

СОГЛАСОВАНО

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



А.Н. Щипунов

2022 г.

Государственная система обеспечения единства измерений

Гидрофоны ТС40ХХ

Методика поверки

55254153.406231.001 МП

2022 г.

Содержание

1	Общие положения	3
2	Перечень операций поверки	3
3	Метрологические и технические требования к средствам поверки	4
4	Требования к специалистам, осуществляющим поверку	4
5	Требования по обеспечению безопасности проведения поверки	5
6	Требования к условиям проведения поверки	5
7	Внешний осмотр	5
8	Подготовка к поверке и опробование	5
9	Определение метрологических характеристик	6
10	Подтверждение соответствия средства измерений метрологическим требованиям	11
11	Оформление результатов поверки	11

1 Общие положения

1.1 Настоящая методика поверки распространяется на гидрофоны ТС40XX (далее – гидрофоны) в модификациях: ТС4013, ТС4033, ТС4034 и ТС4040, изготавливаемые фирмой «Teledyne Reson A/S», Дания, и устанавливает порядок проведения их первичной и периодической поверок.

1.2 При проведении поверки должна быть обеспечена прослеживаемость к государственному первичному эталону единиц звукового давления и колебательной скорости в водной среде ГЭТ 55-2017, утверждённому приказом Росстандарта № 2084 от 28.09.2018.

1.3 Интервал между поверками – один год.

2 Перечень операций поверки

2.1 При проведении поверки должны быть выполнены операции, указанные в таблице 1.

Таблица 1 – Операции поверки

Наименование операции	Номер пункта методики	Проведение операции при поверке	
		первичной	периодической
1 Внешний осмотр	7	да	да
2 Подготовка к поверке и опробование	8	да	да
3 Определение метрологических характеристик	9		
3.1 Определение значения уровня чувствительности по напряжению на опорной частоте 250 Гц	9.1	да	да
3.2 Определение неравномерности частотной характеристики чувствительности в рабочем диапазоне частот	9.2	да	да
3.3 Определение неравномерности диаграммы направленности в горизонтальной плоскости	9.3	да	да
3.4 Определение неравномерности диаграммы направленности в вертикальной плоскости	9.4	да	да
3.5 Определение уровня чувствительности на излучение по напряжению	9.5	да	да
3.6 Определение долговременной нестабильности уровня чувствительности	9.6	нет	да
3.7 Определение электрической ёмкости	9.7	да	да
3.8 Определение относительной погрешности уровня чувствительности при доверительной вероятности 0,95	9.8	да	нет
4 Подтверждение соответствия средства измерений метрологическим требованиям	10	да	да

2.2 При получении отрицательных результатов при выполнении любой из операций, указанных в таблице 1, поверка прекращается и гидрофон бракуется.

2.3 Допускается проведение периодической поверки на выборочных третьоктавных частотах его рабочего диапазона. При этом должны соблюдаться следующие условия:

- количество частот периодической поверки должно быть не менее пяти;
- среди частот поверки обязательно должна присутствовать опорная частота 250 Гц.

Соответствующая запись должна быть сделана в эксплуатационных документах и свидетельстве о поверке на основании решения эксплуатирующей организации.

3 Метрологические и технические требования к средствам поверки

3.1 При поверке должны быть применены средства, указанные в таблице 2.

Таблица 2 – Средства поверки

Операция поверки	Метрологические и технические требования к средствам поверки	Перечень рекомендуемых средств поверки
9.1 – 9.5	Эталоны единицы звукового давления в водной среде не ниже 2 разряда по государственной поверочной схеме для средств измерений звукового давления и колебательной скорости в водной среде, утверждённой приказом Росстандарта от 28 сентября 2018 г. № 2084, в диапазоне частот от 1 Гц до 470 кГц, с доверительными границами относительной погрешности $\pm 0,7$ дБ при доверительной вероятности 0,95	Рабочий эталон 2 разряда единицы звукового давления в водной среде «Измерительная установка УГГ1», рег. № 3.1.ZZT.0022.2013
9.7	Измерители электрической ёмкости в диапазоне от 10^{-12} до 10^{-3} Ф, с пределами допускаемой относительной погрешности измерений $\pm 0,1$ %	Измеритель иммитанса LCR-816, рег. № 20187-05
8.2	Осциллографы цифровые запоминающие с полосой пропускания не менее 350 МГц	Осциллограф цифровой запоминающий С8-203/2, рег. № 64767-16
Примечания: 1. Все средства поверки должны быть исправны, применяемые средства измерений должны быть поверены и иметь свидетельства о поверке с неистёкшим сроком действия на время проведения поверки. 2. Допускается применение других средств измерений, удовлетворяющих требованиям настоящей методики и обеспечивающих измерение соответствующих параметров с требуемой точностью.		

