

СОГЛАСОВАНО

Первый заместитель генерального
директора - заместитель по научной
работе ФГУП «ВНИИФТРИ»

А.Н. Щипунов



20

01

2025 г.

Государственная система обеспечения единства измерений

Гидрофоны ГИ

Методика поверки

МП МФРН.406231.044

2025 г.

1 Общие положения

Настоящая методика поверки применяется для поверки гидрофонов ГИ (далее - гидрофоны) в модификациях ГИ701, ГИ702, ГИ704 и ГИ705, используемых в качестве средства измерений в соответствии с государственной поверочной схемой для средств измерений звукового давления и колебательной скорости в водной среде.

В результате поверки должны быть подтверждены метрологические требования, приведённые в таблице 1.1.

При определении метрологических характеристик в рамках проводимой поверки обеспечивается передача единицы звукового давления и колебательной скорости в водной среде в соответствии с государственной поверочной схемой, утвержденной приказом Росстандарта от 28.09.2018 г. № 2084, подтверждающая прослеживаемость к государственному первичному эталону ГЭТ 55-2017.

При определении метрологических характеристик поверяемого средства измерений используется метод прямых измерений.

Таблица 1.1

Наименование характеристики	Значение			
	Гидрофон ГИ701	Гидрофон ГИ702	Гидрофон ГИ704	Гидрофон ГИ705
Рабочий диапазон частот, Гц	от 1 до 170000	от 1 до 120000	от 1 до 140000	от 1 до 470000
Диапазон уровня чувствительности на частоте 250 Гц относительно 1 мкВ/Па, дБ	от 22 до 32	от 31 до 37	от 34 до 40	от 17 до 25
Неравномерность частотной характеристики чувствительности, дБ, не более				
- в диапазоне частот от 1 Гц до 170 кГц	10	-	-	-
- в диапазоне частот от 1 Гц до 63 кГц включ.	-	6	-	-
- в диапазоне частот св. 63 до 120 кГц	-	10	-	-
- в диапазоне частот от 1 Гц до 80 кГц включ.	-	-	7	-
- в диапазоне частот св. 80 до 140 кГц	-	-	16	-
- в диапазоне частот от 1 Гц до 250 кГц включ.	-	-	-	7
- в диапазоне частот св. 250 до 470 кГц	-	-	-	14
Неравномерность диаграммы направленности в горизонтальной плоскости на частоте 100 кГц в рабочем угловом секторе $\pm 180^\circ$, дБ, не более	4			
Неравномерность диаграммы направленности в вертикальной плоскости, дБ, не более	6 (на ча- стоте 100 кГц в рабочем угловом секторе $\pm 135^\circ$)	6 (на ча- стоте 50 кГц в рабочем угловом секторе $\pm 130^\circ$)	6 (на ча- стоте 100 кГц в рабочем угловом секторе $\pm 60^\circ$)	6 (на ча- стоте 300 кГц в рабочем угловом секторе $\pm 60^\circ$)
Диапазон уровня чувствительности на излучение по напряжению, дБ (относительно кПа/В)	от 114 до 133 (на частоте 100 кГц)	от 128 до 136 (на частоте 50 кГц)	от 140 до 148 (на частоте 100 кГц)	от 117 до 125 (на частоте 100 кГц)

Продолжение таблицы 1.1

Доверительные границы относительной погрешности измерения уровня чувствительности при доверительной вероятности 0,95, дБ, не более	$\pm 1,0$
--	-----------

2 Перечень операций поверки

Для поверки гидрофонов должны быть выполнены операции, указанные в таблице 2.1.

Таблица 2.1

Наименование операции поверки	Обязательность выполнения операций поверки при		Номер раздела (пункта) методики поверки, в соответствии с которым выполняется операция поверки
	первичной поверке	периодической поверке	
Внешний осмотр	да	да	7
Подготовка к поверке и опробование средства измерений	да	да	8
Определение метрологических характеристик и подтверждение соответствия средства измерений метрологическим требованиям	да	да	9
Определение диапазона уровня чувствительности на частоте 250 Гц относительно 1 мкВ/Па	да	да	9.1
Определение диапазона рабочих частот, неравномерности частотной характеристики чувствительности	да	да	9.2
Определение неравномерности диаграммы направленности в горизонтальной и вертикальной плоскостях	да	да	9.3
Определение диапазона уровня чувствительности на излучение по напряжению	да	да	9.4
Определение доверительной границы относительной погрешности измерения уровня чувствительности при доверительной вероятности 0,95	да	да	9.5

Не допускается проведение поверки отдельных измерительных каналов или отдельных автономных блоков или меньшего числа измеряемых величин или на меньшем числе поддиапазонов измерений.

