

СРАВНИТЕЛЬНЫЕ ИСПЫТАНИЯ ГИДРОФОНА 5С301ТА

■ **Цель испытания:**

Сравнить электроакустические характеристики гидрофонов 5С301ТА зав.№25001 производства ООО «ГТЛАБ» и Brüel & Kjær Type 8103 зав.№2404818.

■ **Место проведения испытаний:**

ННГУ им. Лобачевского, кафедра акустики, дата проведения - 24.12.2025.



■ **Приборы и оборудование:**

- генератор сигналов Tektronix AFG 3102;
- излучающий гидрофон Brüel & Kjær Type 8100;
- приёмные гидрофоны Brüel & Kjær Type 8103 и gtlab 5C301TA;
- цифровые осциллографы: Tektronix DPO 4034B, Tektronix TDS 3032B;
- усилитель мощности Brüel & Kjær Power Amplifier Type 2713;
- система акустических измерений Ultrasound Measurement System (UMS);
- компьютер со специальным программным обеспечением (СПО) для управления UMS;
- усилитель сигнала Nexus Type 2692-012; соединительные провода.

■ **Методика проведения измерений:**

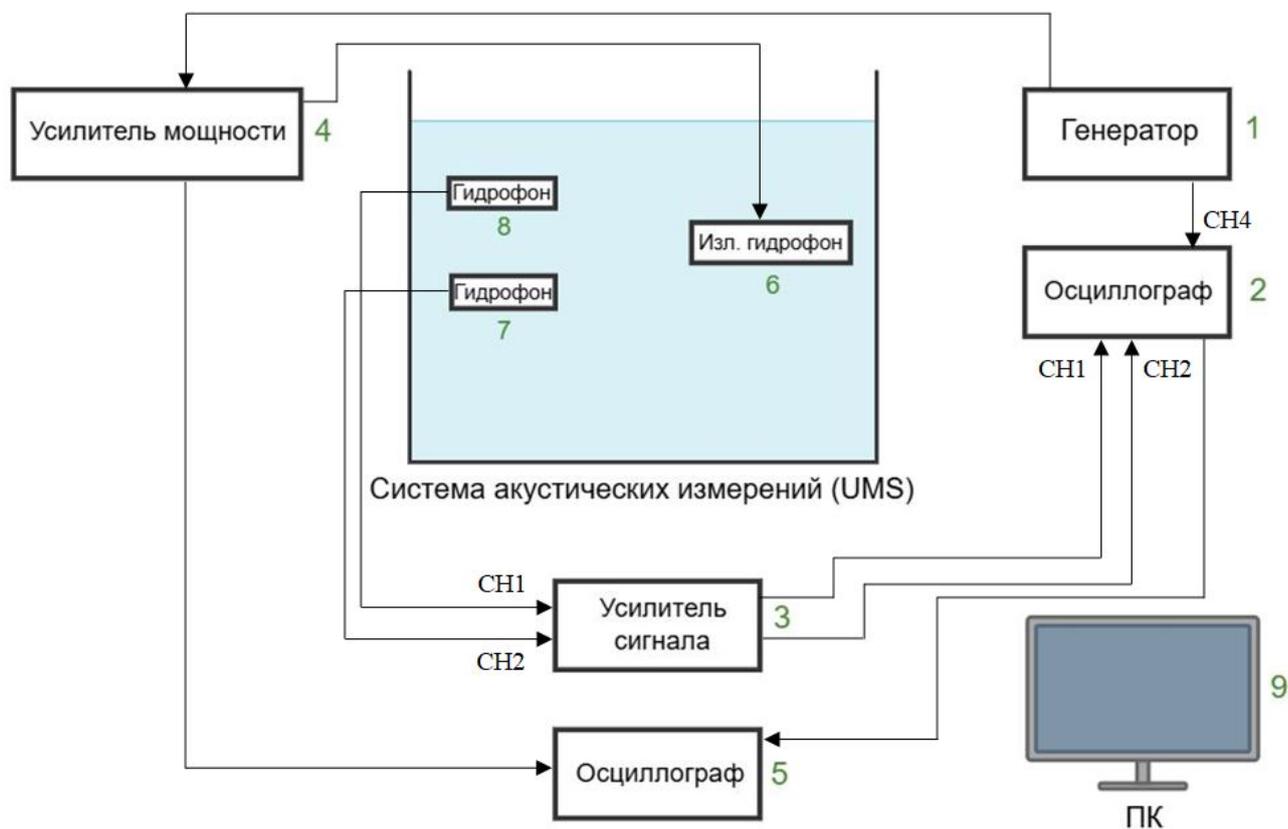


Рисунок 1 — Блок-схема экспериментальной установки.

Таблица 1. Краткая характеристика приборов.

№	Название	Модель	Тип	Частотный диапазон	Серийный номер
1	Генератор сигналов Tektronix	AFG 3102	Двухканальный	до 100 МГц	C025625
2	Цифровой осциллограф Tektronix	DPO 4034B	Четырёхканальный	до 350МГц	C022547
3	Усилитель сигнала Brüel & Kjær	Type 2692-012	Двухканальный	до 200 кГц	2831452
4	Усилитель мощности Brüel & Kjær	Type 2713	Одноканальный	до 200 кГц	2883258
5	Цифровой осциллограф Tektronix	TDS 3032B	Двухканальный	до 300 МГц	B041208
6	Излучающий гидрофон Brüel & Kjær	Type 8100	Пьезоэлектрический	до 125 кГц	806548
7	Приёмный гидрофон Brüel & Kjær	Type 8103	Пьезоэлектрический	до 200 кГц	2404818
8	Гидрофон GTLAB	5C301TA	Пьезоэлектрический	до 180 кГц	25001