3.2 Вспомогательные материалы, необходимые для проведения поверки, и нормы их расхода на одну поверку указаны в таблице 3.

Таблица 3 – Вспомогательные материалы

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

4 Требования к специалистам, осуществляющим поверку

4.1 К проведению поверки допускаются лица с высшим или средним техническим образованием, ежегодно проходящие проверку знаний по технике безопасности и аттестованные в качестве поверителей в области гидроакустических измерений.

5 Требования по обеспечению безопасности проведения поверки

5.1 При выполнении операций поверки должны быть соблюдены все требования техники безопасности, регламентированные ГОСТ 12.1.019-2009, ГОСТ 12.1.038-82, ГОСТ 12.3.019-80, ГОСТ 12.1.030-2010, действующими «Правилами технической эксплуатации электроустановок потребителей», «Правилами техники безопасности при эксплуатации электроустановок потребителей», а также всеми действующими местными инструкциями по технике безопасности.

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

6 Требования к условиям проведения поверки

6.1 При проведении поверки должны соблюдаться следующие условия:

- температура окружающего воздуха от 15 до 25 °С;
- относительная влажность окружающего воздуха не более 80 %;
- атмосферное давление от 84 до 106,7 кПа (от 630 до 800 мм рт. ст.).

6.2 Поверку гидрофонов на эталоне по п.п. 9.1-9.5 проводить в пресной воде.

7 Внешний осмотр

7.1 При внешнем осмотре гидрофона необходимо установить:

- отсутствие механических повреждений;
- чистоту контактов соединительной вилки;
- удовлетворительное состояние кабеля;
- чёткость нанесения типа и заводского номера гидрофона.

7.2 Результаты поверки считать положительными, если гидрофон удовлетворяет требованиям п. 7.1. В противном случае результаты поверки считать отрицательными и последующие операции поверки не проводить.

8 Подготовка к поверке и опробование

8.1 Подготовка к поверке

8.1.1 Перед проведением поверки поверитель должен:

- изучить документ 55254153.406231.001 РЭ «Гидрофоны ТС40ХХ. Руководство по эксплуатации»;
- проверить исправность соединительных кабелей;
- подготовить средства поверки и вспомогательное оборудование к работе в соответствии с их ЭД;

– в случае периодической поверки убедиться в наличии свидетельства о предыдущей поверке гидрофона.

8.1.2 Перед началом поверки гидрофон должен находиться в воде в течение не менее 12 ч.

8.1.3 Непосредственно перед поверкой гидрофон должен быть обезжирен мыльным раствором.

8.1.4 При проведении операций по п. 9.2-9.5 ориентировать гидрофон опорным направлением на излучатель. За опорное направление принять выгравированный на корпусе заводской номер гидрофона.

8.1.5 Используемые средства поверки должны быть заземлены.

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

8.2 Опробование

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

8.2.2 Результаты поверки считать положительными, если при воздействии на чувствительный элемент гидрофона лёгким постукиванием карандашом гидрофон отвечает на это воздействие – на экране осциллографа появляется переменный сигнал.

9 Определение метрологических характеристик

9.1 Определение значения уровня чувствительности по напряжению на опорной частоте 250 Гц

9.1.1 Определение значения уровня чувствительности гидрофона на опорной частоте проводить с помощью эталона.

9.1.2 Измерение чувствительности гидрофона по напряжению на опорной частоте 250 Гц проводить в соответствии с руководством по эксплуатации эталона, при этом число наблюдений n должно быть не менее 4.

