

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования
«Балтийский государственный технический университет «ВОЕНМЕХ» им. Д.Ф. Устинова»
(БГТУ «ВОЕНМЕХ» им. Д.Ф. Устинова)

ДОПУСКАЕТСЯ К ЗАЩИТЕ:

Заведующий кафедрой _____ О1

Н.И. Иванов

Фамилия ИО

подпись

« _____ » _____ 2019 г.

МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ

Чернявской Дарьи Дмитриевны

Фамилия, имя, отчество обучающегося

На тему Улучшение акустических параметров вентиляционного канального
глушителя с цилиндрической звукопоглощающей вставкой

Направление подготовки

20.04.01

код

Техносферная безопасность

полное наименование направления

Магистерская программа

Инженерная защита окружающей среды

наименование магистерской программы

Руководитель магистерской диссертации

К.Т.Н., доцент

Ученая степень, ученое звание

Олейников А.Ю.

подпись

Фамилия И.О.

« _____ » _____ 20 _____ 19 г.

Руководитель магистерской программы

д.т.н., профессор

Ученая степень, ученое звание

Иванов Н.И.

подпись

Фамилия И.О.

« _____ » _____ 20 _____ 19 г.

Обучающийся

Чернявская Д.Д.

подпись

Фамилия И.О.

« _____ » _____ 2019 г.

Консультанты

подпись

Фамилия И.О.

подпись

Фамилия И.О.

подпись

Фамилия И.О.

САНКТ-ПЕТЕРБУРГ

2019 г.

РЕФЕРАТ

Отчёт 125 с., 4ч., 32 рис., 11 табл., 27 источников, 1 приложение.

ШУМОГЛУШИТЕЛИ, КАНАЛЬНЫЕ ГЛУШИТЕЛИ ШУМА, ВЕНТИЛЯЦИОННЫЕ СИСТЕМЫ, АКУСТИЧЕСКИЕ ИЗМЕРЕНИЯ, АЭРОДИНАМИЧЕСКИЕ ИЗМЕРЕНИЯ, ПОЛУЗАГЛУШЕННАЯ КАМЕРА, ЭФФЕКТИВНОСТЬ ШУМОГЛУШИТЕЛЯ.

Объектом исследования является каналный глушитель шума с центральной цилиндрической звукопоглощающей вставкой, предназначенный для обеспечения максимального комфорта, при использовании систем вентиляции и кондиционирования.

Цель работы - разработка проекта вентиляционного диссипативного каналного глушителя шума с цилиндрической центральной вставкой, который позволит увеличить эффективность шумоглушения за счёт своей конструкции.

В процессе работы проводились акустические и аэродинамические испытания, проектируемого вентиляционного каналного глушителя с цилиндрической звукопоглощающей вставкой.

В результате исследования были получены акустические и аэродинамические характеристики, которые позволили внести изменения в конструкцию, что позволило улучшить эффективность глушителя.

СОДЕРЖАНИЕ

СПИСОК СОКРАЩЕНИЙ	4
ВВЕДЕНИЕ	6
Глава 1. Устройство шумоглушения в системах вентиляции.....	10
1.1 Системы вентиляции	10
1.2 Шумоглушители систем вентиляции и кондиционирования.	23
1.3 Аналитический обзор шумоглушителей с цилиндрической центральной вставкой.	35
Глава 2. Конструкция опытного образца канального глушителя шума с центральной цилиндрической звукопоглощающей вставкой.....	51
Глава 3. Методика измерения опытного образца канального глушителя шума с центральной цилиндрической звукопоглощающей вставкой в заглушенной камере со звукоотражающим полом	56
3.1 Методика измерения опытного образца канального шума с центральной цилиндрической звукопоглощающей вставкой.....	56
3.2 Назначение акустического стенда	63
3.3 Основные технические данные полузаглушенной камеры.....	63
3.4 Конструкция и принцип работы	65
Глава 4. Результаты акустических и аэродинамических испытаний опытного образца канального глушителя шума с центральной цилиндрической звукопоглощающей вставкой CSC	77
4.1. Результаты акустических испытаний опытного образца канального глушителя шума	77
4.2 Результаты аэродинамических испытаний опытного образца канального глушителя шума.....	84
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	90
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ	92
ПРИЛОЖЕНИЕ	95

СПИСОК СОКРАЩЕНИЙ

АС – Акустический стенд;

$K_{ж.с.}$ – коэффициент живого сечения;

МФ – микрофон;

СНиП – Строительные нормы и правила;

УЗД – Уровень звукового давления, дБ;

УЗ – Уровень звука, дБ(А);

УХЛ 1 :

УХЛ – категория климатических исполнений, для

макроклиматических районов с умеренным и холодным климатом;

1 – для эксплуатации на открытом воздухе.

CSA – Шумоглушители для круглых воздуховодов с цилиндрическим корпусом производства «Арктос»;

CSC – Шумоглушители для круглых воздуховодов с центральной цилиндрической звукопоглощающей вставкой с прямоугольным корпусом производства «Арктос»;

CSD – Шумоглушители для круглых воздуховодов с цилиндрическим корпусом дополнительной звукопоглощающей пластиной производства «Арктос»;

CSH – Угловые шумоглушители для круглых воздуховодов с прямоугольным корпусом, присоединительные патрубки расположены перпендикулярно друг другу в горизонтальной плоскости производства «Арктос»;

CSI – Шумоглушители для круглых воздуховодов с прямоугольным корпусом дополнительной звукопоглощающей пластиной производства «Арктос»;

CSR – Шумоглушители для круглых воздуховодов с прямоугольным корпусом производства «Арктос»;

CSU – Угловые шумоглушители для круглых воздуховодов с цилиндрическим корпусом производства «Арктос»;

CSV – Угловые шумоглушители для круглых воздуховодов с прямоугольным корпусом, соединительные патрубки расположены перпендикулярно друг другу в вертикальной плоскости производства «Арктос»;

RSA - Шумоглушители для прямоугольных воздуховодов с прямоугольным корпусом дополнительной звукопоглощающей пластиной производства «Арктос».

ВВЕДЕНИЕ

Качество жизни людей обеспечивается их комфортным и безопасным пребыванием преимущественно внутри различных по назначению зданий. Уровень шума при работе систем вентиляции является важным показателем и одним из основных источников нарушения комфортного состояния.

По мере развития строительства, человек на производстве, в быту и на отдыхе подвергается интенсивному шумовому воздействию, которое настолько велико, что в литературе появился термин «акустическая экспансия»[1,2], а его снижение рассматривается как важнейшая составляющая комплекса экологических проблем.

Шумовое состояние окружающей среды оказывает существенное воздействие на человека и сравнивается с таким воздействием, как разрушение озонового слоя или кислотными дождями. За счет повышенного шума увеличивается заболеваемость в городах, уменьшается продолжительность жизни, снижается производительность труда. Поэтому не случайно шумовое воздействие нормируется во всех странах мира. В России закон «Об охране атмосферного воздуха» рассматривает шумовое воздействие на окружающую среду среди таких негативных факторов, как радиоактивное и электромагнитное воздействие, а также воздействие выбросов вредных газообразных и твердых веществ.

Отсутствие необходимого уровня защиты от шума уже сейчас приводит к ситуации, когда негативное воздействие шума из простого раздражающего фактора переходит в фактор прямой угрозы качеству жизни в условиях городской среды. Возникая на отдельных территориях, подобный акустический конфликт, наряду с другими экологическими стрессами, неминуемо становится существенным препятствием на пути социально-экономического развития этих районов.

Актуальность работы. Шум от систем вентиляции и кондиционирования в местах постоянного пребывания людей может

превышать допустимый уровень. И это, в свою очередь, не позволяет человеку чувствовать себя комфортно в помещении, что напрочь перечёркивает предназначение систем вентиляции. Чтобы обеспечить комфортные условия микроклимата и в то же время не мешать работе или отдыху людей, необходимо обеспечить уровень шума вентиляции не больше нормированного.

Источниками шума являются вентиляторы, воздуховоды, клапаны и заслонки, т.е. почти всё вентиляционное оборудование.

Во избежание дополнительной генерации шума следует использовать элементы, приводящие к снижению шума: плавные повороты и их облицовка, установка шумоглушителей, плавные изменения сечения воздуховодов и т.д.

При проектировании систем вентиляции и кондиционирования одной из основных проблем, возникающих перед инженером или проектировщиком, становится рациональный подбор глушителя шума [3].