9	ПК	—	—	—	—

1. Была собрана установка, схема которой изображена на рисунке 1. Сигнал с генератора Tektronix AFG 3102 поступает на усилитель мощности Brüel & Kjær Power Amplifier Type 2713. Усилитель мощности подсоединён к излучающему гидрофону Type 8100. Принимающие гидрофоны подключены к усилителю сигнала Nexus Type 2690, сигнал с которого идёт на осциллограф Tektronix DPO 4034B.

Генератор Tektronix AFG 3102, осциллографы Tektronix DPO 4034B и Tektronix TDS 3032B соединены друг с другом для синхронизации. Tektronix TDS 3032B так же подсоединён к усилителю мощности, чтобы с его помощью была возможность контролировать сигнал накачки.

2. Использовали импульсные сигналы в диапазоне частот от 3 кГц до 200 кГц. На генераторе выставляли необходимую частоту сигнала и амплитуду для излучающего гидрофона, равную 1 Vpp, период повторения - 50 мс, количество периодов до 60 кГц – 3, после 60 кГц – 5.

При помощи усилителя мощности добивались, чтобы амплитуда на излучающем гидрофоне составляла 34 В.

Для приёмных гидрофонов коэффициент усиления (K) устанавливался одинаковым и был равен 10 мВ/Па. Чувствительность гидрофонов вносилась в настройку усилителя и устанавливалась одинаковой для двух приемных гидрофонов равной 0.1 пКл/Па.

3. Излучающий и приёмные гидрофоны находятся на расстоянии 400 мм так, чтобы их акустические центры находились в одной плоскости – рисунок 2.



Рисунок 2 — Установка гидрофонов в необходимое положение.

Излучающий гидрофон излучает импульсные сигналы на частотах: 3, 5, 10 кГц, а далее от 20 до 200 кГц с шагом 10 кГц. Характерные осциллограммы, принимаемые гидрофонами, приведены на рисунках 3.



