

УДК 534.62

Модернизация лабораторной акустической камеры

Зайцев А.В., Пузырёв В.И., Шеронова Т.С., Булкин В.В.

Представлены результаты модернизации малогабаритной лабораторной заглушённой камеры для исследования средств защиты от акустических воздействий. Проведена замена акустических излучателей. Сформирована самостоятельная акустическая система, встроенная в нижнюю часть конструкции камеры. Проведены измерения и представлена амплитудно-частотная характеристика камеры по звуковому давлению. В результате неравномерность АЧХ снизилась с 37 до 23,5 дБ. Установлены «провалы» в АЧХ на частотах 400 и 630 Гц. Определено, что эти провалы обусловлены конструктивными особенностями камеры. Даны рекомендации по выравниванию АЧХ на этих частотах.

Ключевые слова: акустическая камера, амплитудно-частотная характеристика, громкоговоритель, акустический поролон, акустическая система.

Введение

Одним из важнейших факторов, формирующих здоровье населения города, является шум. Неблагоприятные акустические условия могут приводить к патологии сердечно-сосудистой и нервной систем у наиболее восприимчивых слоёв населения. Исследованиями последних лет установлено, что под влиянием шума наступают изменения в органах зрения человека (снижается устойчивость ясного видения и острота зрения, изменяется чувствительность к различным цветам и др.) и вестибулярном аппарате, нарушаются функции желудочно-кишечного тракта, повышается внутричерепное давление, происходят нарушения в обменных процессах организма и т. п. (см., например, [1,2], и др.).

Исследование характеристик различных видов шума, а также средств защиты от него, часто требует «изоляции» от внешних шумов, которые могут рассматриваться как мешающие в каждом конкретном случае, а также исключить отражение звуковой волны от стен зданий или иных объектов. Решить эту задачу позволяют безэховые акустические камеры.

Для исключения отражений и влияния внешних шумов стены, потолок и пол таких камер покрыты материалом, поглощающим энергию акустического сигнала. Это позволяет производить измерения исключив отражения от стен и шум извне, сформировав таким образом нахождение источника в сво-

бодном пространстве [3]. Для обеспечения безэховости используется звукопоглощающий материал (ЗПМ) в форме клиньев определенной высоты, форма и размеры которых зависят от диапазона рабочих частот.

Размер самой камеры зависит от типа требуемых измерений. Например, критерий различия ближнего и дальнего поля излучателя устанавливает минимальное расстояние между антеннами передатчика и приёмника. В соответствии с этим и учитывая, что требуется пространство для размещения поглотителей излучения, расчётный размер камеры может оказаться очень большим.

В Муромском институте ВлГУ используется такая простейшая камера, обеспечивающая решение задач как учебного процесса, так и ряда исследований научного характера. Поскольку в лабораторных условиях создание крупногабаритной камеры практически невозможно, была решена задача создания достаточно негабаритной (малогабаритной) лабораторной камеры, размещение которой возможно в пределах учебной лаборатории.

Созданная камера имеет размеры в пределах 2 м, 1 м и примерно 0,8 м при вертикальной ориентации. Камера выполнена из панелей, каркас которых основан на применении строительных металлических профилей толщиной 50 мм. Этот размер выбран исходя из толщины звукопоглощающей минеральной ваты. Для внешней и внутренней обшивки панелей использована фанера. На передней стороне камеры имеются две двери, обеспе-

чивающие максимальный доступ во внутренний объём.

С целью выравнивания характеристики камеры и снижения уровня эха внутренняя поверхность покрыта ЗПМ, в качестве которого используется акустический поролон пирамидального и волнообразного профилей. В верхних углах использованы т.н. бас-ловушки углового типа, предназначенные для поглощения низкочастотных акустических сигналов.

Для исследования эффективности шумозащитных экранов предусмотрены направляющие для установки экранирующих конструкций на трёх разных уровнях.

В качестве излучателей акустического сигнала были применены акустические системы (АС) 15АС-213 от министереокомплекса «Ода-102». Диапазон воспроизводимых частот - 63...20000 Гц, номинальное электрическое сопротивление 4 Ом, предельная (паспортная) мощность 25 Вт. Используемые динамики: НЧ/СЧ: 25 ГДН-3-4; ВЧ: 6 ГДВ-2-8. Амплитудно-частотная характеристика АС приведена на рис. 1.