Цель данной выпускной квалификационной работы состоит в разработке конструкции вентиляционного диссипативного канального глушителя шума с цилиндрической центральной вставкой, который позволит увеличить эффективность шумоглушения.

Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие задачи:

1. Ознакомиться с зарубежными аналогами шумоглушителей с центральной цилиндрической звукопоглощающей вставкой.
2. Разработать конструкцию и выбрать оптимальные параметры опытного образца канального глушителя шума с центральной цилиндрической звукопоглощающей вставкой.
3. Провести первичные акустические статические и динамические измерения опытного образца канального глушителя шума с центральной цилиндрической звукопоглощающей вставкой с

использованием измерительных полусфер двух различных радиусов (1 и 2 м) и трем измерительным точкам.

4. Определить эффективность опытного образца канального глушителя шума с центральной цилиндрической звукопоглощающей вставкой при проведении статических испытаний при подаче на акустический излучатель сигнала розового шума.
5. Определить эффективность выше указанного вентиляционного глушителя шума при проведении динамических испытаний при работе вентилятора в режиме подачи и удаления воздуха.
6. Измерить аэродинамические характеристики шумоглушителя высокой эффективности для определения оптимальной формы обтекателя центральной цилиндрической звукопоглощающей вставки.

Объектом исследования является канальный глушитель шума с центральной цилиндрической звукопоглощающей вставкой, предназначенный для обеспечения максимального комфорта, при использовании систем вентиляции и кондиционирования.

Достоверность результатов. Для решения задач была использована «Методика определения величины снижения шума шумоглушителями и воздухораспределительными устройствами», разработанная в испытательном центре научно-исследовательской лаборатории аэродинамики и акустики, которая учитывает специфику проведения измерений в заглушенной камере со звукоотражающим полом. В соответствии с ГОСТ 28100-2007 эффективность глушителя определялась как снижение уровня звуковой мощности в воздуховоде позади испытуемого объекта, обусловленное установкой испытуемого объекта вместо замещающего воздуховода, то есть использовался метод замещения. Вклад обходных путей прохождения звука и учет их влияния на результат измерений проводился в соответствии с требованиями ГОСТ 28100-2007 (ИСО 7235:2003). Метод измерений в основном соответствует требованиям ГОСТ 52799-2007 (ИСО 11691:1995).

Присутствует отличие в расположении измерительных точек, но при этом отличие не принципиальное, так как используется сравнительный метод измерений.

Научная новизна работы состоит в следующем:

1. Новая конструкция канального глушителя шума с центральной цилиндрической звукопоглощающей вставкой отличается от шумоглушителей, выпускаемых зарубежными фирмами. Конструкция имеет прямоугольную форму наружного корпуса, что позволяет увеличить эффективность шумоглушения в области низких частот.
2. Сделан акцент на выборе угла раскрытия конуса обтекателя согласно аэродинамическим испытаниям.
3. Результаты экспериментальных исследований акустических и аэродинамических характеристик новых глушителей шума, подтверждают адекватность разработанной конструкции и эффективность поглощения шума во всем частотном диапазоне.

Составляющие научной новизны являются положениями, выносимыми на защиту.

Практическая значимость работы.

Результаты данной диссертационной работы используются при разработке проектов глушителей шума других типоразмеров для дальнейшего внедрения в производство завода по вентиляции и кондиционированию «Арктос».

Глава 1. Устройство шумоглушения в системах вентиляции

1.1 Системы вентиляции

Вентиляцией называется совокупность мероприятий и устройств, используемых при организации воздухообмена для обеспечения заданного состояния воздушной среды в помещениях и на рабочих местах в соответствии со СНиП (Строительными нормами и правилами).

Системы вентиляции обеспечивают поддержание допустимых метеорологических параметров в помещениях различного назначения.

На протяжении всей истории человек старался придать своему жилищу наиболее комфортные климатические условия. На протяжении сотен и тысяч лет вентиляция от простого проветривания эволюционировала до сложных современных автоматизированных устройств.

На сегодняшний день вентиляцией квартир, офисов, производственных помещений, школ, различных мест общественного пользования, вентиляцией бассейнов и прочих зданий никого, пожалуй, не удивишь. Однако так было не всегда.

Так что же подразумевается под понятием вентиляции? Прежде всего, вентиляция — это удаление воздуха из пространства помещения и замена его свежим. Благодаря системам вентиляции возможно создание благоприятных условий воздушной среды, способствующей хорошему самочувствию и крепкому здоровью человека, а, кроме того, грамотно организованная вентиляция помогает сохранять оборудование в производственных помещениях, предохраняет строительные конструкции здания от преждевременного разрушения, продлевает срок хранения различных материалов, продуктов, книг, картин и т. д.

Основное назначение вентиляции — борьба с вредными выделениями в помещении. К вредным выделениям относятся:

- избыточное тепло;
- избыточная влага;
- различные газы и пары вредных веществ;
- пыль.

Сегодня мы пользуемся преимуществами техногенного развития и мало задумываемся об истории микроклиматики, а, тем не менее, каждый шаг на пути к современным системам вентиляции и кондиционирования был величайшим достижением в истории человечества.

Первые системы вентиляции применялись еще в глубокой древности. Тогда вопросам вентиляции при строительстве дворцов, гробниц, театров, храмов и т. д. конечно же, уделялось внимание, однако не каждая культура обладала достаточным набором умений и знаний, чтобы соорудить действительно эффективную и надежную систему вентиляции, основанную на естественном движении воздуха. Тем не менее, можно наблюдать некие попытки древних наладить систему воздухообмена в архитектурных сооружениях.

Так, например, знаменитая пирамида Хеопса имеет воздухопроводы для обменной вентиляции, однако в настоящее время наплыв туристов настолько велик, что в пирамиде требуются дополнительные вентиляционные устройства для удаления избыточной влажности с целью сохранения этого бесценного памятника истории и культуры.

Население Древнего Египта обнаружило преимущества вентиляции для очистки воздуха от пыли и посторонних запахов. Египтяне отметили тот факт, что резчики по камню, которые работали в закрытых помещениях, часто страдали различными заболеваниями верхних дыхательных путей. В свою очередь, у резчиков, работающих на открытом воздухе, такие заболевания практически не встречались. Обнаружив, что источником заболеваний является высокая концентрация пыли, рабочие стали строить

производственные помещения, где стены либо совсем отсутствовали, либо конструкция стен не мешала циркуляции воздуха.

В первом веке до нашей эры в Древнем Риме начали использовать систему отвода дыма в качестве системы отопления зданий. Печь внутри здания соединялась с дымоходом через специальные каналы, которые проходили под полом. Дым и раскаленный воздух от печи, проходя по каналам, нагревал каменные полы, тем самым повышая температуру в постройке. Такая централизованная система отопления использовалась в домах римских высокопоставленных вельмож, а также в банях.

В период Средневековья люди стали понимать, что воздух в помещении может передавать болезни среди людей, которые находятся в переполненных комнатах. Дома и маленькие здания обогревались с помощью открытого огня в каминах. Дым часто проникал в комнату, и люди просто-напросто задыхались. Король Англии Чарльз I в 1600 году запретил строить здания, где высота потолка меньше чем 10 футов (3 м). Высота окон должна превышать их ширину. Такой метод строительства призван был уменьшить количество дыма в жилище и понизить процент отравившихся угарным газом людей.

В 17 столетии стали проводиться научные исследования по определению состава загрязненного дымом воздуха. Эксперименты проводились на мелких животных, которых помещали в стеклянную емкость с горящей свечой. Пламя свечи тушили прежде, чем животное умирало от удушья. Только половина подопытных, участвующих в эксперименте, смогла выжить, после того как пламя свечи было погашено. Заключение было следующим: причина смерти — это «неизвестные частицы», которые содержатся в воздухе.

И лишь спустя сто лет, в 1775 году, французский химик Антуан Лавуазье идентифицировал «неизвестные частицы» как углекислый газ — CO₂. Антуан Лавуазье стал проводить исследования, связанные с содержанием кислорода и углекислого газа в воздухе переполненных

комнат. Спустя два года он заключил, что причина плохого состояния человека не сокращение кислорода, а переизбыток углекислого газа. Эта гипотеза стала сенсацией и причиной длинных обсуждений. Более чем два века ученые спорят о минимальной величине количества свежего воздуха, которое нужно одному человеку, чтобы оптимально себя чувствовать.