Рисунок 3 — Пример осциллограммы, записанной на частоте 70 кГц.
 Зелёный сигнал – синхронизация, показывающая начала излучения.
 Жёлтый сигнал - импульс, принимаемый гидрофоном gtlab.
 Голубой – импульс, принимаемый контрольным гидрофоном.

4. Данные записывались с осциллографа Tektronix DPO 4034В на флэш-носитель. Далее экспериментальные данные обрабатывались в программном пакете Matlab. Результаты экспериментов представлены на рисунках 4 – 5.

Графики построены с учётом того, что коэффициент усиления на усилителе сигнала равен 10 мВ/Па для обоих гидрофонов. Кроме того, чувствительность, внесённая в настройки усилителя, была одинаковой для двух гидрофонов и равнялась 0,1 пКл/Па. Такие настройки были необходимы для создания одинаковых условий для гидрофонов при проведении эксперимента. Паспортные данные для них приведены в **примечании**.

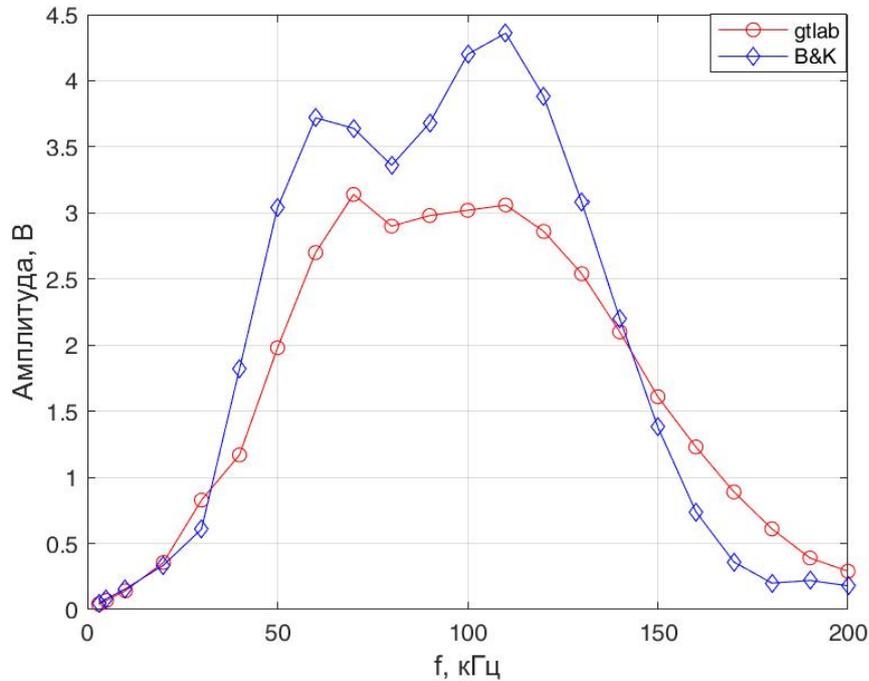


Рисунок 4 — Зависимость амплитуды сигнала в [В] от частоты для гидрофонов gtlab и Brüel & Kjær Type 8103.

