

УДК: 628.517.2; 629.786.2

OECD: 02.03.AI

Эволюция средств снижения шума на борту Служебного модуля Международной космической станции

Сычев А.В.¹, Олейников А.Ю.^{2*}, Нагибин Н.С.³

¹Ведущий инженер-испытатель, Ракетно-космическая корпорация «Энергия»
им. С.П. Королева, г. Королев, РФ,

²К.т.н., и.о.зав.кафедрой, Балтийский государственный технический университет
«ВОЕНМЕХ» им. Д.Ф. Устинова, г. Санкт-Петербург, РФ,

³Инженер 1-ой категории, Ракетно-космическая корпорация «Энергия»
им. С.П. Королева, г. Королев, РФ

Аннотация

В статье рассмотрена важная проблема снижения повышенного шума на пилотируемых космических объектах. В качестве примера представлены результаты поэтапного применения средств снижения шума в Служебном модуле Международной космической станции (МКС). Проанализированы основные источники шума в Служебном модуле МКС. Представлены методы исследований и основные шумозащитные мероприятия. Описаны методы создания и отработки многослойных звукоизолирующих конструкций. Представлены результаты акустических испытаний применения таких средств снижения шума как, глушители шума, мягкие воздуховоды, виброизоляторы. Приведена эффективность постепенного внедрения средств снижения шума на МКС, позволивших снизить шум на борту служебного модуля до приемлемого уровня. Сделаны выводы о возможности применения подобных шумозащитных средств для вновь разрабатываемых пилотируемых космических аппаратов и станций, в том числе и для дальнего космоса.

Ключевые слова: международная космическая станция, МКС, служебный модуль, блок очистки атмосферы, система кондиционирования воздуха, электронасосный агрегат контура обогрева, шум, средства снижения шума, звукопоглощение, глушитель шума

The evolution of noise reduction means on board the Service module of the International Space Station

Sychev A.V.¹, Oleynikov A.Yu.^{2*}, Nagibin N.S.³

¹Leading Test Engineer, Rocket and Space Corporation 'Energia', Korolev, Russia,

²Ph.D., Acting Head of Department, Baltic State Technical University 'VOENMEH'
named after D.F. Ustinov, St. Petersburg, Russia,

³1st Category Engineer, Rocket and Space Corporation 'Energia', Korolev, Russia

Abstract

An important problem of excessive noise control at the manned space objects are studied. The Service module of the International Space Station (ISS) is considered as an example. Stages of noise reduction at the Service module to the acceptable level are discussed. Main noise sources of the Service module are discussed. Methods of creating and working out of multi-layer soundproofing structures are presented. Research

*E-mail: alexey.ole@gmail.com (Олейников А.Ю.)

methods and main noise protection measures are considered. Results of acoustical tests of noise reduction means application such as noise mufflers, sound absorptive coatings of the air duct and vibration isolators are presented. The effectiveness of the gradual application of noise reduction means on the ISS, which made it possible to reduce noise on board the Service module to an acceptable level, is presented. Conclusions have been made about the possibility of using such methods for newly developed manned spacecraft and stations, including for long-range space.

Keywords: International Space Station (ISS), Service module, air cleaning block, air conditioning system, electric mount assistance contour, noise, noise control means, sound absorption, noise muffler

Введение

Полеты человека в космос связаны с огромным количеством отрицательных для организма факторов. Один из таких повышенный уровень шума, который вызывает снижение слуха космонавтов, нарушения сна, увеличивает количество ошибок, снижает морально психологический статус, а также маскируют полезные сигналы, являющиеся критически важными в условиях космического полета. Все эти обстоятельства снижают безопасность космического полета [9-16].

Строительство Международной космической станции (МКС) началось с запуска функционального-грузового блока (ФГБ) в 1998 году. Служебный модуль (СМ) отправился на орбиту только два года спустя в 2000 году. Но уже в период подготовки к полетам стало понятно, что уровень шума, создаваемый системами и агрегатами СМ превышает все нормативы [1] - [2]. Что-либо изменять в конструкции СМ было уже невозможно, поэтому решили снизить уровень шума путем установки на шумящие агрегаты звукоизолирующих кожухов и использования звукопоглощающих матов, а все доработки и замену наиболее шумных агрегатов на вновь разработанные малошумные проводить уже на орбите.

Для изготовления звукоизолирующих кожухов и звукопоглощающих матов необходимо было рассчитать требуемую звукоизоляцию для каждого отдельного агрегата и практически подобрать необходимые материалы, которые при сборке в единый пакет давали бы снижение шума во всем диапазоне частот.

Снижение шума в таких многослойных пакетах достигается за счет резкого изменение волнового сопротивления материала на границах слоев, что приводит к повышенному рассеянию звуковой энергии [3].

Акустические характеристики материалов и пакетов в целом определялись в специально разработанной импедансной трубе (рисунок 2).

Рассмотрим, каким образом за счет применения различных средств удалось снизить уровень шума на борту МКС до приемлемых 65 дБА в рабочем отсеке и от 55 до 45 дБА в каютах экипажа [4].

1 Общая оценка источников шума СМ

На обитаемых космических объектах используется большое количество вентиляторов различного вида. В условиях невесомости это делается для избегания застойных зон вблизи источников выделения тепла и как следствие, их перегрева. Только на Служебном модуле подобных устройств более полусотни, что неизбежно ведет к повышенным уровням шума. На СМ помимо осевых и центробежных вентиляторов источниками шума являются разнообразные переключатели и компрессоры, которые при своей работе создают различные виды шума как постоянного, так и импульсного

(плавно нарастающие, монотонные, щелчки, свист и т.д.).

На рисунке 1 показаны основные источники шума СМ.

ЭНА КОБ - Электро-насосный агрегат контура обогрева; ВОЛ - Вентилятор обдува «Лиры»; ВПО - Вентилятор приборного отсека; ВВ2РО - Вентилятор воздуховода рабочего отсека (1 или 2); ВКЮ - Вентилятор каюты; ВСЭП - Вентилятор системы энергоснабжения; СКВ - Система кондиционирования воздуха (1 или 2); ВПхО - Воздуховод переходного отсека; ВГЖТ - Вентилятор газожидкостной теплообменника; ВАП - Вентилятор аппаратуры; ВН - Вентилятор нагрева; БОА «Воздух» - Блок очистки атмосферы; ВСУ - Вентилятор санузла

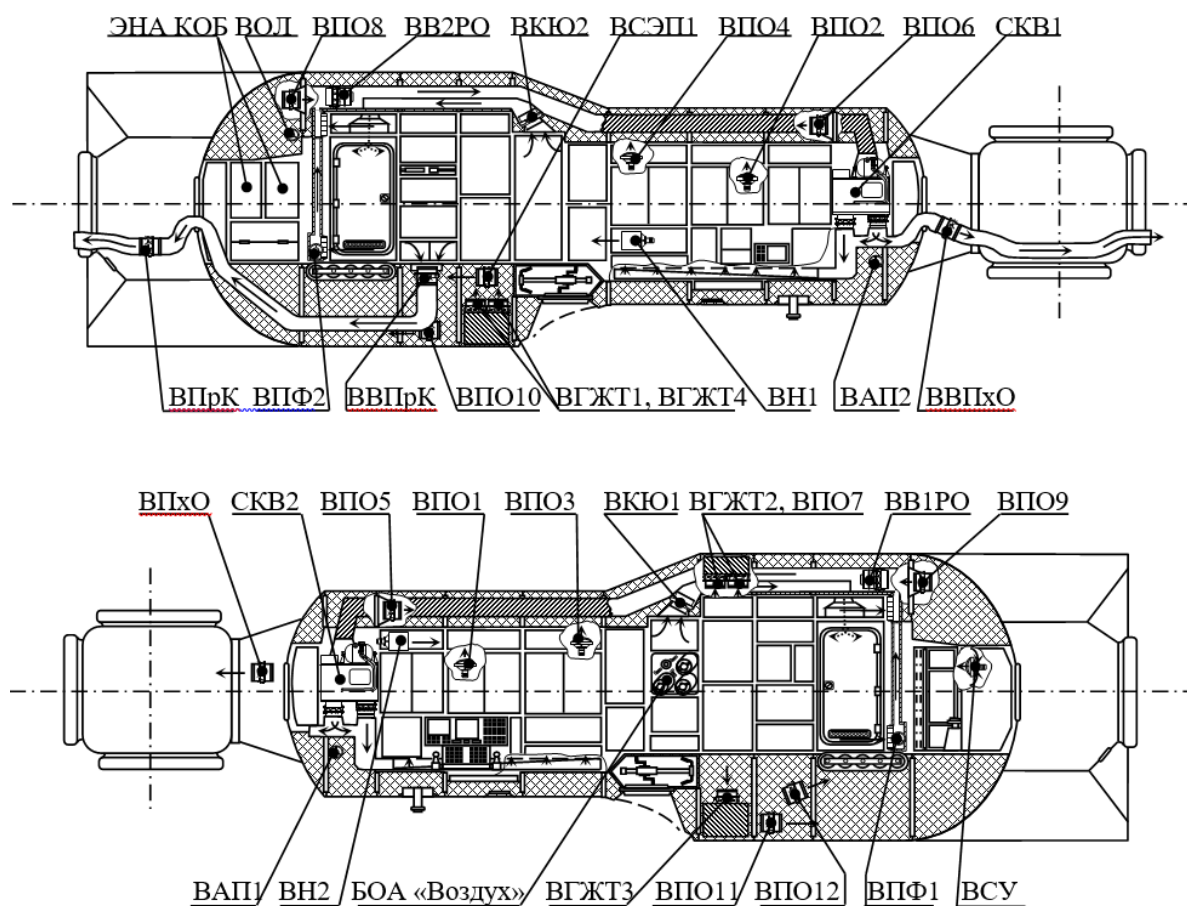


Рисунок 1 – Основные источники шума СМ

Для понимания того какая эффективность шумозащитных средств требуется для каждого агрегата в отдельности применялись различные методы, однако для понимания того как эти мероприятия работают в совокупности требовался расчет акустического поля, который был проведен различными авторами, например [5] - [6].

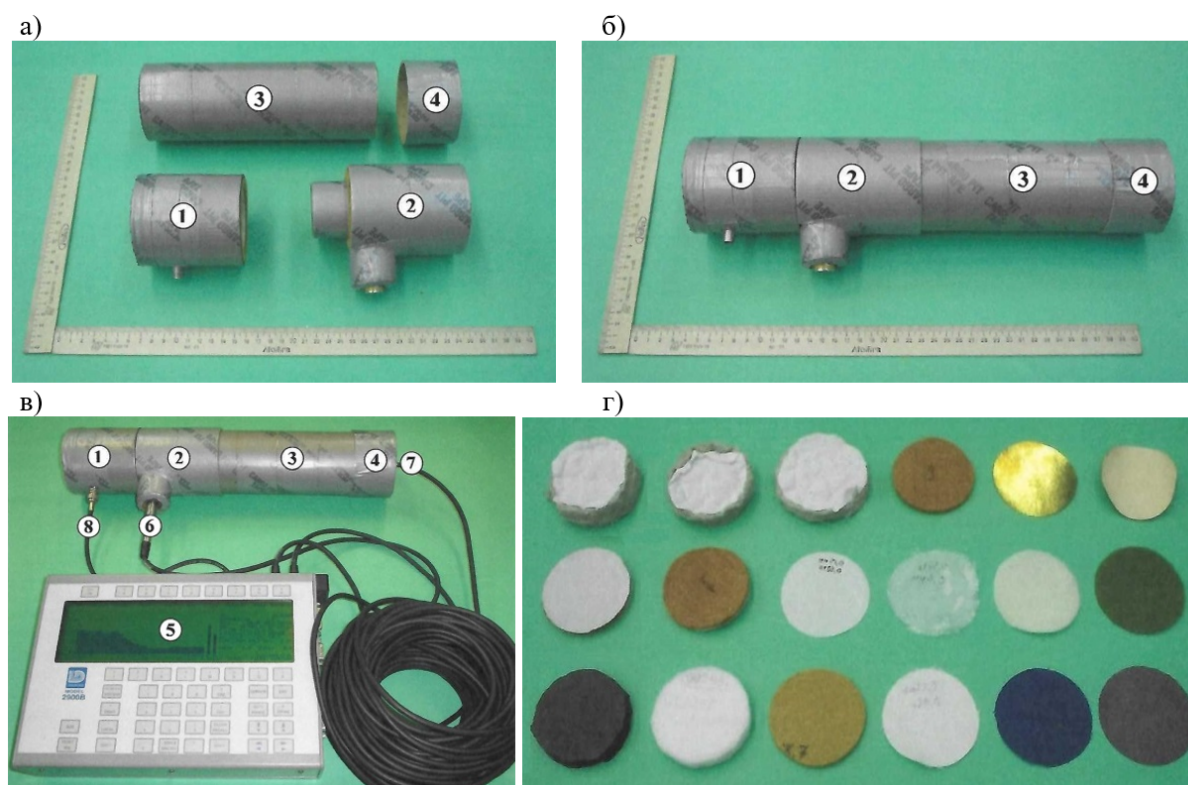
2 Материалы и методы

В условиях космического полета в звукопоглощающих конструкциях используются в основном, волокнистые и вспененные материалы с открытыми порами. Они хорошо поглощают звуковые колебания. Шумоизолирующие конструкции, в основном используются в виде многослойных пакетов на тканой или резиновой основе, такие пакеты хорошо отражают звуковые волны. Максимальная эффективность средства снижения шума достигается путем объединения этих двух типов конструкций в единые

многослойные пакеты.

