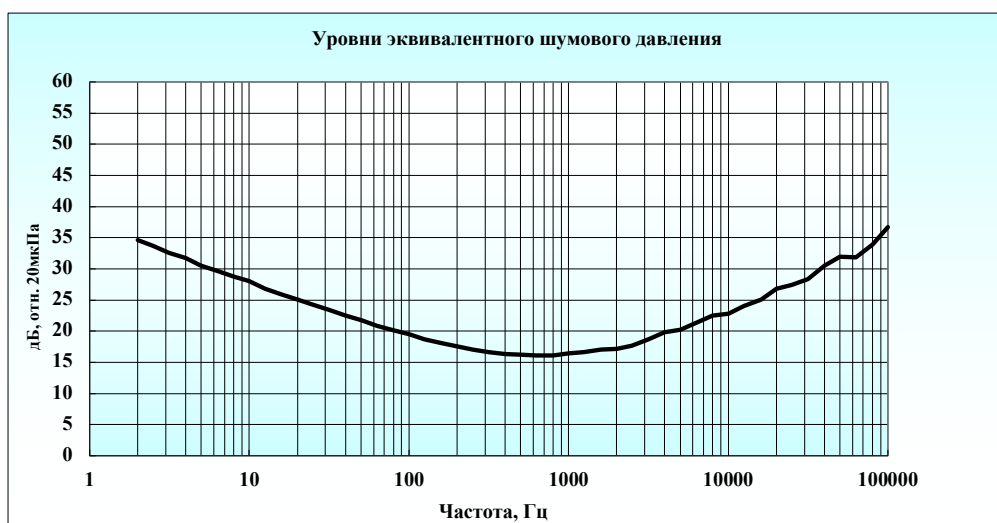


Рис. 16. Уровни электрической составляющей эквивалентного шумового давления гидрофона ГИ54 в третьоктавной полосе частот

Основные технические характеристики гидрофона ГИ55

- рабочий диапазон частот от 2 Гц до 125000 Гц;
- номинальный уровень чувствительности на частоте 80 Гц относительно 1 мкВ/Па в пределах 90 ± 2 дБ;
- неравномерность частотной характеристики чувствительности в рабочем частотном диапазоне не более 9 дБ;
- неравномерность диаграмм направленности в горизонтальной плоскости в рабочем угловом секторе $\pm 180^\circ$ в диапазоне частот 1/3-октавного ряда от 63 кГц до 125 кГц не более 3 дБ;
- неравномерность диаграмм направленности в вертикальной плоскости в рабочем угловом секторе $\pm 30^\circ$ относительно нормали к оси гидрофона в диапазоне частот 1/3-октавного ряда от 63 кГц до 125 кГц не более 4 дБ;
- верхний предел динамического диапазона относительно 20 мкПа не менее 140 дБ при коэффициенте нелинейных искажений не более 0,01%;
- уровень эквивалентного шумового давления относительно 20 мкПа в рабочем диапазоне частот не более 50 дБ;
- температурный коэффициент чувствительности в диапазоне температур от минус 4°C до 20°C не более 0,03 дБ/°C;
- изменение уровня чувствительности при изменении гидростатического давления на каждые 0,1 МПа не более 0,03 дБ;
- напряжение питания двухполярное $\pm (12 \pm 2)$ В;
- ток покоя, потребляемый гидрофоном, не более 20 мА;
- минимальное сопротивление нагрузки 10 кОм;
- максимальная емкость нагрузки 1,5 нФ;
- масса не более 280 г с кабелем длиной 1,5 м;
 - габаритные размеры: диаметр 18 мм, длина 230 мм;
- относительная доверительная погрешность поверки (градуировки) гидрофона при доверительной вероятности $P = 0.95$ не более 1 дБ.

Гидрофон сертифицирован. Свидетельство об утверждении типа средств измерений RU.C.36.002.A № 50627. Общий вид комплекта поставки приведен на рис. 17.



Рис. 17. Общий вид комплекта поставки гидрофона ГИ55

Типовые характеристики гидрофона представлены на рис. 18 -20.