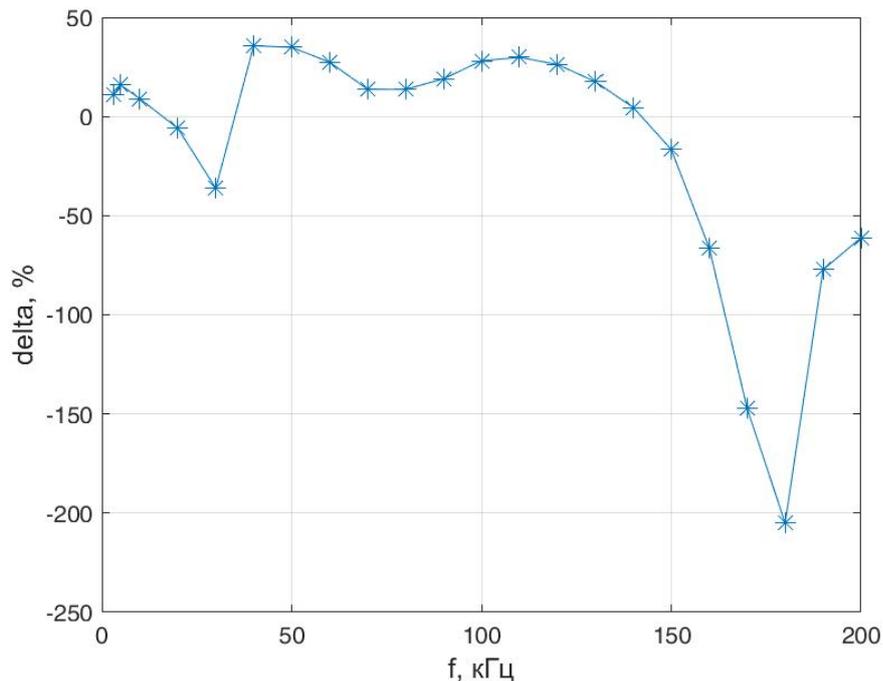


Рисунок 5 — График отклонения показаний от эталонного Brüel & Kjær Type 8103.

Вывод:

По представленным рисункам видно, что характеристики сравниваемых гидрофонов (gtlab и Type 8103) сходятся с разной степенью точности в разных частотных диапазонах. В области низких частот – до 20 кГц – наблюдается хорошая согласованность характеристик. На средних частотах – до 130 кГц – характеристики сходятся хуже. В высокочастотной области – до 200 кГц – фиксируется значительное расхождение характеристик.

Примечание

Во время обработки экспериментальных данных были получены осциллограммы, одна из которых приведена на рисунке 1 в качестве примера. Далее из неё выделялся участок, где наиболее хорошо виден импульсный сигнал.

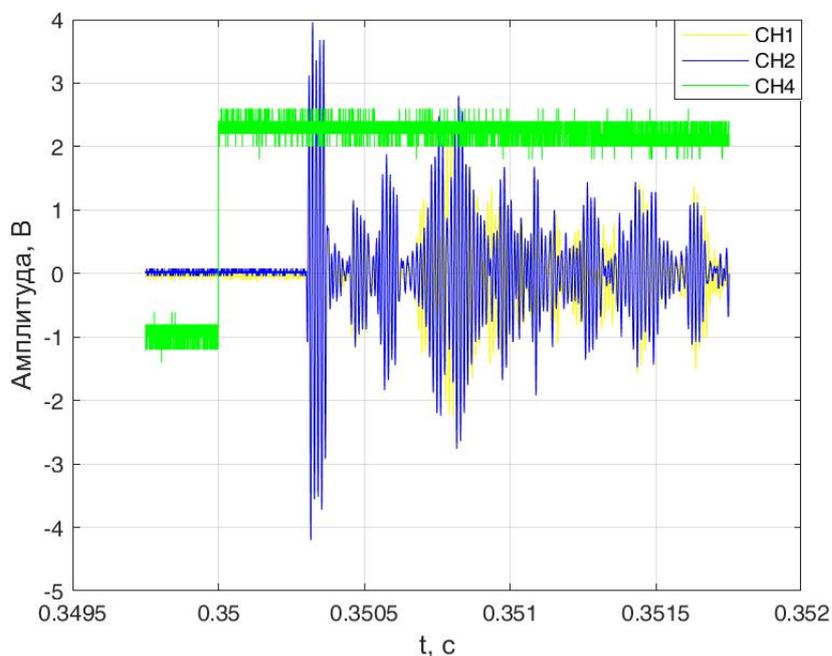


Рисунок 1 — Осциллограмма на частоте 80 кГц. CH4 – синхронизация, показывающая начала излучения. CH1 - импульс, принимаемый гидрофоном gtlab. CH2 – импульс, принимаемый контрольным гидрофоном.

