

УДК 534.62

Применимость радиочастотных безэховых камер для проведения акустических измерений на примере камеры в Университете ИТМО

Бикмухаметов Фарид Рустемович^{1, 2(*)} f.bikmukhametov@metalab.ifmo.ru

Разрезова Ксения Васильевна³ k.razrezova@soundguard.ru

Смольницкий Роман Александрович³ r.smolnickii@soundguard.ru

Щелоков Юрий Алексеевич³ 9828801@mail.ru

Канев Николай Георгиевич⁴ lab-42@mail.ru

Красикова Мария Владимировна^{1, 5} mariia.krasikova@gmail.com

¹ Университет ИТМО, Санкт-Петербург, Россия

² НИИСФ РААСН, Москва, Россия

³ ООО «Звукоизоляционные Европейские Технологии», Санкт-Петербург, Россия

⁴ МГСУ, Москва, Россия

⁵ ООО «Деволм», Красноярск, Россия

Аннотация. Безэховая камера является универсальным инструментом для проведения измерений в условиях свободного поля. Существует несколько типов безэховых камер, предназначенных для различных задач, например, радиочастотная и акустическая безэховые камеры. Условие свободного акустического поля в обоих случаях достигается за счет покрытия стен специальными поглощающими конструкциями. Зачастую, как для радиочастотной, так и для акустической камеры, материал для изготовления звукопоглощающих конструкций один и тот же. Отсюда можно предположить, что радиочастотная камера может быть применена для проведения акустических измерений в условиях свободного акустического поля. Эта гипотеза была проверена на примере радиофизической камеры в Университете ИТМО. Было показано, что камера удовлетворяет требованиям ГОСТ ИСО 3745–2014 для безэховой звукомерной камеры на расстояниях до 0.9 м и на частотах до 3150 Гц. Также было измерено время реверберации и уровень фонового шума на разных частотах.

Ключевые слова: безэховая камера, радиочастотная безэховая камера, свободное акустическое поле, звукопоглощение, время реверберации, фоновый шум

Applicability of radiowave anechoic chamber for acoustic measurements on the example of the chamber at ITMO University

Bikmukhametov Farid Rustemovich^{1, 2(*)} f.bikmukhametov@metalab.ifmo.ru

*Razrezova Ksenia Vasilievna*³ k.razrezova@soundguard.ru

*Smolnitsky Roman Alexandrovich*³ r.smolnickii@soundguard.ru

*Shchelokov Yuri Alexeevich*³ 9828801@mail.ru

*Kanev Nikolay Georgievich*⁴ lab-42@mail.ru

Krasikova Mariia Vladimirovna^{1, 5} mariia.krasikova@gmail.com

¹ ITMO University, Saint Petersburg, Russia

² Research Institute of Building Physics, Moscow, Russia

³ Soundproofing European Technologies LLC, Saint Petersburg, Russia

⁴ Moscow State University of Civil Engineering, Moscow, Russia

⁵ Devolm LLC, Krasnoyarsk, Russia

Abstract. An anechoic chamber is a powerful tool for conducting measurements in a free field. There are several types of anechoic chambers, which are used for different tasks, for example, radiowave and acoustic anechoic chambers. In both cases the condition of free field is provided by covering surfaces of the chamber with special absorbing constructions. Sometimes the same materials are used for making absorbing constructions in acoustic and radiowave anechoic chambers. Due to this fact, we can suppose that radiowave anechoic chamber can be used for caring acoustic measurements in a free field. This suggestion was tested using an example of chamber in ITMO University. It was shown that chamber meets the requirements of GOST ISO 3745-2014 at distances up to 0.9 m and frequencies up to 3150 Hz.

Keywords: anechoic chamber, radiowave anechoic chamber, free acoustic field, noise insulation, reverberation time, background pressure field

Введение. Измерения в безэховых камерах нередко являются необходимым этапом как в научно-исследовательских, так и в опытно-конструкторских проектах, так как зачастую требуется обеспечить условие свободного поля [1]. Безэховые камеры могут быть сконструированы для работы как в акустическом, так и в радиочастотном диапазонах. Эффект свободного поля в обоих случаях достигается за счет покрытия внутренних поверхностей камеры специальными поглощающими конструкциями. Некоторые материалы хорошо поглощают и радиоволны, и акустические волны. Опираясь на этот факт, была выдвинута гипотеза о том, что радиочастотные безэховые камеры могут применяться для проведения акустических измерений.