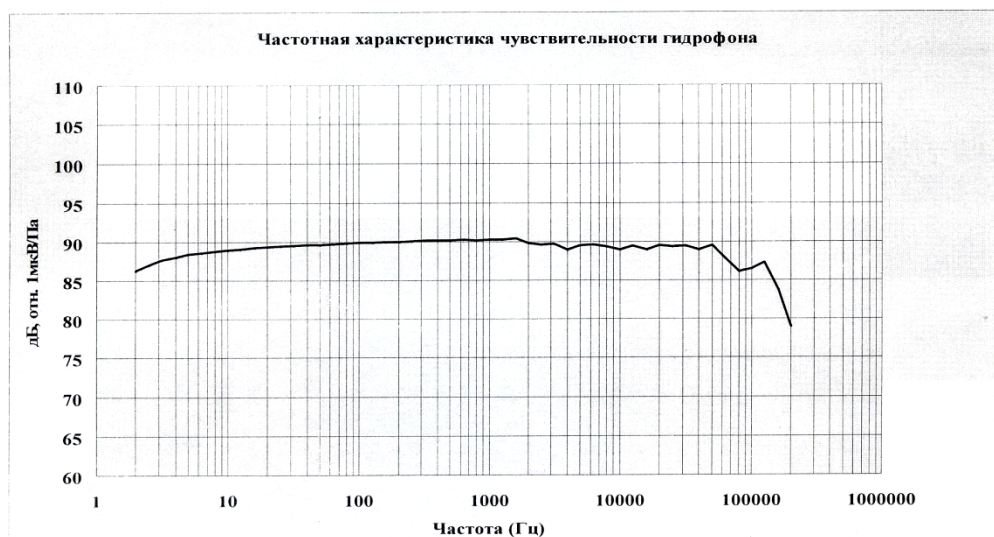


Рис. 18. Частотная характеристика чувствительности гидрофона ГИ55

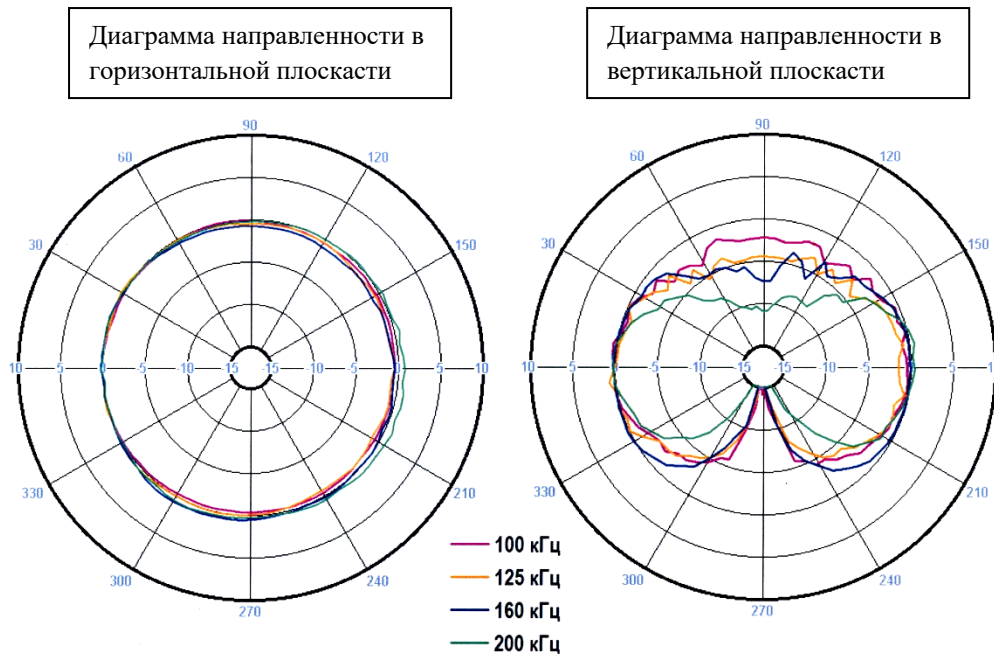


Рис. 19. Диаграммы направленности гидрофона ГИ55 в горизонтальной и вертикальной плоскостях