На протяжении длительного количества времени существовало две точки зрения по поводу задач вентиляции. Для архитекторов и инженеров системы вентиляции должны исключать противные запахи, насыщать воздух кислородом и препятствовать накоплению углекислого газа. При этом не портить внешний и внутренний вид здания и не занимать много полезной площади. С другой стороны, врачи были уверены в том, что вентиляция должна в первую очередь защищать человека от влияния болезнетворных микроорганизмов, содержащихся в воздухе. Разные подходы привели к различным нормам и рекомендациям по содержанию чистого воздуха в замкнутом пространстве.

В 1836 году горный инженер Томас Тредгольд впервые опубликовал нормы о минимальном необходимом объеме помещения, которые равнялись 7.2 м³ на одного человека. Во время Крымской войны (1853–1855) было замечено, что в переполненных больницах с плохой вентиляцией среди раненных солдат быстро распространяются болезни, которые передаются от человека к человеку. Полагаясь на эти наблюдения, врачи рекомендовали 50 м³ свободного пространства на одного человека. Эта рекомендация и была принята законодательно в 1914 году обществом американских инженеров по отоплению и вентиляции (ASHVE).

Как следствие энергетического кризиса полвека спустя этот закон был пересмотрен. Новые исследования, выполненные независимыми экспертами в США и Дании, подтвердили, что 27 м³ на одного человека — это был минимальный объем, при котором людям хватает чистого воздуха. В 1989 году был принят стандарт ASHRAE/ANSI 62.1-1989, который является теперь общепринятой нормой в большинстве развитых стран. Это соглашение

положило конец длинным спорам и обсуждениям вопроса оптимальных норм воздуха для человека.

При всём многообразии систем вентиляции, обусловленном назначением помещений, характером технологического процесса, видом вредных выделений и т.п., их можно классифицировать по следующим характерным признакам:

- 1. По способу создания давления для перемещения воздуха:** с естественным и искусственным (механическим) побуждением.
- 2. По назначению:** приточные и вытяжные.
- 3. По зоне обслуживания:** местные и общеобменные.
- 4. По конструктивному исполнению:** канальные и бесканальные.

Естественная вентиляция

Перемещение воздуха в системах естественной вентиляции происходит:

- вследствие разности температур наружного (атмосферного) воздуха и воздуха в помещении, так называемой аэрации;
- вследствие разности давлений «воздушного столба» между нижним уровнем (обслуживаемым помещением) и верхним уровнем – вытяжным устройством (дефлектором), установленным на кровле здания;
- в результате воздействия так называемого ветрового давления.

Аэрацию применяют в цехах со значительными тепловыделениями, если концентрация пыли и вредных газов в приточном воздухе не превышает 30% предельно допустимой в рабочей зоне. Аэрацию не применяют, если по условиям технологии производства требуется предварительная обработка приточного воздуха или, если приток наружного воздуха вызывает образование тумана или конденсата.

В помещениях с большими избытками тепла воздух всегда теплее наружного. Более тяжёлый наружный воздух, поступая в здание, вытесняет из него менее плотный тёплый воздух [4].

При этом в замкнутом пространстве помещения возникает циркуляция воздуха, вызываемая источником тепла, подобная той, которую вызывает вентилятор.

В системах естественной вентиляции, в которых перемещение воздуха создаётся за счёт разности давлений воздушного столба, минимальный перепад по высоте между уровнем забора воздуха из помещения и его выбросом через дефлектор должен быть не менее 3 м. При этом рекомендуемая длина горизонтальных участков воздуховодов не должна быть более 3 м, а скорость воздуха в воздуховодах – не превышать 1 м/с.

Воздействие ветрового давления выражается в том, что на наветренных (обращённых к ветру) сторонах здания образуется повышенное, а на подветренных сторонах, а иногда и на кровле, - пониженное давление (разрежение).

Если в ограждениях здания имеются проёмы, то с наветренной стороны атмосферный воздух поступает в помещение, а с заветренной – выходит из него, причём скорость движения воздуха в проёмах зависит от скорости ветра, обдувающего здание, и, соответственно, от величин возникающих разностей давлений.

Системы естественной вентиляции просты и не требуют сложного дорогостоящего оборудования и расхода электрической энергии. Однако зависимость эффективности этих схем от переменных факторов (температуры воздуха, направления и скорости ветра), а также небольшое располагаемое давление не позволяют решать с их помощью все сложные и многообразные задачи в области вентиляции.

Механическая вентиляция

В механических системах вентиляции используются оборудование и приборы (вентиляторы, электродвигатели, воздухонагреватели, пылеуловители, автоматика и др.), позволяющие перемещать воздух на значительные расстояния. Затраты электроэнергии на их работу могут быть довольно большими. Такие системы могут подавать и удалять воздух из локальных зон помещения в требуемом количестве, независимо от изменяющихся условий окружающей воздушной среды. При необходимости воздух подвергают различным видам обработки (очистке, нагреванию, увлажнению и т.д.), что практически невозможно в системах с естественным побуждением.

Следует отметить, что в практике часто предусматривают так называемую смешанную вентиляцию, т.е. одновременно естественную и механическую вентиляцию.

В каждом конкретном проекте определяется, какой тип вентиляции является наилучшим в санитарно-гигиеническом отношении, а так же экономически и технически более рациональным.

Приточная вентиляция

Приточные системы служат для подачи в вентилируемые помещения чистого воздуха взамен удалённого. Приточный воздух в необходимых случаях подвергается специальной обработке (очистке, нагреванию, увлажнению и т.д.)

Вытяжная вентиляция

Вытяжная вентиляция удаляет из помещения (цеха, корпуса) загрязнённый или нагретый отработанный воздух.

В общем случае в помещении предусматриваются как приточные, так и вытяжные системы. Их производительность должна быть сбалансирована с

учётом возможности поступления воздуха в смежные помещения или из смежных помещений. В помещениях может быть также предусмотрена только вытяжная или только приточная система. В этом случае воздух поступает в данное помещение снаружи или из смежных помещений через специальные проёмы или удаляется из данного помещения наружу, или перетекает в смежные помещения.

Как приточная, так и вытяжная вентиляция может устраиваться на рабочем месте (местная) или для всего помещения (общеобменная).

Местная вентиляция

Местной вентиляцией называется такая, при которой воздух подают на определённые места (местная приточная вентиляция) и загрязнённый воздух удаляют только от мест образования вредных выделений (местная вытяжная вентиляция).

Местная приточная вентиляция

К местной приточной вентиляции относятся воздушные души (сосредоточенный приток воздуха с повышенной скоростью). Они должны подавать чистый воздух к постоянным рабочим местам, снижать их в зоне температуру окружающего воздуха и обдувать рабочих, подвергающихся интенсивному тепловому облучению.

Метеорологические условия и скорость движения воздуха на рабочем месте должны соответствовать характеру работы и особенностям вредных выделений. Так, при воздействии на рабочего теплового облучения интенсивностью более 300 ккал/м²ч, температура воздуха на рабочем месте и подвижность воздуха должны удовлетворять требованиям санитарных норм промышленного проектирования, приведённым в таблице 1.1.

К местной приточной вентиляции относятся и воздушные оазисы – участки помещений, отгороженный от остального помещения передвижными

перегородками высотой 2-2.5 м, в которые нагнетается воздух с пониженной температурой.

Таблица 1.1 – Температура T (°C) и скорость движения воздуха V (м/с) при воздушном душировании [5].

Периоды года	Категория работы	При тепловом облучении интенсивностью					
		От 300 до 600 ккал/м ² ч		От 600 до 1200 ккал/м ² ч		От 1200 до 1800 ккал/м ² ч	
		t (°C)	V (м/с)	t (°C)	V (м/с)	t (°C)	V (м/с)
Тёплый (температура наружного воздуха +10°C и выше)	Лёгкая	22-24	0,5-1	21-23	1-2	19-20	2-3
	Средней тяжести	21-23	1-2	20-22	2-3	19-21	3
	Тяжёлая	20-22	2-3	19-21	3	18-20	3
Холодный (температура наружного воздуха ниже +10°C)	Лёгкая	19-21	0,5-1	18-20	1-2	17-18	2-2,5
	Средней тяжести	17-19	0,5-1	16-18	1-2	16-17	2-3
	Тяжёлая	16-18	1-2	16-17	2-3	16	3

Местную приточную вентиляцию применяют также в виде воздушных завес (у ворот, печей и пр.), которые создают как бы воздушные перегородки или изменяют направление потоков воздуха. Местная вентиляция требует меньших затрат, чем общеобменная. В производственных помещениях при выделении вредных веществ (газов, влаги, теплоты и т.п.) обычно применяют смешанную систему вентиляции – общую для устранения вредных веществ во всём объёме помещения и местную (местные отсосы и приток) для обслуживания рабочих мест.