Цель представленной работы заключается в проверке этой гипотезы на примере радиочастотной безэховой камеры Университета ИТМО. Оценка пригодности камеры проводилась в соответствии с ГОСТ ИСО 3745–2014 [2].

Методы и материалы. Радиочастотная безэховая камера Университета ИТМО представляет собой помещение стены, пол и потолок которого покры-

ты клиньями длиной 46 см и с поперечным сечением у основания 15×15 см. Размеры камеры составляют 6,5 м в длину, 4 м в ширину и 2,4 м в высоту по кончикам клиньев (рис. 1, а)

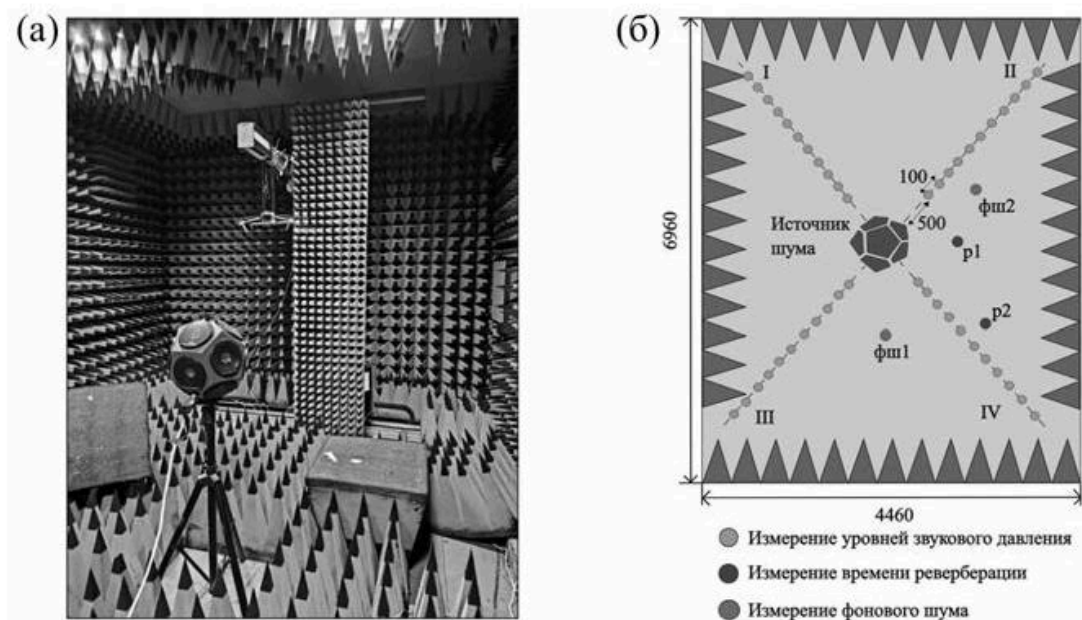


Рис. 1. Фотография безэховой камеры Университета ИТМО (а) и схема с отметками точек измерения уровня звукового давления, времени реверберации и фонового шума (б)

Звукопоглощающие свойства материалов зачастую оцениваются путем проведения эксперимента в импедансной трубе. К сожалению, большие габариты звукопоглощающих пирамид не позволяют этого сделать, поэтому в качестве испытуемого образца был выбран цилиндр толщиной 2,5 см и диаметром 11 см. Поскольку материал, используемый для изготовления шумопоглощающих конструкций, является пористым, то его свойства можно с достаточной точностью описать эмпирической моделью Delany-Bazley [3]. Путем аппроксимации был найден коэффициент сопротивления потоку $\sigma = 3437 \text{ Па} \cdot \text{с}/\text{м}^2$. Результат аппроксимации экспериментальных данных представлен на рис. 2а.

Результаты. Найденное методом аппроксимации значение сопротивления потоку было использовано для проведения моделирования спектра поглощения всей пирамиды. Результаты представлены на рис. 2, б. В диапазоне 290...1800 Гц, структура показывает хорошие поглощающие свойства. Начиная со средних частот, коэффициент поглощения близок к единице.