Частотные зависимости коэффициента потерь при прохождении звука сквозь многослойный пакет и коэффициента отражения находились с помощью различных интерференционных методов [7] - [8].

Испытания образцов звукопоглощающих и звукоизолирующих материалов проводились в импедансной трубе (рисунок 2) с помощью двух микрофонов.



1 – камера с акустическим излучателем; 2 – камера перед испытываемым образцом;
3 – камера после испытываемого образца; 4 – торцевая заглушка; 5 – шумомер -
анализатор спектра Ларсон-Дэвис 2900; 6 – измерительный микрофон настройки уровня
акустического давления; 7 – измерительный микрофон предварительной оценки
звукопроницаемости испытываемого образца; 8 – кабель для подачи тестового сигнала
на акустический излучатель

Рисунок 2 – Импедансная труба для испытания образцов звукопоглощающих материалов: а) Импедансная труба в разобранном виде; б) Импедансная труба в собранном виде; в) Установка в собранном виде; г) Образцы звукопоглощающих материалов

Принцип работы простейшей импедансной трубы показан на рисунке 3. Акустический излучатель создает звуковую волну определенной частоты. При помощи микрофона настройки можно контролировать уровень звукового давления. Из-за малых размеров камеры, с физической точки зрения, волна максимально приближена к плоской. На рисунке волна изображена в виде дуги для облегчения визуализации процесса интерференции. Плоская волна, проходя через испытываемый образец, теряет часть своей энергии (отражение, поглощение), и уже ослабленная попадает на микрофон оценки. Разницу показаний между микрофонами в децибелах можно считать, как первоначальную оценку звукопроницаемости образца (звукопоглощение).

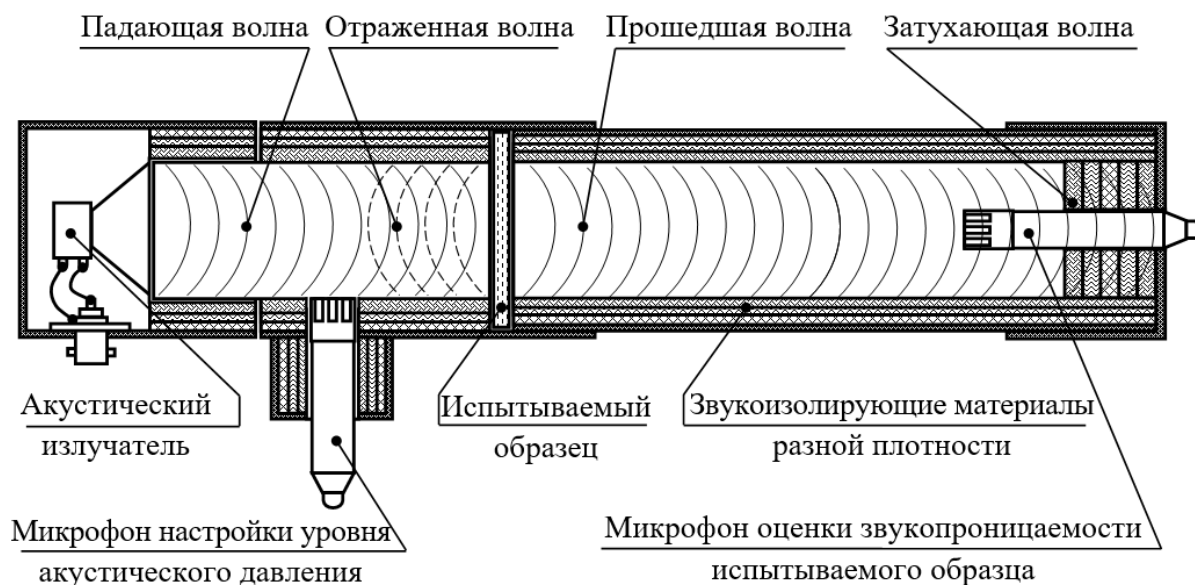


Рисунок 3 – Принцип работы импедансной трубы

На сегодняшний день применяемые методы оценки звукоизоляции образцов стали более точными. Помимо стандартных измерений в импедансных трубах, применяется 3-х микрофонный метод (рисунок 4) с установкой одного из микрофонов в жесткую преграду непосредственно за образцом, в котором непосредственно над образцом помещается датчик измерения давления-скорости частиц (микрофлуон), а в основании, на котором находился образец, встроен микрофон.

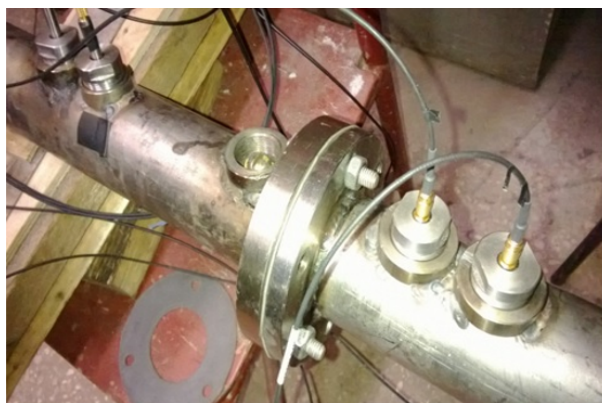


Рисунок 4 – Импедансная труба для испытания образцов

3 Шум в каюте служебного модуля МКС

На рисунке 5 показаны основные источники, влияющие на уровень шума в каюте. На рисунках 6, 7 и 9 показаны средства снижения шума для вентиляторов в каюте.

Источниками шума в каюте являются вентиляторы ВКЮ, ВВ1РО и ВПФ. Шум от этих вентиляторов распространяется как воздушным путем, так и через конструкцию (структурный шум).

Для снижения уровня шума в каюте были проведены следующие мероприятия: все вентиляторы были установлены на виброизолирующие устройства (амортизаторы), таким образом, снижая структурный шум, передающийся по конструкции.

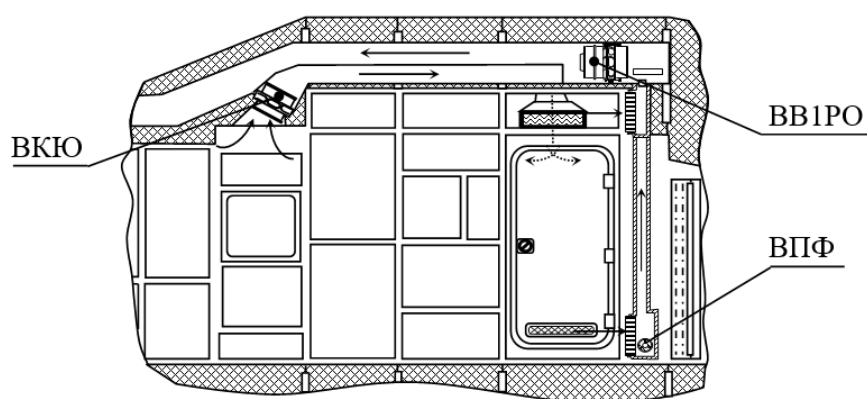


Рисунок 5 – Источники шума (правая каюта)

Далее были разработаны и внедрены многослойные мягкие воздуховоды, которые были установлены как на сами вентиляторы, так и на элементы воздуховодов. Для дренажного отверстия двери каюты был разработан лабиринтный глушитель шума.



Рисунок 6 – Средства снижения шума в каюте от ВКЮ

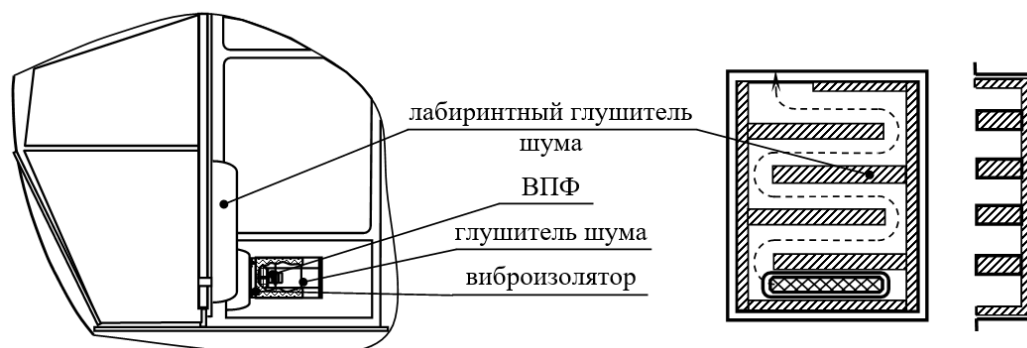


Рисунок 7 – Средства снижения шума в каюте от ВПФ

Акустические испытания (рисунок 8) показали, что применение средств снижения шума, таких как, глушитель шума на входе ВКЮ, мягкий воздуховод, виброизолятор, глушитель шума в воздуховоде на входе в каюту приводят к снижению суммарного уровня звукового давления на 4,8 дБА.