Местная вытяжная вентиляция

Местную вытяжную вентиляцию применяют, когда места выделения вредных веществ в помещении локализованы и можно не допустить их распространение по всему помещению.

Местная вытяжная вентиляция в производственных помещениях обеспечивает улавливание и отвод вредных выделений: газов, дымов, пыли и частично выделяющегося от оборудования тепла.

Для удаления вредностей применяют местные отсосы (укрытия в виде шкафов, зонты, бортовые отсосы, завесы, укрытия в виде кожухов у станков и др.).

Основные требования, которым они должны удовлетворять:

- Место образования вредных выделений по возможности должно быть полностью укрыто.
- Конструкция местного отсоса должна быть такой, чтобы отсос не мешал нормальной работе и не снижал производительность труда.
- Вредные выделения необходимо удалять от места их образования в направлении их естественного движения (горячие газы и пары надо удалять вверх, холодные тяжёлые газы и пыль – вниз).

Конструкции местных отсосов условно делят на три группы:

- ◆ Полуоткрытые отсосы (вытяжные шкафы, зонты). Объёмы воздуха определяются расчётом.
- ◆ Открытого типа (бортовые отсосы). Отвод вредных выделений достигается лишь при больших объёмах отсасываемого воздуха.

При устройстве местной вытяжной вентиляции для улавливания пылевывделений удаляем из цеха воздух, перед выбросом его в атмосферу, должен быть предварительно очищен от пыли. Наиболее сложными вытяжными системами являются такие, в которых предусматривают очень высокую степень очистки воздуха от пыли с установкой последовательно двух или даже трёх пылеуловителей (фильтров).

Местные вытяжные системы, как правило, весьма эффективны, так как позволяют удалять вредные вещества непосредственно от места их образования или выделения, не давая им распространиться в помещении. Благодаря значительной концентрации вредных веществ (паров, газов, пыли),

обычно удаётся при небольшом объёме удаляемого воздуха достичь хорошего санитарно-гигиенического эффекта.

Однако местные системы не могут решить всех задач, стоящих перед вентиляцией: не все вредные выделения могут быть локализованы этими системами, например, вредные выделения, рассредоточенные на значительной площади или в объёме; подача воздуха в отдельные зоны помещения не может обеспечить необходимые условия воздушной среды, если работа производится на всей площади помещения или её характер связан с перемещением и т.д.

Общеобменные системы вентиляции – как приточные, так и вытяжные, предназначены для осуществления вентиляции в помещении в целом или в значительной его части.

Общеобменные вытяжные системы относительно равномерно удаляют воздух из всего обслуживаемого помещения, а общеобменные приточные системы подают воздух и распределяют его по всему объёму вентилируемого помещения.

Общеобменная приточная вентиляция

Общеобменная приточная вентиляция устраивается для ассимиляции избыточного тепла и влаги, разбавления вредных концентрация паров и газов, не удалённых местной и общеобменной вытяжной вентиляцией, а также для обеспечения расчётных санитарно-гигиенических норм и свободного дыхания человека в рабочей зоне.

При отрицательном тепловом балансе, т.е. при недостатке тепла, общеобменную приточную вентиляцию устраивают с механическим побуждением и с подогревом всего объёма приточного воздуха. Как правило, перед подачей воздух очищают от пыли.

При поступлении вредных выделений в воздух цеха количество приточного воздуха должно полностью компенсировать общеобменную и местную вытяжную вентиляцию.

Общеобменная вытяжная вентиляция

Простейшим типом общеобменной вытяжной вентиляции является отдельный вентилятор (обычного осевого типа) с электродвигателем на одной оси в соответствии с рисунком 1.1, расположенный в окне или в отверстии стены. Такая установка удаляет воздух из ближайшей к вентилятору зоны помещения, осуществляя лишь общий воздухообмен.

В некоторых случаях установка имеет протяжённый вытяжной воздуховод. Если длина вытяжного воздуховода превышает 30-40 м и, соответственно, потери давления в сети составляют более 30-40 кг/м², то вместо осевого вентилятора устанавливается вентилятор центробежного типа.

Когда вредными выделениями в цехе являются тяжёлые газы или пыль и нет тепловыделений от оборудования, вытяжные воздуховоды прокладывают по полу цеха или выполняют в виде подпольных каналов.

В промышленных зданиях, где имеются разнородные вредные выделения (теплота, влага, газы, пары, пыль и т.п.) и их поступление в помещение происходит в различных условиях (сосредоточенно, рассредоточенно, на различных уровнях и т.п.), часто невозможно обойтись без какой-либо одной системой, например, местной или общеобменной.

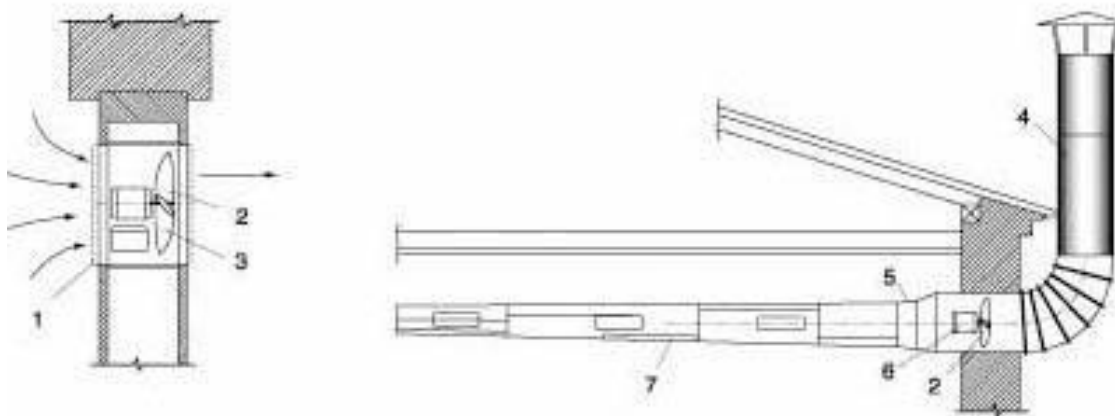


Рисунок 1.1 – Простейшие схемы вытяжной вентиляции:

1 - утеплённый клапан; 2 – вентилятор; 3 – лопасти вентилятора;
4 – вытяжная шахта; 5 – шибер; 6 – электродвигатель; 7 – вытяжная сеть.

В таких помещениях для удаления вредных выделений, которые не могут быть локализованы и поступают в воздух помещения, применяют общеобменные вытяжные системы.

В определённых случаях в производственных помещениях, наряду с механическими системами вентиляции, используют системы с естественным побуждением, например, системы аэрации.

Канальная и бесканальная вентиляция

Системы вентиляции имеют либо разветвлённую сеть воздуховодов для перемещения воздуха (канальные системы), либо каналы (воздуховоды) могут отсутствовать, например, при установке вентиляторов в стене, в перекрытии, при естественной вентиляции и т.д. (бесканальные системы) [5].

Таким образом, любая система вентиляции может быть охарактеризована по указанным выше четырём признакам: по назначению, зоне обслуживания, способу перемещения воздуха и конструктивному исполнению.

1.2 Шумоглушители систем вентиляции и кондиционирования.

Шум, воздействуя на человека, является раздражающим, а иногда и опасным фактором. Под воздействием шума человек испытывает дискомфорт, его внимание рассеивается, растёт раздражительность, эффективность его работы снижается. Длительное воздействие достаточно громкого шума (превышающего 90 дБ) со временем приводит к постоянному повреждению слуха.

Существуют допустимые и предельно допустимые санитарные нормы по шуму для помещений различного назначения и для различных видов деятельности.

В последнее время наблюдается ужесточение требований к снижению шума. Это нашло своё отражение в вышедших в 1997 году Московских нормах МГСН 2.04-97, а затем и в СНиП 23-03-2003 «Защита от шума». В этих документах появились помещения категории А, шум в которых нормируется особенно жёстко. Кроме того, заказчики систем вентиляции и кондиционирования в высококомфортных квартирах часто предъявляют свои требования к шуму, еще более жесткие, чем указаны в этих документах [6].

