ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО

ПО ТЕХНИЧЕСКОМУ РЕГУЛИРОВАНИЮ И МЕТРОЛОГИИ

НАЦИОНАЛЬНЫЙ СТАНДАРТ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

ГОСТ Р МЭК 62127-3— 2010

Государственная система обеспечения единства измерений

ГИДРОФОНЫ

Общие требования к характеристикам для измерений параметров ультразвуковых полей в частотном диапазоне от 0,5 до 40 МГц

IEC 62127-3:2007
Ultrasonics — Hydrophones — Part 3:
Properties of hydrophones for ultrasonic fields up to 40 MHz
(IDT)

Издание официальное

Москва
Стандартинформ
2012

gost.e-ecolog.ru

Предисловие

Цели и принципы стандартизации в Российской Федерации установлены Федеральным законом от 27 декабря 2002 г. № 184-ФЗ «О техническом регулировании», а правила применения национальных стандартов Российской Федерации — ГОСТ Р 1.0—2004 «Стандартизация в Российской Федерации. Основные положения»

Сведения о стандарте

1 ПОДГОТОВЛЕН Всероссийским научно-исследовательским институтом физико-технических и радиотехнических измерений Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии на основе собственного аутентичного перевода на русский язык указанного в пункте 4 международного стандарта, разработанного МЭК/ТК 87 «Ультразвук»

2 ВНЕСЕН Управлением метрологии Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии

3 УТВЕРЖДЕН И ВВЕДЕН В ДЕЙСТВИЕ приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 21 декабря 2010 г. № 824-ст

4 Настоящий стандарт идентичен международному стандарту МЭК 62127-3:2007 «Ультразвук. Гидрофоны. Часть 3. Характеристики гидрофонов для ультразвуковых полей на частотах до 40 МГц» (IEC 62127-3:2007 «Ultrasonics — Hydrophones — Part 3: Properties of hydrophones for ultrasonic fields up to 40 MHz»).

Наименование настоящего стандарта изменено относительно наименования указанного международного стандарта для приведения в соответствие с ГОСТ Р 1.5—2004 (подраздел 3.5).

При применении настоящего стандарта рекомендуется использовать вместо ссылочных международных стандартов соответствующие им национальные стандарты Российской Федерации, сведения о которых приведены в дополнительном приложении ДА

5 ВВЕДЕН ВПЕРВЫЕ

Информация об изменениях к настоящему стандарту публикуется в ежегодно издаваемом информационном указателе «Национальные стандарты», а текст изменений и поправок — в ежемесячно издаваемых информационных указателях «Национальные стандарты». В случае пересмотра (замены) или отмены настоящего стандарта соответствующее уведомление будет опубликовано в ежемесячно издаваемом информационном указателе «Национальные стандарты». Соответствующая информация, уведомление и тексты размещаются также в информационной системе общего пользования — на официальном сайте Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии в сети Интернет

© Стандартинформ, 2012

Настоящий стандарт не может быть полностью или частично воспроизведен, тиражирован и распространен в качестве официального издания без разрешения Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии

Содержание

1 Область применения . . . 1
2 Нормативные ссылки . . . 1
3 Термины, определения и обозначения . . . 1
4 Список обозначений . . . 3
5 Характеристики гидрофона . . . 3
5.1 Общие положения . . . 3
5.2 Общая информация . . . 3
5.3 Чувствительность . . . 3
5.4 Частотная характеристика . . . 4
5.4.1 Установленная полоса частот . . . 4
5.4.2 Зависимость от частоты . . . 4
5.5 Характеристики направленности . . . 4
5.5.1 Общие положения . . . 4
5.5.2 Симметричность характеристик направленности . . . 5
5.6 Эффективный радиус . . . 5
5.7 Динамический диапазон, линейность и электромагнитные помехи . . . 6
5.8 Характеристики электрического выходного сигнала . . . 6
5.8.1 Общие положения . . . 6
5.8.2 Гидрофон без предварительного усилителя . . . 7
5.8.3 Гидрофон с предварительным усилителем . . . 7
5.8.4 Конфигурация контактов выходного разъема . . . 7
5.9 Влияние окружающей среды . . . 7
5.9.1 Диапазон температур . . . 7
5.9.2 Герметичность . . . 7
5.9.3 Свойства воды и несовместимые материалы . . . 7
5.9.4 Материалы, контактирующие с внешней средой . . . 7
5.10 Руководство по эксплуатации . . . 7
5.11 Список параметров гидрофона . . . 8
Приложение А (справочное) Примеры представления информации о характеристиках гидрофона . . . 9
Приложение ДА (справочное) Сведения о соответствии ссылочных международных стандартов ссылочным национальным стандартам Российской Федерации . . . 13
Библиография . . . 14

НАЦИОНАЛЬНЫЙ СТАНДАРТ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Государственная система обеспечения единства измерений

ГИДРОФОНЫ

Общие требования к характеристикам для измерений параметров ультразвуковых полей в частотном диапазоне от 0,5 до 40 МГц

State system for ensuring the uniformity of measurements. Hydrophones.
General requirements for properties for measurements of ultrasonic fields in the frequency range from 0,5 up to 40 MHz

Дата введения — 2012—07—01

1 Область применения

Настоящий стандарт распространяется на гидрофоны с пьезоэлектрическими чувствительными элементами, разработанными для измерений ультразвуковых полей импульсного или непрерывного излучения, генерируемого ультразвуковым оборудованием, на гидрофоны, используемые для измерений в воде и на гидрофоны с предварительным усилителем или без него.