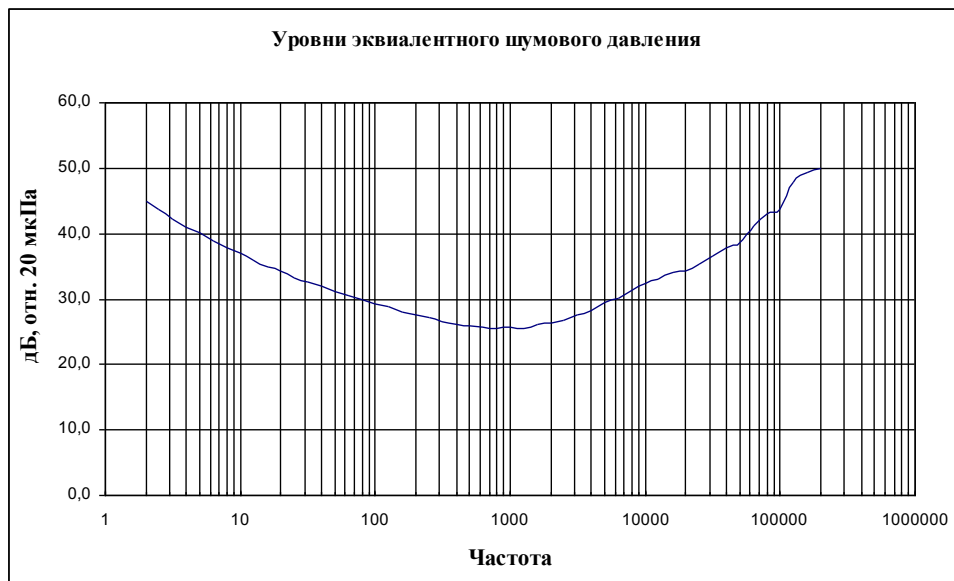


Рис. 20. Уровень электрической составляющей эквивалентного шумового давления гидрофона ГИ55 в третьоктавной полосе частот

Основные технические характеристики гидрофона ГИ800

- рабочий диапазон частот от 200 до 1000 кГц;
- уровень чувствительности на частоте 200 кГц, дБ, относительно 1 мкВ/Па в пределах (48 ± 5) ;
- неравномерность частотной характеристики чувствительности не более 11 дБ в частотном диапазоне от 200 кГц до 1000 кГц;
- неравномерность диаграмм направленности в горизонтальной плоскости в рабочем угловом секторе $\pm 180^\circ$ на частоте 800 кГц не более 7 дБ;
- верхний предел динамического диапазона гидрофона относительно 20 мкПа при коэффициенте нелинейных искажений (КНИ) не более 1% не менее 160 дБ;
- уровень СКЗ эквивалентного шумового давления в полосе 1 Гц (относительно 20 мкПа) в рабочем частотном диапазоне не более 50 дБ;
- электрическая емкость чувствительного элемента гидрофона не менее 300 пФ;
- тангенс угла диэлектрических потерь $\text{tg} \delta$ чувствительного элемента гидрофона не более 0,03;
- температурный коэффициент уровня чувствительности в диапазоне температур от минус 4 до 35°C не более 0,03 дБ/°C;
- изменение уровня чувствительности при изменении гидростатического давления на каждые 0,1 МПа не более 0,03 дБ;
- напряжение питания $\pm(12 \pm 2)$ В;
- ток покоя, потребляемый гидрофоном, не более 30 мА;
- сопротивление нагрузки не менее 10 кОм;
- время непрерывной работы гидрофона не менее 24 ч;
- относительная доверительная погрешность поверки (градуировки) гидрофона при доверительной вероятности $P=0.95$ не более 1 дБ;
- нестабильность уровня чувствительности за интервал между поверками не более 1 дБ;
- габаритные размеры: диаметр 10 мм, длина 311, длина кабеля 20 м.

Гидрофон сертифицирован. Свидетельство об утверждении типа средств измерений RU.C.36.002.A № 45142. Общий вид гидрофона представлен на рис. 21. Общий вид комплекта поставки представлен на рис. 22.



Рис. 21. Общий вид гидрофона ГИ800



Рис. 22. Общий вид комплекта поставки гидрофона ГИ800

Типовые характеристики гидрофона представлены на рис. 23-25.

