

## ИССЛЕДОВАНИЕ РАБОЧЕГО ЭТАЛОНА ЗВУКОВОГО ДАВЛЕНИЯ С ЭЛЕМЕНТАМИ ВСТРОЕННОГО КОНТРОЛЯ ДЛЯ ПОВЕРКИ КОНДЕНСАТОРНЫХ МИКРОФОНОВ

Ю.А. Кувыкин

original.rus@mail.ru

А.Н. Ольховский

rusregister.ano@mail.ru

ФГБУ «ГНМЦ» Минобороны России, г. Мытищи, Московская обл.,  
Российская Федерация

---

### Аннотация

Приведены результаты исследований рабочего эталона звукового давления для поверки измерительных микрофонов и микрофонных конденсаторных капсулей с элементами встроенного контроля, позволяющими повысить точность измерений при определении частотных характеристик уровня чувствительности микрофонов и увеличить интервал между поверками применяемого эталона. На основе опыта применения рабочих эталонов звукового давления (измерительных виброакустических систем ВС-321) в практике поверочных лабораторий и в результате периодических ежегодных поверок выявлены следующие недостатки виброакустических систем: снижение точности измерений звукового давления в воздушной среде и возникновение неконтролируемого временного дрейфа погрешности в интервале между поверками из-за отсутствия контроля временного дрейфа и учета погрешности входных каналов во время эксплуатации; отсутствие учета неравномерности частотной характеристики генератора, влияющей на точность измерений, при поверке микрофонов с помощью электростатического возбудителя (актюатора); недостаточная помехоустойчивость системы вследствие воздействия внешних факторов в виде посторонних шумов; интервал между поверками системы составляет всего один год. Для устранения указанных недостатков проведены исследования измерительной виброакустической системы ВС-321

### Ключевые слова

*Микрофон, рабочий эталон, электростатический возбудитель (актюатор), частотная характеристика, встроенный контроль, временной дрейф погрешности, интервал между поверками*

---

с применением элементов встроенного контроля для решения задач увеличения точности измерений при поверке, повышения помехоустойчивости системы вследствие исключения влияния внешнего фактора в виде посторонних шумов, а также возможности увеличения интервала между поверками

Поступила 10.02.2023

Принята 23.06.2023

© Автор(ы), 2023

---

**Введение.** В современной практике для поверки конденсаторных микрофонов применяется измерительная виброакустическая система ВС-321Д, которая является рабочим эталоном звукового давления в воздушной среде и представляет собой модификацию измерительной виброакустической системы ВС-321 (разработчик и производитель ООО «ВИСОМ», г. Смоленск).

Конструктивно виброакустическая система ВС-321Д включает в себя общую часть и установку для воспроизведения и измерений звукового давления (УЗД). Общая часть состоит из системы управления ВС-301 (в одном блоке генератор, вольтметр и частотомер, а также элементы коммутации), управляющей ЭВМ и специального программного обеспечения (ПО) VisProbeSL. Перестроение частоты и подстройка напряжения выполняются автоматически.

Система управления ВС-301 имеет два выхода генератора для воспроизведения напряжений переменного тока и четыре входных канала для подключения эталонного и поверяемого микрофонов и, при необходимости, дополнительного оборудования.

Установка для воспроизведения и измерений звукового давления включает в себя эталонный микрофон, акустический калибратор, актюатор с источником питания (с усилителем), камеру малого объема и эквивалент микрофонного капсюля.

Виброакустическая система ВС-321Д применяется в качестве рабочего эталона звукового давления в воздушной среде и автоматически реализует поверку измерительных микрофонов и микрофонных конденсаторных капсюлей.

Программное обеспечение VisProbeSL позволяет в автоматизированном режиме проводить поверку микрофонов с помощью синусоидального и широкополосного (частотно-модулированного) сигналов возбуждения [1]. Поверка разбивается на шаги, каждый шаг соответствует одному или нескольким пунктам поверки, согласно положениям, определенным

в ГОСТ 8.153–75<sup>1</sup>, ВАПМ.321.001 РЭ<sup>2</sup>, ЕС 61094-6:2004<sup>3</sup>, а также в [2]. По завершении каждого шага данные измерений автоматически сохраняются.

**Материалы и методы решения задач, принятые допущения.** Опыт применения рабочего эталона звукового давления (виброакустической системы ВС-321Д) в практике поверочных лабораторий и результаты периодических ежегодных поверок рабочего эталона показали, что указанные эталоны имеют следующие недостатки [3–17]:

– отсутствие контроля временного дрейфа и учета погрешности входных каналов системы управления ВС-301 во время эксплуатации (в интервале между поверками), что может приводить к снижению точности измерений звукового давления в воздушной среде при проведении поверочных работ на виброакустической системе ВС-321Д и неконтролируемому временному дрейфу ее погрешности в интервале между поверками;

– отсутствие учета неравномерности частотной характеристики (ЧХ) генератора системы управления ВС-30, влияющей на точность измерений, при поверке микрофонов с помощью электростатического возбудителя;

– недостаточная помехоустойчивость системы вследствие влияния внешних факторов в виде посторонних шумов с уровнем, превышающим допустимые значения (уровень звукового давления, создаваемого при поверке, должен быть не менее чем на 20 дБ выше общего уровня помех);

– интервал между поверками виброакустической системы ВС-321Д составляет один год; требуется его увеличить на основе сбора информации для построения модели временного дрейфа погрешности измерительных каналов.

Для устранения указанных недостатков проведены исследования виброакустической системы ВС-321Д с помощью элементов встроенного контроля для решения задач повышения точности измерений при поверке, повышения помехоустойчивости системы вследствие исключения

---

<sup>1</sup> ГОСТ 8.153–75. Микрофоны измерительные конденсаторные. Методы и средства поверки. М., Изд-во стандартов, 1975.