2 Нормативные ссылки

В настоящем стандарте использованы ссылки на следующие международные стандарты:

МЭК 60050-801:1994 Международный электротехнический словарь. Глава 801. Акустика и электроакустика (IEC 60050-801:1994 International Electrotechnical Vocabulary. Chapter 801. Acoustics and electroacoustics)

МЭК 60565:2006 Гидроакустика. Гидрофоны. Калибровка в частотном диапазоне от 0,01 Гц до 1 МГц (IEC 60565:2006 Underwater acoustics — Hydrophones — Calibration in the frequency range 0,01 Hz to 1 MHz)

МЭК 62127-1:2007 Ультразвук. Гидрофоны. Часть 1. Измерение и определение характеристик медицинских ультразвуковых полей до 40 МГц. (IEC 62127-1:2007 Ultrasonics — Hydrophones — Part 1: Measurement and characterization of medical ultrasonic fields up to 40 MHz. Corrigendum 1)

МЭК 62127-2:2007 Ультразвук. Гидрофоны. Часть 2. Калибровка для ультразвуковых полей на частотах до 40 МГц. (IEC 62127-2:2007 Ultrasonics — Hydrophones — Part 2: Calibration for ultrasonic fields up to 40 MHz)

3 Термины, определения и обозначения

В настоящем стандарте применены термины, определенные в стандартах МЭК 62127-1 и МЭК 62127-2, а также следующие термины с соответствующими определениями:

3.1 **диаграмма направленности:** Представление (обычно в графическом виде) зависимости чувствительности гидрофона от направления распространения падающей плоской звуковой волны в какой-либо заданной плоскости, проходящей через опорную точку, и на какой-либо заданной частоте [МЭК 60565].

3.2 **эффективный радиус гидрофона a_h, a_{h3}, a_{h6}, м:** Радиус **гидрофона** в виде жесткого диска, который имеет расчетную **диаграмму направленности**, угловой сектор которой равен угловому сектору измеренной диаграммы направленности рассматриваемого **гидрофона**.

Издание официальное

Примечания

1 Угловой сектор определяют по определенному уровню снижения **диаграммы направленности** относительно ее максимального значения. Для определенных уровней снижения, равных 3 дБ и 6 дБ, значения эффективного радиуса обозначают как a_{h3} и a_{h6}.

2 Значения радиуса зависят от частоты. Подробные экспериментальные данные см. в [1].

3.3 **импеданс электрической нагрузки $\underline{Z}_L$, Ом:** Комплексное значение входного электрического импеданса (включающее реальную и мнимую части), к которому подключен или должен быть подключен выходной разъем кабеля **гидрофона**.

3.4 **конец кабеля:** Выходной разъем на конце кабеля, конструктивно связанного с гидрофоном, если такой имеется на выходе гидрофона с усилителем или без него. Если гидрофон с усилителем или без него не имеет такого кабеля, то под концом кабеля понимают выходной разъем, конструктивно связанный с гидрофоном, но не с внешним (подсоединяемым) кабелем.

3.5 **чувствительность на конце кабеля под нагрузкой**; **чувствительность гидрофона** (или **гидрофона с предусилителем**) **на конце кабеля под нагрузкой M_L, В/Па:** Отношение мгновенного значения электрического напряжения на конце постоянно подсоединенного кабеля или разъема **гидрофона** (или **гидрофона с предусилителем**), подсоединенных к электрическому импедансу нагрузки, к **мгновенному акустическому давлению** в свободном невозмущенном акустическом поле плоской волны в точке, соответствующей акустическому центру **гидрофона**, при условии отсутствия **гидрофона** в этой точке.

3.6 **чувствительность холостого хода на конце кабеля**; **чувствительность холостого хода на конце кабеля гидрофона M_c, В/Па:** Отношение мгновенного значения электрического напряжения холостого хода на конце постоянно подсоединенного кабеля или разъема **гидрофона** (или **гидрофона с предусилителем**) к **мгновенному акустическому давлению** в свободном невозмущенном акустическом поле плоской волны в точке, соответствующей акустическому центру **гидрофона**, при условии отсутствия **гидрофона** в этой точке.

3.7 **свободное поле:** Звуковое поле в гомогенной изотропной среде, в котором влиянием границ можно пренебречь [МЭК 60565].

3.8 **геометрический радиус гидрофона a_g, м:** Радиус, определяемый размерами активного элемента **гидрофона**.

3.9 **гидрофон:** Преобразователь, который генерирует электрические сигналы при воздействии на него акустических сигналов в воде [МЭК 60050-801].

3.10 **гидрофон с предусилителем: Гидрофон**, совмещенный с предварительным усилителем в одном корпусе.

3.11 **ось гидрофона:** Номинальная ось симметрии активного элемента **гидрофона**.

Примечание — Под осью **гидрофона** в настоящем стандарте подразумевается геометрическая ось симметрии **гидрофона**, если изготовителем **гидрофона** не установлено другое более конкретное определение.

3.12 **предварительный усилитель (предусилитель) гидрофона:** Активное электронное устройство, которое соединяют или нужно соединить с **гидрофоном** для снижения его выходного импеданса [МЭК 62127-3].

Примечания

1 **Предусилитель гидрофона** требует электрического питания.

2 Коэффициент усиления **предусилителя гидрофона** может быть и меньше 1, т. е. предусилитель может и не являться усилителем напряжения.

3.13 **опорный центр:** Точка на **гидрофоне** или вблизи него, относительно которой определяют акустическую чувствительность [МЭК 60565].

Примечание — В настоящем стандарте под **опорным центром** подразумевают геометрический центр излучающей поверхности активного элемента **гидрофона**, если изготовителем **гидрофона** не дано другое, более конкретное определение.

3.14 **неопределенность:** Параметр, связанный с результатом измерений и характеризующий разброс значений, которые могли бы быть приписаны измеряемой величине (Руководство ИСО [2]).