При получении отрицательных результатов по любому пункту таблицы 2.1 поверяемый гидрофон бракуется и направляется в ремонт.

3 Требования к условиям проведения поверки

Проверку проводить в следующих условиях:

– температура окружающей среды, °C

от 10 до 30;

– рабочая среда

морская или пресная вода.

Условия проведения поверки должны соответствовать требованиям эксплуатационной документации поверяемого средства измерений, требованиям правил содержания и применения применяемых для поверки эталонов и требованиям эксплуатационных документов применяемых для поверки средств измерений и вспомогательных технических средств.

4 Требования к специалистам, осуществляющим поверку

К проведению поверки допускаются лица с высшим техническим образованием, имеющие опыт работы в области гидроакустических измерений, ежегодно проходящие проверку знаний по технике безопасности, аттестованные в качестве поверителей гидроакустических средств измерений и ознакомленные с документом МФРН.406231.044РЭ «Гидрофон ГИ. Руководство по эксплуатации» (далее – РЭ).

5 Метрологические и технические требования к средствам поверки

При поверке должны быть применены средства, указанные в таблице 5.1.

Таблица 5.1 – Средства поверки

Операции поверки, требующие применения средств поверки	Метрологические и технические требования к средствам поверки, необходимые для проведения поверки	Перечень рекомендуемых средств поверки
п.8 Контроль условий поверки (при подготовке к поверке и опробовании средства измерений)	Средства измерений температуры окружающей среды в диапазоне измерений от минус 10 °C до плюс 60 °C с пределами допускаемой абсолютной погрешности ±0,4 °C. Средства измерений относительной влажности воздуха в диапазоне от 10 % до 95 % с пределами допускаемой абсолютной погрешности ±3 %. Средства измерений атмосферного давления в диапазоне от 300 до 1200 кПа, с пределами допускаемой абсолютной погрешности ±3 %.	Прибор комбинированный Testo 622, рег. № 53505-13.
п.9 Определение метрологических характеристик и подтверждение соответствия средства измерений метрологическим требованиям	Эталоны единицы колебательной скорости в водной среде, соответствующие требованиям к эталонам не ниже 2 разряда по государственной поверочной схеме для средств измерений звукового давления и колебательной скорости в водной среде, утвержденный приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 28.09.2018 г. № 2084, в диапазоне частот от 0,5 до 2000 Гц, доверительная относительная погрешность градуировки (поверки) при доверительной вероятности 0,95 не более 0,7 дБ.	Государственный первичный эталон единиц звукового давления и колебательной скорости в водной среде ГЭТ 55-2017, утвержден приказом Росстандарта № 562 от 17.03.2017 установка Э-2

Продолжение таблицы 5.1

Операции поверки, требующие применения средств поверки	Метрологические и технические требования к средствам поверки, необходимые для проведения поверки	Перечень рекомендуемых средств поверки
	Эталоны единицы колебательной скорости в водной среде, соответствующие требованиям к эталонам не ниже 2 разряда по государственной поверочной схеме для средств измерений звукового давления и колебательной скорости в водной среде, утвержденный приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 28.09.2018 г. № 2084, в диапазоне частот от 160 до 1000 кГц, доверительная относительная погрешность градуировки (проверки) при доверительной вероятности 0,95 не более 0,7 дБ.	Государственный первичный этalon единиц звукового давления и колебательной скорости в водной среде ГЭТ 55-2017, утверждён приказом Росстандарта № 562 от 17.03.2017 установка Э-5
	Эталоны единицы колебательной скорости в водной среде, соответствующие требованиям к эталонам не ниже 2 разряда по государственной поверочной схеме для средств измерений звукового давления и колебательной скорости в водной среде, утвержденный приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 28.09.2018 г. № 2084, в диапазоне частот от 1 до 200 кГц, доверительная относительная погрешность градуировки (проверки) при доверительной вероятности 0,95 не более 1 дБ.	Рабочий этalon 2 разряда единицы звукового давления в водной среде «Измерительная установка УГГ1», рег. № 3.1.ZZT.0022.2013.

Примечание – Допускается использовать при поверке другие утвержденные и аттестованные эталоны единиц величин, средства измерений утвержденного типа и проверенные, удовлетворяющие метрологическим требованиям, указанным в таблице.

Вспомогательные материалы, необходимые для проведения поверки и нормы их расхода на одну поверку, приведены в таблице 5.2.