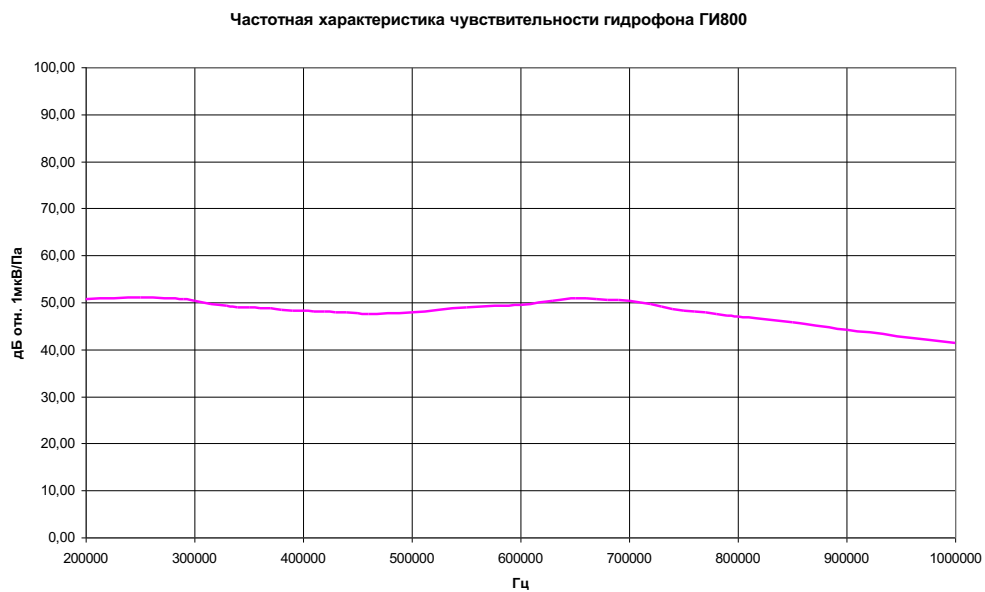


Рис. 23. Частотная характеристика чувствительности гидрофона ГИ800

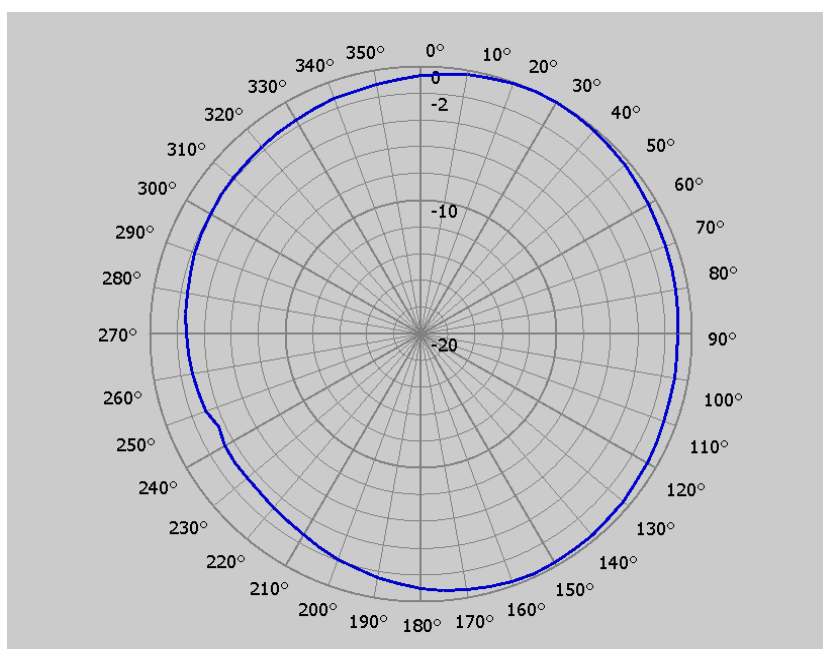


Рис. 24. Диаграмма направленности гидрофона ГИ800 на частоте 1000 кГц

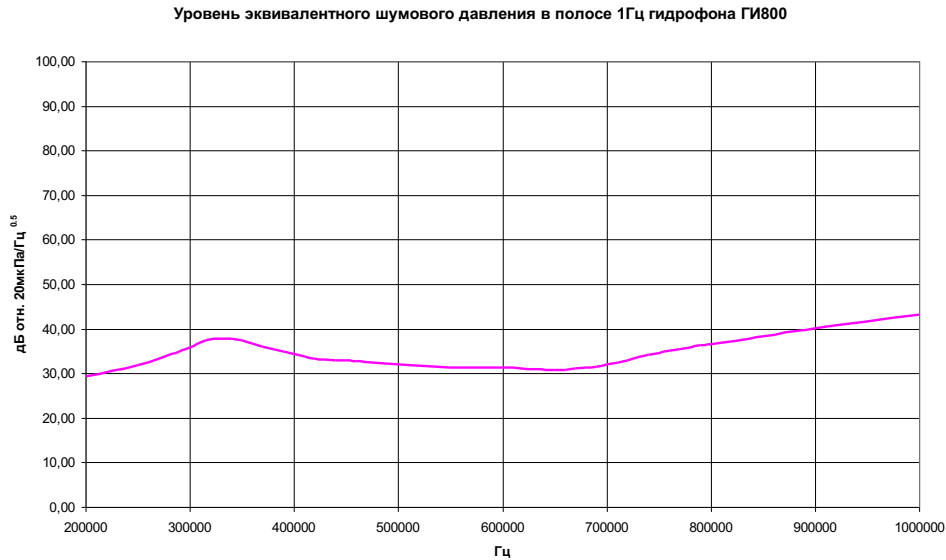


Рис. 25. Уровень электрической составляющей эквивалентного шумового давления в полосе 1Гц гидрофона ГИ800

Основные технические характеристики приемника гидроакустического комбинированного КГП1:

- количество измерительных каналов звукового давления.....1;
- количество измерительных каналов градиента давления.....3;
- рабочий диапазон частот:
- канала звукового давления, Гц.....от 10 до 1000;
- каналов градиента давления, Гц.....от 10 до 1000;
- Чувствительность (коэффициент преобразования), мВ/Па:
- канала звукового давления на частоте 100 Гц..... $23 \pm 1,5$;
- каналов градиента давления на частоте 100 Гц..... 23 ± 3 ;
- динамический диапазон, дБ, не менее.....70;
- Пределы допускаемой относительной погрешности чувствительности, дБ:
- канала звукового давления1,5;