4 Список обозначений

a_g — геометрический радиус **гидрофона**
a_h — эффективный радиус гидрофона (a_{h3}, a_{h6}: со ссылкой на его определение при минус 3 и 6 дБ соответственно)
c — скорость звука в среде (обычно в воде)
f — частота
$\underline{M}$ — общее обозначение для комплексного значения чувствительности гидрофона, где $M = |\underline{M}|$ является модулем, а arg ($\underline{M}$) — аргументом, т. е. его фазовым углом
M_c — чувствительность холостого хода на конце кабеля
M_L — чувствительность на конце кабеля под нагрузкой
$\underline{Z}_h$ — комплексный электрический выходной импеданс гидрофона с предусилителем или без него
$\underline{Z}_L$ — комплексный электрический импеданс нагрузки
Θ — угол падения ультразвуковой волны относительно оси гидрофона (Θ_3, Θ_6: на уровнях минус 3 и 6 дБ соответственно)

5 Характеристики гидрофона

5.1 Общие положения

Приведенная ниже информация необходима для полного описания эксплуатационных характеристик гидрофона в частотном диапазоне, относящемся к настоящему стандарту. Примеры представления такой информации о характеристиках гидрофона приведены в приложении А.

5.2 Общая информация

Должна быть представлена в письменном виде следующая информация:

- основные физические принципы процесса преобразования энергии, тип материала чувствительного элемента, форма и геометрические размеры (диаметр, толщина) активного элемента **гидрофона** и диаметр ножки (для зондового **гидрофона**);
- конфигурация и конструкция гидрофона;
- имеется или нет в **гидрофоне предварительный усилитель**; если предварительный усилитель может быть отсоединен от гидрофона, то следует четко указать, для какого типа **гидрофона** предназначен данный тип **предварительного усилителя**;
- номинальное направление приема ультразвука относительно **гидрофона**.

Примечание — Последнее указание наиболее важно, поскольку из литературы [3] известно, что чувствительность даже мембранных гидрофонов может изменяться при изменении направления распространения ультразвука на противоположное.

Рекомендуется представлять в письменном виде и такую информацию:

- резонансная частота основной толщиной моды колебаний активного элемента **гидрофона**;
- размеры и масса **гидрофона**;
- коэффициенты отражения и поглощения (предпочтительно в зависимости от частоты) для мембранных **гидрофонов**;

Общее примечание, касающееся 5.3 и 5.4: если доступна информация о фазовых характеристиках, то в дополнение к значению чувствительности (равной модулю в комплексном представлении чувствительности **гидрофона**) рекомендуется указывать фазовый угол (равный аргументу в комплексном представлении чувствительности **гидрофона**), а также частотную зависимость не только чувствительности, но и фазового угла.

5.3 Чувствительность

Чувствительность на конце кабеля **гидрофона** (с предусилителем или без него) должна быть указана в В/Па или в десятичных кратных им единицах, или в виде логарифмических величин — в децибелах относительно определенного значения.

Если предварительный усилитель влияет на чувствительность **гидрофона**, то это должно быть указано.

Должно быть четко установлено, является ли указанное значение чувствительности **чувствительностью холостого хода на конце кабеля** или **чувствительностью на конце кабеля под нагрузкой**. В последнем случае должны быть указаны параметры нагрузки, т. е. ее электрический импеданс, обеспечивающий указанное значение чувствительности.

Должна быть приведена **неопределенность** указанного значения чувствительности.

Должны быть также указаны интервал частот с установленной чувствительностью и неопределенностью ее значения. Настоящий стандарт предусматривает, что значения чувствительности и неопределенности могут быть приведены отдельно для определенных частотных интервалов.

Должны быть описаны методы определения чувствительности и оценки **неопределенности**.

Должна быть указана температурная зависимость чувствительности. Чувствительность **гидрофона** должна быть дана как функция температуры воды, по крайней мере, в диапазоне от 19 до 25 °С или для той температуры воды, на которой определена чувствительность, но при этом необходимо привести температурный коэффициент чувствительности.

В руководстве по эксплуатации должен быть указан рекомендованный межповерочный интервал. Если нет иных нормативных документов, этим рекомендациям необходимо следовать.

Примечание — В большинстве случаев наиболее приемлемым межповерочным интервалом является 1 год.

Если чувствительность **гидрофона** не относится к геометрическому центру активного элемента **гидрофона**, то следует указать **опорный центр гидрофона**.

Примечание — Это наиболее важно в случае фазовых измерений.

Если чувствительность **гидрофона** не относится к приему ультразвука в направлении **оси гидрофона**, то необходимо указать, в каком направлении она определена.

5.4 Частотная характеристика

5.4.1 Установленная полоса частот

Заявленная для гидрофона (с предусилителем или без него) полоса частот должна быть указана в виде нижней и верхней частот этой полосы. Чувствительность на конце кабеля **гидрофона** (с предусилителем или без него) в пределах этой полосы должна быть постоянной с определенным допуском, границы которого также следует указывать.

5.4.2 Зависимость от частоты

Чувствительность на конце кабеля или уровень чувствительности **гидрофона** (с предусилителем или без него) как функция частоты должны быть приведены в виде графика или таблицы в частотном диапазоне, по меньшей мере включающем полосу частот, оговоренную в 5.4.1. Если эта зависимость приведена в форме таблицы или в виде отдельных точек на графике, то расстояние между этими точками должно быть настолько малым, чтобы показать все важные детали частотной зависимости, а уровни чувствительности в соседних точках не должны отличаться более чем на ± 1 дБ.

Частотная зависимость может быть приведена как в абсолютных значениях чувствительности, так и в относительном представлении как отношение к абсолютному значению чувствительности **гидрофона** (с предусилителем или без него) на какой-либо определенной частоте. Во втором случае необходимо указать это опорное значение чувствительности и частоту, к которой она относится.

Информация о частотной зависимости должна относиться к определенным условиям (под нагрузкой или в режиме холостого хода), как это сделано для чувствительности в 5.3.

Если **неопределенность** значений чувствительности при указании частотной зависимости отличается от оценки **неопределенности**, приводимой в соответствии с 5.3, то на это должно быть четкое указание, при этом должна быть приведена новая или дополнительная **неопределенность**. Если частотная зависимость представлена только графически, то дополнительная неопределенность из-за неточности отсчетов по графику должна быть менее 10 % суммарной **неопределенности**.