Важной характеристикой безэховой камеры является уровень фонового шума [4]. Согласно критериям [2], уровень звукового давления, создаваемого источником, должен превышать уровень фонового шума минимум на 10 дБ в диапазоне 250...5000 Гц. На рис. 3 представлены результаты измерения фонового шума, согласно которым можно сделать вывод, что критерии ГОСТ ИСО 3745–2014 выполняются.

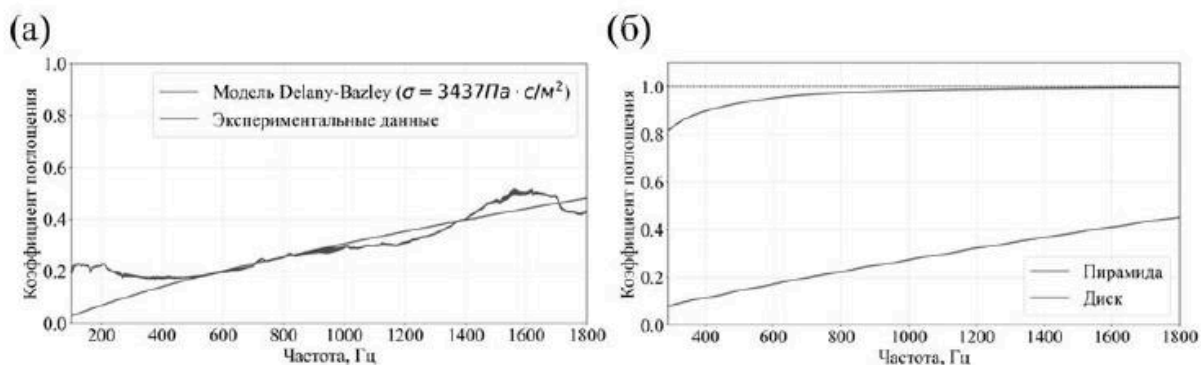


Рис. 2. Акустические свойства поглощающих покрытий:

a — измеренный коэффициент поглощения материала поглощающего покрытия и аналитическая аппроксимация моделью Delany-Bazley; *б* — результаты численного моделирования спектров поглощения элемента в виде диска и в виде пирамиды, описываемых одним и тем же коэффициентом сопротивления потоку в рамках модели Delany-Bazley

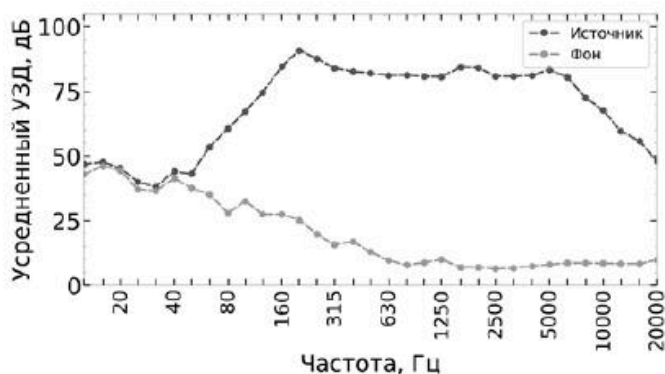


Рис. 3. Результаты измерения фонового шума

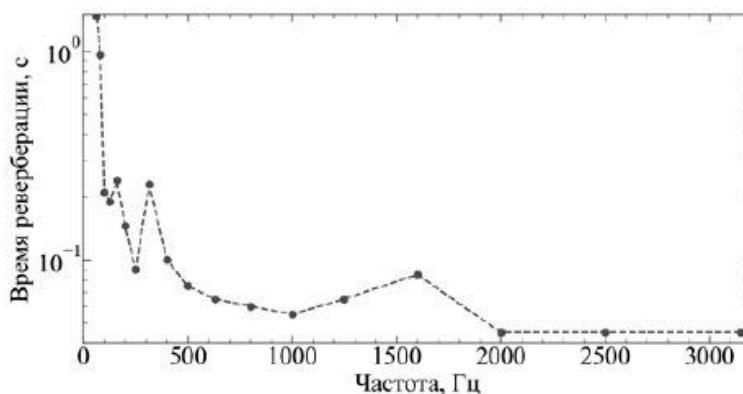


Рис. 4. Измеренное время реверберации

Время реверберации характеризует скорость снижения звукового давления после выключения источника звука [5]. Соответственно, чем меньше время реверберации, тем меньше влияние отраженных от внутренних поверхностей камеры волн на проводимые измерения. Таким образом, в безэховой камере время реверберации должно быть очень маленьким, в идеале равным нулю. На рис. 4 представлены результаты измерений времени реверберации безэховой камеры ИТМО в третьоктавной полосе частот.

