
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

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**.

П р и м е ч а н и я

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 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_o , 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**.

П р и м е ч а н и е — 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].

П р и м е ч а н и я

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].

П р и м е ч а н и е — 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
 Z_h — комплексный электрический выходной импеданс гидрофона с предусилителем или без него
 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 децибеллах 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 °C 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.

П р и м е ч а н и е — 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**.

П р и м е ч а н и е — 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.

П р и м е ч а н и я

- 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.

П р и м е ч а н и е — 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 спада чувствительности на минус 3 дБ равен $2\Theta_3$, а угловой сектор между левосторонним и правосторонним направлениями спада 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.

П р и м е ч а н и е — 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:

- а) не должно быть никаких механических или электрических повреждений **гидрофона** (с предусилителем или без него);
- б) не должно быть насыщения выходного сигнала;
- с) выходной сигнал должен быть выше уровня шумов.

П р и м е ч а н и я

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 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 Z_h и Z_L , как это следует из

$$\underline{M}_L = \underline{M}_c [Z_L / (Z_h + Z_L)] \quad (3)$$

с модулем

$$M_L = M_c \left\{ \frac{\operatorname{Re}^2 Z_L + \operatorname{Im}^2 Z_L}{[\operatorname{Re} Z_h + \operatorname{Re} Z_L]^2 + [\operatorname{Im} Z_h + \operatorname{Im} Z_L]^2} \right\}^{1/2}, \quad (4)$$

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.

П р и м е ч а н и е — 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 коррозиестойчивых 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.

П р и м е ч а н и е — 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

Т а б л и ц а 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.

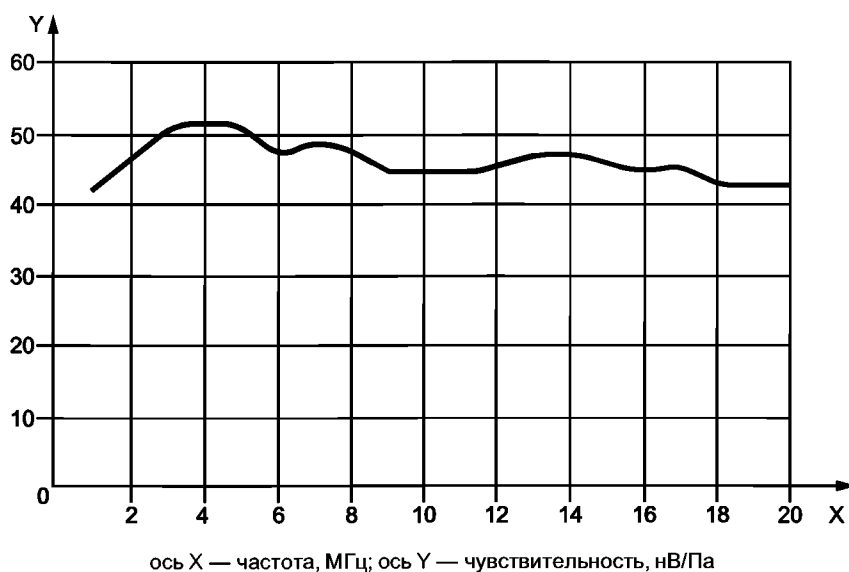


Рисунок А.1 — Частотная характеристика чувствительности 0,2 мм — зондового гидрофона

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 $(20 \pm 2)^\circ\text{C}$.

П р и м е ч а н и е — 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.

П р и м е ч а н и е — 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.

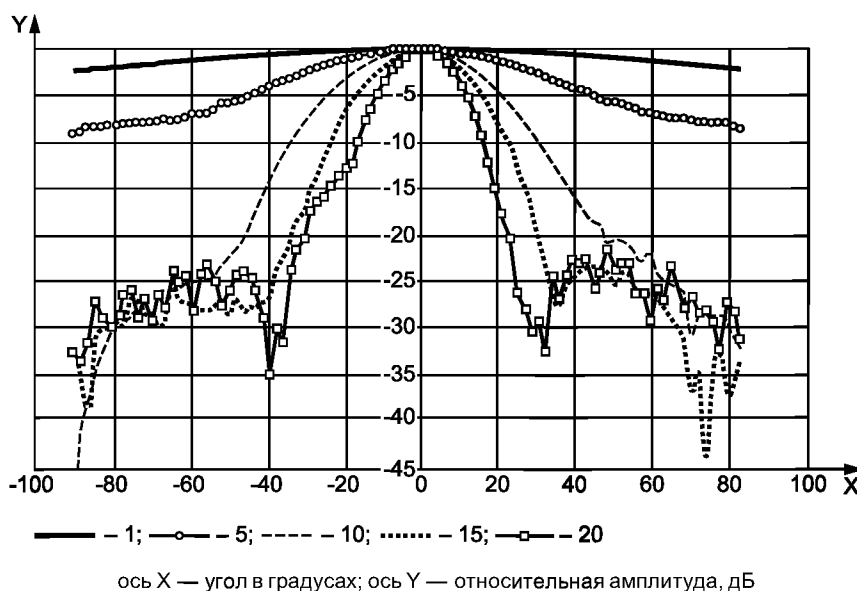


Рисунок А.2 — Характеристики направленности 0,2 мм — зондового гидрофона

П р и м е ч а н и я

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 спада минус 6 дБ.

А.5 Эффективный радиус

Эффективный радиус гидрофона был определен по углам, ограниченными точками на диаграмме направленности, соответствующими спадающему 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.

П р и м е ч а н и я

- 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 спадающего 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 $50 \text{ мкВ} / 50 \text{ нВ/Па} = 1 \text{ кПа}$.

П р и м е ч а н и е — 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 $0,5 \text{ мВ} / 50 \text{ нВ/Па} = 10 \text{ кПа}$.

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 $2000 \text{ мВ} / 50 \text{ нВ/Па} = 40 \text{ МПа}$. 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.

П р и м е ч а н и е — 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**

Т а б л и ц а 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. П р и м е ч а н и е — 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

T86.9

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 $\frac{1}{8}$. Гарнитура Ариал.
Усл. печ. л. 2,32. Уч.-изд. л. 1,90. Тираж 94 экз. Зак. 296.

ФГУП «СТАНДАРТИНФОРМ», 123995 Москва, Гранатный пер., 4.
www.gostinfo.ru info@gostinfo.ru

Набрано во ФГУП «СТАНДАРТИНФОРМ» на ПЭВМ.

Отпечатано в филиале ФГУП «СТАНДАРТИНФОРМ» — тип. «Московский печатник», 105062 Москва, Лялин пер., 6.