9.1.3 Вычислить значение чувствительности $M_{\text{ср}}$ в [мкВ/Па] как среднее арифметическое значение по формуле (1):

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

9.1.4 Вычислить уровень чувствительности на опорной частоте в [дБ относительно 1 В/мкПа] по формуле (2):

$$M_{\text{ном}} = 20 \lg(M_{\text{ср}} 10^{-12}). \quad (2)$$

9.1.5 Результаты поверки считать положительными, если уровень чувствительности по напряжению на опорной частоте 250 Гц находится в пределах:

- от минус 226 до минус 208 дБ относительно 1 В/мкПа для гидрофона ТС4013;
- от минус 214 до минус 200 дБ относительно 1 В/мкПа для гидрофона ТС4033;
- от минус 233 до минус 215 дБ относительно 1 В/мкПа для гидрофона ТС4034;
- от минус 215 до минус 203 дБ относительно 1 В/мкПа для гидрофона ТС4040.

9.2 Определение неравномерности частотной характеристики чувствительности в рабочем диапазоне частот

9.2.1 Определение неравномерности частотной характеристики чувствительности гидрофона в рабочем диапазоне частот проводить относительно опорной частоты с помощью эталона.

9.2.2 Измерение чувствительности гидрофона проводить на частотах третьоктавного ряда его рабочего диапазона в соответствии с руководством по эксплуатации эталона, при этом число наблюдений на каждой частоте n должно быть не менее 4.

9.2.3 На каждой частоте f вычислить среднее арифметическое значение чувствительности $M(f)_{cp}$ в [мкВ/Па] по формуле (3):

$$M(f)_{cp} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n M(f)_i. \quad (3)$$

9.2.4 Для каждой частоты f вычислить относительное среднее квадратическое отклонение (далее – СКО) оценки результата измерений чувствительности по формуле (4):

$$S_0(f) = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (M(f)_i - M(f)_{cp})^2}{n(n-1)}} \frac{100 \%}{M(f)_{cp}}. \quad (4)$$

9.2.5 На каждой частоте f вычислить уровень чувствительности в [дБ относительно 1 В/мкПа] по формуле (5):

$$M(f) = 20 \lg(M(f)_{cp} 10^{-12}), \quad (5)$$

определить в рабочем диапазоне частот максимальный M_{max} и M_{min} минимальный уровни чувствительности в [дБ относительно 1 В/мкПа].

9.2.6 Определить отклонение Θ_1 максимального уровня чувствительности от уровня чувствительности на опорной частоте по формуле (6):

$$\Theta_1 = M_{max} - M_{ном}, \quad (6)$$

где $M_{ном}$ – уровень чувствительности на опорной частоте в [дБ относительно 1 В/мкПа], определённый в п. 9.1; M_{max} – максимальный уровень чувствительности в [дБ относительно 1 В/мкПа], определённый в п. 9.2.5.

9.2.7 Определить отклонение Θ_2 минимального уровня чувствительности от уровня чувствительности на опорной частоте по формуле (7):

$$\Theta_2 = M_{min} - M_{ном}, \quad (7)$$

где M_{min} – минимальный уровень чувствительности в [дБ относительно 1 В/мкПа], определённый в п. 9.2.5.

9.2.8 Результаты поверки считать положительными, если:

- для гидрофона ТС4013 в рабочем диапазоне частот от 1 Гц до 170 кГц: $\Theta_1 \leq 5,0$ дБ, $\Theta_2 \geq -8,0$ дБ;
- для гидрофона ТС4033 в рабочем диапазоне частот от 1 Гц до 140 кГц: $\Theta_1 \leq 7,0$ дБ, $\Theta_2 \geq -10,0$ дБ;
- для гидрофона ТС4034 в рабочем диапазоне частот от 1 Гц до 250 кГц: $\Theta_1 \leq 2,5$ дБ, $\Theta_2 \geq -4,0$ дБ;
- для гидрофона ТС4034 в рабочем диапазоне частот от 1 Гц до 470 кГц: $\Theta_1 \leq 7,0$ дБ, $\Theta_2 \geq -12,0$ дБ;
- для гидрофона ТС4040 в рабочем диапазоне частот от 1 Гц до 80 кГц: $\Theta_1 \leq 2,5$ дБ, $\Theta_2 \geq -4,0$ дБ;
- для гидрофона ТС4040 в рабочем диапазоне частот от 1 Гц до 120 кГц: $\Theta_1 \leq 3,5$ дБ, $\Theta_2 \geq -10,0$ дБ;
- СКО результата измерений чувствительности гидрофона на каждой частоте не превышает 3,0 %.