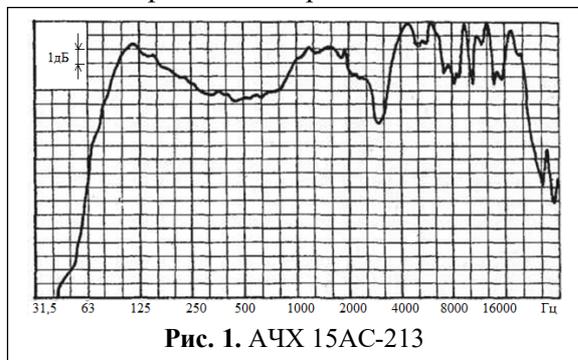


Рис. 1. АЧХ 15АС-213

Расположение АС – в нижней части камеры, направление излучения – вверх (см. рис. 2). Для снижения влияния внешних вибраций на АС или их собственных вибраций на конструкцию камеры в целом, системы устанавливались на поролоновую подушку и помещались внутри т.н. бас-ловушек, выполненных из акустического поролона толщиной 250 мм.

Другие конструктивные особенности камеры и некоторые характеристики были представлены в ряде публикаций [4-6].

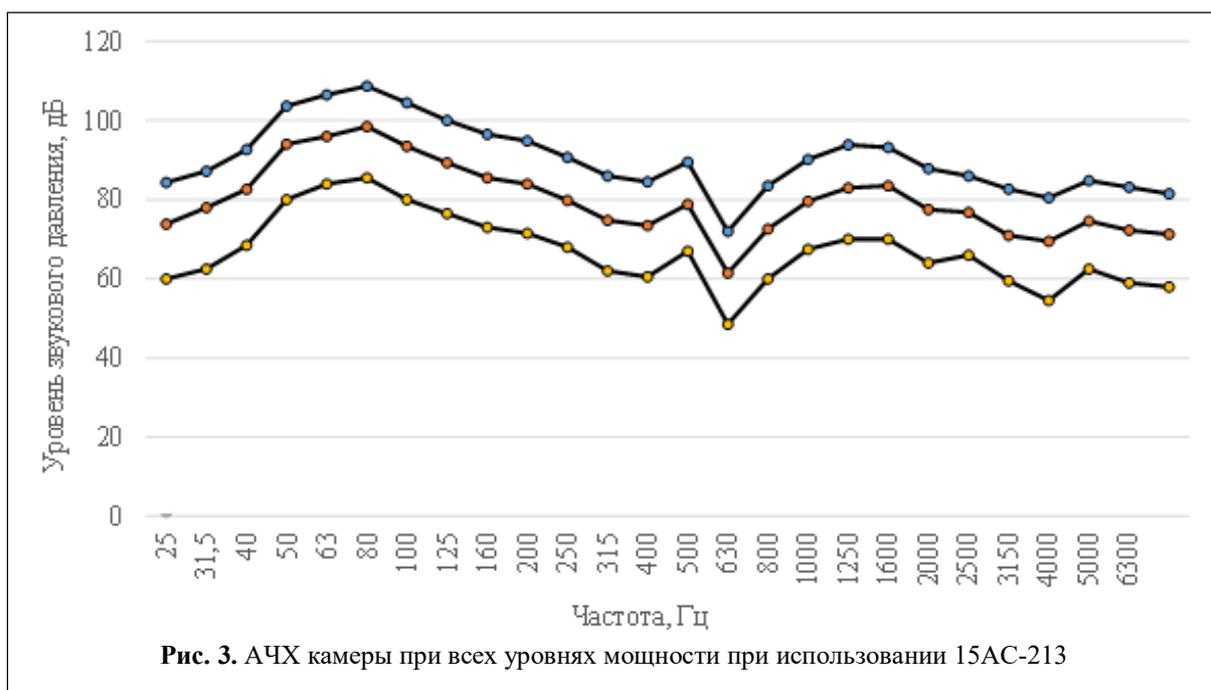


Рис. 2. Расположение АС в нижней части камеры

Камера активно используется в учебном процессе и обеспечивает проведение исследований акустических шумопоглощающих экранов.

Вместе с тем, особенность конструкции 15АС-213 – наличие акустического фазоинвертора на лицевой панели – создаёт дополнительные шумы, воспринимаемые на слух как знакопеременный поток воздуха («ветер»), что, безусловно фиксируется контрольно-измерительной системой (КИС). Кроме того, АЧХ самой камеры обладает существенной неравномерностью. Пример АЧХ на трёх уровнях звуковой мощности, условно подразделяемых на высокий, средний, низкий уровень мощности, показан на рис. 3 [6]. При проведении измерений микрофон размещался в верхней части камеры напротив АС на мягкой подвеске. В качестве КИС использовался шумомер ВШВ-003. Измерения проводились в третьоктавных диапазонах частот от 25 до 8000 Гц, сериями с определением среднего (на каждой из частот) по серии значения звукового давления.