<sup>2</sup> ВАПМ.321.001 РЭ. Система измерительная виброакустическая ВС-321. Руководство по эксплуатации. 2016.

<sup>3</sup> IEC 61094–6:2004. Measurement microphones — Part 6: Electrostatic actuators for determination of frequency response. Typeset and printed by the IEC Central Office Geneva, Switzerland, 2004.

влияния внешнего воздействующего фактора в виде посторонних шумов, а также возможности увеличения интервала между поверками эталона.

Дополнительно при работе измерительной виброакустической системы ВС-321Д были применены следующие элементы встроенного контроля:

- источник стабилизированного напряжения (ИСН) переменного тока в диапазоне от 0,1 до 7,0 В для реализации функции встроенного контроля в целях учета дрейфа (ухода) и погрешности измерительных каналов системы управления ВС-301 во время эксплуатации;
- электронный блок коммутации, обеспечивающий одновременное подключение входных каналов системы к ИСН;
- датчик звукового давления для измерений внешних шумов и исключения из массива данных тех результатов измерений, которые получены в условиях воздействия внешних шумов с уровнем, превышающим допустимые значения;
- дополнительная линия связи, соединяющая выход генератора системы со свободным входом системы управления.

При проведении встроенного контроля управление элементами осуществляется с помощью дополнительно разработанных опций ПО VisProbeSL.

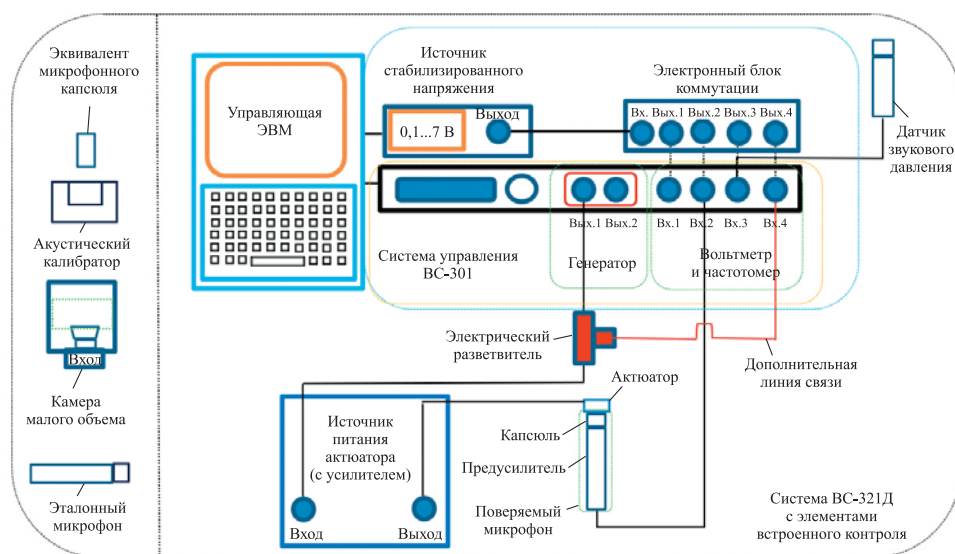
Для учета неравномерности частотной характеристики (ЧХ) выходного канала генератора системы управления ВС-301 сигнал подается через электрический разветвитель с дополнительной линией связи одновременно на источник питания актюатора и на один из входов системы учета неравномерности ЧХ.

Базовая схема измерительной виброакустической системы ВС-321Д с элементами встроенного контроля при поверке микрофонов приведена на рис. 1. Эквивалент микрофонного капсюля входит в состав системы ВС-321Д в качестве вспомогательного элемента и используется для определения нелинейности амплитудной характеристики шумомеров. При проведении операций поверки в соответствии с ГОСТ 8.153–75 его использование не предусмотрено.

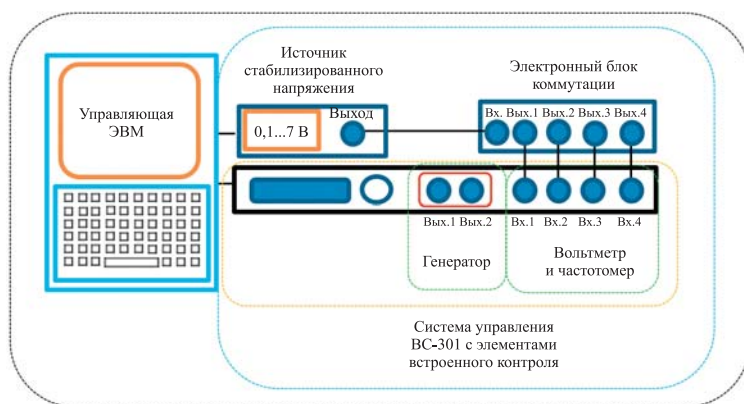
**Методика и результаты.** Система работает следующим образом.

1. Перед поверкой проводят процедуру встроенного контроля временного дрейфа и учета погрешности входных каналов системы управления ВС-301. Схема реализации процедуры собирается в соответствии с рис. 2.