С начала 2017 года вступил в силу СанПиН 2.2.4.3359-16 [7]. Он устанавливает не только нормативы шума на рабочем месте, а различные санитарно-эпидемиологические требования, которые нужно учитывать при организации рабочих мест. Непосредственно «шумовому» нормированию посвящен 3-й раздел документа.

Эксперты отмечают ряд новшеств, появившихся в новом СанПиНе. В частности, они коснулись:

- отмены специального нормирования уровня постоянного шума на производствах – теперь он нормируется по тем же критериям, что и непостоянный;
- ликвидации спецтребований для шума вентиляционных конструкций;

- введения нового термина – нормативный эквивалентный уровень звука (его величина – 80 дБА);
- уточнений шумовой тональности, и других вопросов.

СанПиН нормы шума на производстве также скорректировал запретительные уровни шума на предприятиях. Документ не разрешает трудиться при эквивалентном уровне шума, превышающем 137 дБА [7].

Следует иметь в виду, что указанные нормативы на отдельных производствах могут быть иными, так как их устанавливает не только СанПиН. Уровень шума на рабочих местах также определяется внутренними отраслевыми документами, которые имеют более высокую юридическую значимость, чем общие правила СанПиНа.

Низкий уровень шума является одним из основных критериев комфорта, от которого в значительной степени зависит наше хорошее самочувствие.

Источником шума вентиляторов являются любые колебательные явления, сопровождающие их работу. Колебательные процессы аэродинамического происхождения вызывают аэродинамический шум, а механические колебания элементов конструкции вызывают шум, распространяющийся по строительным конструкциям здания и примыкающим воздуховодам, иногда очень далеко от места установки.

В воздуховоды, подсоединенные к нагнетательному и всасывающему патрубкам вентилятора, поступает аэродинамический шум; в окружающее пространство поступает преимущественно механический шум привода, хотя аэродинамический шум также может играть существенную роль. Кроме вентилятора источником шума в вентиляционной сети обычно бывают воздухораспределительные и регулирующие клапаны дроссельного типа.

Установка в систему вентиляции (кондиционирования) шумоглушителей является одной из эффективных мер по снижению аэродинамического шума в воздушном потоке.

Шумоглушитель может быть элементом как приточных, так и вытяжных систем. Чаще всего его устанавливают между вентилятором и магистральным воздуховодом. Если транзитные воздуховоды пересекают помещение с высоким уровнем шума, то шумоглушитель монтируют на участке вентиляционной системы за этим помещением. Для исключения распространения шума по воздуховодам из помещения в помещение и при повышенных требованиях к звукоизоляции отдельных помещений шумоглушители целесообразно устанавливать непосредственно перед воздухораспределителем или сразу за решеткой вытяжной вентиляционной системы. При устройстве воздухозаборов в приточной системе вблизи оконных проемов приходится ставить шумоглушитель сразу за воздухоприемным клапаном для снижения шума, выходящего наружу из воздухозаборной решетки.

Шумоглушители применяются и в вытяжных системах с механическим побуждением движения воздуха (с вентиляторами) не только для защиты от шума обслуживаемых помещений, но и для снижения уровня шума, поступающего от вентилятора наружу. В этом случае в вытяжной системе ставят два шумоглушителя – до и после вентилятора.

Необходимость установки шумоглушителя в вентиляционной системе должна быть подтверждена специальным акустическим расчетом. Первоначально определяется допустимый уровень звукового давления в помещении, ближайшем к вентиляционной установке, с учетом уровня как собственного (внутреннего) шума в помещении, так и шума от городского транспорта. Устанавливается уровень звуковой мощности вентилятора (он определяется типом вентилятора, расчётным расходом и давлением, отношением фактического КПД к максимальному). Затем специальным расчётом находится снижение шума по длине отдельных участков системы и в местных сопротивлениях до воздухораспределителя или вытяжной решетки. Если полученный остаточный уровень звуковой мощности выше

допустимого на выходе (входе) из воздухораспределителя, то необходима установка шумоглушителя, поглощающего излишний уровень звукового давления.

Учитывая зависимость акустических характеристик помещения, вентилятора, воздуховодов и самого шумоглушителя от частотной характеристики шума, акустический расчёт проводят для всех восьми октавных частот.

Методика расчёта вентиляционных шумов в настоящее время достаточно хорошо разработана. Для каждого конкретного объекта с учётом числа рабочих мест и тепло-, влаго-, пыле- и газовыделений определяют требуемый воздухообмен. На основе этих данных находят параметры вентиляционной системы, типоразмер, давление, частоту вращения рабочего колеса вентилятора. После этого с учётом конкретной конфигурации системы выбирают глушители шума, обеспечивающие снижение шума вентсистем до требуемого уровня. Обычно требуется минимально две группы глушителей: **магистральные** – на нагнетательных, а иногда и на всасывающих патрубках вентиляторов и **секционные** (местные) – перед входом воздуха в помещение, совмещаемые с воздухораспределителями.

Расчёты по методикам хотя и весьма громоздки, но позволяют достаточно точно определить требования к типу и конструкции глушителей, обеспечивающих требуемое снижение шума. Весьма важно, что при производстве работ не проводились произвольные изменения параметров системы.

Допустимую скорость воздуха в глушителе как в элементе системы вентиляции следует выбирать в зависимости от возможных потерь давления и допустимого уровня звуковой мощности, генерируемой в воздуховод. Когда глушитель устанавливают на конечном участке воздуховода (перед входом в помещение), то ограничение скорости воздуха может быть связано с допустимыми уровнями звукового давления в обслуживаемых системах помещений. Для помещений жилых, общественных, административных и

производственных зданий эту связь демонстрирует такой факт, что при обслуживании, например, зала музыкального театра скорость в концевом глушителе не должна превышать 4м/с, а офиса – 6м/с. В свободном сечении центральных глушителей вентиляционных установок скорость должна быть не более некоторой, например 10-15 м/с, чтобы избежать эрозии из них звукопоглощающего материала.

Нормы проектирования СНиП 23-03-2003 рекомендуют:

«11.5. В качестве глушителей шума систем вентиляции могут применяться трубчатые, пластинчатые, цилиндрические и камерные, а также облицованные изнутри звукопоглощающими материалами воздуховоды и их повороты.

Конструкцию глушителя следует подбирать в зависимости от размера воздуховода, требуемого снижения шума, допустимой скорости воздуха на основании расчёта по соответствующему своду правил» [8].

По принципу действия глушители принято разделять на **диссипативные** (абсорбционные) и реактивные. В диссипативных глушителях снижение шума достигается за счет потерь акустической энергии на трение в звукопоглощающих материалах (волокнуистых или пористых поглотителях, сетках, перфорированных листах и т.п.), расположенных на пути распространения звука. В реактивных глушителях снижение шума обеспечивается за счёт отражение части звуковой энергии обратно к источнику. Звуковые волны, попадая в полость реактивного глушителя, возбуждают в нём собственные колебания, поэтому в одних частотных областях происходит ослабление звука, в других – усиление.

Наряду с этим применяются также и **комбинированные глушители, содержащие в себе как реактивные, так и диссипативные элементы.** Строго говоря, любой глушитель является комбинированным, так как диссипативные элементы глушителей частично отражают волны, а в реактивных энергия колебаний после отражений переходит в тепловую.

При конструировании глушителей желательно достичь трёх основных целей:

- **высокой степени заглушения (акустической эффективности) $\Delta L_{\text{шг}}$, дБ, в широком диапазоне частот;**
- **малых потерь давления (сопротивления) $\Delta P_{\text{шг}}$, Па при прохождении воздуха по аэродинамическому тракту, снабжённому глушителем;**
- **конструктивной и, следовательно, технологической простоты и малой занимаемой площади и объёма.**

На практике обычно выполняется следующее правило конструирования глушителей – **«из трёх основных целей можно достичь только двух»**. Конструктивно простой глушитель с высокой акустической эффективностью обычно обладает большим сопротивлением. Глушитель должен оказывать минимальное сопротивление постоянной составляющей и максимальное переменным составляющим пульсирующего воздушного потока.

Ведущим российским производителем именно таких видов шумоглушителей можно считать завод «Арктос». Высокое качество данной продукции оценили не только потребители России и стран СНГ, но также стран Балтии, Германии, Финляндии и Ирландии.

Остановимся поподробнее на классификации диссипативных глушителей шума, представленных в каталоге продукции завода «Арктос».