Таблица 5.2

Наименование материала	Нормы расхода, кг
Ветошь обтирочная ОСТ-63-46-84	0,2
Мыло хозяйственное СТ 13-368-85	0,1

6 Требования (условия) по обеспечению безопасности проведения поверки

При проведении поверки должны быть соблюдены все требования техники

безопасности, регламентированные ГОСТ 12.1.019-2017, «Технической эксплуатации электроустановок потребителей», «Правилами техники безопасности при эксплуатации электроустановок потребителей», а также всеми действующими местными инструкциями по технике безопасности.

При проведении поверки должны быть выполнены все требования безопасности, указанные в эксплуатационной документации (далее – ЭД) на гидрофон и средства поверки.

7 Внешний осмотр

7.1 При проведении внешнего осмотра установить:

- соответствие внешнего вида средства измерений описанию и изображению, приведенному в описании типа;
- отсутствие механических и электрических повреждений корпуса и разъемов;
- четкость нанесения заводского номера.

7.2 Результат внешнего осмотра по пункту 7 считать положительным, если результаты внешнего осмотра удовлетворяют п.7.1.

8 Подготовка к поверке и опробование средства измерений

8.1 Подготовка к поверке

8.1.1 На первичную поверку представляют гидрофоны с формулляром и руководством по эксплуатации МФРН.406231.044РЭ.

8.1.2 Во время подготовки к поверке поверитель должен ознакомиться с руководством по эксплуатации на поверяемую установку, подготовить все материалы и средства измерений, необходимые для проведения поверки, а также проверить выполнение условий поверки, установленных в разделе 3.

8.1.3 Перед погружением в воду провести опробование гидрофона.

8.2 Опробование средства измерений

8.2.1 При опробовании гидрофона необходимо подключить его вилку к осциллографу согласно РЭ. Создать воздействие на чувствительный элемент гидрофона путём лёгкого постукивания карандашом.

8.3 Результаты опробования по пункту 8 считать положительными, если при воздействии на чувствительный элемент гидрофона лёгким постукиванием карандашом гидрофон отвечает на это воздействие – на экране осциллографа появляется переменный сигнал.

8.4 Перед погружением гидрофон должен быть обезжирен мыльным раствором.

8.5 Перед поверкой гидрофон должен находиться в воде в течение не менее 2 ч.

8.6 Используемые средства поверки должны быть заземлены.

8.7 Поверяемый гидрофон и используемые средства поверки необходимо выдержать во включённом состоянии не менее 20 мин перед проведением поверки.

9 Определение метрологических характеристик и подтверждение соответствия средства измерений метрологическим требованиям

9.1 Определение диапазона уровня чувствительности на частоте 250 Гц относительно 1 мкВ/Па

9.1.1 Определение диапазона уровня чувствительности гидрофона M на частоте 250 Гц проводить с помощью эталона.

9.1.2 Измерение чувствительности гидрофона на частоте 250 Гц проводить в соответствии с руководством по эксплуатации эталонной установки, при этом число измерений n должно быть не менее 4.

9.1.3 Вычислить значение чувствительности в [мкВ/Па] как среднее арифметическое значение по формуле:

$$M_{\text{ср}} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n M_i. \quad (1)$$

9.1.4 Вычислить уровень чувствительности на частоте 250 Гц в [дБ] относительно 1 мкВ/Па по формуле:

$$M = 20 \cdot \lg(M_{\text{ср}}). \quad (2)$$

9.1.5 Результаты поверки по пункту 9.1 считать положительными, если диапазон уровень чувствительности на частоте 250 Гц находится в диапазоне:

- от 22 до 32 дБ относительно 1 мкВ/Па для гидрофона ГИ701;
- от 31 до 37 дБ относительно 1 мкВ/Па для гидрофона ГИ702;
- от 34 до 40 дБ относительно 1 мкВ/Па для гидрофона ГИ704;
- от 17 до 25 дБ относительно 1 мкВ/Па для гидрофона ГИ705.

9.2 Определение диапазона рабочих частот, неравномерности частотной характеристики чувствительности

9.2.1 Рабочий диапазон частот гидрофона подтверждается положительными результатами поверки неравномерности частотной характеристики чувствительности в диапазоне рабочих частот.

9.2.2 Определение чувствительности проводить на всех частотах f ряда 1/3 октавы по ГОСТ 12090-80 «Частоты для акустических измерений. Предпочтительные ряды» рабочего диапазона частот гидрофона в соответствии с руководством по эксплуатации эталона, при этом число наблюдений на каждой частоте n должно быть не менее 4. Допускается в соответствии с п. 18 Приказа Минпромторга России от 02.07.2015 г. № 1815 при периодической поверке выполнять измерение чувствительности не на всех третьоктавных частотах рабочего диапазона гидрофона. При этом частоты измерений должны совпадать с частотным рядом предыдущей поверки.