Запускается режим встроенного контроля. При этом с источника стабилизированного напряжения через электронный блок коммутации одно-



**Рис. 1.** Базовая схема измерительной виброакустической системы ВС-321Д с элементами встроенного контроля (с подключенным актюатором и его источником питания (с усилителем) для определения ЧХ микрофонов по давлению при поверке)



**Рис. 2.** Схема реализации процедуры встроенного контроля временного дрейфа и учета погрешности входных каналов системы управления ВС-301

временно на все входные каналы системы последовательно подается напряжение со значениями 0,1, 0,3, 1, 3 и 7 В на частотах  $f$  третьоктавного ряда и для каждого канала на каждой центральной частоте  $f$  третьоктавного ряда программно рассчитывается значение поправки  $\Delta_{kif}$  для корректировки результатов измерений входных напряжений по формуле:

$$\Delta_{kif} = U_{измf} - U_{эфf}, \quad (1)$$

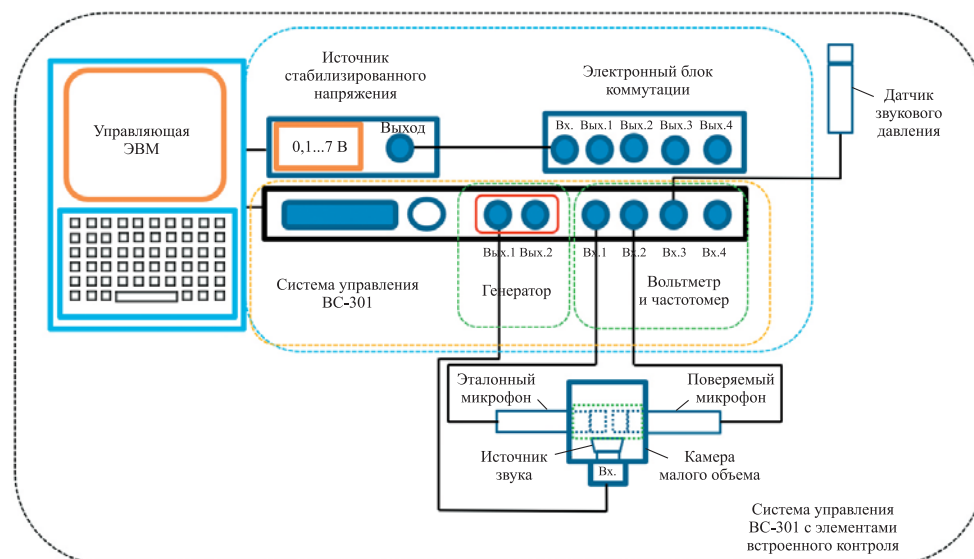
где  $U_{измf}$  и  $U_{эф}$  — значения напряжений, измеренное системой управления ВС-301 и установленное на выходе ИСН на центральной частоте третьоктавного ряда;  $i$  — номер канала.

Определенные при встроенном контроле значения поправок заносятся в память системы и автоматически вводятся в результаты измерений выходного напряжения переменного тока поверяемого микрофона при проведении всех операций поверки, в том числе и измерении уровня (значения) чувствительности на реперной частоте с применением акустического калибратора или камеры малого объема.

В качестве ИСН для контроля измерительных каналов системы управления ВС-301 может применяться калибратор переменного тока 2-го разряда любого типа в диапазоне от 0,1 до 7,0 В. Рекомендуемая периодичность проведения контроля входных каналов системы — не менее одного раза в шесть месяцев.

2. Уровень чувствительности поверяемого микрофона на реперной частоте в соответствии с руководством по эксплуатации виброакустической системы ВС-321Д определяется в зависимости от реперной частоты с помощью камеры малого объема или акустического калибратора.

2.1. Для определения уровня чувствительности поверяемого микрофона на реперной частоте с помощью камеры малого объема необходимо собрать схему в соответствии с рис. 3.



**Рис. 3.** Схема определения уровня чувствительности поверяемого микрофона на реперной частоте с помощью камеры малого объема

Определение уровня чувствительности методом сличения с помощью камеры малого объема основано на том, что звуковое давление действует одинаково на поверяемый и эталонный микрофоны [9]. При этом камера малого объема используется в диапазоне частот от 20 Гц до 5 кГц с номинальным уровнем звукового давления 94 дБ (в диапазоне частот более 5 кГц используется электростатический возбудитель). Отношение напряжений на выходе поверяемого микрофона является отношением их чувствительностей. Чувствительность  $M_{\Pi}$  поверяемого микрофона определяется по формуле:

$$M_{\Pi} = M_{\text{э}} \frac{U_{\Pi}}{U_{\text{э}}}, \quad (2)$$

где  $M_{\text{э}}$  — чувствительность эталонного микрофона;  $U_{\Pi} = U_{2f} + \Delta_k 2f$  и  $U_{\text{э}} = U_{1f} + \Delta_k 1f$  — напряжения на выходах поверяемого и эталонного микрофонов;  $\Delta_k 2f$  и  $\Delta_k 1f$  — поправки для второго и первого каналов на реперной частоте, определенные при встроенном контроле по формуле (1).

Уровень чувствительности  $E_P$  поверяемого микрофона относительно  $U_0 = 1000$  мВ на реперной частоте определяется по формуле

$$E_P = 20 \lg \left( \frac{M_{\Pi}}{U_0} \right). \quad (3)$$

2.2. Для определения уровня чувствительности поверяемого микрофона с помощью акустического калибратора собирается схема в соответствии с рис. 4.

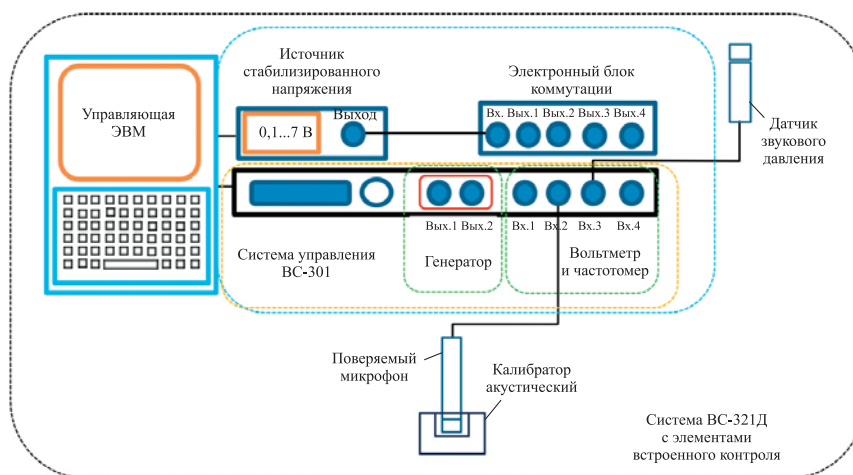


Рис. 4. Схема определения уровня чувствительности поверяемого микрофона на реперной частоте с помощью акустического калибратора