Если частотная зависимость представлена в виде таблицы абсолютных значений (на конце кабеля под нагрузкой или в режиме холостого хода), то представление чувствительности в соответствии с 5.3 необязательно.

Примечания

1 На частотную зависимость может влиять электрическая нагрузка **гидрофона**.

2 Если **гидрофон** (с предусилителем или без него) применяют с последующими электронными компонентами, такими как усилитель, осциллограф и др., то частотная зависимость этих компонентов, конечно, будет влиять на частотную зависимость всей измерительной системы.

5.5 Характеристики направленности

5.5.1 Общие положения

Характеристики направленности гидрофона должны быть приведены как для нижней, так и для верхней частот его полосы в соответствии с 5.4.1. Следует указать и метод определения этих характеристик. **Характеристики направленности гидрофона** должны быть также приведены и для геометри-

ческого среднего от значений верхней и нижней частот, а если резонанс толщиной моды находится внутри частотной полосы **гидрофона**, то и для частоты вблизи этого резонанса.

Характеристика направленности должна быть измерена при вращении **гидрофона** вокруг оси, проходящей через опорный центр и перпендикулярной оси **гидрофона** в пределах, по меньшей мере, от минус 35° до плюс 35° от **оси гидрофона**, или от первого левого до первого правого минимумов на **характеристике направленности**, в зависимости от того, какой из этих секторов больше. При использовании этого метода такая процедура должна быть выполнена дважды — вращением вокруг двух осей, перпендикулярных друг другу. Если в плоскости, перпендикулярной оси **гидрофона**, **гидрофон** имеет какую-либо конструктивную особенность (например, электрические выводы на мембране мембранного **гидрофона**) в каком-либо направлении, то оси вращения рекомендуется выбирать вдоль этого направления и перпендикулярно ему. Если активный элемент не круглый, то одну из осей вращения следует маркировать каким-либо образом или сделать соответствующую запись в руководстве по эксплуатации на **гидрофон**.

Измерения **характеристик направленности** следует проводить в ультразвуковом поле плоских волн.

Если активный элемент имеет неправильную форму или более двух осей симметрии, то **характеристики направленности** рекомендуется измерять при вращении гидрофона вокруг всех этих осей.

Следует приводить все **характеристики направленности**, полученные в результате этих измерений.

5.5.2 Симметричность характеристик направленности

Если для каких-либо измеренных **характеристик направленности** угол между направлением с максимальной чувствительностью и осью **гидрофона** больше 1/10 углового сектора между направлениями первого левого и первого правого снижения этой характеристики на 6 дБ, то следует указывать угол смещения направления максимальной чувствительности от оси **гидрофона**. Уровень чувствительности в направлении **оси гидрофона** должен быть не ниже уровня в любом другом направлении минус 2 дБ.

Рекомендуется, чтобы симметрия любой **характеристики направленности** была представлена так, чтобы в случае спадания нормированного уровня чувствительности до минус 6 дБ, имеющего место в каком-либо конкретном направлении под определенным углом к направлению максимальной чувствительности (0 дБ), уровень чувствительности, измеренный с другой стороны от направления максимальной чувствительности и под тем же углом, должен быть в пределах минус 6 дБ ± 3 дБ.

Примечание — Если направление максимальной чувствительности **гидрофона** существенно изменяется при изменении частоты, то использование такого **гидрофона** для измерения параметров ультразвукового поля связано с большими проблемами.

5.6 Эффективный радиус

По результатам измерения **характеристик направленности**, полученным в соответствии с 5.5, необходимо рассчитать значение **эффективного радиуса** активного элемента **гидрофона**. При этом на частотах в соответствии с 5.4.1 необходимо определить указанные ниже параметры.

Если для рассматриваемой **характеристики направленности** угловой сектор между левосторонним и правосторонним направлениями спадания чувствительности на минус 3 дБ равен $2\Theta_3$, а угловой сектор между левосторонним и правосторонним направлениями спадания чувствительности на минус 6 дБ равен $2\Theta_6$, то для расчета **эффективного радиуса** в предположении круговой симметрии следует воспользоваться следующими формулами:

$$a_{h3} = 1{,}62\ c/(2\pi f \sin\Theta_3) \quad (1)$$

и

$$a_{h6} = 2{,}22\ c/(2\pi f \sin\Theta_6), \quad (2)$$

где f — ультразвуковая частота, соответствующая конкретному измерению;

c — скорость звука в жидкой среде при конкретной температуре.

Результирующие значения эффективного радиуса по соответствующим **характеристикам направленности** следует вычислять по усредненным значениям a_{h3} и a_{h6}.

Эффективный радиус гидрофона с круглым активным элементом следует определять как среднее из двух значений **эффективного радиуса**, полученных по двум ортогональным осям вращения. Если активный элемент не круглый, то в качестве **эффективного радиуса гидрофона** следует приводить наибольшее из значений эффективного радиуса, полученных по различным **характеристикам**

направленности. В последнем случае, если известно теоретическое соотношение между **характеристиками направленности** и **эффективным радиусом** элемента данной конкретной формы, то при расчете нужно воспользоваться именно этим соотношением, а выражения (1) и (2) нужно применять только в качестве аппроксимации.

Примечание — Как правило, радиус представляется как функция частоты [3].

5.7 Динамический диапазон, линейность и электромагнитные помехи

Должен быть указан динамический диапазон **гидрофона** (с предусилителем или без него), т. е. диапазон амплитуд давления, в котором можно применять **гидрофон**.

Этот диапазон должен быть обусловлен, по меньшей мере, следующими условиями:

a) не должно быть никаких механических или электрических повреждений **гидрофона** (с предусилителем или без него);

b) не должно быть насыщения выходного сигнала;

c) выходной сигнал должен быть выше уровня шумов.