9.2.3 На каждой частоте f_k вычислить среднее арифметическое значение чувствительности в [мкВ/Па] по формуле (1).

9.2.4 На каждой частоте f_k вычислить уровень чувствительности в [дБ] относительно 1 мкВ/Па по формуле (2).

9.2.5 Для каждой частоты f_k вычислить относительное среднее квадратическое отклонение (СКО) оценки результата измерений чувствительности по формуле:

$$S_0(f) = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (M(f)_i - M(f)_{\text{ср}})^2}{n(n-1)}} \frac{100 \%}{M(f)_{\text{ср}}}. \quad (3)$$

9.2.6 Максимальную неравномерность $\theta_{\text{чх}}$ чувствительности в рабочем диапазоне частот в [дБ] следует определять как абсолютное значение разности минимального уровня $M(f_k)_{\min}$ чувствительности и максимального уровня $M(f_k)_{\max}$ чувствительности, полученных при проведении операций поверки по формуле:

$$\theta_{\text{чх}} = |M(f_k)_{\min} - M(f_k)_{\max}|. \quad (4)$$

9.2.7 Результаты поверки по пункту 9.2 считать положительными, если значение неравномерности частотной характеристики чувствительности не превышает:

- 10 дБ в диапазоне частот от 1 Гц до 170 кГц для гидрофона ГИ701;

- 6 дБ частотном диапазоне от 1 Гц до 63 кГц включ. и 10 дБ в частотном диапазоне св. 63 до 120 кГц для гидрофона ГИ702;
- 7 дБ частотном диапазоне от 1 Гц до 80 кГц включ. и 16 дБ в частотном диапазоне св. 80 до 140 кГц для гидрофона ГИ704;
- 7 дБ частотном диапазоне от 1 Гц до 250 кГц включ. и 14 дБ в частотном диапазоне св. 250 до 470 кГц для гидрофона ГИ705.

9.3 Определение неравномерности диаграммы направленности в горизонтальной и вертикальной плоскостях

9.3.1 Неравномерности диаграмм направленности гидрофона в горизонтальной и вертикальной плоскостях следует определять с помощью эталона. Неравномерность диаграммы направленности определяется как разность, в децибелах, между максимальным и минимальным уровнями сигнала гидрофона в рабочем угловом секторе $\pm 180^\circ$ (на частоте 100 кГц) в горизонтальной плоскости и в вертикальной плоскости (на частоте 100 кГц в рабочем угловом секторе $\pm 135^\circ$ для гидрофона ГИ701, на частоте 50 кГц в рабочем угловом секторе $\pm 130^\circ$ для гидрофона ГИ702, на частоте 100 кГц в рабочем угловом секторе $\pm 60^\circ$ для гидрофона ГИ704 и на частоте 300 кГц в рабочем угловом секторе $\pm 60^\circ$ для гидрофона ГИ705).

9.3.2 Результаты поверки по пункту 9.3 считать положительными, если значение неравномерности диаграммы направленности не превышают:

- 4 дБ в горизонтальной плоскости в рабочем угловом секторе $\pm 180^\circ$ на частоте 100 кГц;
- 6 дБ в вертикальной плоскости в рабочем угловом секторе $\pm 135^\circ$ на частоте 100 кГц для гидрофона ГИ701;
- 6 дБ в вертикальной плоскости в рабочем угловом секторе $\pm 130^\circ$ на частоте 50 кГц для гидрофона ГИ702;
- 6 дБ в вертикальной плоскости в рабочем угловом секторе $\pm 60^\circ$ на частоте 100 кГц для гидрофона ГИ704;
- 6 дБ в вертикальной плоскости в рабочем угловом секторе $\pm 60^\circ$ на частоте 300 кГц для гидрофона ГИ705.

9.4 Определение диапазона уровня чувствительности на излучение по напряжению

9.4.1 Определение диапазона уровня чувствительности гидрофона на излучение проводить с помощью эталона.

9.4.2 Выполнить измерение чувствительности на излучение $S(f)$ на частоте $f = 100$ кГц для гидрофонов ГИ701, ГИ704 и ГИ705 и на частоте $f = 50$ кГц для гидрофона ГИ702 в соответствии с руководством по эксплуатации эталона, подключив гидрофон как обратимый преобразователь, при этом число наблюдений n должно быть не менее 4.