- каналов градиента давления.....2;
- Уровень эквивалентного шумового давления относительно 20 мкПа в рабочем диапазоне частот, дБ, не более:
- канала звукового давления50;
- каналов градиента давления.....50;
- Напряжение питания постоянного тока двухполярное, В..... $\pm(12 \pm 2)$;
- ток покоя, мА, не более30;
- минимальное сопротивление нагрузки, кОм.....10;

- максимальная емкостная нагрузка, мкФ.....0,1.
 Габаритные размеры:
 - диаметр, мм, не более.....130;
 - длина кабеля, м, не менее.....1,5.
 Масса, кг, не более.....1,5.

Приемники гидроакустические комбинированные КГП1 сертифицированы. Свидетельство об утверждении типа средств измерений RU.C.36.002.A № 55401. Общий вид приемника гидроакустического комбинированного КГП 1 представлен на рис. 26.



Рис. 26. Общий вид приемника гидроакустического комбинированного КГП 1

Типовые характеристики КГП1 представлены на рисунках 27, 28.

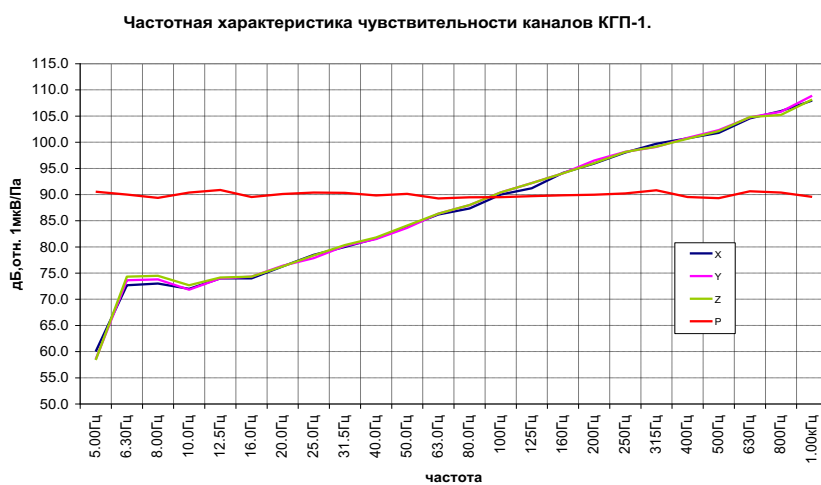


Рис. 27. Частотная характеристика чувствительности КГП1. P – канал звукового давления, X, Y, Z каналы градиентов давления