В представленных глушителях в качестве облицовок используются волокнистые материалы (базальтовое и стекловолокно), потому что они обладают наилучшими звукопоглощающими свойствами. Глушители данного вида получили широкое распространение в системах вентиляции, так как имеют широкополосную характеристику шумоглушения, а современные вентиляторы излучают шум в достаточно широкой полосе частот. При выборе глушителя следует ориентироваться на конструкцию, обеспечивающую не максимально возможную, а необходимую для конкретных условий эффективность шумоглушения. При этом следует обращать внимание не только на характеристики акустической

эффективности глушителя, но и на иные параметры, которые оказывают влияние на проектирование всей вентиляционной сети, такие, как величина аэродинамического сопротивления, генерация потокового шума, габариты и т.д. Если глушитель установлен непосредственно перед вентилятором или сразу за ним, то необходимо учитывать структурный шум, возбуждаемый вентилятором в корпусе глушителя. Сильный структурный шум в корпусе глушителя может вызвать излучение звука в канал. При этом характеристики эффективности глушителя будут ограничены побочной передачей звука.

Поскольку вид требуемой частотной характеристики заглушения редко совпадает с характеристикой затухания конкретного глушителя для какого-либо одного геометрического размера канала, то в этих случаях целесообразно использовать секционный принцип построения глушителей, то есть использовать несколько глушителей, имеющих разные частотные характеристики затухания. Также при установке подряд нескольких глушителей следует помнить, что расстояние между ними должно быть не менее 4-5 калибров [9].

Пластинчатые глушители шума

Пластинчатый глушитель представляет собой набор параллельных щитов из звукопоглощающего материала, разбивающих воздуховод на ряд параллельных каналов. Боковые стенки щитов покрыты защитным материалом (кашированы), прозрачным для звуковых волн. Это сделано для предупреждения выдувания звукопоглощающего материала воздушным потоком. Толщина пластин и расстояние между ними одинаково по всему сечению канала. Исключение составляет расстояние между крайними пластинами и корпусом глушителя, которое равно половине расстояния между другими пластинами. В некоторых случаях используют схему глушителя с расположением крайних пластин вплотную к стенкам корпуса, но при этом толщина пластин должна быть равной половине толщины

других пластин. Такие условия на геометрические размеры пластинчатого глушителя накладываются исходя из требования обеспечения одинаковой эффективности снижения шума в каждом канале глушителя. Эффективность пластинчатого глушителя зависит от акустических характеристик звукопоглощающего материала, длины и толщины слоя звукопоглощающего материала, расстояния между поглощающими поверхностями. В то же время она практически не зависит от количества пластин (каналов для воздуха), а также от высоты пластин и от схемы компоновки глушителя. Не рекомендуется устанавливать пластинчатые глушители сразу за изменениями сечения или поворотами канала. Глушители RSA, изображенные на рисунке 1.2, имеют достаточно широкополосную характеристику затухания с максимумом шумопоглощения в области средних и высоких частот. Что важно, их эффективность, в отличие от канальных глушителей (CSA и CSR), не зависит от площади входного патрубка глушителя, поэтому их применение в воздуховодах с большой площадью поперечного сечения дает больший эффект шумоглушения в средне и высокочастотной области, по сравнению с обычными канальными глушителями. В то же время следует учитывать, что глушители RSA имеют коэффициент живого сечения равный 0,5 и, при высоких скоростях воздушного потока могут создавать значительное аэродинамическое сопротивление. Работа глушителей RSA также сопровождается генерацией потокового (собственного) шума, уровень которого зависит от скорости воздушного потока в воздуховоде. Для снижения аэродинамического сопротивления глушителя и, соответственно, генерации потокового шума, на торцах звукопоглощающих пластин, на входе и выходе из глушителя установлены обтекатели. При наличии высокой скорости воздуха в воздуховоде рекомендуется использовать глушитель большего, чем воздуховод, типоразмера.



Рисунок 1.2 – Пластинчатые глушители RSA.

Глушители с центральной звукопоглощающей вставкой

Канальные глушители шума CSI и CSD (рисунок 1.3) с центральной плоской звукопоглощающей вставкой применяются для снижения шума распространяющегося по вентиляционной сети в тех случаях, когда требуется повышенная эффективность шумоглушения по сравнению с обычными канальными глушителями (типа CSR или CSA). Дополнительное снижение шума во всем нормируемом диапазоне частот обеспечивается за счет увеличения поверхности звукопоглощающего материала. Наибольший дополнительный эффект наблюдается в области высоких частот. Глушители CSI и CSD отличаются повышенным аэродинамическим сопротивлением по сравнению с глушителями CSR или CSA и, соответственно, возможной генерацией потокового шума. Для снижения аэродинамического сопротивления на торцах вставки установлены обтекатели в виде цилиндрического сегмента. Глушители с центральной вставкой рекомендуются для установки в воздуховоды больших диаметров, когда требуется более высокая эффективность шумоглушения, особенно в области средних и высоких частот, чем та, которую могут обеспечить обычные канальные глушители (CSA и CSR).



Рисунок 1.3 – Глушитель с цилиндрической центральной звукопоглощающей вставкой CSI и CSD.

Угловые глушители шума

Канальные глушители CSU (рисунок 1.4), CSV и CSH (рисунок 1.5) с поворотом воздушного потока на 90° устанавливаются в местах поворота вентиляционного канала на 90° в горизонтальной или вертикальной плоскости, обеспечивая за счет облицовки поворота звукопоглощающим материалом увеличение эффективности шумоглушения в области высоких частот по сравнению с обычным канальным глушителем (типа CSR или CSA).



Рисунок 1.4 – Угловые глушители CSU.

Затухание вследствие изгиба канала вызывается отражением части звуковой энергии в ту часть канала, которая находится перед изгибом, а также дополнительным звукопоглощением в результате падения звука на облицованную стенку в месте изгиба канала. На низких частотах, когда диаметр поперечного сечения мал по сравнению с длиной волны звука, изгибы в канале не влияют на ослабление звука. Затухание на изгибе значительно, прежде всего, на очень высоких частотах. Поскольку

эффективность звукопоглощающей облицовки прямых участков канала на этих частотах, как правило, снижается, использование угловых глушителей является подчас самым простым и достаточно эффективным средством ослабления высокочастотных составляющих шума.



Рисунок 1.5 – Угловые глушители шума CSV и CSH.

Глушители CSV и CSH имеют несколько большую величину аэродинамического сопротивления и уровень собственного (потокowego) шума по сравнению с глушителями CSU. Поэтому, если имеется такая возможность, то глушители CSV и CSH рекомендуется устанавливать в воздуховод таким образом, чтобы активная часть глушителя располагалась после поворота канала, с целью компенсации этого шума. Глушители CSV и CSH имеют постоянную длину активной части на всех типоразмерах, у глушителей CSU длина активной части зависит от диаметра входного патрубка. Соответственно, при малых диаметрах входного патрубка глушители CSV и CSH характеризуются более высокими значениями эффективности, особенно в области высоких частот [9].

Канальные глушители

Канальный глушитель представляет собой прямую трубу со звукопоглощающей облицовкой круглого поперечного сечения без каких-либо соединений. Звукопоглощающий элемент представляет собой один или

несколько слоев звукопоглощающего материала и звукопроницаемого покрытия (нетканый материал и перфорированный экран). Затухание в глушителе зависит от длины активной части, периметра проходного сечения, равного периметру воздуховода, толщины слоя звукопоглощающего материала (ЗПМ) и коэффициента звукопоглощения ЗПМ, зависящего от его физико-механических свойств. У канальных глушителей эффективность на средних и высоких частотах снижается с увеличением площади поперечного сечения. Поэтому не рекомендуется применение таких глушителей при диаметре канала более 400 или 500 мм.

Глушители CSA и CSR, изображенные на рисунке 1.6, характеризуются очень малым (практически нулевым) аэродинамическим сопротивлением и отсутствием генерации собственного шума (поточный шум). Глушители CSA имеют цилиндрическую форму наружного корпуса, а глушители CSR – прямоугольную. Глушители CSR с диаметром входного патрубка до 200 мм имеют более высокие значения эффективности по сравнению с глушителями CSA во всем нормируемом диапазоне частот. Глушители CSR имеют меньшие размеры по высоте по сравнению с глушителями CSA, что может иметь значение при монтаже в случае ограниченных размеров подшивного пространства. Глушители CSA и CSR небольших диаметров рекомендуется устанавливать на конечных участках воздуховодов при подаче воздуха в «тихие» помещения, то есть в помещения с жесткими нормативными требованиями по шуму (при этом, разумеется, следует уделить внимание и выбору малошумного воздухораспределительного устройства). Глушители CSA и CSR больших диаметров могут устанавливаться непосредственно сразу за вентилятором или на других участках вентиляционной сети, когда нет необходимости в большой величине шумоглушения, но в то же время существуют определенные ограничения, связанные с величиной аэродинамического сопротивления [9].