На рисунках 2 – 4 иллюстрируется методика определения амплитуды сигнала. Амплитуда рассчитывалась как половина размаха сигнала, величина которого измерялась между уровнями, отмеченными на осциллограммах чёрными стрелками. В диапазоне до 60 кГц размах определялся по второму колебанию импульса, а на более высоких частотах – по третьему колебанию (как видно на рисунке 3).

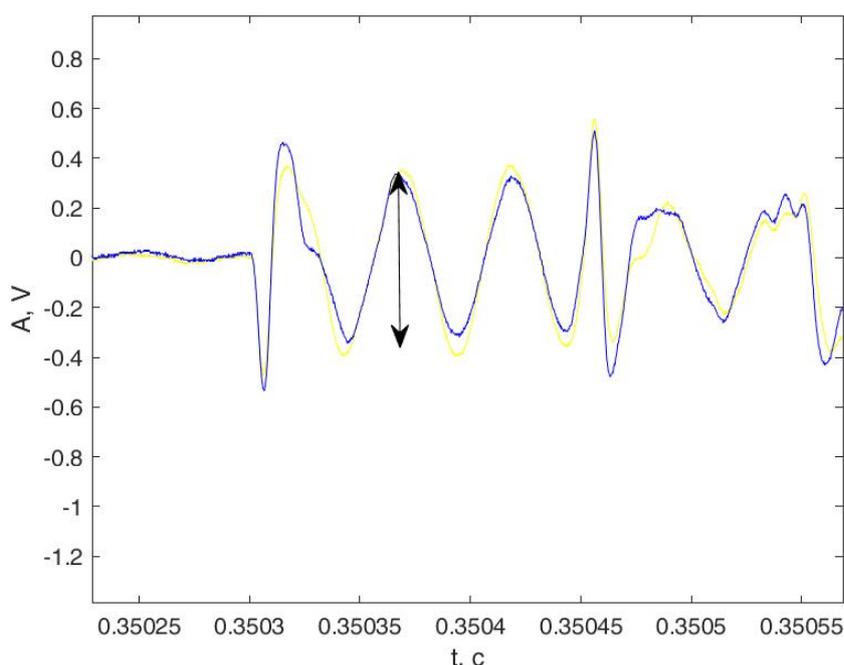


Рисунок 2 — Пример определения размаха импульсного сигнала на частоте 20 кГц.