Уровень чувствительности поверяемого микрофона относительно  $U_0 = 1000$  мВ на реперной частоте определяется по формуле:

$$E_P = 20 \lg \left( \frac{U_{\Pi}}{U_0} \right) - (L - L_0), \quad (4)$$

где  $U_{\Pi} = U_{2f} + \Delta_k 2f$  — напряжение на выходе поверяемого микрофона;  $L$  — действительный уровень звукового давления, воспроизводимый калибратором на реперной частоте, взятый из свидетельства о поверке на калибратор,  $L_0 = 94$  дБ.

3. Для определения ЧХ поверяемого микрофона с помощью электростатического возбудителя собирается схема в соответствии с рис. 5.

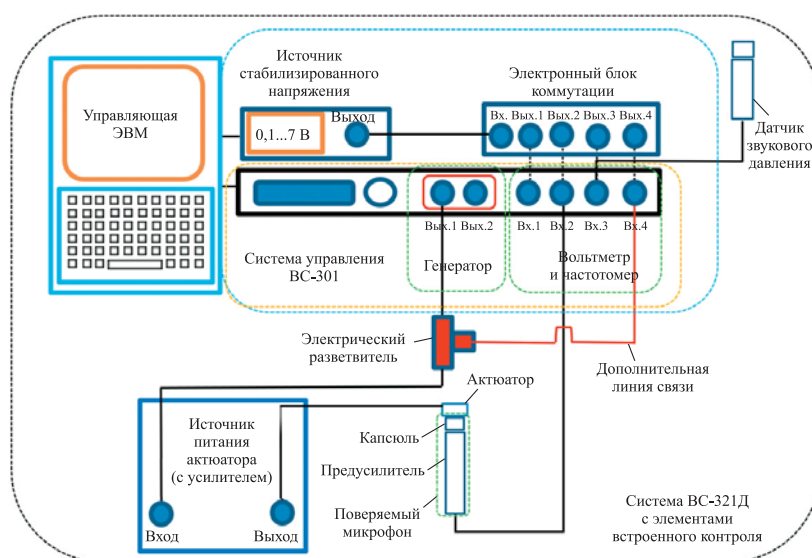


Рис. 5. Схема определения ЧХ поверяемого микрофона с помощью электростатического возбудителя

Приведенная схема позволяет проводить измерения ЧХ с помощью синусоидального и широкополосного сигналов с частотной модуляцией по логарифмическому закону [1].

С генератора системы управления ВС-301 на актюатор через источник питания (с усилителем) подается напряжение переменного тока на реперной частоте и автоматически подстраивается таким образом, чтобы напряжение на выходе поверяемого микрофона соответствовало уровню звукового давления 94 дБ.

Далее частота генератора автоматически изменяется в диапазоне от 20 Гц до 20 кГц с третьоктавным шагом. Выходное напряжение пове-



ряемого микрофона регистрируется на центральных частотах третьоктавного ряда.

Одновременно с приведенными операциями на тех же частотах определяется ЧХ генератора системы управления ВС-301 путем его подключения через электрический разветвитель с дополнительной линией связи к свободному четвертому каналу системы.

Далее выходное напряжение поверяемого микрофона программно корректируется на каждой центральной частоте третьоктавного ряда по формулам:

$$U_{fk} = U_f + \Delta_{2kif} + \Delta_{Uf}; \quad (5)$$

$$\Delta_{Uf} = U_{\text{выxf}} - U_{\text{вxfi}} + \Delta_{4kif}, \quad (6)$$

где  $U_{fk}$  и  $U_f$  — значения напряжений на выходе поверяемого микрофона, скорректированное с учетом поправок и измеренное системой управления ВС-301;  $U_{\text{выxf}}$  и  $U_{\text{вxfi}}$  — значения напряжений, установленное на выходе системы управления ВС-301 и измеренное на ее  $i$ -м входе;  $\Delta_{2kif}$ ,  $\Delta_{4kif}$  и  $\Delta_{Uf}$  — значения поправок, определенные при встроенном контроле для второго, четвертого входных каналов системы управления ВС-301, и значение поправки, учитывающей неравномерность ЧХ выходного канала, полученное с применением разветвителя с дополнительной линией связи на центральной частоте третьоктавного ряда соответственно.

Одновременно с приведенными операциями с помощью датчика звукового давления, подключенного к свободному входному каналу системы управления ВС-301, контролируется уровень внешнего шума. Если уровень внешнего шума превышает уровень воспроизводимого при проверке звукового давления, то автоматически из массива данных измерений исключаются полученные результаты, а операция проводится повторно.

4. Далее для каждой частоты вычисляется отклонение ЧХ по давлению от уровня чувствительности на реперной частоте по формуле:

$$E_{jf} = 20 \lg \left( \frac{U_{fk}}{U_{\Pi}} \right). \quad (7)$$

Полученное значение максимального отклонения не должно превышать допускаемые пределы.

Уровень чувствительности поверяемого микрофона относительно  $U_0 = 1000$  мВ на каждой частоте третьоктавного ряда определяется по формуле:

$$E_f = E_P + E_{jf}. \quad (8)$$

5. Неравномерность ЧХ поверяемого микрофона по давлению определяется как

$$E_f = E_{\max f} - E_{\min f}, \quad (9)$$

где  $E_{\max f}$  и  $E_{\min f}$  — максимальный и минимальный уровни чувствительности в диапазоне рабочих частот поверяемого микрофона.

Полученное значение неравномерности ЧХ не должно превышать допускаемые пределы.