Анализ графиков показывает, что в целом АЧХ камеры при разных уровнях мощности имеет одинаковый вид, в частности - разброс от минимальных (630 Гц) до максимальных (80 Гц) значений звукового давления во всех случаях составляет примерно 37 дБ. Имеющийся провал в АЧХ на частоте 630 Гц скорее всего может быть объяснён именно особенностями применяемых в камере акустических систем.



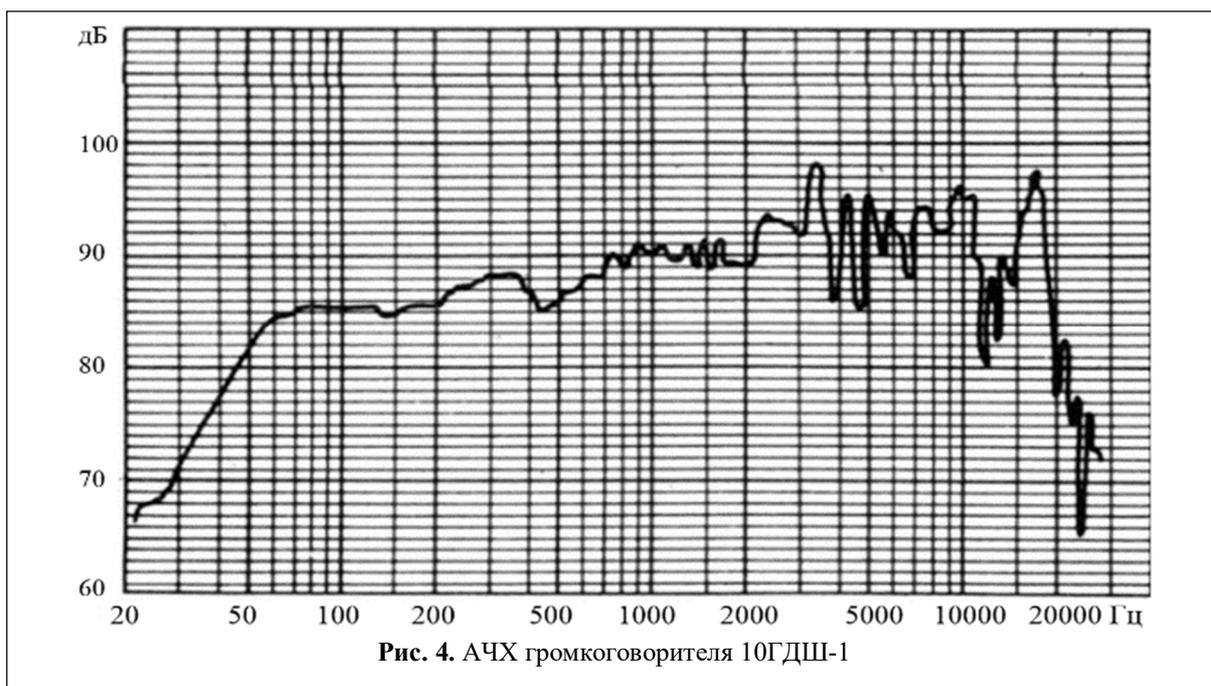
Таким образом, насущной задачей является модернизация лабораторной камеры с целью выравнивания амплитудно-частотной характеристики.

Направление модернизации

Очевидно, что выравнивание АЧХ возможно только при условии замены 15АС-213 на другой тип излучателя.

В качестве излучателей были использованы широкополосные громкоговорители (динамики) типа 10ГДШ-1, предназначенные

для закрытых выносных акустических систем бытовой радиоаппаратуры при работе в помещениях. Головка громкоговорителя электродинамического типа, широкополосная, круглая, с неэкранированной магнитной цепью. Диапазон частот 63–20000 Гц; звуковое давление 0,8 Па; коэффициент гармоник: на частотах 80–125 Гц - 8%; 200–630 Гц - 5%; 1000–10000 Гц - 3%; сопротивление 4 Ом; паспортная мощность 10 Вт; долговременная мощность 15 Вт; кратковременная мощность 20 Вт; основной резонанс 40 ± 8 Гц [7].