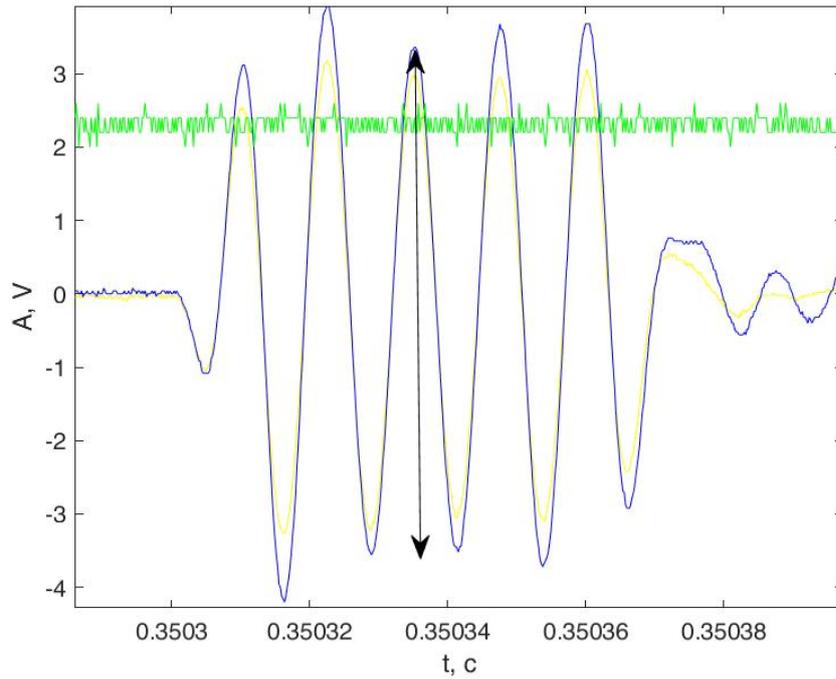


Рисунок 3 — Пример определения размаха импульсного сигнала на частоте 80 кГц.

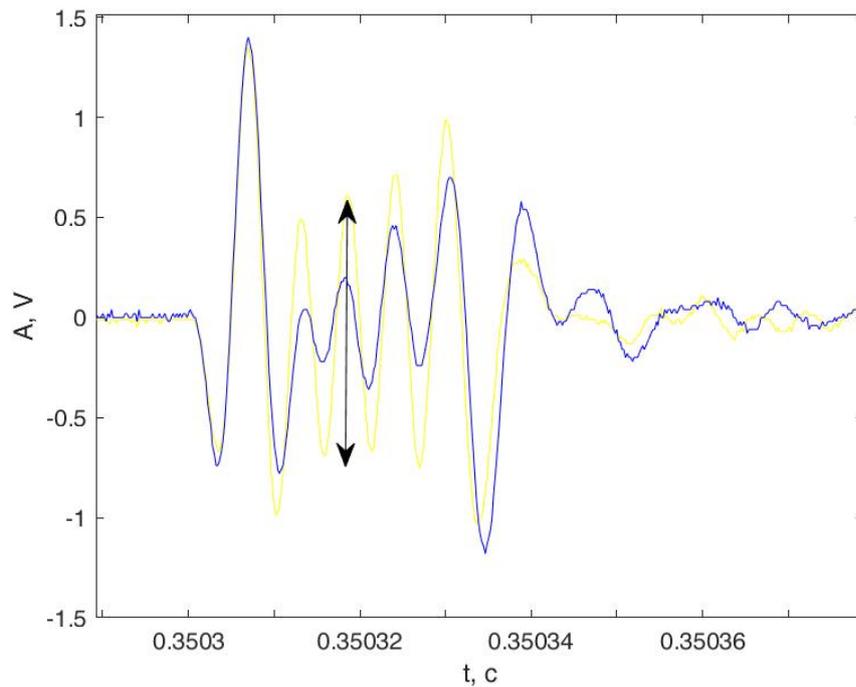


Рисунок 4 — Пример определения размаха импульсного сигнала на частоте 180 кГц.

На рисунке 5 представлен паспорт для гидрофона Type 8103, используемого в данном эксперименте.

Чувствительность гидрофона gtlab равна 0,088 пКл/Па.



Calibration Chart for Hydrophone Type 8103

Serial No.: **2404818**

Reference Sensitivity at 250 Hz ± 2 % at **23.0 °C**
Including integral cable **6** m

Voltage Sensitivity (Open Circuit Sensitivity):
..... **-211.5** dB re 1 V/μPa** or **26.6** μV/Pa

Charge Sensitivity: **0.0932** pC/Pa

Capacitance (including integral cable): **350.3** pF

Cable Capacitance: **95** pF/m

Leakage Resistance: **100** GΩ at **23.0 °C**

Measuring Uncertainty

Sensitivity at 250 Hz: ± 0.25 dB
Frequency Response at 4 kHz to 200 kHz: ± 1 dB

Frequency Response (at ref. pos.):
Individual Free Field Frequency Response Curve attached

Measured in watertank at **21.4 °C**

Summarized Specifications (re 250 Hz)

Frequency Response, PD values:
(For actual values, please see attached curve)