Примечания

1 «Насыщение выходного сигнала» означает, что отличное от нуля приращение давления на **гидрофоне** не приводит к изменению напряжения на его выходе.

2 Уровень шумов может зависеть от электромагнитных наводок и изменяться в зависимости от величины электромагнитного поля в месте измерений. Идеальной считают возможность представления всех других источников шума, исключая электромагнитные наводки.

Должен быть указан диапазон линейности **гидрофона** (с предусилителем или без него), т. е. диапазон амплитуд давлений, в котором **гидрофон** (с предусилителем или без него) имеет линейную зависимость выходного сигнала от входного при следующем условии:

Если график зависимости напряжения на конце кабеля **гидрофона** от амплитуды акустического давления в условиях свободного поля может быть представлен прямой линией, проходящей через начало координат так, что в заданном диапазоне давлений действительные значения напряжения не отклоняются от прямой линии более чем на 10 %, то этот диапазон считают диапазоном линейности **гидрофона** (с предусилителем или без него). Это должно выполняться для любой из частот внутри полосы частот **гидрофона**, указанной в 5.4.1.

Следует давать рекомендации, как можно снизить влияние электромагнитных наводок.

5.8 Характеристики электрического выходного сигнала

5.8.1 Общие положения

Должна быть приведена частотная зависимость комплексного электрического импеданса на конце кабеля $\underline{Z}_h$ **гидрофона** (с предусилителем или без него). Она может быть представлена в виде реальной и мнимой частей или в виде значений электрических компонентов (таких как сопротивление и емкость) в эквивалентной электрической схеме. В последнем случае должен быть четко указан тип электрической схемы (например, как подсоединено сопротивление к емкости — последовательно или параллельно).

Отношение между комплексными значениями **чувствительности на конце кабеля под нагрузкой** и **чувствительности холостого хода на конце кабеля** будет зависеть от значений $\underline{Z}_h$ и $\underline{Z}_L$, как это следует из

$$\underline{M}_L = \underline{M}_c \left[\underline{Z}_L/(\underline{Z}_h + \underline{Z}_L)\right] \tag{3}$$

с модулем

$$M_L = M_c \left\{ \frac{\mathrm{Re}^2\, \underline{Z}_L + \mathrm{Im}^2\, \underline{Z}_L}{[\mathrm{Re}\, \underline{Z}_h + \mathrm{Re}\, \underline{Z}_L]^2 + [\mathrm{Im}\, \underline{Z}_h + \mathrm{Im}\, \underline{Z}_L]^2} \right\}^{1/2}, \tag{4}$$

где M_L — чувствительность на конце кабеля под нагрузкой;

M_c — чувствительность холостого хода на конце кабеля;

«Re» и «Im» — реальная и мнимая части соответствующих величин.

Выражения (3) и (4) могут быть использованы для вычисления поправочных коэффициентов, когда электрический импеданс конкретной нагрузки не соответствует условиям, при которых было определено значение чувствительности.

Примечание — Выражения (3) и (4) применимы в частотном представлении. При измерении гидрофоном ультразвуковых импульсов необходимо принимать в расчет и представления во времени (свертку и ее обращение).

5.8.2 Гидрофон без предварительного усилителя

Чувствительность на конце кабеля **гидрофона** без предварительного усилителя можно указывать как под нагрузкой, так и без нее.

Если чувствительность на конце кабеля указана как чувствительность под нагрузкой, то должны быть указаны соответствующие параметры электрической нагрузки (импеданс электрической нагрузки или компоненты эквивалентной схемы), к которым будут относиться указанные значения чувствительности. Если **гидрофон** применяют с различными нагрузками, то в значения его чувствительности необходимо вводить поправки в соответствии с (4).

Если чувствительность на конце кабеля указана как чувствительность холостого хода, а выход **гидрофона** подключен к нагрузке с конечным значением электрического импеданса, то в значения чувствительности **гидрофона** необходимо вводить поправки в соответствии с (4).

5.8.3 Гидрофон с предварительным усилителем

Чувствительность на конце кабеля **гидрофона с предусилителем** должна быть указана как чувствительность под нагрузкой, при этом указывают и параметры соответствующей нагрузки (импеданс электрической нагрузки или компоненты эквивалентной схемы), к которым будут относиться указанные значения чувствительности. Если **гидрофон** применяют с различными нагрузками, то в значения его чувствительности необходимо вводить поправки в соответствии с (4).

5.8.4 Конфигурация контактов выходного разъема

Должна быть показана основная конфигурация контактов выходного разъема, в том числе указывают, является ли выход дифференциальным или несимметричным, т. е. только с «горячим» контактом и с заземлением.

5.9 Влияние окружающей среды

5.9.1 Диапазон температур

Изготовитель должен указать допустимый диапазон рабочих температур и температуры хранения **гидрофона** (с предусилителем или без него).

5.9.2 Герметичность

Должно быть указано, какие части **гидрофона** (с предусилителем или без него) являются водонепроницаемыми, а какие нет. Должны быть также указаны ограничения (если таковые имеются) по продолжительности нахождения **гидрофона** в воде (возможно, в зависимости от температуры).

5.9.3 Свойства воды и несовместимые материалы

Должны быть указаны ограничения (если таковые имеются) по допустимой электропроводности воды. Должны быть также указаны характеристики воды (например, электропроводность, газосодержание), к которым относятся установленные количественные характеристики **гидрофона**.

Должны быть приведены и ограничения на применение некоторых материалов (например, жидкостей, растворов).

5.9.4 Материалы, контактирующие с внешней средой

Должны быть указаны типы материалов (например, металлов, резин, компаундов и др.), контактирующих с жидкостью, в которой допускается работать **гидрофону**. Все контактирующие с жидкостью части **гидрофона** должны быть сделаны из коррозиеустойчивых материалов. В частности, для внешних частей **гидрофона** должно быть исключено использование разнородных металлов, чтобы избежать возможной гальванической коррозии.