Время реверберации резко падает с 1,5 с на 63 Гц до 0,21 с на 100 Гц и далее остается в пределах 0,05...0,24 с.

Согласно критериям [2] в безэховой камере должно создаваться свободное акустическое поле. Это означает, что амплитуда акустического давления должна быть обратно пропорциональна расстоянию до источника. Отклонение экспериментального значения от расчетного в каждой точке траектории не должно превышать значений, указанных в [2]. Для проведения измерений были выбраны 4 траектории, показанные на рис. 1, б. Результаты измерений отклонений на третьоктавных частотах вдоль всех 4 траекторий представлены на рис. 5. Отклонения общих уровней звукового давления показаны на рис. 6.

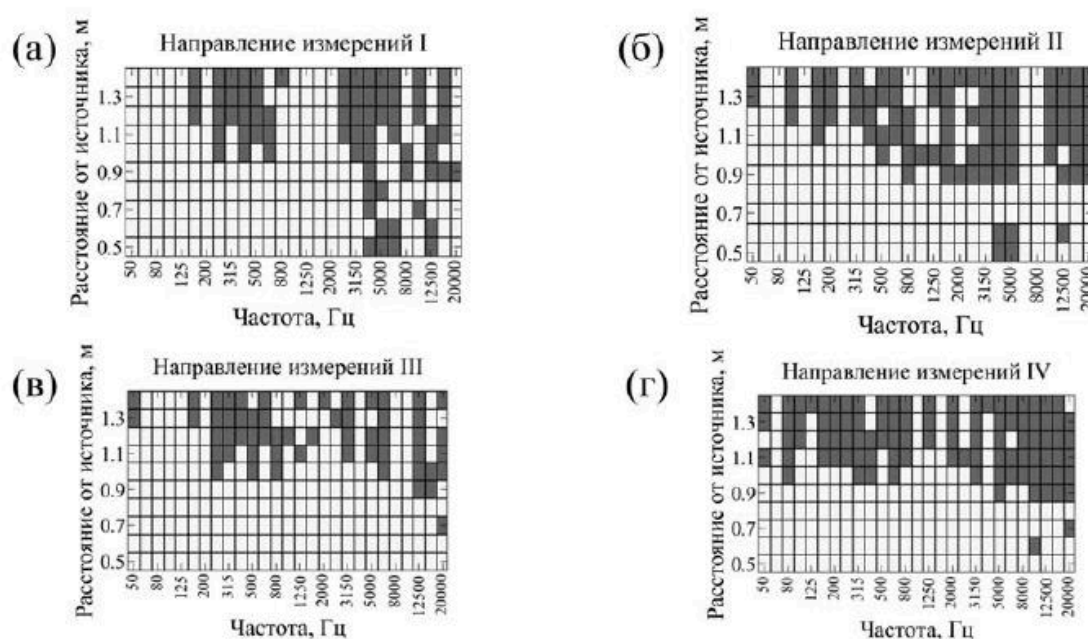


Рис. 5. Карта допустимых отклонений измеренных уровней звукового давления от теоретических значений для различных направлений измерений. Цветом показаны частоты и расстояния от источника, при которых отклонение превышает допустимые значения для безэховой камеры