9.3 Определение неравномерности диаграммы направленности в горизонтальной плоскости

9.3.1 Определение неравномерности диаграммы направленности гидрофона проводить с помощью эталона.

9.3.2 Выполнить измерение диаграммы направленности в горизонтальной плоскости на частоте 100 кГц в рабочем угловом секторе $\pm 180^\circ$ относительно опорного направления в соответствии с руководством по эксплуатации эталона.

9.3.3 Результаты поверки считать положительными, если значение неравномерности диаграммы направленности гидрофона в горизонтальной плоскости в рабочем угловом секторе $\pm 180^\circ$ относительно опорного направления на частоте 100 кГц находится в пределах $\pm 2,0$ дБ.

9.4 Определение неравномерности диаграммы направленности в вертикальной плоскости

9.4.1 Определение неравномерности диаграммы направленности гидрофона проводить с помощью эталона.

9.4.2 Сориентировать гидрофон опорным направлением, совпадающим с осью симметрии гидрофона, на излучатель.

9.4.3 Выполнить измерение диаграммы направленности в вертикальной плоскости в рабочем угловом секторе относительно опорного направления в соответствии с руководством по эксплуатации эталона.

9.4.4 Результаты поверки считать положительными, если значение неравномерности диаграммы направленности в вертикальной плоскости:

- для гидрофона ТС4013 в рабочем угловом секторе $\pm 135^\circ$ на частоте 100 кГц находятся в пределах $\pm 3,0$ дБ;

- для гидрофона ТС4033 в рабочем угловом секторе $\pm 135^\circ$ на частоте 100 кГц находятся в пределах $\pm 3,0$ дБ;

- для гидрофона ТС4034 в рабочем угловом секторе $\pm 135^\circ$ на частоте 300 кГц находятся в пределах $\pm 3,0$ дБ;

- для гидрофона ТС4040 в рабочем угловом секторе $\pm 130^\circ$ на частоте 50 кГц находятся в пределах $\pm 3,0$ дБ.

9.5 Определение уровня чувствительности на излучение по напряжению

9.5.1 Определение уровня чувствительности гидрофона на излучение проводить с помощью эталона.

9.5.2 Выполнить измерение чувствительности на излучение $S(f)$ на частоте $f = 100$ кГц для гидрофонов ТС4013, ТС4033 и ТС4034 и на частоте $f = 50$ кГц для гидрофона ТС4040 в соответствии с руководством по эксплуатации эталона, подключив гидрофон как обратимый преобразователь, при этом число наблюдений n должно быть не менее 4.

9.5.3 Вычислить среднее арифметическое значение чувствительности $S(f)_{\text{cp}}$ в [мкПа/В] по формуле (8):

$$S(f)_{\text{cp}} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n S(f)_i. \quad (8)$$

9.5.4 Вычислить уровень чувствительности на излучение по напряжению в [дБ относительно 1 мкПа/В] по формуле (9):

$$S = 20 \lg(S(f)_{\text{cp}}). \quad (9)$$

9.5.5 Результаты поверки считать положительными, если значение уровня чувствительности гидрофона на излучение на 1 м находится в пределах:

- от 114 до 133 дБ относительно 1 мкПа/В на частоте 100 кГц для гидрофона ТС4013;
- от 133 до 147 дБ относительно 1 мкПа/В на частоте 100 кГц для гидрофона ТС4033;
- от 105 до 125 дБ относительно 1 мкПа/В на частоте 100 кГц для гидрофона ТС4034;

– от 121 до 136 дБ относительно 1 мкПа/В на частоте 50 кГц для гидрофона ТС4040.

9.6 Определение долговременной нестабильности уровня чувствительности

9.6.1 Нестабильность уровня чувствительности гидрофона за интервал между поверками определять после очередной периодической поверки.

9.6.2 Нестабильность уровня чувствительности $\Theta_T(f)$ в [дБ] определять на опорной частоте 250 Гц по формуле (10):

$$\Theta_T = |M_0 - M_T|, \quad (10)$$

где M_0 и M_T – уровни чувствительности гидрофона в [дБ относительно 1 В/мкПа] на опорной частоте 250 Гц, полученные при предыдущей и при текущей поверках, соответственно.