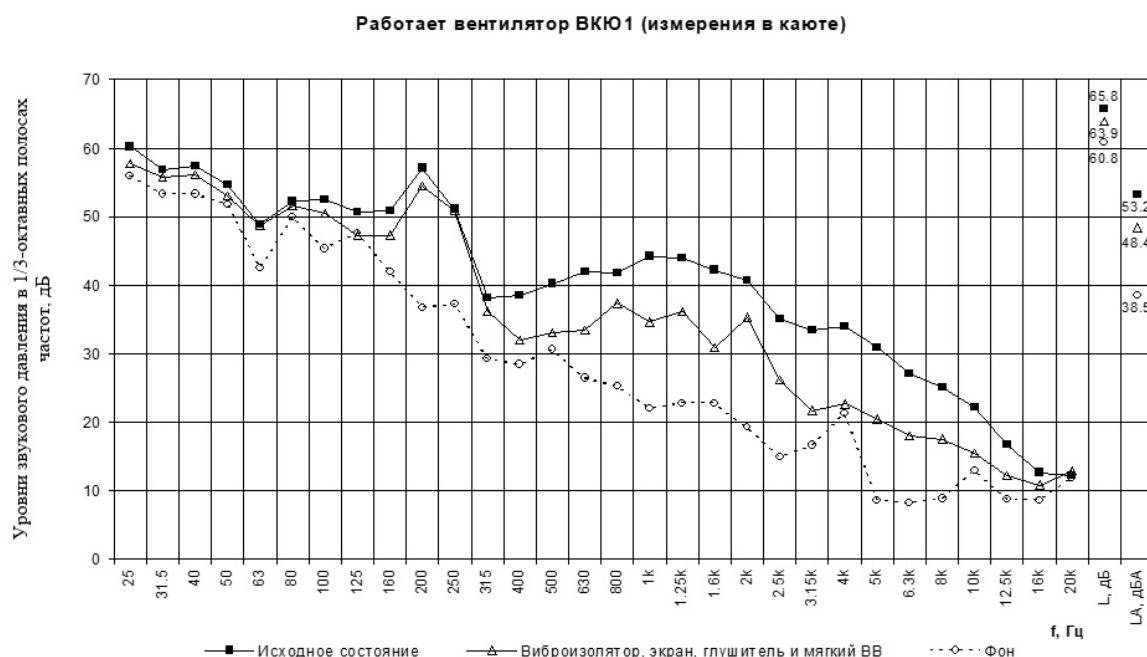


Рисунок 8 – Уровни шума в каюте от работы ВКЮ

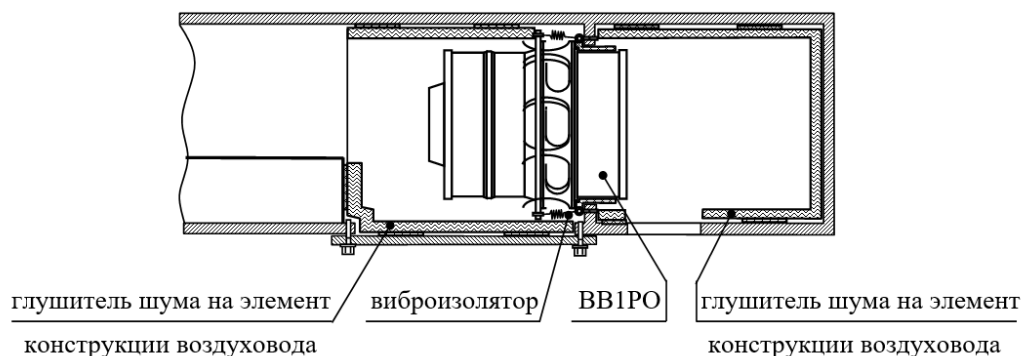


Рисунок 9 – Средства снижения шума в каюте от ВВ1РО

Измерения уровня звукового давления на автономных стендах проводились на расстоянии 1 м. Измерения внутри СМ проводились в контрольных измерительных точках, расположенных на продольной оси. Измерения в каюте проводились на уровне расположения головы космонавта. Все измерения проводились в соответствии со специальными методиками принятыми РКК «Энергия».

Акустические испытания показали (рисунок 10), что применение средств снижения шума, таких как глушители шума на входе и выходе вентилятора ВВ1РО, расположенные на элементах воздуховода, и виброизолятор приводят к снижению суммарного уровня звука на 10,6 дБА.

4 Шум от отдельно стоящих источников

Помимо прочих источников большой вклад в общий уровень шума в рабочем отсеке служебного модуля вносят отдельно стоящие вентиляторы приборного отсека (ВПО), вентиляторы аппаратуры (ВАП), вентилятор воздуховода переходной камеры (ВВПрК), система кондиционирования воздуха (СКВ), блок очистки атмосферы и электро-насосные

агрегаты контура обогрева (ЭНА КОБ).



Рисунок 10 – Уровни шума в каюте от работы ВВ1Р0

Вентилятор переходной камеры (ВПрК) и вентилятор воздуховода переходного отсека (ВВПхО) находятся внутри мягкого воздуховода и существенного вклада в уровень шума в СМ не вносят.

Вентилятор ассенизационной санитарной установки (ВСУ) работает в кратковременном режиме и не учитывается как источник постоянного шума.

Для отдельно стоящих вентиляторов в приборном отсеке (ВПО) были разработаны глушители шума жесткого типа с центральным телом, которые устанавливаются на входе и выходе вентилятора МО-2-5008 (ВПО) (рисунок 11).

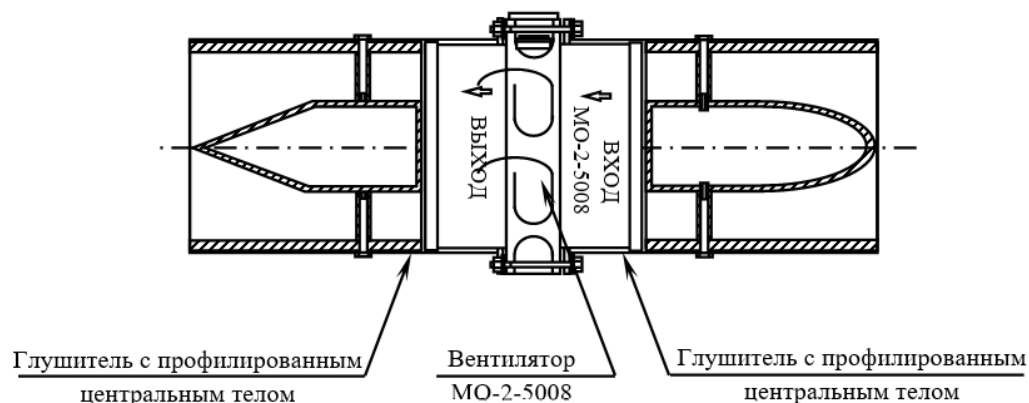


Рисунок 11 – Глушители шума жесткого типа с центральным телом на входе и выходе вентилятора МО-2-5008

На испытаниях глушители шума жесткого типа показали свою высокую эффективность (снижение шума 13,8 дБА).

Однако в процессе примерки этих глушителей на Служебном модуле выяснилось, что из-за расхождения архивных чертежей с реальным монтажом модуля, так называемым монтажом оборудования «по месту» глушители жесткого типа не удалось установить ни на один отдельно стоящий вентилятор.

Пришлось в срочном порядке разрабатывать глушители шума мягкого типа.

На рисунке 12 показаны глушители шума мягкого типа для отдельно стоящих вентиляторов.

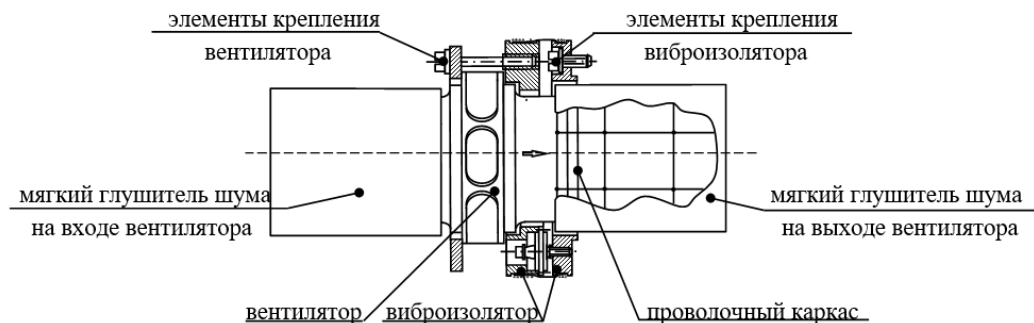


Рисунок 12 – Глушители шума мягкого типа без центрального тела на входе и выходе вентилятора МО-2-5008

На рисунке 13 представлены сравнительные испытания глушителей жесткого и мягкого типа.

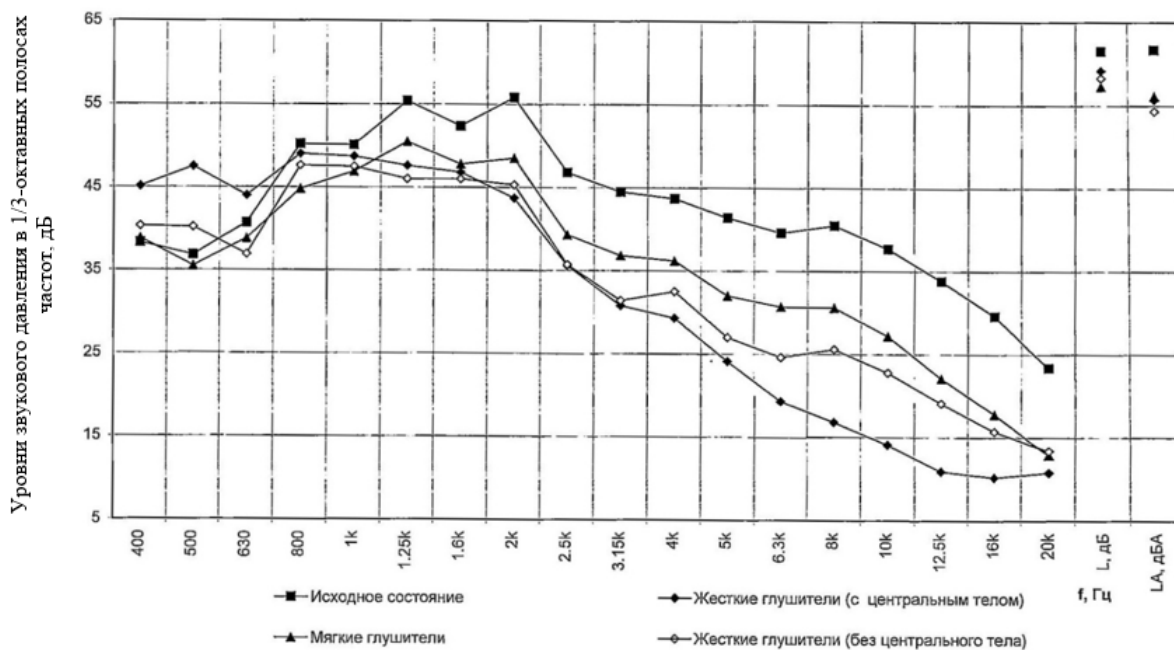


Рисунок 13 – Сравнительные испытания глушителей жесткого и мягкого типа

Из рисунка видно, что хотя глушители жесткого типа с центральным телом на частотах выше 1,25 кГц работают эффективнее глушителей мягкого типа, но по суммарному уровню отличия не значительные. Поэтому глушители мягкого типа стали основными средствами снижения шума от осевых вентиляторов на Служебном модуле.

На рисунках 14-20 представлены испытания отдельно стоящих вентиляторов без средств снижения шума (исходное состояние) и со средствами снижения шума.