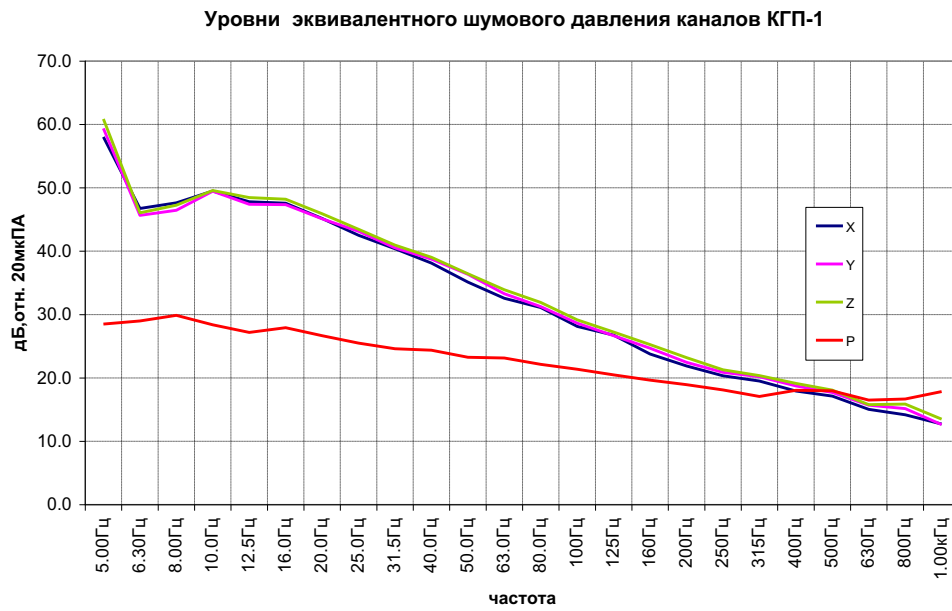


Рис. 28. Уровень электрической составляющей эквивалентного шумового давления в треть-октавных полосах частот. P - канал звукового давления, X, Y, Z - каналы градиентов давления

Типовые параметры нормированной диаграммы направленности каналов градиента давления КГП 1 приведены в таблице.

Таблица

Угол, град.	Канал X				Канал Y				Канал Z			
	100 Гц	200 Гц	400 Гц	1000 Гц	100 Гц	200 Гц	400 Гц	1000 Гц	100 Гц	200 Гц	400 Гц	1000 Гц
0	0	0	0	0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
45	-3.0	-3.2	-3.2	-3.3	-3.0	-2.9	-2.8	-3.1	-2.9	-3.2	-3.2	-2.9
90	-35.2	-26.6	-21.4	-22.3	-48.1	-39.5	-41.1	-30.4	-36.1	-41.4	-41.8	-27.6
135	-3.0	-2.9	-2.5	-2.6	-2.9	-3.0	-2.8	-2.9	-3.2	-3.0	-2.7	-2.7
180	0.2	-0.1	0.3	0.2	0.2	0.1	-0.1	-0.3	0.2	0.1	0.2	0.1
225	-3.0	-3.2	-3.1	-2.9	-2.8	-3.1	-3.0	-3.3	-2.9	-3.1	-2.9	-2.9
270	-37.0	-36.1	-25.6	-23.6	-46.3	-42.9	-39.8	-26.4	-34.4	-39.7	-47.8	-36.8
315	-2.9	-3.0	-3.0	-2.8	-2.9	-3.1	-2.7	-2.8	-3.2	-3.2	-2.8	-3.1

Основные технические характеристики приемника гидроакустического комбинированного КГП 10

- количество измерительных каналов звукового давления.....1;
- количество измерительных каналов градиента давления.....3;
- Рабочий диапазон частот:
- канала звукового давления, Гц.....от 100 до 10000;