9.6.3 Результаты поверки считать положительными, если долговременная нестабильность уровня чувствительности гидрофона на опорной частоте 250 Гц за интервал между поверками не превышает 0,7 дБ.

9.7 Определение электрической ёмкости

9.7.1 Определение электрической ёмкости выполнять между контактами вилки типа BNC кабеля гидрофона с помощью измерителя иммитанса.

9.7.2 Результаты поверки считать положительными, если значение электрической ёмкости гидрофона с встроенным кабелем составляет:

- не менее 3,0 нФ для гидрофона ТС4013;
- не менее 6,0 нФ для гидрофона ТС4033;
- не менее 2,0 нФ для гидрофона ТС4034;
- не менее 6,0 нФ для гидрофона ТС4040.

9.8 Определение относительной погрешности уровня чувствительности при доверительной вероятности 0,95

9.8.1 Определение относительной погрешности уровня чувствительности при доверительной вероятности 0,95 выполнять при первичной поверке гидрофона в соответствии с ГОСТ Р 8.736-2011 «ГСИ. Измерения прямые многократные. Методы обработки результатов измерений. Основные положения».

9.8.2 Относительную погрешность уровня чувствительности гидрофона (без учёта знака) вычислить по формуле (11):

$$\delta = K S_{\Sigma}, \quad (11)$$

где S_{Σ} – суммарное СКО оценки результата измерения чувствительности, K – коэффициент, за-

висящий от соотношения случайной составляющей погрешности и неисключённой систематической погрешности (далее – НСП) эталона, применяемого при первичной поверке.

9.8.3 Значения S_{Σ} и K вычислить по формулам (12) и (13), соответственно:

$$K = \frac{t_{(n-1,P)}S_0 + \Theta_{\Sigma}}{S_0 + S_{\Theta}}, \quad (12)$$

$$S_{\Sigma} = \sqrt{S_{\Theta}^2 + S_0^2}, \quad (13)$$

где $t_{(n-1,P)}$ – квантиль распределения Стьюдента при $(n - 1)$ степени свободы и доверительной вероятности P ; S_0 – относительное СКО оценки результата измерений, определённое по формуле (4); Θ_{Σ} – доверительная относительная погрешность эталона, применяемого при первичной поверке; n – число независимых измерений.

9.8.4 СКО НСП эталона S_{Θ} вычислить по формуле (14):

$$S_{\Theta} = \frac{\Theta_{\Sigma}}{k\sqrt{3}}, \quad (14)$$

где k – коэффициент, определяемый принятой доверительной вероятностью P эталона.

9.8.5 Результаты поверки считать положительными, если полученные значения относительной погрешности уровня чувствительности гидрофона при доверительной вероятности 0,95 находятся в доверительных границах $\pm 1,0$ дБ.

10 Подтверждение соответствия средства измерений метрологическим требованиям

10.1 Результаты поверки считаются положительными при одновременном выполнении пп. 9.1-9.8 в результате поверки гидрофона (метрологические характеристики гидрофона соответствуют установленным при утверждении типа средства измерений).

10.2 При получении отрицательных результатов в одном из пп. 9.1-9.8 результаты поверки считаются отрицательными, а гидрофон бракуется.

11 Оформление результатов поверки

11.1 Результаты поверки гидрофона оформить в виде протокола произвольной формы.

11.2 Результаты поверки гидрофона подтверждаются сведениями о результатах поверки средств измерений, включёнными в Федеральный информационный фонд по обеспечению единства измерений.

11.3 При положительных результатах поверки по заявлению владельца гидрофона или лица, предъявившего его на поверку, выдаётся свидетельство о поверке средства измерений, в паспорт гидрофона вносится запись о проведённой поверке, заверяемая подписью поверителя, с указанием даты поверки.

11.4 При отрицательных результатах поверки гидрофон признают непригодным к применению, и, по заявлению владельца гидрофона или лица, предъявившего его на поверку, выписывается извещение о непригодности к применению средства измерений.

Начальник НИО-5
ФГУП «ВНИИФТРИ»



В.Н. Некрасов

Начальник лаборатории 511
ФГУП «ВНИИФТРИ»



А.Н. Матвеев