0.1 Hz to 20 kHz:	+1 dB, -1.5 dB
0.1 Hz to 100 kHz:	+1.5 dB, -6 dB
0.1 Hz to 180 kHz:	+3.5 dB, -12.5 dB

Horizontal Directivity 100 kHz:
(XY – plane) ± 2 dB

Vertical Directivity 100 kHz:
(XZ – plane) ± 4 dB

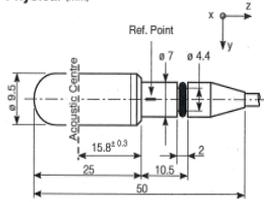
  

For further information, please see <http://www.bk.dk> and Product Data Sheet BP 0317

Date **06-02-2007**.....**08:11**.....Operator **MK**.....

8011455

Physical (mm)



Cable: Double shielded low noise

Weight (including 6 m cable): 170g

Environmental

Operating Temperature Range:
Short term -40 °C to +120 °C
Continuous -40 °C to +80 °C

Change of Sensitivity with Temperature:
Charge 0 to 0.03 dB/°C
Voltage 0 to -0.03 dB/°C

Change of Sensitivity with Static Pressure:
0 to -3 x 10⁷ dB/Pa
(0 to -0.03 dB/atm)

Temperature Transient Sensitivity: ≤ 50 Pa/°C
(ANSI S.2.11-1969); measured with Brüel & Kjær Charge Preamplifier Type 2626, LLF-3 Hz

Allowable Total Radiation Dose: 5 x 10⁷ Rad

Acceleration Sensitivity: < 130 dB re 1 μPa/m/s²

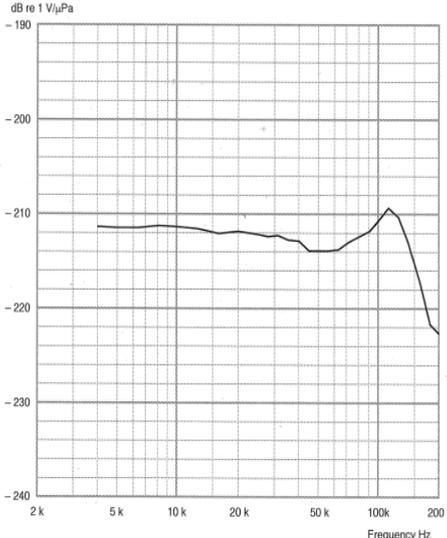
Maximum Operating Static Pressure: 4 x 10⁸ Pa (40 atm)

Note: All Values are typical at 25 °C (77 °F), unless measurement uncertainty or tolerance limit is specified. All uncertainty values are specified at 2 σ (i.e. expanded uncertainty using a coverage factor of 2).

For further information see User manual

* Sensitivity Traceable to:
DPLA: Danish Primary Laboratory of Acoustics
NIST: National Institute of Standards and Technology, USA
** 1 Pascal = 1 N/m² = 10 μbar

Calibration Chart for Hydrophone Type 8103



Frequency [kHz]	Sensitivity [dB re 1 V/μPa]	Frequency [kHz]	Sensitivity [dB re 1 V/μPa]
4.0	-211.4	50.0	-213.9
5.0	-211.5	56.1	-213.9
6.3	-211.5	63.0	-213.8
8.1	-211.3	71.0	-213.0
10.0	-211.4	80.0	-212.4
12.5	-211.6	90.0	-211.9
16.0	-212.1	100.0	-210.7
20.0	-211.9	112.0	-209.4
25.0	-212.2	125.1	-210.4
28.0	-212.4	140.0	-213.0
31.5	-212.3	160.0	-217.2
35.5	-212.8	180.0	-221.7
40.1	-212.9	200.1	-222.7
45.1	-213.9		

BC 0094-16

Calibration Chart for Hydrophone Type 8103

Serial No.: **2404818**

Рисунок 5 — Паспорт гидрофона Brüel & Kjær Type 8103.