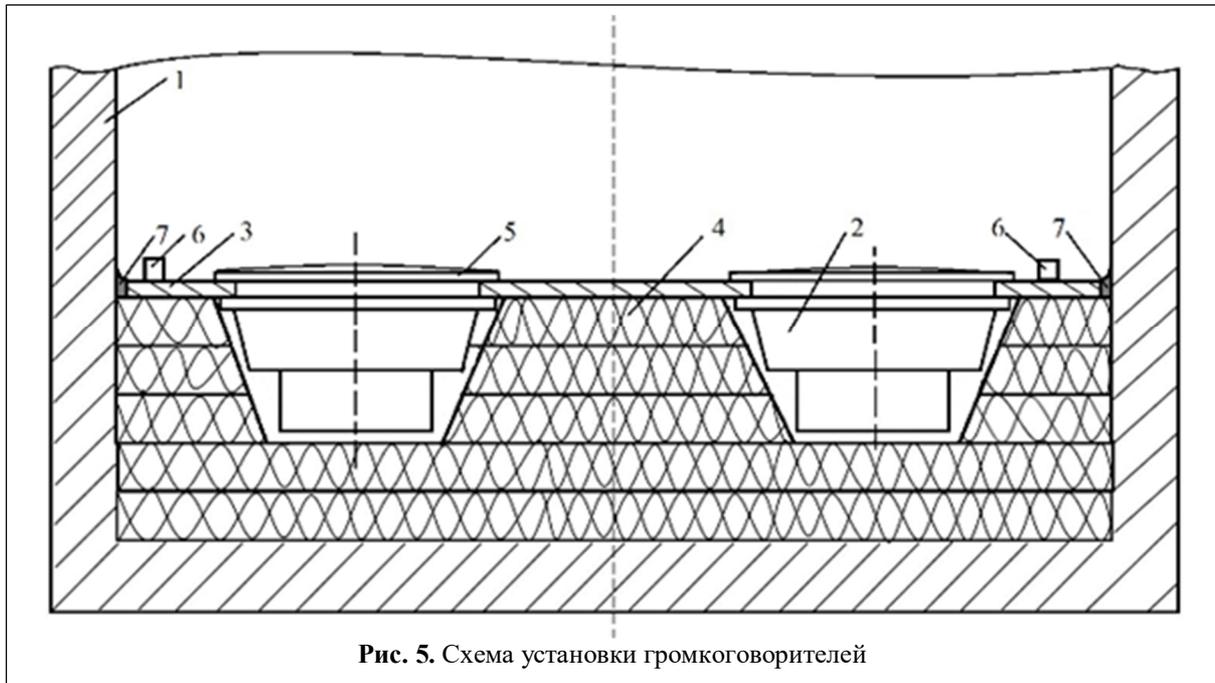


Рис. 5. Схема установки громкоговорителей

АЧХ громкоговорителя представлена на рис. 4. Неравномерность АЧХ на средних и высоких частотах составляет 13 дБ, что тоже немало. Однако оформление громкоговорителей в замкнутую конструкцию – АС, особенно с учётом того, что динамик является излучателем не прямого, а компрессионного типа – в конструкцию герметичную, приводит к изменению индивидуальных характеристик громкоговорителей, что обеспечивается акустическим оформлением системы.

Для модернизации камеры использова-

лись четыре громкоговорителя 10ГДШ-1, механически закреплённые на панели, выполненной из фанеры толщиной 18 мм. Размеры панели – несколько меньше внутреннего сечения камеры. Динамики расположены симметрично относительно сторон панели. Электрическое соединение – последовательное (два динамика на каждый из каналов), в результате чего общее сопротивление по каждому каналу составляет 8 Ом.

Фактически АС формируется внутренними стенками камеры, включая нижнюю, и



Рис. 6. Вид на установленную панель с громкоговорителями



Рис. 7. Вид на установленную панель с акустическим поролоном

панелью с динамиками, играющей роль лицевой панели. С учётом классических рекомендаций по акустическому оформлению АС [8,9], внутренний объём заполнен поролоном, уложенным в несколько слоёв. Громкоговорители защищены от попадания мелких механических элементов (поролоновой крошки) с помощью т.н. москитной сетки.