Контактирующие с водой металлические части корпуса **гидрофона** и его электростатический экран должны быть соединены с экраном кабеля.

5.10 Руководство по эксплуатации

К **гидрофону** (с предусилителем или без него) должно прилагаться подробное руководство по эксплуатации.

В дополнение к информации, приводимой в соответствии с 5.2—5.9, руководство по эксплуатации должно содержать:

- рисунок, на котором показаны геометрическая форма и размеры **гидрофона**;

- рекомендации по правильному и безопасному применению гидрофона, включая время замачивания, диапазон температур и максимальное ультразвуковое давление;

- типичные частотные зависимости импеданса и коэффициента усиления предварительного усилителя (если таковой в гидрофоне имеется).

5.11 Список параметров гидрофона

Требуемую информацию о характеристиках **гидрофона** обобщают в соответствии со следующим списком:

- общая информация, такая как материал активного элемента, геометрические размеры, имеет или не имеет **гидрофон** предварительный усилитель;
- чувствительность гидрофона;
- частотная характеристика чувствительности;
- характеристики направленности и эффективный радиус;
- динамический диапазон и диапазон линейности;
- электрический выходной импеданс и конфигурация контактов разъема;
- условия внешней среды.

Приложение А
(справочное)

Примеры представления информации о характеристиках гидрофона

А.1 Общие положения

В настоящем приложении в качестве примера приведена информация о характеристиках зондового гидрофона диаметром 0,2 мм, включающего погружаемый в воду предварительный усилитель. Все указанные для этого гидрофона акустические параметры относятся к комбинации гидрофон — предусилитель.

Примечание — Материал, приведенный в этом приложении, является только демонстрацией того, как следует представлять информацию, и не является официальным документом какого-либо конкретного изделия.

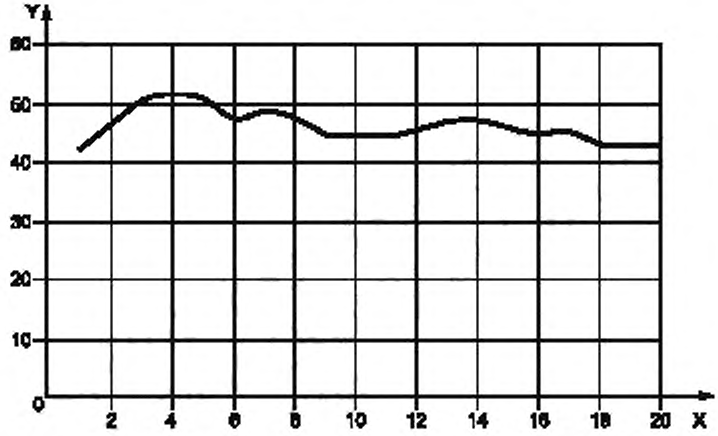
А.2 Общая информация

Таблица А.1 — Пример общей информации о 0,2 мм — зондовом гидрофоне с предусилителем

Требуемая информация о характеристиках	Зондовый гидрофон диаметром 0,2 мм
Принцип преобразования энергии	Пьезоэлектрическое преобразование (пьезоэффект)
Материал чувствительного элемента	Поливинилиденфторид (ПВДФ)
Геометрические размеры активного элемента	Диаметр 0,2 мм, толщина 9 мкм
Частота резонанса по толщине пьезопленки	63 МГц
Типичное значение чувствительности на 3 МГц	50 нВ/Па (см. далее в А.3)
Внешний диаметр трубки (зонда)	0,5 мм
Масса гидрофона	1,5 г
Длина гидрофона	Общая: 55 мм, трубка: 35 мм
Предварительный усилитель	Гидрофон должен применяться совместно с погружаемым в воду предусилителем модели №
Номинальный выходной импеданс	50 Ом
Ориентация при измерениях	Торец трубки прямо к акустическому источнику

А.3 Чувствительность и частотная характеристика

Частотная характеристика чувствительности на конце кабеля **гидрофона** под нагрузкой с присоединенным предварительным усилителем, нагруженным на 50 Ом, показана на рисунке А.1.



ось X — частота, МГц; ось Y — чувствительность, нВ/Па

Рисунок А.1 — Частотная характеристика чувствительности 0,2 мм — зондового **гидрофона**

График этой частотной зависимости чувствительности получен при калибровке методом замещения, описанным Smith и Bacon [4]. Метод предполагает использование ультразвукового источника, излучающего импульсы ударной волны, спектр которых содержит много гармоник. В этой калибровке использован акустический источник с основной частотой 1 МГц. Высокая энергия излучаемого им ультразвукового сигнала позволяет получать множество кратных ей гармонических составляющих, что обеспечивает калибровку **гидрофона** в диапазоне от 1 до 20 МГц через 1 МГц. **Гидрофон** был откалиброван при температуре (20 ± 2) °С.

Примечание — Температурный коэффициент чувствительности приведен в разделе А.8.

Зондовые **гидрофоны**, применяемые для абсолютных измерений акустического давления, рекомендуется калибровать не реже 1 раза в 12 месяцев. При этом рекомендуется проверять **гидрофон** ежемесячно по эталонному источнику для того, чтобы возможно раньше обнаружить изменения его чувствительности, не дожидаясь очередной ежегодной калибровки.

Чувствительность **гидрофона**: (47 ± 5) нВ/Па.

Ширина полосы **гидрофона**: от 1 до 20 МГц.