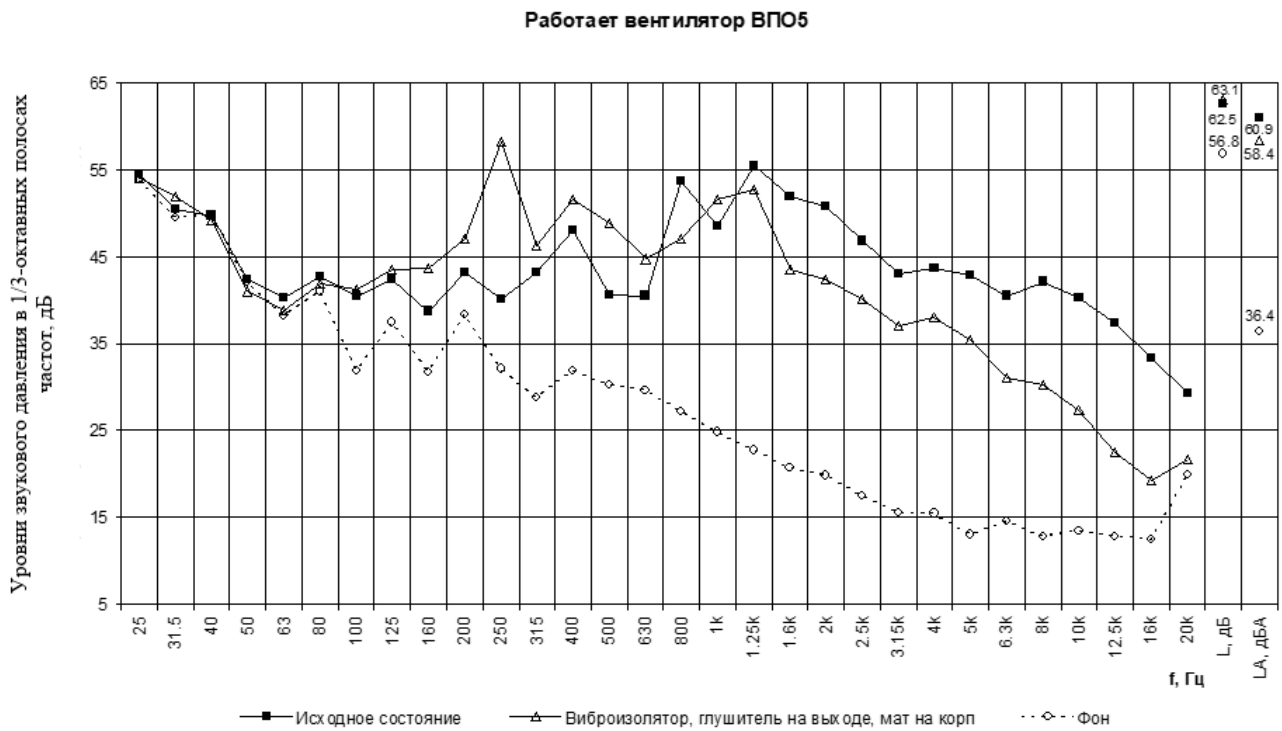


Рисунок 14 – Уровни шума от работы вентилятора ВПО5

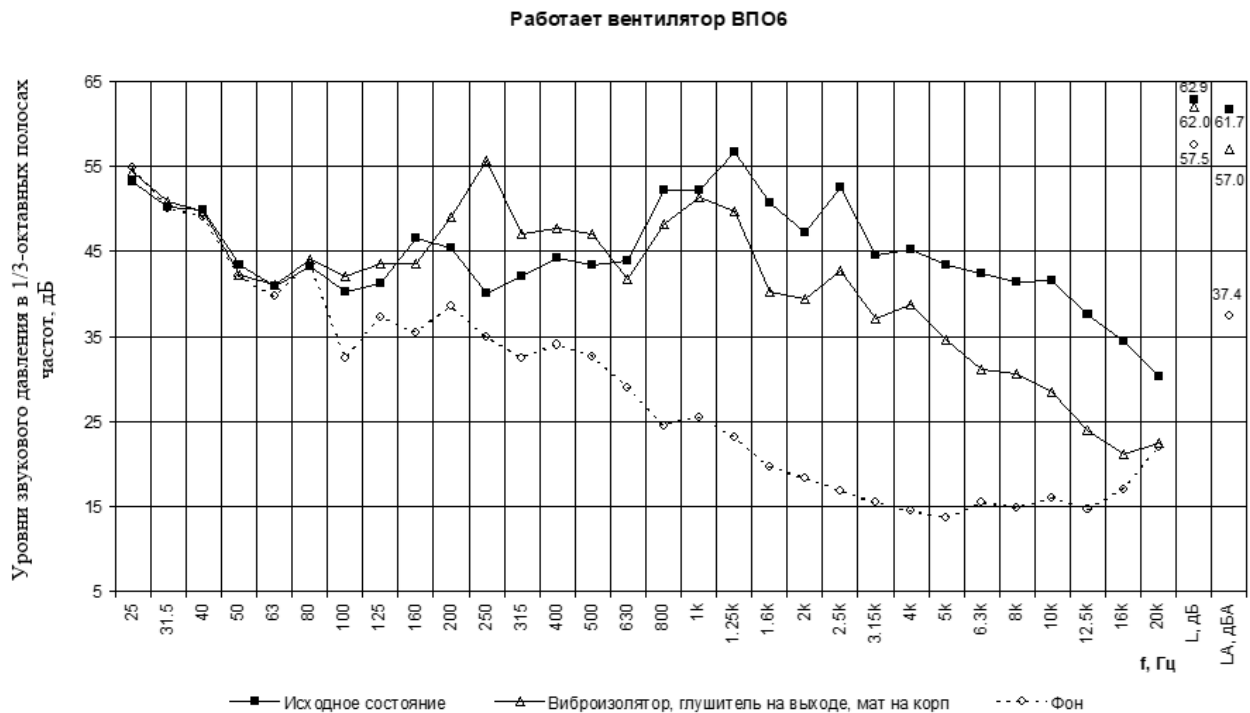


Рисунок 15 – Уровни шума от работы вентилятора ВПО6

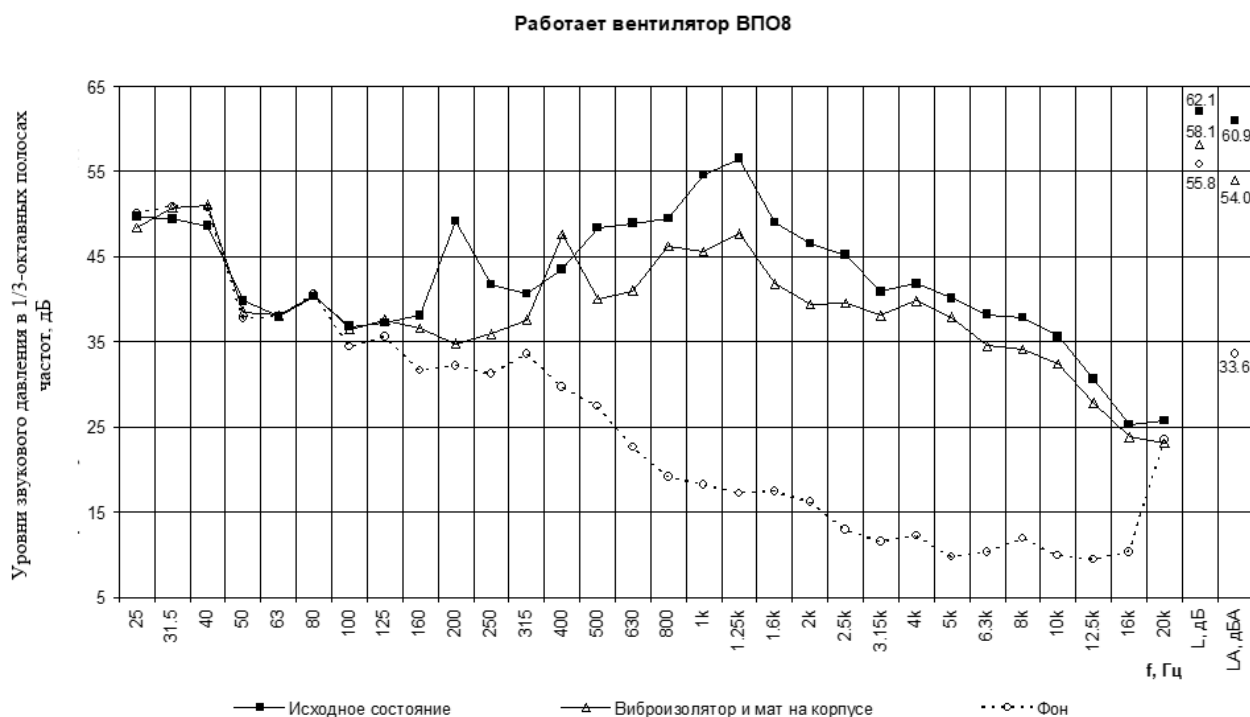


Рисунок 16 – Уровни шума от работы вентилятора ВПО8

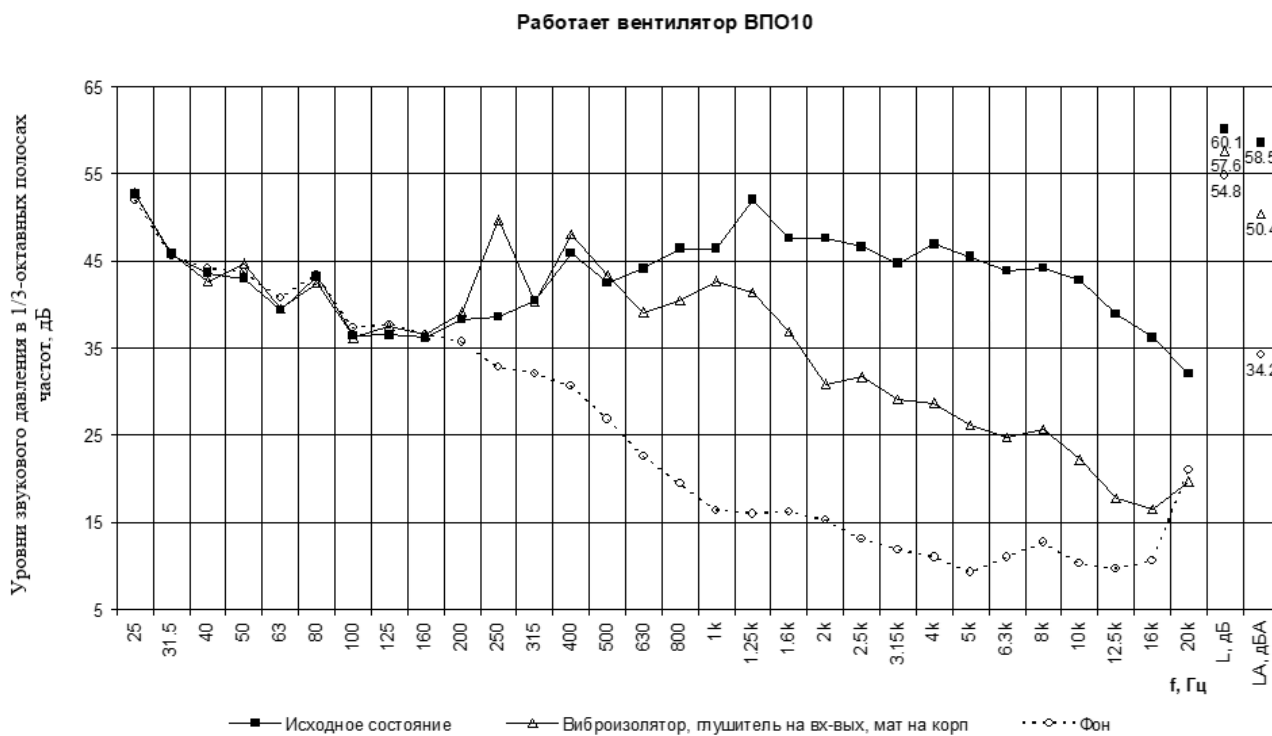


Рисунок 17 – Уровни шума от работы вентилятора ВПО10

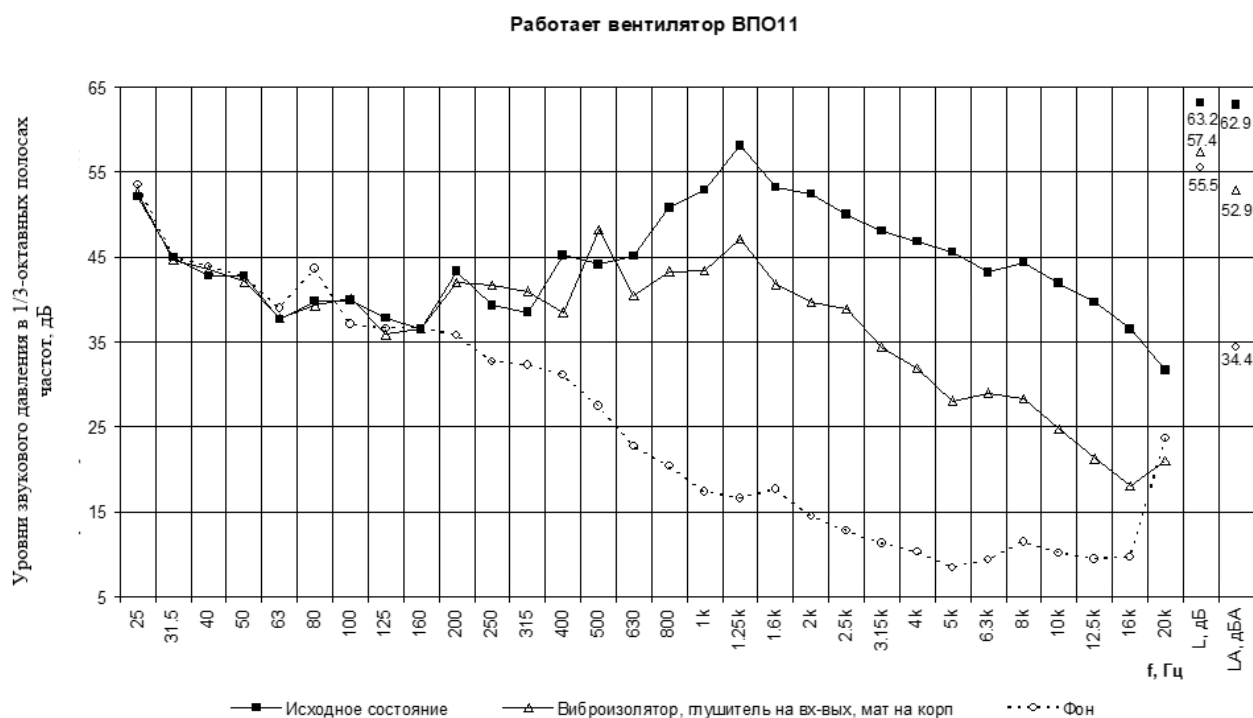


Рисунок 18 – Уровни шума от работы вентилятора ВПО11

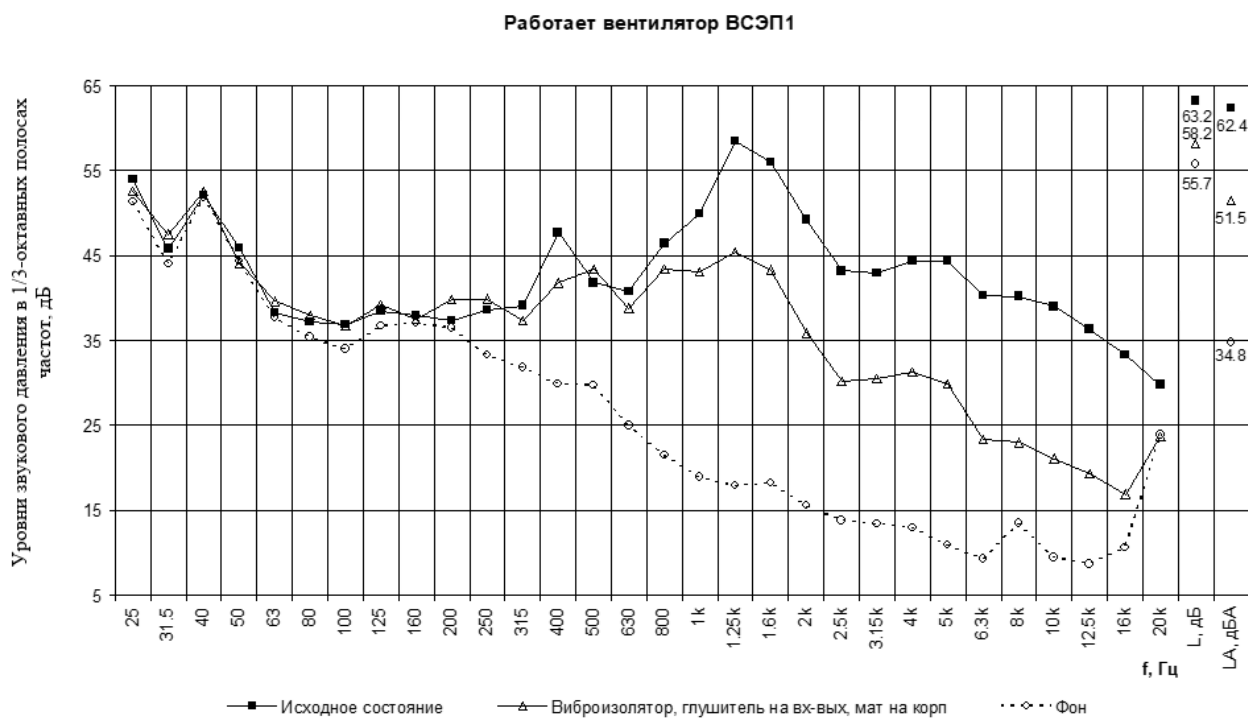
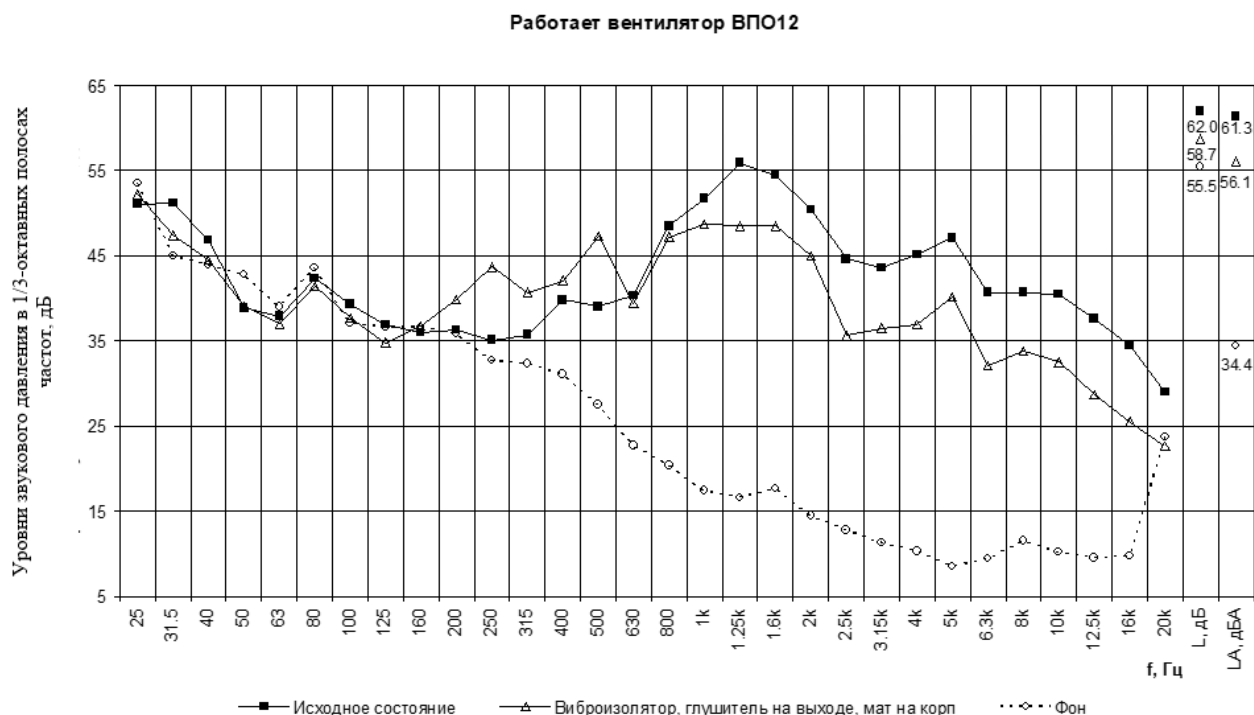