- каналов градиента давления, Гц.....	от 100 до 1000;
Чувствительность (коэффициент преобразования), мВ/Па:	
- канала звукового давления на частоте 100 Гц.....	30±10;
- каналов градиента давления на частоте 100 Гц.....	2±1;
- динамический диапазон, дБ, не менее.....	60;
Пределы допускаемой относительной погрешности чувствительности, дБ:	
- канала звукового давления	2;
- каналов градиента давления.....	2;
Уровень эквивалентного шумового давления относительно 20 мкПа в рабочем диапазоне частот, дБ:	
- канала звукового давления не более	50;
- каналов градиента давления.....	50;
- напряжение питания постоянного тока двухполярное, В.....	±(12±2);
- ток покоя, мА, не более	60;
- минимальное сопротивление нагрузки, кОм.....	10;
- максимальная емкостная нагрузка, нФ.....	33.
Габаритные размеры:	
- диаметр, мм, не более.....	53;
- длина кабеля, м, не менее.....	1,5.
Масса, кг, не более.....	0,3.

Приемники гидроакустические комбинированные КГП 10 сертифицированы. Свидетельство об утверждении типа средств измерений RU.C.36.002.A № 55369. Общий вид приемника гидроакустического комбинированного КГП 10 представлен на рис. 29.



Рис. 29. Общий вид приемника гидроакустического комбинированного КГП 10

Типовые характеристики КГП1 представлены на рис. 30 – 33.

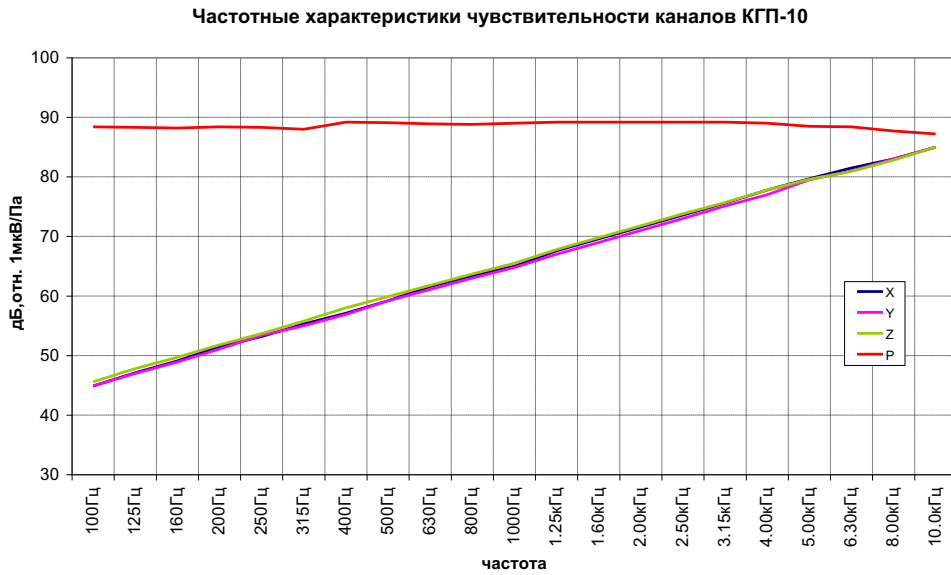


Рис. 30. Частотная характеристика чувствительности КГП 10. P – канал звукового давления, X, Y, Z каналы градиентов давления