Неопределенность результатов калибровки:

в диапазоне от 1 до 8 МГц — 14 %;

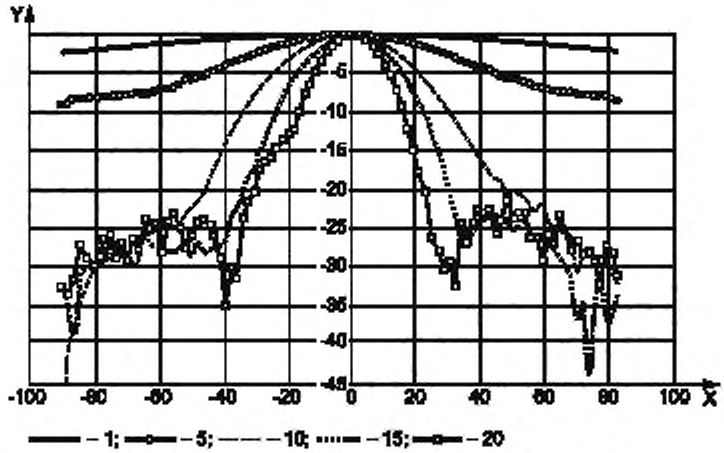
в диапазоне от 9 до 20 МГц — 18 %.

Неопределенность результатов измерения частотной характеристики чувствительности была оценена методами, изложенными в [1]. Одной из главных составляющих неопределенности является неопределенность калибровки эталонного гидрофона, используемого при калибровке, который в свою очередь был откалиброван на национальном эталоне.

Примечание — Особенности частотной зависимости зондовых гидрофонов рассмотрены в [5].

А.4 Характеристики направленности

Характеристики направленности гидрофона были измерены с помощью того же самого нелинейного ультразвукового поля, которое применяли при измерении частотной характеристики чувствительности. **Гидрофон** был установлен в координатно-поворотном устройстве, обеспечивающем точное положение гидрофона и его юстировку. Кончик зондового **гидрофона** был затем отъюстирован и ориентирован так, чтобы временной сдвиг сигнала при вращении **гидрофона** в ультразвуковом поле не превышал 100 нс. Это означало, гидрофон при вращении практически не смещался и все изменения выходного сигнала **гидрофона** были обусловлены только его направленностью. При записи сигнала с гидрофона как функции угла поворота можно получить характеристики направленности в заданном диапазоне частот. Характеристики направленности 0,2 мм зондового **гидрофона** на частотах 1, 5, 10, 15 и 20 МГц представлены на рисунке А.2.



ось X — угол в градусах; ось Y — относительная амплитуда, дБ

Рисунок А.2 — Характеристики направленности 0,2 мм — зондового гидрофона

Примечания

1 На рисунке А.2 представлены характеристики направленности гидрофона при его вращении вокруг только одной из двух ортогональных осей, рассмотренных в 5.5.

2 Показанные на рисунке А.2 характеристики направленности на частотах от 5 до 20 МГц полностью соответствуют критерию симметричности, приведенному в 5.5.2. На 1 МГц это оценить невозможно, поскольку чувствительность не достигает уровня спадания минус 6 дБ.

А.5 Эффективный радиус

Эффективный радиус гидрофона был определен по углам, ограниченным точками на диаграмме направленности, соответствующими спаданию чувствительности минус 3 дБ и минус 6 дБ, как это указано в 5.6. Эффективный радиус 0,2 мм зондового гидрофона был равен. 0,131 мм для 5 МГц; 0,124 мм для 10 МГц; 0,114 мм для 15 МГц, 0,121 мм для 20 МГц.

Примечания

1 Эти значения являются средними из a_{h3} и a_{h6}.

2 Используя этот метод, невозможно оценить эффективный радиус на 1 МГц, поскольку чувствительность не достигает уровней спадания ни минус 3 дБ, ни минус 6 дБ.

А.6 Динамический диапазон, линейность и электромагнитные наводки

А.6.1 Нижний предел динамического диапазона

Минимальный уровень шумов **гидрофона с предусилителем** ограничивает возможность измерения слабых акустических сигналов. Среднеквадратичное значение уровня шумов предварительного усилителя равно приблизительно 50 мкВ в полосе частот до 100 МГц. Если чувствительность **гидрофона** принять равной 50 нВ/Па, то уровень шума будет соответствовать эквивалентному шумовому давлению 50 мкВ / 50 нВ/Па = 1 кПа.

Примечание — Система считывания результатов, используемая для записи сигнала с гидрофона, также может ограничивать минимальный сигнал, который можно записать. Например, осциллограф с максимальным разрешением 0,5 мВ будет способен отображать только сигналы с амплитудой не ниже 0,5 мВ/50 нВ/Па = 10 кПа.

Эквивалентное шумовое давление **гидрофона** равно 1 кПа.

А.6.2 Верхний предел динамического диапазона

Чтобы не быть подверженным механическому повреждению при воздействии высокого акустического давления, этот гидрофон разработан для измерений полей амплитудой до 20 МПа. Хотя **гидрофоны** этого типа используют в ультразвуковых полях, превышающих 50 МПа, риск повреждения **гидрофона** возрастает. Если необходимо использовать **гидрофон** в поле, акустическое давление в котором превышает 20 МПа, то следует обратиться за советом к поставщику.

Чтобы не происходило насыщение предусилителя выше определенного предела акустического давления, встроенный в этот **гидрофон** предусилитель спроектирован так, что его нелинейность начинает проявляться при превышении пикового значения выходного напряжения, равного 2000 мВ. Если принять во внимание типичное значение чувствительности **гидрофона**, то это соответствует давлению, равному 2000 мВ/50 нВ/Па = 40 МПа. Если приходится иметь дело с полями, давление в которых превышает это значение, то необходимо обратиться к поставщику **гидрофона**, чтобы рассмотреть возможность включения аттенюатора в схему **гидрофона**.

Порог нелинейности равен 40 МПа.

Порог возможного повреждения равен 20 МПа.

А.7 Параметры электрического выхода

Соответствующие параметры для рассматриваемого гидрофона не определены.