Определить чувствительность на излучение по напряжению S на частоте f в [мкПа/В] по формуле:

$$S(f) = \frac{P}{I \cdot X_C}, \quad (5)$$

где P – звуковое давление, создаваемое гидрофоном на расстоянии 1 м, Па;

I – сила тока, возбуждающего гидрофон в режиме излучения, А;

$X_C = \frac{1}{2\pi \cdot f \cdot C}$ – ёмкостное сопротивление гидрофона, Ом;

C – электрическая ёмкость гидрофона, Ф.

9.4.3 Вычислить среднее арифметическое значение чувствительности $S(f)_{ср}$ в [мкПа/В] по формуле:

$$S(f)_{\text{cp}} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n S(f)_i. \quad (6)$$

9.4.4 Вычислить уровень чувствительности на излучение по напряжению в [дБ относительно 1 мкПа/В] по формуле:

$$S = 20 \lg(S(f)_{\text{cp}}). \quad (7)$$

9.4.5 Результаты поверки по пункту 9.4 считать положительными, если уровень чувствительности гидрофона на излучение по напряжению находится в диапазоне:

- от 114 до 133 дБ относительно 1 мкПа/В на частоте 100 кГц для гидрофона ГИ701;
- от 128 до 136 дБ относительно 1 мкПа/В на частоте 50 кГц для гидрофона ГИ702;
- от 140 до 148 дБ относительно 1 мкПа/В на частоте 100 кГц для гидрофона ГИ704;
- от 117 до 125 дБ относительно 1 мкПа/В на частоте 100 кГц для гидрофона ГИ705.

9.5 Определение доверительной границы относительной погрешности измерения уровня чувствительности при доверительной вероятности 0,95

9.5.1 При расчётах использовать значения, полученные по п.п. 9.1-9.3.

9.5.2 Определение относительной погрешности при доверительной вероятности 0,95 выполнять при первичной поверке гидрофона в соответствии с ГОСТ Р 8.736-2011 «Государственная система обеспечения единства измерений (ГСИ). Измерения прямые многократные. Методы обработки результатов измерений. Основные положения».

9.5.3 Относительную погрешность уровня чувствительности гидрофона δ в [дБ] вычислить по формуле (без учёта знака):

$$\delta = 20 \lg(1 + \frac{K \cdot S_{\Sigma}}{100}), \quad (8)$$

где S_{Σ} – суммарное среднее квадратическое отклонение оценки результата измерения чувствительности, K – коэффициент, зависящий от соотношения случайной составляющей погрешности и неисключённой систематической погрешности (НСП).

Значения S_{Σ} в [%] и K вычислить по формулам (9) и (10), соответственно:

$$K = \frac{t_{(n-1,P)} \cdot S_0 + \theta_3}{S_0 + S_{\theta}}, \quad (9)$$

$$S_{\Sigma} = \sqrt{S_{\theta}^2 + S_0^2}, \quad (10)$$

где $t_{(n-1,P)}$ – квантиль распределения Стьюдента при $(n - 1)$ степени свободы и доверительной вероятности 0,95; S_0 – относительное среднее квадратическое отклонение оценки результата измерений, определённое по формуле (3); θ_3 – доверительная погрешность эталона, применяемого при первичной поверке; n – число независимых измерений.

Среднее квадратическое отклонение НСП S_{θ} в [%] вычислить по формуле:

$$S_{\theta} = \frac{\theta_3}{k \cdot \sqrt{3}}, \quad (11)$$

где k – коэффициент, определяемый принятой доверительной вероятностью 0,95.

9.5.4 Результаты поверки по пункту 9.5 считать положительными, если полученные значения относительной погрешности измерений уровня чувствительности при доверительной вероятности 0,95, рассчитанные в дБ, находятся в доверительных границах $\pm 1,0$ дБ.

10 Оформление результатов поверки

Результаты поверки средств измерений подтверждаются сведениями о результатах поверки гидрофонов, включенными в Федеральный информационный фонд по обеспечению единства измерений. По заявлению владельца гидрофонов или лица, представившего его на поверку, на гидрофоны выдается свидетельство о поверке средства измерений и (или) в формуляр вносится запись о проведенной поверке, заверяемая подписью поверителя и знаком поверки, с указанием даты поверки, или выдается извещение о непригодности к применению средства измерений.

Результаты поверки оформляются в соответствии с установленным порядком.

Начальник НИО-5
ФГУП «ВНИИФТРИ»

Инженер НИО-5
ФГУП «ВНИИФТРИ»



В.Н. Некрасов

М.С. Евграфов