Схема конструкции АС показана на рис. 5. Стенки камеры 1, как уже говорилось, состоят из внешнего обрамления в виде фанеры и внутреннего наполнителя - минеральной

ваты. Динамики 2, предварительно помещённые в «чулок» из мягкой москитной сетки, закреплены на панели 2 с использованием герметика. Панель 3 уложена на несколько слоёв поролона 4, обеспечивающего не только увеличение внутреннего акустического сопротивления, что важно для громкоговорителей компрессионного типа, но и демпфирование вибрационных колебаний. Сверху динамики закрыты крышками 5, выполненными из прочной металлической сетки. Кроме того, на лицевой стороне панели закреп-

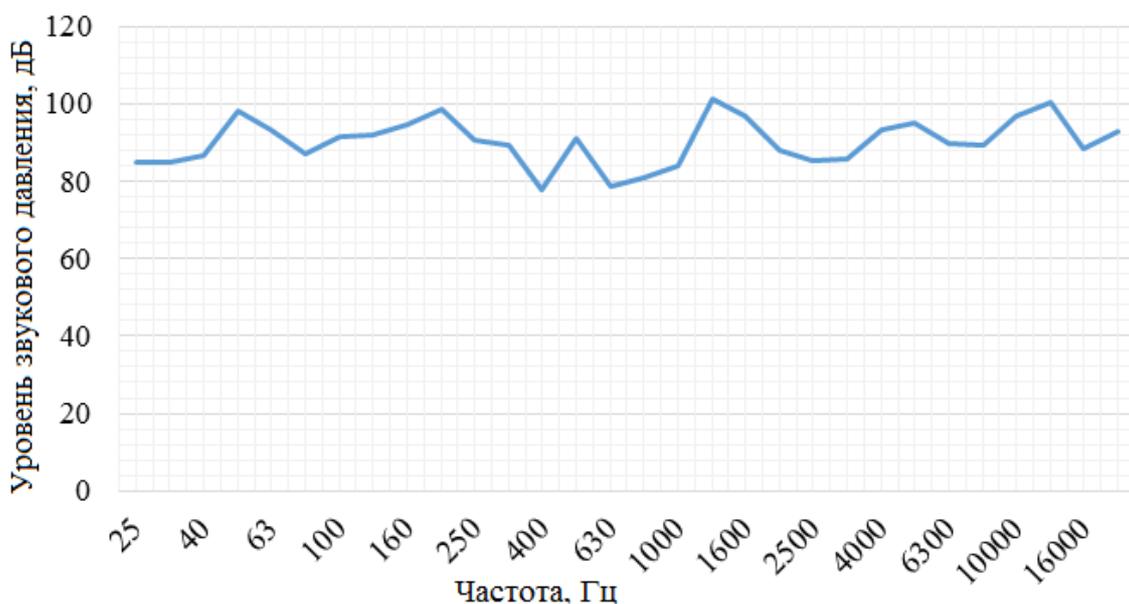


Рис. 8. АЧХ камеры с громкоговорителями 10ГДШ-1

лены две ручки 6, предназначенные для установки и демонтажа панели.

Герметичность рабочего объёма обеспечивается слоем герметика 7, проложенного в зазоре между стенками корпуса 1 и панелью 3. Кроме того, слой герметика выполняет функции дополнительного виброизолятора.

Вид на установленную панель с динамиками показан на рис. 6.

После установки панели её верхняя поверхность была закрыта ЗПМ - акустическим поролоном с отверстиями в местах установки динамиков. В углах по узкой стороне были установлены угловые бас-ловушки, аналогичные тем, что установлены в верхней части камеры. Вид на установленную панель с акустическим поролоном показан на рис. 7.

АЧХ камеры после модернизации

Оценка амплитудно-частотной характеристики камеры проводилась с использованием усилителя звуковой частоты «ОДА-102», генератора звуковой частоты TR-0157/002 и шумомера АССИСТЕНТ. Микрофон размещался в верхней части камеры напротив источника звука. Измерения проводились в третьоктавных диапазонах частот на стандартных средневзвешенных частотах в диапазоне от 25 до 20000 Гц.

Была проведена серия из пяти измерений, что для данного случая может считаться достаточным [10]. Поскольку значения уровней звукового давления на каждой частоте в каждой серии отличались стабильностью и размах значений был менее 3 дБ, обработка результатов проводилась определением среднеарифметического значения по каждой частоте. Результаты анализа представлены на рис. 8.

Анализ графика показывает, что АЧХ камеры после модернизации имеет более сглаженный вид. Если в исходном состоянии камеры, при использовании акустических систем 15АС-213, неравномерность доходила до 37 дБ, то после модернизации этот параметр уменьшился до 23,5 дБ, причём основной вклад вносит спад значений на частотах 400 и 630 Гц.