Рисунок 19 – Уровни шума от работы вентилятора ВСЭП1



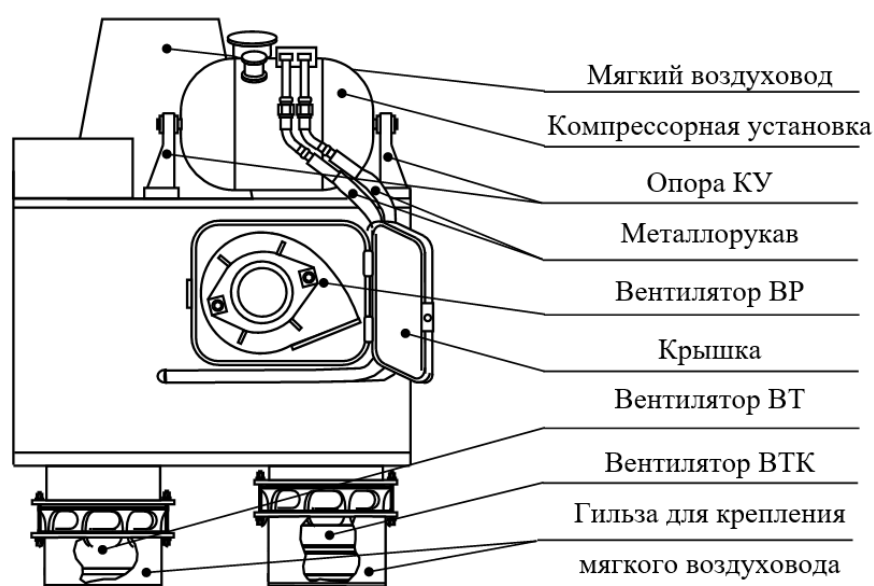
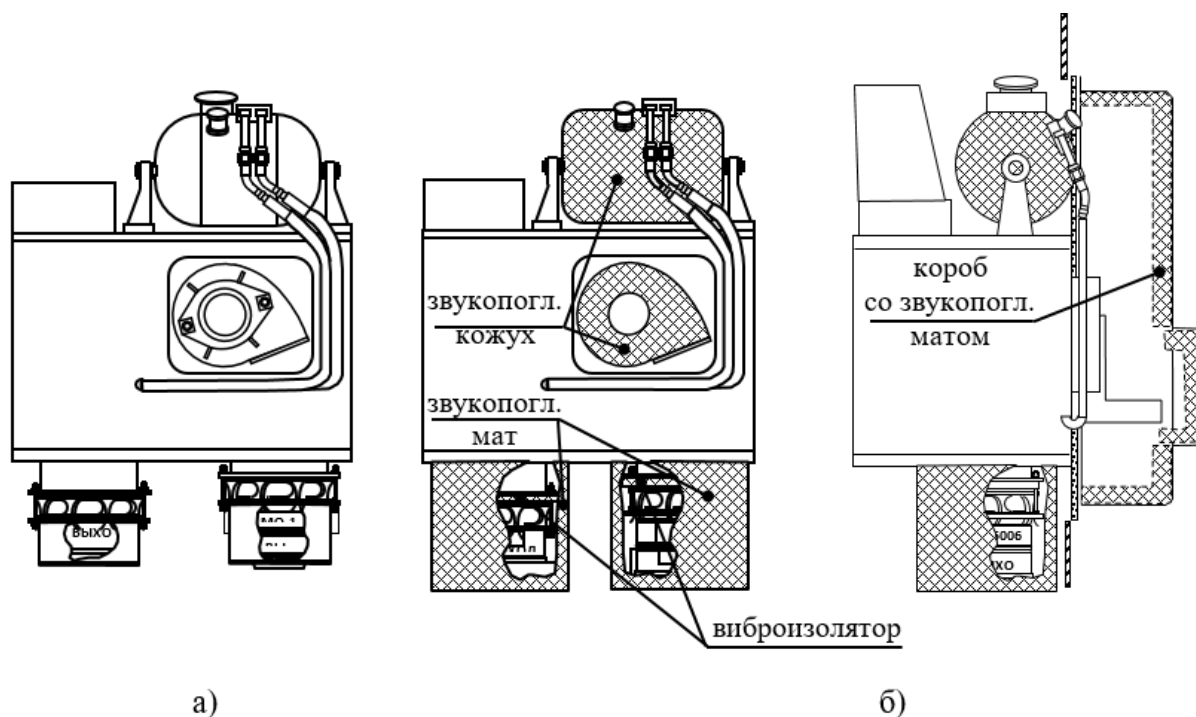


Рисунок 21 – Система кондиционирования воздуха СКВ1 (СКВ2)

Рисунок 22 – Средства снижения шума для системы кондиционирования воздуха (СКВ):
а) СКВ без средств снижения шума; б) со средствами снижения шума

Для исследования путей распространения шума, как воздушной его составляющей, так и структурной было проведено большое количество испытаний. В ходе этих испытаний было выявлено, что структурный шум от КУ распространяется как через жесткие опоры, так и по металлорукавам.