Рисунок 1.6 – Канальные глушители шума CSA и CSR.

В следующем разделе проведем аналитический обзор шумоглушителей с цилиндрической центральной вставкой, представленных на современном рынке вентиляционного канального оборудования. Рассмотрим шумоглушители ведущих мировых производителей вентиляционного оборудования: их конструктивные особенности и акустические характеристики для понимания какими концептуальными, визуальными и иными признаками должен обладать будущий проект.

1.3 Аналитический обзор шумоглушителей с цилиндрической центральной вставкой.

Канальные глушители с различной формой поперечного сечения канала широко используются в системах вентиляции и кондиционирования воздуха для снижения аэродинамического шума. Для качественной оценки эффективности (ΔL) таких глушителей может быть использовано отношение Пейнинга:

$$\Delta L \sim \frac{ul}{s} \acute{\alpha} \quad (1)$$

где u – длина периметра канала, облицованного изнутри звукопоглощающим материалом, м;

l – длина канала, м;

s – площадь поперечного сечения канала, м^2 ;

α – коэффициент поглощения звукопоглощающего материала.

Чем больше отношение площади поверхности поглотителя « ul » (l – длина канала) к площади поперечного сечения канала « s » и выше коэффициент поглощения облицовки глушителя « α », тем выше эффективность диссипативного глушителя [10].

Следует учитывать, что формула (1) справедлива не для всего частотного диапазона. Когда ширина канала становится значительно меньше половины длины волны (то есть при каналах малого диаметра на низких частотах), то пропорциональность, следующая из (1) нарушается. Выражение (1) также неприменимо на высоких частотах (при относительно большом поперечном сечении канала) вследствие наличия «лучевого эффекта». На высоких частотах длина волн много меньше поперечных размеров глушителя и концентрированный пучок звуковых волн проходит в центре глушителя без поглощения на более или менее длительном расстоянии («лучевой эффект»), причем влияние лучевого эффекта тем больше, чем выше коэффициент поглощения облицовки. Высокие значения коэффициента звукопоглощения, возможны при условии, что толщина звукопоглощающей облицовки составляет не менее одной восьмой длины звуковой волны. То есть для снижения низкочастотного звука требуется достаточно толстый слой звукопоглотителя. Зарубежные производители (например, фирма «Lindab») в зависимости от предъявляемых требований к эффективности глушителя предлагают глушители (при прочих равных условиях) с различной толщиной (50 мм, 100 мм и 150 мм) и типом (синтетическое или минеральное волокно) звукопоглощающего материала.

Как это следует из выражения (1) и отмечено на практике, у канальных глушителей эффективность падает с увеличением площади поперечного сечения. Поэтому в методической литературе не рекомендуется применение таких глушителей при диаметре канала более 400 или 500 мм. В этих случаях рекомендуется применение пластинчатых глушителей. Другим вариантом решения задачи снижения шума в каналах с большой площадью поперечного сечения является использование канальных глушителей с центральной звукопоглощающей вставкой, которые в последнее время находят все большее применение в системах вентиляции и кондиционирования воздуха. И хотя глушители с центральной вставкой также отличаются достаточно высоким аэродинамическим сопротивлением, установка на торцах вставки обтекателя в виде сферического или цилиндрического сегмента, обеспечивает более постепенное изменение скорости воздушного потока, по сравнению с изменением скорости при резком изменении поперечного сечения и, соответственно, уменьшает величину аэродинамического сопротивления.

Следует отметить, что глушители с центральной цилиндрической вставкой используются достаточно давно (с 50-60 г.г. прошлого века) как в отечественной промышленности, так и за рубежом. Правда, что касается отечественной практики использования таких глушителей, то она имеет достаточно специфический характер. Такие глушители использовались для глушения шума выхлопа различных газодинамических установок, и в частности турбореактивных двигателей, что обуславливало специфику выбора звукопоглощающего материала (керамзит, фракция 3-6 мм), высокую скорость газовой смеси (до 40 м/с) и достаточно большие габариты самих глушителей (внутренний диаметр до 7,5 м и длина более 10 м). И, как правило, в наличии имелась не одна, а несколько цилиндрических вставок.

В настоящее время из известных европейских фирм глушители с плоской вставкой выпускают: Lindab, Flakt Woods, Systemair, F2A, Alnor, Airmatic, Арктика Групп и Арктос, а глушители с цилиндрической вставкой:

Lindab, F2A, Systemair, Trox, Price и Hidria. Помимо европейских фирм глушители с цилиндрической вставкой выпускают также Caryaire Equipments (Индия), Barclay Engineering (Австралия), Luft Industries Natal (Южная Африка), Fantech (Австралия), Rosenberg (Сингапур), Air Master Equipments (Эмираты).

Основной сравнительный анализ глушителей с различным типом звукопоглощающей вставки проведем на основании изделий, выпускаемых фирмой Lindab. Фирма имеет прекрасный стенд для испытаний глушителей, испытания проводит в соответствии со стандартом ISO 7235, и результаты акустических испытаний, проводимых этой фирмой, всегда вызывали большое доверие. Сравнительный анализ изделий фирмы Systemair, к сожалению, можно провести на примере только одного типоразмера глушителя, так как все выпускаемые фирмой глушители с плоской вставкой (LDC-B) имеют фиксированную длину – 1200мм, а длина глушителей с цилиндрической вставкой пропорциональна диаметру подводящего патрубка (1 или 2 калибра). Кстати такой подход к выбору длины глушителя с цилиндрической вставкой в зависимости от диаметра подводящего патрубка (1, 1,5 и 2 калибра) характерен и для большинства других производителей.

Фирма Lindab выпускает три марки глушителей с цилиндрической вставкой: PVDP, PVAP и SLGPU (рисунок 1.7).



Рисунок 1.7 PVDP 100 и SLGPU 100.

В глушителях PVAP и SLGPU в качестве звукопоглотителя используется минеральная шерсть (по видимому, базальтовое волокно), в глушителе PVDP синтетическое волокно «Acutes». У глушителей PVDP и PVAP гладкий цилиндрический наружный корпус, у глушителя SLGPU – ребристый. Толщина слоя материала по окружности у глушителя SLGPU – 100 мм, у глушителей PVDP и PVAP – 50 мм, 100 мм и 150 мм. Глушители PVAP и SLGPU имеют одинаковые характеристики акустической эффективности. У глушителей PVDP эффективность, естественно, несколько ниже. Все три марки глушителей имеют одинаковое аэродинамическое сопротивление, которое при одном и том же диаметре глушителя очень незначительно зависит от его длины. Глушители PVDP и PVAP выпускаются с внутренним диаметром от 250 мм до 1600 мм и длиной от 600 мм до 3200 мм. Глушитель одного диаметра выпускается в 3-6 вариантах длины. (Максимальное количество типоразмеров выпускается с толщиной облицовки 100 мм). Глушитель SLGPU выпускается с внутренним диаметром от 315 мм до 1250 мм и имеет меньше (от 2 до 4) вариантов по длине. К сожалению, ничего неизвестно об одном из основных параметров таких глушителей – диаметре цилиндрической вставки и, соответственно, Кж.с. глушителя, и как этот параметр зависит от типоразмера глушителя [11].

Глушители с плоской звукопоглощающей вставкой фирма Lindab выпускает в четырех модификациях: SLBU, SLCBU, SLBGU и LRBCB. У всех глушителей звукопоглощающая вставка имеет толщину 100 мм. Глушитель LRBCB имеет прямоугольную форму наружного корпуса, глушители SLBU, SLCBU и SLBGU цилиндрическую ребристую форму. (Вообще, судя по каталогу, глушители SLBU, SLCBU и SLBGU внешне никак не отличаются.) У глушителей SLBU, SLCBU и SLBGU толщина наружного слоя звукопоглотителя составляет 100 мм. У глушителя LRBCB она зависит от типоразмера и изменяется от 30 до 40 мм по горизонтальным стенкам, и от 70 до 100 мм по вертикальным стенкам корпуса. Марка и тип звукопоглощающего материала не приводятся. Но судя по тому, что

глушители при одинаковом конструктивном исполнении (SLBU, SLCBU и SLBGU) имеют значительно отличающиеся частотные характеристики эффективности шумоглушения, в разных модификациях используется различный звукопоглощающий материал. В целом, как нам представляется, наиболее оптимальные характеристики шумоглушения среди глушителей с плоской вставкой имеет глушитель SLBGU. Глушители SLBU, SLCBU и SLBGU характеризуются одинаковой величиной аэродинамического сопротивления, которая на 10%-20% меньше, чем у глушителя LRBCB [10].