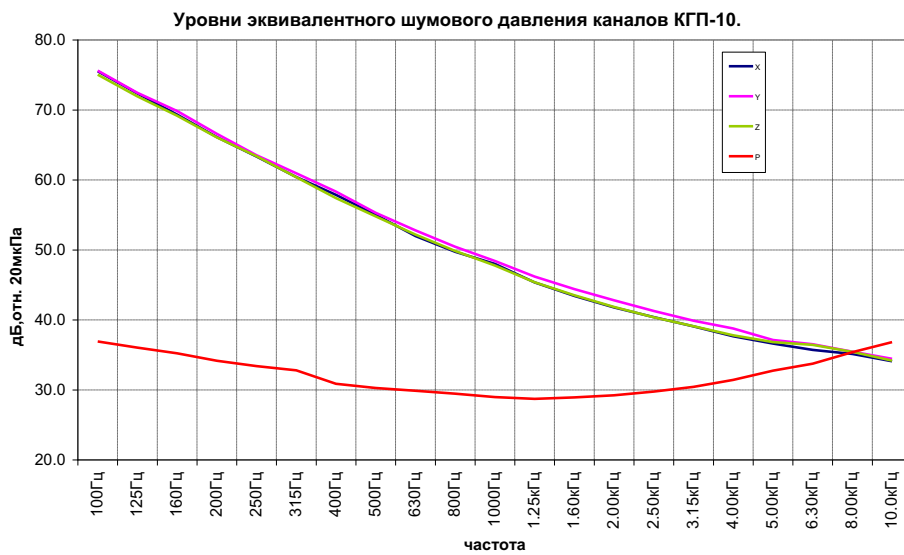
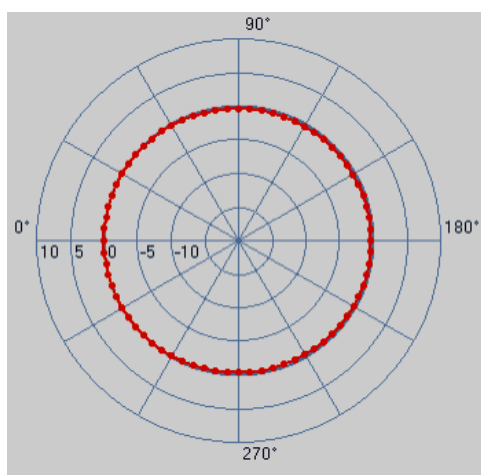
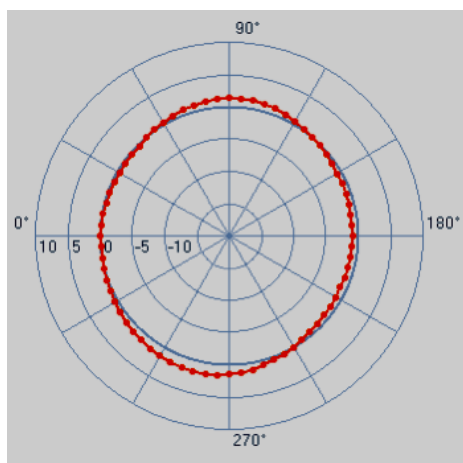


Рис. 31. Уровни электрической составляющей эквивалентного шумового давления в третьоктавных полосах частот КГП 10. P - канал звукового давления, X, Y, Z - каналы градиентов давления

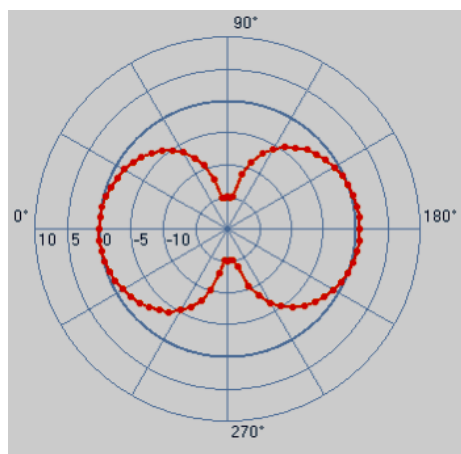


Частота 3,15 кГц

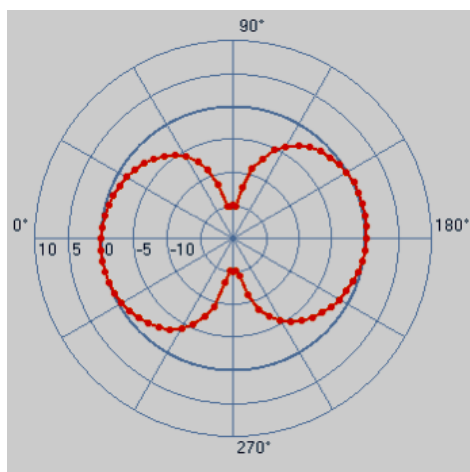


Частота 10 кГц

Рис. 32. Типичные диаграммы направленности канала звукового давления



Частота 3,15 кГц



Частота 10 кГц

Рисунок 33 – Типичные диаграммы направленности каналов градиентов давления

Литература

1. ГОСТ Р 8.727-2010 Государственная поверочная схема для средств измерений звукового давления в водной среде в диапазоне частот от $1 \cdot 10^{-3}$ до $1 \cdot 10^6$ Гц.
2. ГОСТ РВ 51235 – 98. Гидрофоны измерительные. Общие технические требования и методы испытаний.