**Сравнительный анализ полученных ЧХ.** Для оценки возможности применения элементов встроенного контроля выполнено натурное испытание виброакустической системы ВС-321Д при поверке измерительного конденсаторного микрофона с капсюлем типа 4192 и предварительным усилителем типа 2669.

В качестве ИСН применен универсальный калибратор 2-го разряда типа Н4-6. Уровень чувствительности поверяемого микрофона на реперной частоте определяли с помощью универсального акустического калибратора типа 4226. Для одновременного подключения выхода ИСН к четырем входным каналам системы для реализации процедуры встроенного контроля применен специально изготовленный опытный образец электронного блока коммутатора. В качестве дополнительного источника звука использована электродинамическая колонка типа MS400a с генератором сигналов сложной формы со сверхнизким уровнем искажений типа DS360. В качестве датчика звукового давления для измерений внешних шумов применен измерительный капсюль типа МК-265 с предусилителем типа ПМ-208 и источником питания типа ИПМ-1. При этом выход генератора системы управления ВС-301 электрически соединен с четвертым входом системы.

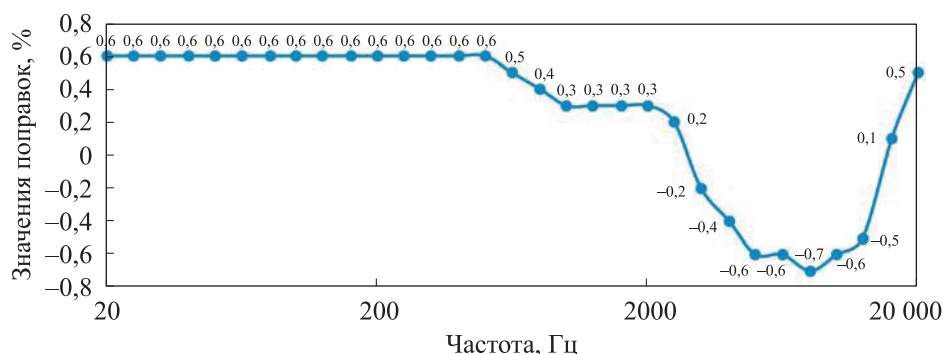
Перед началом испытаний проведена поверка указанного микрофона на виброакустической системе ВС-321Д по стандартной процедуре (без применения элементов встроенного контроля) согласно положениям, приведенным в [1–4] с использованием ПО VisProbeSL. При проведении измерений на частоте 1600 Гц с помощью дополнительного источника звука воссоздано воздействие внешнего шума уровнем, превышающим уровень воспроизводимого при поверке звукового давления на 0,5 дБ.

На первом этапе натуральных испытаний реализована операция встроенного контроля в соответствии с рис. 2, получены значения поправок для всех входных измерительных каналов в соответствии с формулой (1) и сохранены в памяти системы. В качестве примера значения поправок для второго входного канала приведены в табл. 1.

Значения поправок для второго канала

Частота $f$ , Гц	Значение поправки $\Delta_{k2f}$ , мВ	Частота $f$ , Гц	Значение поправки $\Delta_{k2f}$ , мВ	Частота $f$ , Гц	Значение поправки $\Delta_{k2f}$ , мВ
20	0,075	250	0,074	3150	-0,025
25		315		4000	-0,051
31,5		400		5000	-0,077
40		500		6300	-0,078
50		630	8000	-0,094	
63		800	10 000	-0,083	
80		1000	12 500	-0,072	
100		1250	16 000	0,014	
125		1600	20 000	0,060	
160		2000	-	-	
200	0,074	2500	0,025	-	-

Значения поправок из табл. 1 в процентном соотношении к напряжению переменного тока с выхода поверяемого микрофона приведены в графическом виде на рис. 6.



**Рис. 6.** Значения поправок из табл. 1 в процентном соотношении к напряжению переменного тока с выхода поверяемого микрофона для внесения в результаты измерений

Далее по формуле (4) вычислен уровень чувствительности микрофона на реперной частоте 250 Гц с применением акустического калибратора:  $E_p = -38,13$  дБ (относительно опорного значения 1000 мВ).

Затем была определена ЧХ по давлению поверяемого микрофона в диапазоне частот от 20 Гц до 20 кГц на центральных частотах третьоктавного ряда в соответствии со схемой на рис. 1. На тех же частотах определяли ЧХ генератора системы управления ВС-301 (с применением

электрического разветвителя с дополнительной линией связи и использованием четвертого входного канала системы). Поправки на неравномерность ЧХ генератора приведены в табл. 2.

Таблица 2

**Поправки на неравномерность ЧХ генератора**

Частота $f$ , Гц	Значение поправки $\Delta_{uf}$ , мВ	Частота $f$ , Гц	Значение поправки $\Delta_{uf}$ , мВ	Частота $f$ , Гц	Значение поправки $\Delta_{uf}$ , мВ
20	0	250	0	3150	-0,075
25		315		4000	-0,063
31,5		400		5000	-0,051
40		500		6300	-0,065
50		630	-0,012	8000	-0,067
63		800	-0,025	10000	-0,083
80		1000	-0,037	12500	-0,072
100		1250	-0,037	16000	-0,028
125		1600	-0,037	20000	-0,012
160		2000	-0,037	-	-
200		2500	-0,050	-	-

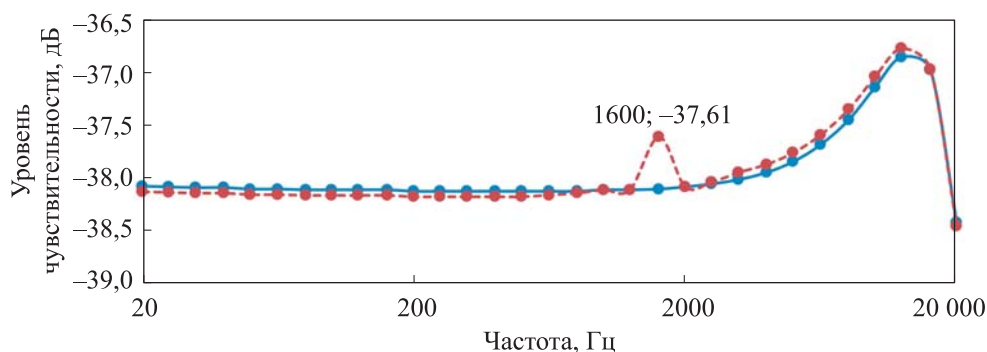
Одновременно с приведенными операциями с помощью датчика звукового давления, подключенного к третьему входному каналу системы, контролировался уровень внешнего шума.