На рисунках 23-27 представлены испытания СКВ без средств снижения шума (исходное состояние) и со средствами снижения шума.

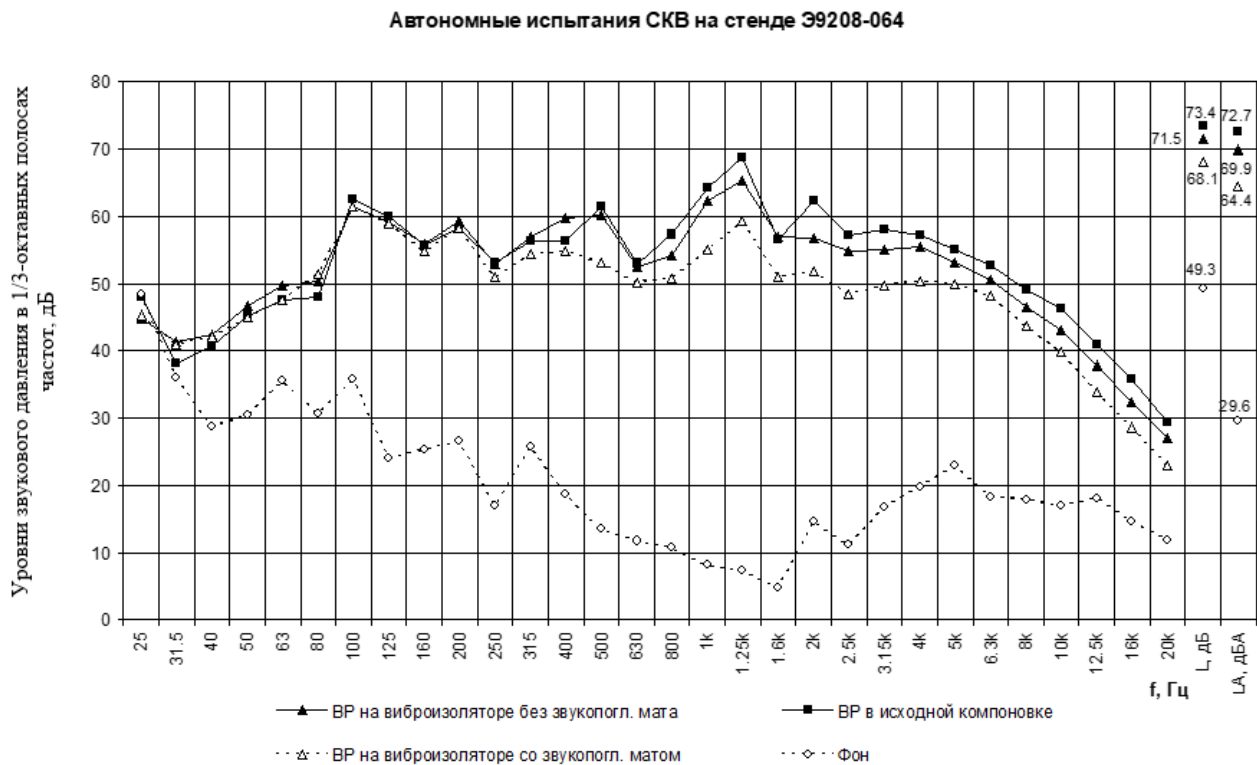


Рисунок 23 – Уровни шума от работы вентилятора ВР СКВ

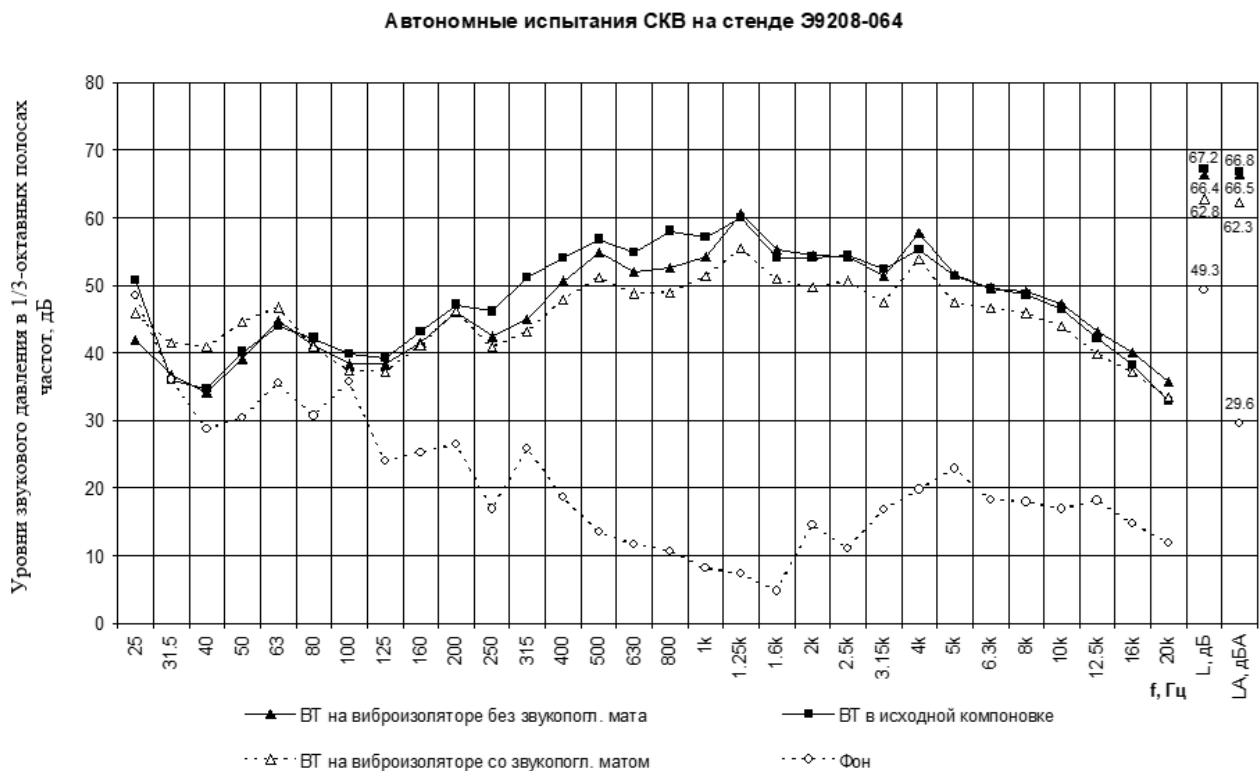


Рисунок 24 – Уровни шума от работы вентилятора ВТ СКВ

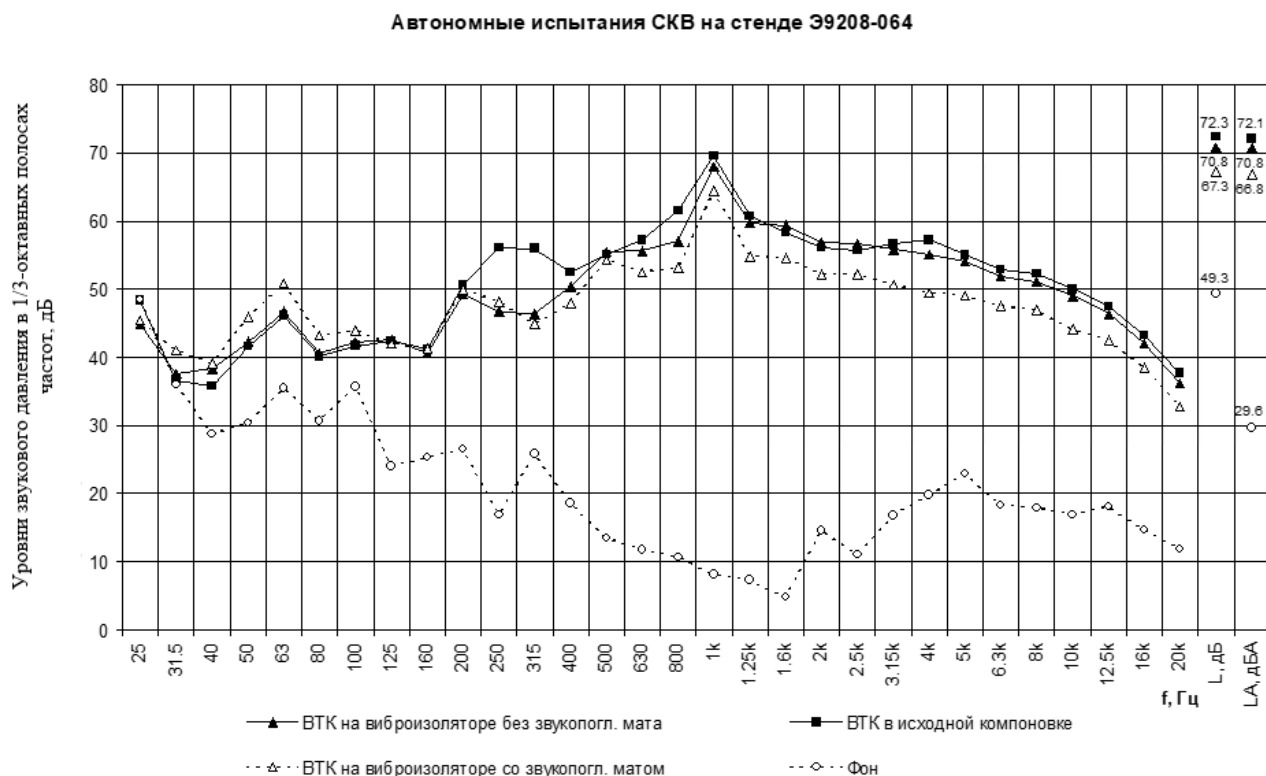


Рисунок 25 – Уровни шума от работы вентилятора ВТК СКВ

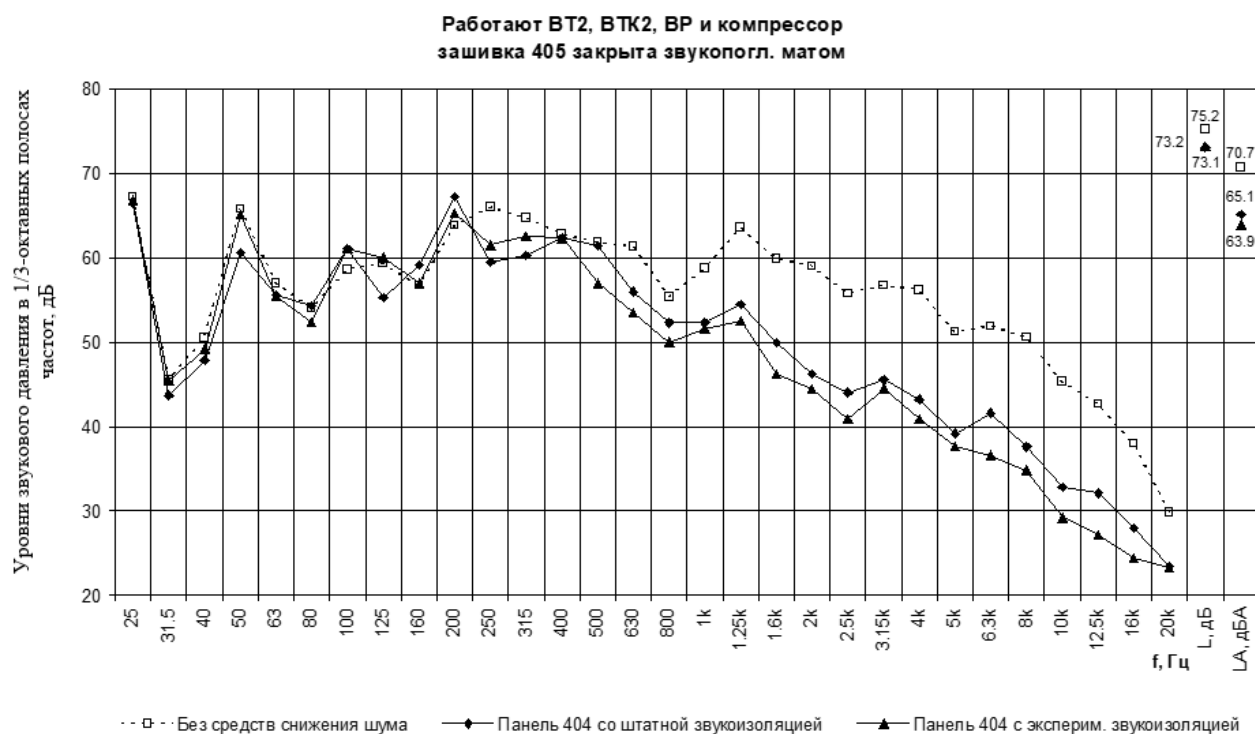


Рисунок 26 – Подбор звукопоглощающего пакета для панели интерьера СКВ

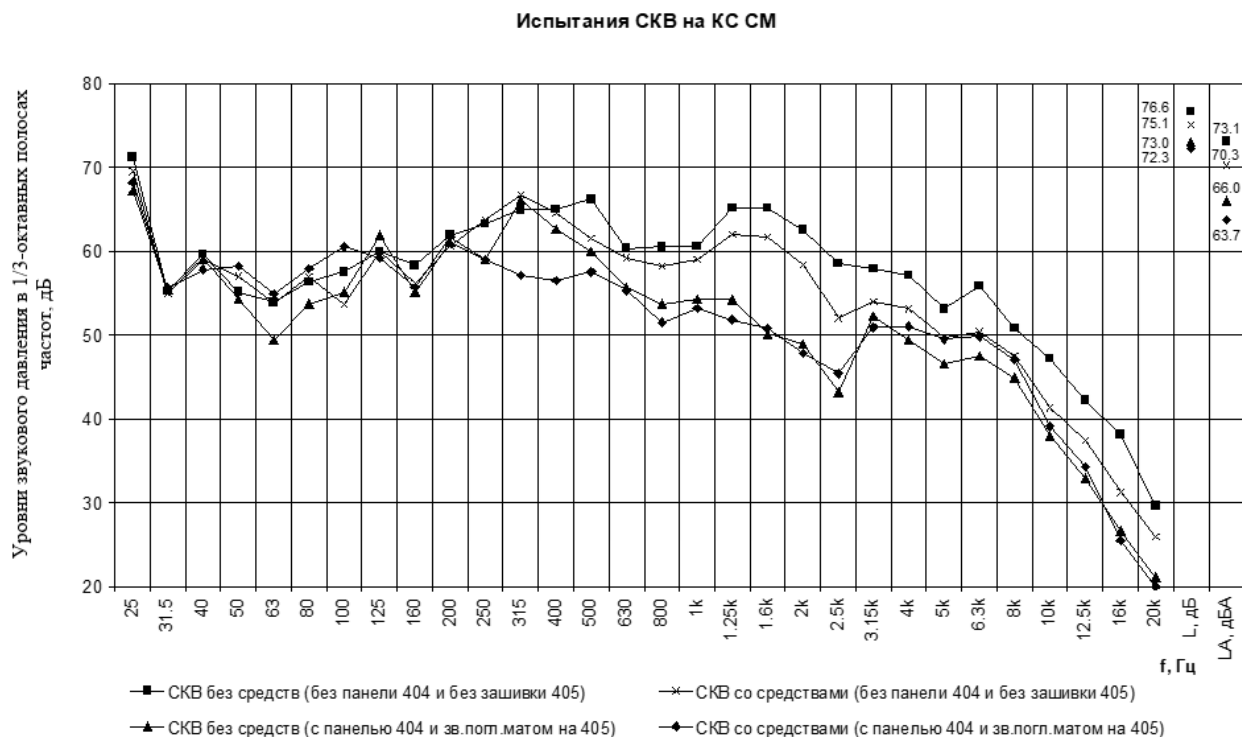


Рисунок 27 – Уровни шума от работы вентиляторов СКВ со средствами снижения шума и без средств снижения шума

Результаты испытаний показали (рисунки 23-27):

- установка виброизоляторов на ВТ и ВТК с одновременной установкой звукопоглощающих кожухов на ВР и КУ привело к снижению суммарного уровня звука с 73,1 дБА до 70,3 дБА, эффект снижения шума составил 2,5 дБА;
- применение доработанной панели интерьера 404 с одновременной установкой на зашивку 405 звукопоглощающего мата без остальных средств снижения шума привело к снижению суммарного уровня звука с 73,1 дБА до 66,0 дБА, эффект снижения шума составил 6,5 дБА;
- одновременное применение всех средств снижения шума привело к снижению суммарного уровня звука с 73,1 дБА до 63,7 дБА, эффект снижения шума составил 9,5 дБА.

6 Шум от системы «Воздух»