Провал АЧХ на этих частотах (особенно 630 Гц) наблюдался и в исходном варианте камеры. Очевидно, это обусловлено конструктивными особенностями самой камеры и в дальнейшем необходимо искать вариант устранения или компенсации такого провала.

Заключение

Таким образом, можно сделать вывод о том, что проведённая модернизация лабораторной акустической камеры, заключающаяся в замене источника акустического сигнала, позволила существенно уменьшить неравномерность амплитудно-частотной характеристики по создаваемому звуковому давлению, снизив её на 13,5 дБ. Имеющийся провал характеристики на частотах 400 и 630 Гц обусловлен не влиянием применявшихся ранее акустических систем второго класса 15АС-213, а конструктивными особенностями самой камеры и устранён быть не может в силу её малых внутренних размеров. Возможным вариантом выравнивания характеристики является введение корректирующих амплитудных поправок на этих частотах при формировании звукового сигнала.

Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ № 18-38-00909.

Литература

1. Мухамедова Г.Р. Характеристики отоакустической эмиссии у лиц, подвергающихся воздействию интенсивного производственного шума: Автореф. дис. ... канд. мед. наук. –М.: 2006. – 16 с.
2. Шарапов Р.В., Соловьев Л.П., Булкин В.В. Существование человека в рамках техносферы / Машиностроение и безопасность жизнедеятельности. –Муром: ИПЦ МИ ВлГУ, 2012, №1. –С.31-39.
3. Lawrence, Brian F. Anechoic Chambers, Past and Present. –Режим доступа: <https://ru.scribd.com/document/159925550/Anechoic-Chambers-Past-and-Present>.
4. Булкин В.В., Калиниченко М.В. Предварительные результаты построения и проверки лабораторной заглушённой камеры / NOISE THEORY AND PRACTICE. Том 2 №2 (II. 2016). –С. 19-26.
5. Бадин А.А., Завьялов А.О. Лабораторная заглушённая камера / Международный научный журнал «Символ науки», №6/2016. –С.41-43.

6. Гуськов П.М. Выбор уровня звукового давления в лабораторной акустической камере при исследовании характеристик шумозащитных экранов / Методы и устройства передачи и обработки информации, №19, 2017. –С. 28-31.

7. LD sound. -Режим доступа: <http://ldsound.ru/10-gdsh-1-4-10-gd-36k/>.

8. Справочник по акустике / Иофе В. К., Корольков В. Г., Сапожков М. А. Под. ред. М.А. Сапожкова. –М.: Связь, 1979. -312 с.

9. Эфрусси М.М. Громкоговорители и их применение. –М.: Энергия, 1976. -144 с.

10. Инженерная и санитарная акустика. Сборник нормативно-методических документов. В 2 томах. –СПб.: Компания «Интеграл», 2008.

Поступила 10 сентября 2018 г.

The results of the modernization of a small-sized laboratory silenced chamber for the study of means of protection against acoustic effects are presented. Acoustic emitters have been replaced. Formed independent speaker system built into the lower part of the design of the camera. Measurements are carried out and the amplitude-frequency characteristic of the camera is shown in terms of sound pressure. As a result, the non-uniformity of the frequency response decreased from 37 to 23.5 dB. Installed "dips" in the frequency response at frequencies of 400 and 630 Hz. It is determined that these failures are due to the design features of the camera. Recommendations on alignment of the frequency response at these frequencies are given.

Key words: acoustic chamber, amplitude-frequency characteristic, loudspeaker, acoustic roll-on, acoustic system.

Зайцев Андрей Васильевич – студент Муромского института (филиала) ФГБОУ ВО "Владимирский государственный университет имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых".

E-mail: 89209046544@yandex.ru

Пузырёв Владислав Игоревич – студент Муромского института (филиала) ФГБОУ ВО "Владимирский государственный университет имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых".

E-mail: vlod.puzurev@mail.ru

Шеронова Татьяна Сергеевна – технолог АО «Муромский стрелочный завод», студент Муромского института (филиала) ФГБОУ ВО "Владимирский государственный университет имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых".

E-mail: sheronova.tatyana@mail.ru

Булкин Владислав Венедиктович – доктор технических наук, профессор кафедры техносферной безопасности Муромского института (филиала) ФГБОУ ВО "Владимирский государственный университет имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых".

E-mail: lwb-kipra@mail.ru.

Адрес: 602264, г. Муром, ул. Орловская, д. 23.