При проведении измерений на частоте 1600 Гц уровень воспроизводимого внешнего шума превысил на 0,5 дБ уровень воспроизводимого при проверке звукового давления. Измеренное на этом шаге значение автоматически исключалось из массива данных измерений, а операция повторялась. Аномальный результат измерений удаляется из массива данных с помощью метода обнаружения и исключения грубых погрешностей (промахов) (ГОСТ Р 8.736–2011<sup>4</sup>).

Результаты определения ЧХ поверяемого микрофона по стандартной процедуре и с применением режима встроенного контроля приведены на рис. 7.

Неравномерность ЧХ поверяемого микрофона по давлению, определенная по формуле (9) для стандартного режима проверки, составила 1,7 дБ, а для режима со встроенным контролем — 1,58 дБ.

<sup>4</sup> ГОСТ Р 8.736–2011. Измерения прямые многократные. Методы обработки результатов измерений. Основные положения. М., Стандартинформ, 2019.



**Рис. 7.** Частотные характеристики поверяемого микрофона, определенные с помощью стандартной процедуры (---●---) и с применением режима встроенного контроля виброакустической системы ВС-321Д (—●—)

В результате сравнительного анализа полученных ЧХ и их неравномерностей выявлено, что относительная разность между результатами измерений составила 0,10...0,12 дБ, в зависимости от определяемой метрологической характеристики при нормированном для виброакустической системы ВС-321Д значении относительной погрешности  $\pm 0,5$  дБ. Отклонение, полученное на частоте 1600 Гц, вследствие влияния внешнего шума для стандартной процедуры в расчет не бралось, а было исключено как грубый промах [18].

**Заключение.** При определении метрологических характеристик поверяемых микрофонов в ходе натурных испытаний эталона звукового давления (виброакустической системы ВС-321Д) с элементами встроенного контроля подтверждена возможность повышения точности измерений благодаря контролю дрейфа (ухода) и учету погрешности входных каналов системы управления ВС-301, неравномерности ЧХ генератора системы и исключению недостоверных результатов при контроле уровня внешнего шума. Это позволяет рекомендовать применение элементов встроенного контроля для виброакустической системы ВС-321Д в практике поверочных лабораторий с разработкой соответствующей методики поверки. Кроме того, периодическое применение процедур встроенного контроля временного дрейфа погрешностей входных каналов системы управления ВС-301 и последующий их учет позволяет собрать необходимую статистику для обоснования решения по увеличению интервала между поверками рабочих эталонов звукового давления.

## ЛИТЕРАТУРА

- [1] Кувькин Ю.А., Соколов И.Н., Ольховский А.Н. Исследование метода определения частотных характеристик конденсаторных микрофонов с применением частотно-модулированного сигнала. *Вестник метролога*, 2021, № 2, с. 25–31.
- [2] Кувькин Ю.А., Ольховский А.Н., Супрунюк В.В. и др. Методика определения частотных характеристик микрофонов в незаглушенном лабораторном помещении, основанная на применении широкополосного сигнала возбуждения. *Вестник МГТУ им. Н.Э. Баумана. Сер. Приборостроение*, 2021, № 4 (137), с. 169–187.  
DOI: <http://dx.doi.org/10.18698/0236-3933-2021-4-169-187>
- [3] Heyser R.C. Time delay spectrometry. New York, Acoustical Society of America, 1988.
- [4] Robinson S.P., Nayman G., Harris P.M., et al. Signal-modelling methods applied to the free-field calibration of hydrophones and projectors in laboratory test tanks. *Meas. Sc. Technol.*, 2018, vol. 29, no. 8, art. 085001.  
DOI: <http://dx.doi.org/10.1088/1361-6501/aac752>
- [5] Кувькин Ю.А., Соколов И.Н. Автоматизация поверки вибропреобразователей с помощью поверочных систем ВС-321 и ВС-421. Метрологическое обеспечение обороны и безопасности в РФ. *Матер. XII Всерос. НТК. Поведники*, 2018, с. 198–201.
- [6] Кувькин Ю.А., Дорошенко Е.Ю., Данильченко Н.Н. Сравнительное исследование электростатических возбудителей различных конструкций для возможности их применения в рабочих эталонах звукового давления. *Матер. 44 НТК молодых ученых — военных метрологов*. Кубинка, 2018, с. 134–137.
- [7] Кувькин Ю.А. Особенности определения суммарной погрешности автоматизированных виброустановок. *Метрологическое обеспечение обороны и безопасности в РФ. Матер. 41 НТК молодых ученых — военных метрологов*. Мытищи, 2016, с. 99–106.
- [8] Соколов И.Н., Кулак В.А. Современный подход к виброиспытаниям: переход от абстракций к реальным данным. *Вестник метролога*, 2014, № 1, с. 23–29.
- [9] Кувькин Ю.А., Дорошенко Е.Ю. Градуировка по давлению микрофонов измерительных конденсаторных в камере малого объема. *Метрологическое обеспечение обороны и безопасности в РФ. Матер. 39 НТК молодых ученых — военных метрологов*. Мытищи, 2015, с. 248–258.
- [10] Walber Ch., Salzano C., Nowak M., et al. Acoustic methods of microphone calibration. *ICV22*, 2015, pp. 103–109.
- [11] Лавров Р.О., Кувькин Ю.А. Сравнительный анализ методов ослабления влияния отражений звуковой волны при градуировке приемников звука в воздушной среде по свободному полю. *Телекоммуникации и транспорт*, 2018, т. 12, № 7, с. 59–62.
- [12] Barham R., Barrera-Figueroa S., Avison J.E.M. Secondary pressure calibration of measurement microphones. *Metrologia*, 2014, vol. 51, no. 3, pp. 129–138.  
DOI: <https://doi.org/10.1088/0026-1394/51/3/129>