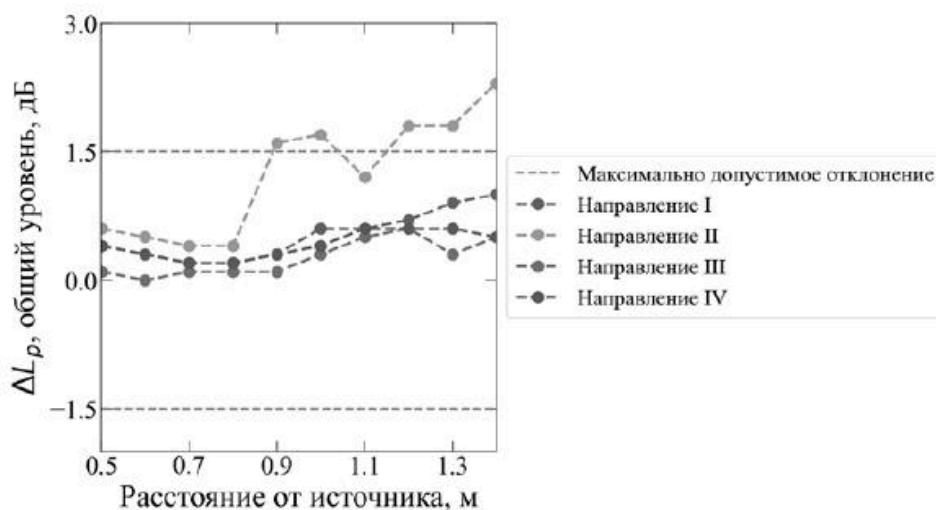


Рис. 6. Отклонение общего уровня звукового давления от теоретических значений

Согласно рис. 6, камера удовлетворяет критериям [2] на расстояниях до 0,9 м на частотах до 3150 Гц. Для некоторых траекторий этот диапазон может быть расширен согласно рис. 5.

Обсуждение. Измерения в импедансной трубе и результаты численного моделирования подтверждают гипотезу о том, что клинья, используемые в радиочастотной безэховой камере Университета ИТМО, демонстрируют хорошие звукопоглощающие свойства: начиная со средних частот, коэффициент поглощения близок к единице. Уровень фонового шума не превышает допустимой нормы, установленной в [2]. Время реверберации не превышает 0,24 с для всех частот, начиная со 100 Гц. Для более высоких частот время реверберации близко к 0 ($\approx 0,05$ с). Основным результатом является подтверждение того, что в радиочастотной камере образуется свободное акустическое поле в соответствии с [2]. На рис. 5. показано, что по направлению I камера удовлетворяет требованиям в частотном диапазоне 50...3150 Гц на расстоянии до 0,9 м от источника, по направлению II в диапазоне 50...3150 вплоть до 0,8 м от источника, по направлению III в диапазоне 50...16 кГц до 0,8 м и по направлению IV для частот 50...8 кГц до 0,8 м. Неоднородность акустического поля по четырем направлениям объясняется асимметричной формой камеры (рис. 1).

Заключение. Результаты верификации камеры показывают, что радиочастотная безэховая камера Университета ИТМО может быть использована для проведения акустических измерений в условиях свободного поля в соответствии с требованиями ГОСТ ИСО 3745–2014 на расстояниях до 0,9 м от источника и на частотах до 3150 Гц. Вдоль некоторых траекторий это расстояние может быть увеличено, а частотный диапазон расширен.

Список источников

- [1] Бикмухаметов Ф.Р., Канев Н.Г. Безэховая звукомерная камера НИИ строительной физики: актуальные акустические характеристики. *Noise Theory and Practice*, 2026, № 1, с. 7–17.
- [2] ГОСТ ИСО 3745–2014. Акустика. Определение уровней звуковой мощности и звуковой энергии источников шума по звуковому давлению. Точные методы для заглушенных и полузаглушенных камер. Москва, Стандартинформ, 2015, 59 с.
- [3] Delany M.E., Bazley E.N. Acoustical properties of fibrous absorbent materials. *Applied acoustics*, 1970, no. 2, pp. 105–116.
[https://doi.org/10.1016/0003-682X\(70\)90031-9](https://doi.org/10.1016/0003-682X(70)90031-9)
- [4] Кошурников Д.Н., Пономарев А.Л., Молок О.А. Фоновый шум как элемент акустической картины территорий с нормируемыми показателями среды обитания. *Noise Theory and Practice*, 2021, № 2, с. 53–644.
- [5] Езерский В.А., Макаров А.М. Анализ времени реверберации производственных помещений с рассеивающими звук предметами. *Научный вестник Воронежского государственного архитектурно-строительного университета. Строительство и архитектура*, 2008, № 2, с. 102–109.