Одной из составных частей системы очистки газового состава (СОГС) является система очистки атмосферы от углекислого газа «Воздух» (рисунок 28). Принцип работы системы основан на поглощении углекислого газа в слое сорбента, расположенного в поглотительных патронах системы, при продувании через него потока воздуха. Удаление адсорбированного углекислого газа из поглотительных патронов осуществляется по магистрали вакуумной регенерации в заборное космическое пространство.

Для снижения уровня шума от системы «Воздух» были разработаны следующие средства: для блока клапанов на лицевой панели и нагнетателя – звукоизолирующие кожухи, а для вакуумного насоса звукоизолирующий воздухопровод (рисунок 29-31). Для получения экспериментальных данных по снижению шума был изготовлен макет звукоизолирующего кожуха на лицевую панель блока клапанов системы «Воздух», представляющий из себя стальную оболочку толщиной 1 мм со звукопоглощающим вкладышем из материала АТМ-10 толщиной 10мм.

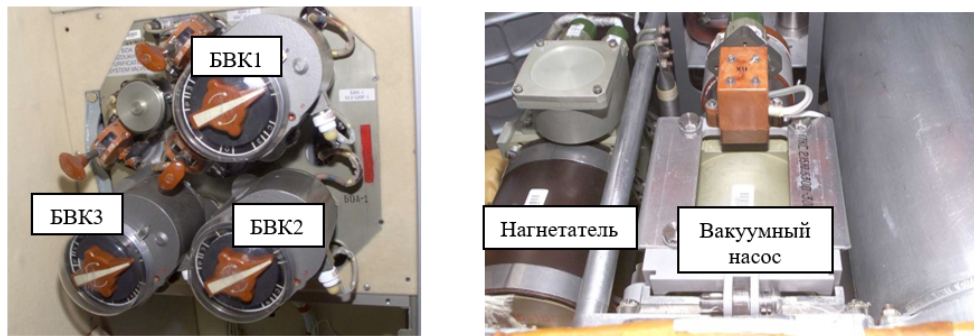


Рисунок 28 – Система очистки атмосферы от углекислого газа «Воздух»

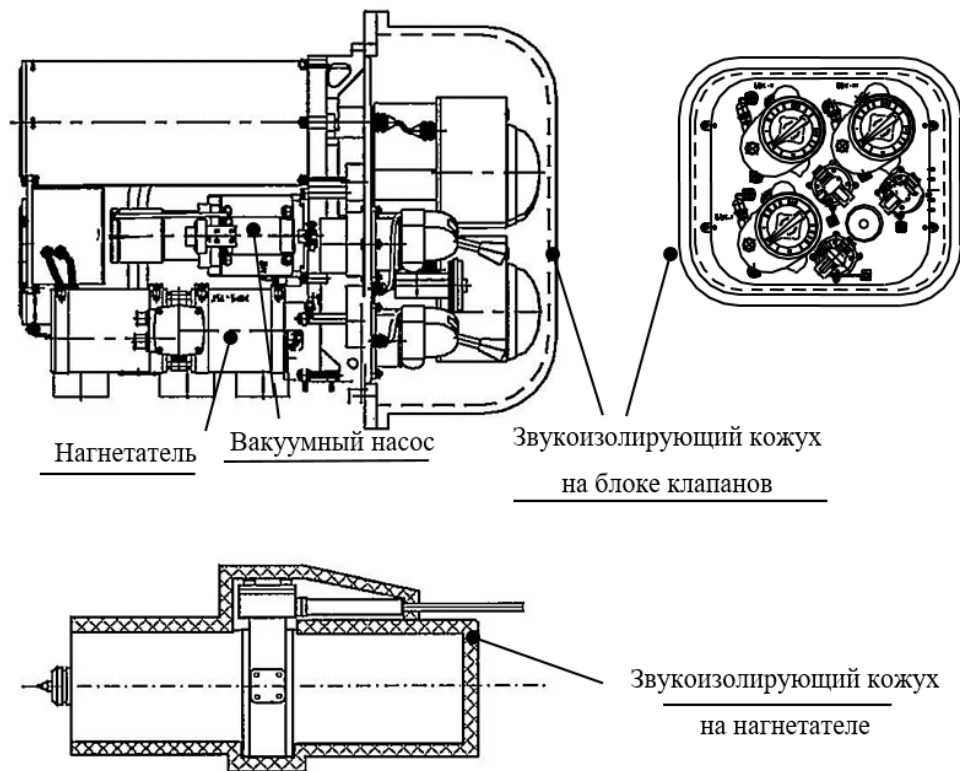


Рисунок 29 – Средства снижения шума от системы «Воздух»

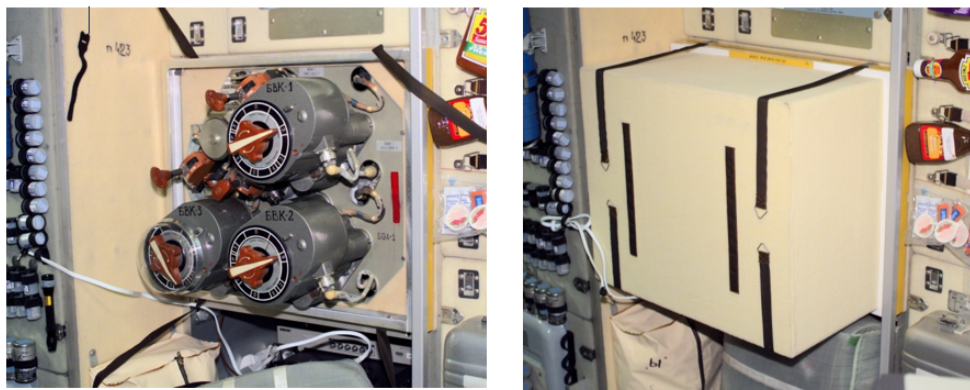


Рисунок 30 – Панель блока клапанов системы «Воздух» до и после установки звукоизолирующего кожуха



Рисунок 31 – Нагнетатель системы «Воздух» до и после установки звукоизолирующего мата и кожуха

На рисунке 32 представлены испытания системы «Воздух».