- [13] Наумов С.С., Князева Н.И., Буренков С.В. Многофункциональные акустические измерения на основе модифицированного метода спектрометрии временных задержек. *Акустические измерения. Методы и средства. IV Сессия Российского акустического общества*. М., Акуст. ин-т им. Н.Н. Андреева, 1995, с. 9–14.
- [14] Heysler R.C. Acoustical measurements by time delay spectrometry. *JAES*, 1967, vol. 15, no. 4, pp. 370–382.
- [15] Sysel P., Rajmic P. Goertzel algorithm generalized to non-integer multiples of fundamental frequency. *EURASIP J. Adv. Signal Process.*, 2012, art. 56.  
DOI: <https://doi.org/10.1186/1687-6180-2012-56>
- [16] Данилов А.А., Спутнова Д.В. Анализ моделей описания нестабильности средств измерений. *Сб. докл. Междунар. науч.-практ. 175 лет ВНИИМ им. Д.И. Менделеева и Национальной системе обеспечения единства измерений*. СПб., 2017, с. 49.
- [17] Храпов Ф.И. Анализ источников избыточной информации о состоянии измерительных каналов измерительных систем для корректировки межповерочных интервалов измерительных систем. *Вестник метролога*, 2011, № 1, с. 12–14.
- [18] Гапеева В.Д., Цыбенко В.А. Отсевание грубых погрешностей результатов измерений с помощью различных критериев в среде Excel. *Молодой ученый*, 2021, № 49, с. 20–27.

**Кувыкин Юрий Александрович** — канд. техн. наук, старший научный сотрудник ФГБУ «ГНМЦ» Минобороны России (Российская Федерация, 141006, Московская обл., г. Мытищи, ул. Комарова, д. 13).

**Ольховский Александр Николаевич** — канд. техн. наук, старший научный сотрудник ФГБУ «ГНМЦ» Минобороны России (Российская Федерация, 141006, Московская обл., г. Мытищи, ул. Комарова, д. 13).

**Просьба ссылаться на эту статью следующим образом:**

Кувыкин Ю.А., Ольховский А.Н. Исследование рабочего эталона звукового давления с элементами встроенного контроля для поверки конденсаторных микрофонов. *Вестник МГТУ им. Н.Э. Баумана. Сер. Приборостроение*, 2023, № 4 (145), с. 43–60. DOI: <https://doi.org/10.18698/0236-3933-2023-4-43-60>

**STUDYING THE SOUND PRESSURE WORKING  
STANDARD WITH THE BUILT-IN CONTROL ELEMENTS  
FOR THE CONDENSER MICROPHONES VERIFICATION**

**Yu.A. Kuvykin**  
**A.N. Olkhovskiy**

**original.rus@mail.ru**  
**rusregister.ano@mail.ru**

**FSBI “MSHC” RFMD, Mytishchi, Moscow Region, Russian Federation**

## Abstract

The paper presents results of studying the sound pressure working standard for verification of the measurement microphones and the microphone condenser capsules with the built-in control elements making it possible to increase the measurement accuracy in determining frequency characteristics of the microphone sensitivity level and the interval between verifications of the standard used. The following disadvantages were identified based on experience in using the sound pressure working standards (VS-321 vibroacoustic measurement system) in the calibration laboratories practices and as a result of periodic annual verifications. They include reduced accuracy of the sound pressure measurements in the air and the error uncontrolled time drift in the interval between verifications due to the missing control of the time drift and taking into account the input channels error during operation; lack of accounting the generator uneven frequency response when testing the microphones with an electrostatic exciter (actuator), which affects the measurement accuracy; system insufficient noise immunity due to the external influencing factors in the form of extraneous noise; short (one year) interval between the system verifications. To eliminate these disadvantages, VS-321 vibroacoustic measuring system was studied using the built-in control elements to solve problems of increasing the measurement accuracy during verification and the system noise immunity by eliminating the external influencing factors in the form of extraneous noise, as well as to ensure possibility of increasing the interval between verifications

## Keywords

*Microphone, working standard, electrostatic exciter (actuator), frequency response, built-in control, error time drift, interval between verifications*

Received 10.02.2023

Accepted 23.06.2023

© Author(s), 2023

## REFERENCES

- [1] Kuvykin Yu.A., Sokolov I.N., Olkhovskiy A.N. Study method for determining the frequency characteristics of condenser microphones with the use of frequency modulated signal using frequency modulated signal. *Vestnik metrologa*, 2021, no. 2, pp. 25–31 (in Russ.).
- [2] Kuvykin Yu.A., Olkhovskiy A.N., Suprunyuk V.V., et al. A method for determining frequency response of microphones in unmuffled laboratory room using wideband signal excitement. *Herald of the Bauman Moscow State Technical University, Series Instrument Engineering*, 2021, no. 4 (137), pp. 169–187 (in Russ.).  
DOI: <http://dx.doi.org/10.18698/0236-3933-2021-4-169-187>