А.8 Условия окружающей среды

Гидрофон с предусилителем может быть использован при измерениях в диапазоне рабочих температур от 5 до 50 °С и его хранят при этих же температурах. Нахождение **гидрофона** при температурах, превышающих 60 °С, может стать причиной необратимого повреждения **гидрофона**.

Гидрофон с предусилителем был откалиброван в диапазоне температур от 19 до 25 °С. Его чувствительность зависит от температуры таким образом, что при повышении температуры на 1 °С чувствительность увеличивается на 0,6 %.

Гидрофон с предусилителем был разработан для полного погружения в воду и может успешно выдерживать гидростатическое давление, соответствующее давлению на глубине 2 м. Хотя **гидрофон с предусилителем** может выдерживать и длительное погружение (> 48 ч), при отсутствии необходимости нахождения в воде рекомендуется извлекать **гидрофон** из воды и просушивать.

Каких-либо требований к качеству воды не предъявляется. Однако стандарты, относящиеся к гидрофонным измерениям, такие, например, как МЭК 62127-1 или [6], могут предъявлять определенные требования к ее качеству.

Примечание — Продолжительное нахождение **гидрофона** в недеионизированной воде (например, водопроводной) может привести к нарастанию отложений на конце **гидрофона**. Кальциевые отложения в условиях «жесткой» воды могут стать определенной проблемой и привести к потере чувствительности **гидрофона**.

Несмотря на то, что гидрофон разработан для измерений в воде, его можно применять и во многих других жидких средах. Однако следует иметь в виду, что калибровка гидрофона была выполнена в воде. Другие материалы с различным акустическим импедансом изменяют чувствительность гидрофона. Следует исключить применение некоторых химически агрессивных жидкостей. К последним относят:

d) концентрированные кислоты (например, азотную и серную);

e) концентрированные щелочи (например, едкий натр);

f) сильные органические растворители (например, многие альдегиды, многие ацетоны, связующие в компаундах, диметилформамид).

В частях гидрофона, подвергающихся воздействию окружающей среды, применены золото, нержавеющая сталь, фторопласт, латунь и поливинилхлорид (для оболочки кабеля предусилителя). Однако, если получит повреждение наружный золотой электрод, то среда будет воздействовать на ПВДФ и уплотнение **гидрофона**.

Приложение ДА
(справочное)

Сведения о соответствии ссылочных международных стандартов ссылочным национальным стандартам Российской Федерации

Таблица ДА

Обозначение ссылочного международного стандарта	Степень соответствия	Обозначение и наименование соответствующего национального стандарта
МЭК 60050-801:1994	—	*
МЭК 60565:2006	—	*
МЭК 62127-1:2007	IDT	ГОСТ Р МЭК 62127-1—2009 «Государственная система обеспечения единства измерений. Параметры полей ультразвуковых. Общие требования к методам измерений и способам описания полей в частотном диапазоне от 0,5 до 40 МГц»
МЭК 62127-2:2007	IDT	ГОСТ Р МЭК 62127-2—2009 «Государственная система обеспечения единства измерений. Гидрофоны. Общие требования к методикам калибровки в частотном диапазоне до 40 МГц»

* Соответствующий национальный стандарт отсутствует. До его утверждения рекомендуется использовать перевод на русский язык международного стандарта. Перевод данного международного стандарта находится в Федеральном информационном фонде технических регламентов и стандартов.

Примечание — В настоящей таблице использовано следующее условное обозначение степени соответствия стандартов:
- IDT — идентичные стандарты.

Библиография

[1] Radulescu E.G., Lewin P.A., Nowicki A. and Berger W.A. Hydrophones' effective diameter measurements as a quasi-continuous function of frequency/Ultrasonics. — 2003.— Vol. 41.— iss. 8. — P. 635—641

[2] ISO Guide to the expression of uncertainty in measurement. — Geneva. — Switzerland. — 1995

[3] Fay B., Lewin P.A., Ludwig G., Sessler G.M. and Yang G. The influence of spatial polarization distribution on spot poled PVDF membrane hydrophone performance//Ultrasound Med. — Biol. — 1992. — Vol. 18. — №№ 6—7. — P. 625—635

[4] Smith R.A. and Bacon D.R. A multiple-frequency hydrophone calibration technique//J. Acoust. Soc. Am. — 1990. — Vol. 87. P. 2231—2243

[5] Fay B., Ludwig G., Lankjaer C. and Lewin P.A. Frequency response of PVDF needle-type hydrophones//Ultrasound Med. Biol. — 1994. — Vol. 20. — №№ 4. — P. 361—366

[6] AIUM/NEMA. Acoustic output measurement standard for diagnostic ultrasound equipment. (NEMA Standards Publication UD 2-2004, Revision 3). Laurel M.D.: American Institute of Ultrasound in Medicine (AIUM); Rosslyn, VA: National Electrical Manufactures Association (NEMA), 2004

УДК 616-073.43-71:006.354 ОКС 17.140.50 Т86.9 ОКСТУ 0008

Ключевые слова: акустическое давление, гидрофон, медицинское ультразвуковое оборудование, направленность, чувствительность

Редактор *Е.В. Вахрушева*
Технический редактор *В.Н. Прусакова*
Корректор *М.И. Першина*
Компьютерная верстка *И.А. Налейкиной*

Сдано в набор 21.03.2012. Подписано в печать 10.04.2012. Формат 60 × 84 1/8. Гарнитура Ариал.
Усл. печ. л. 2,32. Уч.-изд. л. 1,90. Тираж 94 экз. Зак. 296.

ФГУП «СТАНДАРТИНФОРМ», 123995 Москва, Гранатный пер., 4.
gost.e-ecolog.ru @gostinfo.ru
Набрано во ФГУП «СТАНДАРТИНФОРМ» на ПЭВМ.
Отпечатано в филиале ФГУП «СТАНДАРТИНФОРМ» — тип. «Московский печатник», 105062 Москва, Лялин пер., 6.

gost.e-ecolog.ru