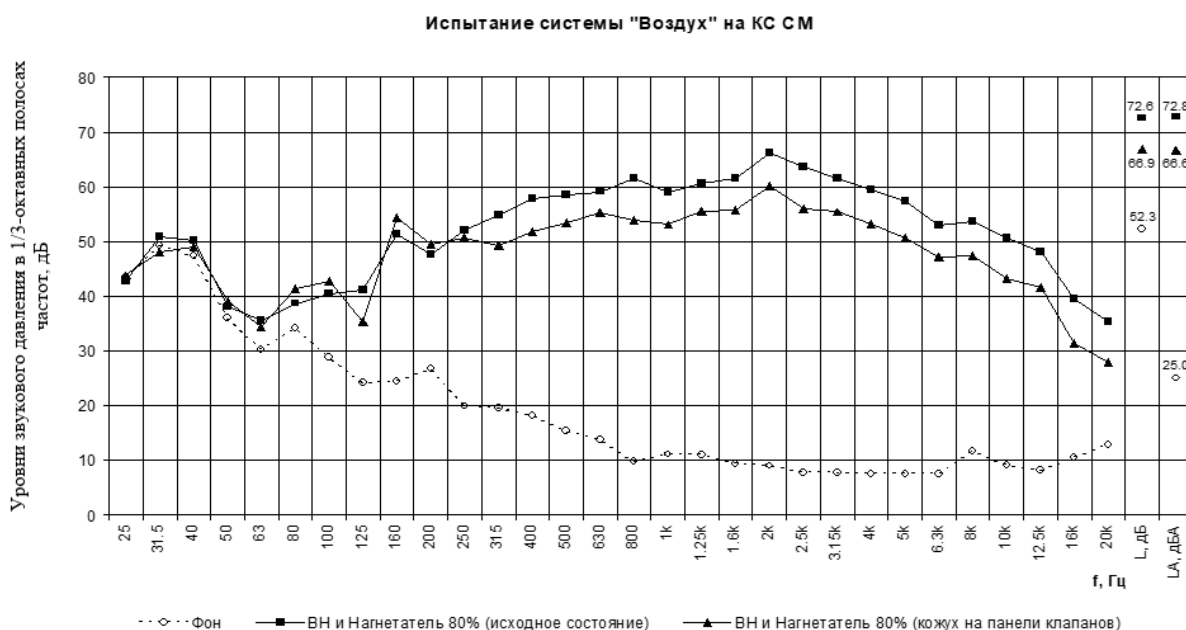


Рисунок 32 – Уровни шума от работы системы «Воздух» до и после установки звукоизолирующего кожуха

Результаты испытаний показали (рисунок 32):

– установка звукопоглощающего кожуха на блок клапанов системы «Воздух» привело к снижению суммарного уровня звука с 72,8 дБА до 66,6 дБА, эффект снижения шума составил 6,2 дБА.

Следующим этапом по снижению шума была разработка и внедрение малозумных вентиляторов и средств снижения скорости вращения вентиляторов. На рисунке 33 показан блок регулировки угловой скорости вращения вентилятора (БРУС), установленный в каютах СМ. Пошаговое переключение скорости вращения вентилятора обеспечило разную скорость подачи воздуха в каюту от довольно мощного потока до легкого дуновения. По мере снижения скорости снижается и уровень шума.



Рисунок 33 – Блок регулировки угловой скорости вращения вентилятора

Заключение

Снижение шума в обитаемых космических аппаратах по-прежнему остается одной из важнейших задач, решение которой позволяет сделать возможным существование людей за пределами Земли. С новой волной освоения космоса эта задача становится все более важной.

Внедрение разработанных средств снижения шума на служебном модуле Международной космической станции (рисунок 34) позволило уменьшить шумовую нагрузку до приемлемых уровней и обеспечило комфортные условия работы и проживания космонавтов.

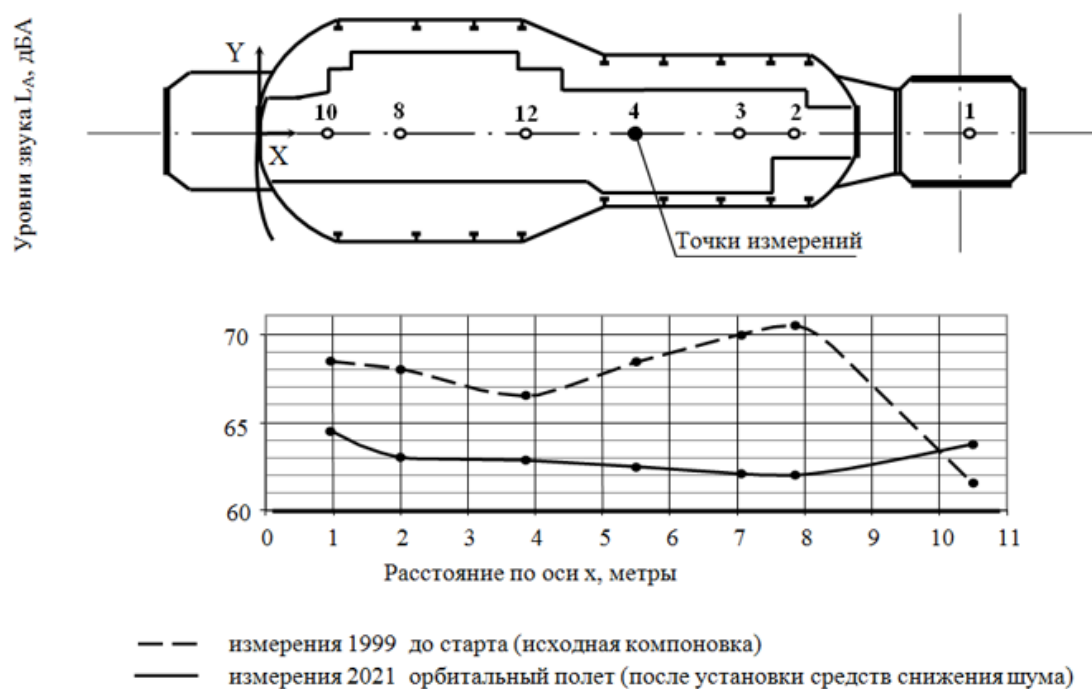


Рисунок 34 – Уровни шума в СМ МКС до и после установки средств снижения шума

Опыт работы позволяет говорить о том, что аналогичные средства снижения шума найдут свое применение и для вновь разрабатываемых космических аппаратов и модулей станций.

Список использованных источников

1. ГОСТ Р 50804-95. Среда обитания космонавта в пилотируемом космическом аппарате. Общие медико-технические требования. - М.: Стандартиформ, 1995. - 121 с.
2. SSP50094. Объединенный документ НАСА/РКА по спецификациям и стандартам для Российского сегмента МКС, 1997. - 75 с.
3. RU патент N 2287092 С2, от 10.11.2006 г. Устройство снижения шума от осевого вентилятора космического объекта / В.А. Болотин, В.И. Круглов, А.В. Сычев ; Зарегистрировано в Государственном реестре изобретений Российской Федерации. - 6 с.
4. Куклина Е.Н., Потехин В.В., Дементьев В.К., Сычев А.В. Оценка шума в обитаемых модулях пилотируемых космических аппаратов на стадии проектирования // В сб.: Новое в теоретической и прикладной акустике. - СПб.: БГТУ-«ВОЕНМЕХ», 2001. - 322 с.
5. Олейников А.Ю. Акустическая защита на борту пилотируемых космических станций : автореф. дис. ... канд. тех. наук: 01.04.06 / Олейников Алексей Юрьевич. - СПб., 2007. - 27 с.
6. Иванов Н.И., Олейников А.Ю. Шум на борту космической станции // Безопасность жизнедеятельности. - 2006. - N 12. - С. 1-6.
7. Lanoye R., De Bree H.E., Lauriks W., Vermeier G. 'A practical device to determine the reflection coefficient of acoustic materials in-situ based on a Microflowm and microphone sensor'. ISMA, 2004.
8. Зайцев К.И., Половнев А.Л., Пушкин С.Д., Нагибин Н.С., Сычев А.В. Метод определения звукоизолирующих свойств локально реагирующих материалов in situ // Космическая техника и технологии, - 2024. - Т. 3, N 46. - С. 5-14.
9. Limardo-Rodriguez J.G., Allen C.S., Danielson R.W. Status: crewmember noise exposures on the international space station (Bellevue, Washington 12-16 July 2015). - In 45th International Conference on Environmental Systems, 2015.
10. Clark J.B. Acoustic issues in human spaceflight. - Houston: NASA Johnson Space Center, 2001.
11. National Aeronautics and Space Administration (NASA). NASA spaceflight human-system standard Volume 2: Human Factors, Habitability, and Environmental Health Standards, 2011. - 194 p.
12. Davis J.R., Stepanek J, Fogarty J.A., Blue R.S. Fundamentals of Aerospace Medicine. 5th ed. Wolters Kluwer, 2022. - 878 p.
13. Barisano G, Sepehrband F, Collins H.R., et al. The effect of prolonged spaceflight on cerebrospinal fluid and perivascular spaces of astronauts and cosmonauts. Proc. Natl. Acad. Sci. U.S.A. - 2022. - Vol. 119, N 17. - P. 1-3.
14. Weier M.H. The association between occupational exposure to hand-arm vibration and hearing loss: a systematic literature review. Saf Health Work. - 2020. - Vol. 11, N 3. - P. 249-261.
15. Goodman J.R., Grosveld F.W. Acoustics and noise control in space crew compartments. - Oxford: Oxford University Press (OUP), 2015, - 573 p.
16. Ahmet Ugur Avcı. Hearing Loss in Space Flights: A Review of Noise Regulations and Previous Outcomes // The Journal of International Advanced Otology. - 2024. - Vol. 20, N 2. - P. 171-174.

1. GOST R 50804-95. The habitat of the astronaut in a manned spacecraft. General medical and technical requirements. - Moscow: Standartinform, 1995. - 121 p.
2. SSP50094. The combined document of the NASA/RKA according to the specifications and standards for the Russian ISS segment, 1997. - 75 p.
3. RU Patent N 2287092 C2, dated November 10, 2006. A device for a decrease in noise from the axial fan of the space object / V.A. Bolotin, V.I. Kruglov, A.V. Sychev; Registered in the State Register of Inventions of the Russian Federation. - 6 p.
4. Kuklina E.N., Potekhin V.V., Dementyev V.K., Sychev A.V. Assessment of noise in the inhabited modules of manned spacecraft at the design stage // In: New Developments in Theoretical and Applied Acoustics. - St. Petersburg: BSTU 'VOENMEKH', 2001. - 322 p.
5. Oleinikov A.Yu. Acoustic protection on board the manned space stations: abstract of diss. ... Cand. of Tech. Sci.: 01.04.06 / Oleinikov Aleksei Yurievich. - St. Petersburg, 2007. - 27 p.
6. Ivanov N.I., Oleinikov A.Yu. Noise on board the space station // Life Safety and Environment. - 2006. - N 12. - P. 1-6.
7. Lanoye R., De Bree H.E., Lauriks W., Vermeier G. 'A practical device to determine the reflection coefficient of acoustic materials in-situ based on a Microflowm and microphone sensor'. ISMA, 2004.
8. Zaitsev K.I., Polovnev A.L., Pushkin S.D., Nagibin N.S., Sychev A.V. Method of determining the soundproofing properties of local reacting materials in situ // Spacecraft Engineering and Technologies, - 2024. - Vol. 3, N 46. - Pp. 5-14.
9. Limardo-Rodriguez J.G., Allen C.S., Danielson R.W. Status: crewmember noise exposures on the international space station (Bellevue, Washington 12-16 July 2015). - In 45th International Conference on Environmental Systems, 2015.
10. Clark J.B. Acoustic issues in human spaceflight. - Houston: NASA Johnson Space Center, 2001.
11. National Aeronautics and Space Administration (NASA). NASA spaceflight human-system standard Volume 2: Human Factors, Habitability, and Environmental Health Standards, 2011. - 194 p.
12. Davis J.R., Stepanek J, Fogarty J.A., Blue R.S. Fundamentals of Aerospace Medicine. 5th ed. Wolters Kluwer, 2022. - 878 p.
13. Barisano G, Sepehrband F, Collins H.R., et al. The effect of prolonged spaceflight on cerebrospinal fluid and perivascular spaces of astronauts and cosmonauts. Proc. Natl. Acad. Sci. U.S.A. - 2022. - Vol. 119, N 17. - P. 1-3.
14. Weier M.H. The association between occupational exposure to hand-arm vibration and hearing loss: a systematic literature review. Saf Health Work. - 2020. - Vol. 11, N 3. - P. 249-261.
15. Goodman J.R., Grosveld F.W. Acoustics and noise control in space crew compartments. - Oxford: Oxford University Press (OUP), 2015, - 573 p.
16. Ahmet Ugur Avci. Hearing Loss in Space Flights: A Review of Noise Regulations and Previous Outcomes // The Journal of International Advanced Otology. - 2024. - Vol. 20, N 2. - P. 171-174.