- [3] Heyser R.C. Time delay spectrometry. New York, Acoustical Society of America, 1988.
- [4] Robinson S.P., Hayman G., Harris P.M., et al. Signal-modelling methods applied to the free-field calibration of hydrophones and projectors in laboratory test tanks. *Meas. Sc. Technol.*, 2018, vol. 29, no. 8, art. 085001.  
DOI: <http://dx.doi.org/10.1088/1361-6501/aac752>
- [5] Kuvykin Yu.A., Sokolov I.N. [Automation of vibration transducers verification by means of verification systems VS-321 and VS-421. Metrological support of defence and security]. *Mater. XII Vseros. NTK* [Proc. XII Russ. Sc.-Tech. Conf.]. Povedniki, 2018, pp. 198–201 (in Russ.).
- [6] Kuvykin Yu.A., Doroshenko E.Yu., Danilchenko N.N. [Comparative study of electrostatic exciters of various designs for the possibility of their use in working standards of sound pressure]. *Mater. 44 NTK molodykh uchenykh — voennykh metrologov* [Proc. 44th Sc.-Tech. Conf. of Young Scientists — Military Metrologists]. Kubinka, 2018, pp. 134–137 (in Russ.).
- [7] Kuvykin Yu.A. [Features of determining the total error of automated vibration installations]. *Metrologicheskoe obespechenie oborony i bezopasnosti v RF. Mater. 41 NTK molodykh uchenykh — voennykh metrologov* [Metrological Support of Defense and Security in the RF. Proc. 41st Sc.-Tech. Conf. of Young Scientists — Military Metrologists]. Mytishchi, 2016, pp. 99–106 (in Russ.).
- [8] Sokolov I.N., Kulak V.A. Modern approach to vibration testing: transition from abstractions to real data. *Vestnik metrologa*, 2014, no. 1, pp. 23–29 (in Russ.).
- [9] Kuvykin Yu.A., Doroshenko E.Yu. [Pressure graduation of measuring condenser microphones in a small volume chamber]. *Metrologicheskoe obespechenie oborony i bezopasnosti v RF. Mater. 39 NTK molodykh uchenykh — voennykh metrologov* [Metrological Support of Defense and Security in the RF. Proc. 39th Sc.-Tech. Conf. of Young Scientists — Military Metrologists]. Mytishchi, 2015, pp. 248–258 (in Russ.).
- [10] Walber Ch., Salzano C., Nowak M., et al. Acoustic methods of microphone calibration. *ICV22*, 2015, pp. 103–109.
- [11] Lavrov R.O., Kuvykin Yu.A. Comparative analysis of techniques of attenuation the acoustic reflections effect at free-field calibration of airborne sound receivers. *Telekommunikatsii i transport* [Telecommunications and Transport], 2018, vol. 12, no. 7, pp. 59–62 (in Russ.).
- [12] Barham R., Barrera-Figueroa S., Avison J.E.M. Secondary pressure calibration of measurement microphones. *Metrologia*, 2014, vol. 51, no. 3, pp. 129–138.  
DOI: <https://doi.org/10.1088/0026-1394/51/3/129>
- [13] Naumov S.S., Knyazeva N.I., Burenkov S.V. Mnogofunktsionalnye akusticheskie izmereniya na osnove modifitsirovannogo metoda spektrometrii vremennykh zaderzhek. Akusticheskie izmereniya. Metody i sredstva. IV Sessiya Rossiyskogo akusticheskogo obshchestva [Multifunctional acoustic measurements based on a modified

method of time delay spectrometry. Acoustic measurements. Methods and means. IV Session of the Russian Acoustic Society]. Moscow, Akust. in-t im. N.N. Andreeva Publ., 1995, pp. 9–14 (in Russ.).

[14] Heyser R.S. Acoustical measurements by time delay spectrometry. *JAES*, 1967, vol. 15, no. 4, pp. 370–382.

[15] Sysel P., Rajmic P. Goertzel algorithm generalized to non-integer multiples of fundamental frequency. *EURASIP J. Adv. Signal Process.*, 2012, art. 56.

DOI: <https://doi.org/10.1186/1687-6180-2012-56>

[16] Danilov A.A., Sputnova D.V. [Analysis of models for describing the instability of measuring instruments]. *Sb. dokl. Mezhdunar. nauch.-prakt. 175 let VNIIM im. D.I. Mendeleeva i Natsionalnoy sisteme obespecheniya edinstva izmereniy* [Proc. Int. Sc.-Pract. Conf. 175 Years of VNIIM im. D.I. Mendeleev and the National System for Ensuring the Uniformity of Measurements]. St. Petersburg, 2017, pp. 49 (in Russ.).

[17] Khrapov F.I. Analysis of sources of redundant information about state of the measuring channels of measuring systems for adjusting the calibration intervals of measuring systems. *Vestnik metrologa*, 2011, no. 1, pp. 12–14 (in Russ.).

[18] Gapeeva V.D., Tsybenko V.A. Screening out big measurement errors of results using various criteria in Excel environment. *Molodoy uchenyy* [Young Scientis], 2021, no. 49, pp. 20–27 (in Russ.).

**Kuvykin Yu.A.** — Cand. Sc. (Eng.), Senior Researcher, FSBI “MSHC” RFMD (Komarova ul. 13, Mytishchi, Moscow Region, 141006 Russian Federation).

**Olkhovskiy A.N.** — Cand. Sc. (Eng.), Senior Researcher, FSBI “MSHC” RFMD (Komarova ul. 13, Mytishchi, Moscow Region, 141006 Russian Federation).

**Please cite this article in English as:**

Kuvykin Yu.A., Olkhovskiy A.N. Studying the sound pressure working standard with the built-in control elements for the condenser microphones verification. *Herald of the Bauman Moscow State Technical University, Series Instrument Engineering*, 2023, no. 4 (145), pp. 43–60 (in Russ.). DOI: <https://doi.org/10.18698/0236-3933-2023-4-43-60>