Теперь сравним между собой глушители с цилиндрической вставкой SLGPU 100 и плоской вставкой SLBGU 100 (рисунок 1.8), как имеющие лучшие акустические характеристики в своем классе. У обоих глушителей толщина наружного слоя звукопоглотителя 100 мм. Будем сравнивать типоразмеры с диаметром соединительного патрубка 315, 500 и 800 мм и длиной, соответственно 1200 мм, 1500 мм и 1500 мм.



Рисунок 1.8 - SLBGU 100 и SLGPU 100.

Сравнение акустических характеристик этих глушителей приведено в таблице 1.2.

Таблица 1.2 – Эффективность шумоглушения глушителей шума SLBGU 100 и SLGPU 100 фирмы Lindab.

Типоразмер глушителя	Среднегеометрические частоты октавных полос, Гц							
	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
	Эффективность шумоглушения, ΔI_1 , дБ							
SLGPU-315-1200 100 (с цилиндрической вставкой)	3	8	19	36	46	50	39	26
SLBGU-315-1200 100 (с плоской вставкой)	7	12	27	39	50	50	45	27
SLGPU-500-1500 100 (с цилиндрической вставкой)	3	7	20	35	39	43	31	20
SLBGU-500-1500 100 (с плоской вставкой)	4	9	25	31	33	33	20	18
SLGPU-800-1500 100 (с цилиндрической вставкой)	4	8	19	31	37	27	19	15
SLBGU-800-1500 100 (с плоской вставкой)	2	5	15	17	16	14	10	9

Глушитель SLGPU-315-1200-100 (с цилиндрической вставкой) имеет на 3-8 дБ более низкую эффективность по сравнению с глушителем SLBGU-315-1200-100 во всем нормируемом диапазоне частот. Но при этом он характеризуется в два раза меньшей величиной аэродинамического сопротивления (при объемном расходе 1800 м³/ч перепад давления составляет 20 Па и 40 Па соответственно).

Глушитель SLGPU-500-1500-100 (с цилиндрической вставкой) по сравнению с глушителем SLBGU-500-1500-100 имеет на 5-10 дБ более высокие значения эффективности шумоглушения в области высоких частот, хотя и несколько (на 1-5 дБ) уступает ему в эффективности на низких частотах. Оба глушителя характеризуются примерно одинаковой величиной аэродинамического сопротивления (при объемном расходе 7200 м³/ч перепад

давления составляет у SLGPU-500-1500-100 35 Па, а у SLBGU-500-1500-100 37 Па).

Глушитель SLGPU-800-1500-100 (с цилиндрической вставкой) имеет на 2-20 дБ более высокие значения эффективности во всем частотном диапазоне по сравнению с глушителем SLBGU-800-1500-100, но при этом характеризуется и большей величиной аэродинамического сопротивления (при объемном расходе 18000 м³/ч перепад давления составляет 25 Па и 15 Па соответственно).

Таким образом, можно сделать вывод об отсутствии однозначного преимущества у какого-то типа глушителя. На малых диаметрах глушители с цилиндрической вставкой имеют меньшую величину аэродинамического сопротивления, но при этом характеризуются и более низкими значениями эффективности по сравнению с глушителями с плоской вставкой. При больших диаметрах входного патрубка картина меняется на противоположную. При этом следует учитывать, что при малых диаметрах входного патрубка, хотя глушители с цилиндрической вставкой имеют и меньшие значения эффективности по сравнению с глушителями с плоской вставкой, но сами эти значения, особенно на высоких частотах, имеют достаточно большую величину, достаточную для практических целей шумоглушения. Следует также помнить, что эффект шумоглушения лимитируется, как собственным шумообразованием при прохождении потока воздуха через глушитель со вставкой, так и наличием обходных путей передачи звука, например по кожуху и перфорированной трубе. (То есть чрезмерно высокие значения эффективности не могут быть реализованы на практике). Необходимо также помнить, что установка глушителей с цилиндрической вставкой в непосредственной близости от осевого вентилятора позволяет несколько уменьшить потери давления.

Фирма Systemair выпускает один тип глушителей с плоской вставкой - LDC-B (4 типоразмера) и один тип глушителей с цилиндрической вставкой - HP (30 типоразмеров) [12]. Сравнивать будем глушители LDC-B 400-120 и

HP 630 2D с диаметром входного патрубка 630 мм и длиной 1200 и 1260 мм соответственно. Результаты такого сравнения акустической эффективности приведены в таблице 1.3.

Таблица 1.3 - Эффективность шумоглушения глушителей шума HP 630 2D и LDC-B 400-120 фирмы Systemair.

Типоразмер глушителя	Среднегеометрические частоты октавных полос, Гц							
	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
	Эффективность шумоглушения, ΔI_1 , дБ							
HP 630 2D (с цилиндрической вставкой)	5	6	10	19	29	25	21	20
LDC-B 400-120 (с плоской вставкой)	3	8	10	13	18	18	12	12

Из таблицы 1.3 видно, что для данного типоразмера глушитель с цилиндрической вставкой имеет лучшие характеристики эффективности практически во всем частотном диапазоне. К сожалению характеристики аэродинамического сопротивления для глушителя HP 630 2D фирма не приводит.

Варьировать акустические и аэродинамические характеристики глушителя с цилиндрической вставкой, добиваясь оптимального сочетания этих параметров, можно изменяя диаметр вставки. Как уже было ранее отмечено, фирма Lindab не приводит в своей документации значений диаметра цилиндрической вставки у различных типоразмеров глушителей. Такие данные мы обнаружили только у фирмы Hidria. Отношение между диаметром цилиндрической вставки и диаметром присоединительного патрубка составляет 0,63, $K_{ж.с.} \approx 0,6$. Отношение длины глушителя к диаметру патрубка $\approx 1,5$. Ниже в таблице 1.4 приведены сравнительные характеристики глушителей с цилиндрической вставкой фирмы Lindab и фирмы Hidria [13]. При этом следует учитывать, что глушители с одинаковым диаметром патрубка несколько отличаются по длине.

Таблица 1.4 – Эффективность шумоглушения глушителей шума с цилиндрической вставкой фирмы Lindab и фирмы Hidria.

Типоразмер глушителя и фирма производитель	Длина глушителя, мм	Среднегеометрические частоты октавных полос, Гц							
		63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
		Эффективность глушителя, дБ							
SLGPU-400-600 100 Lindab	600	2	4	11	21	28	31	23	15
ODZ-1 400 Hidria	630	3	5	11	18	27	29	20	11
SLGPU-800-1200 100 Lindab	1200	3	7	15	25	31	22	17	13
ODZ-1 800 Hidria	1250	3	7	14	22	28	30	20	13
SLGPU-1250-1800 100 Lindab	1800	3	7	18	30	25	18	13	11
ODZ-1 1250 Hidria	1930	4	8	17	25	31	31	22	14

При этом глушители фирмы Lindab и фирмы Hidria имеют достаточно близкие значения аэродинамического сопротивления (при диаметре входного патрубка 400 мм и объемном расходе 3600 м³/ч перепад давления составляет 17 Па и 21Па соответственно, при диаметре патрубка 800 мм и расходе 18000 м³/ч - 25Па и 38Па и при диаметре 1250 мм у обоих глушителей 20 Па). Также необходимо отметить, что у глушителей фирмы Hidria наличие обтекателя на цилиндрической вставке является дополнительной опцией, которую необходимо указывать при заказе.

Проведенный по литературным источникам анализ конструкций глушителей с цилиндрической звукопоглощающей вставкой позволяет сделать следующие выводы. Глушители данного типа по сравнению с другими типами глушителей имеют самый большой типоразмерный ряд. Так диаметр входного патрубка у различных производителей изменяется в диапазоне от 200 мм до 2000 мм, а длина глушителя от 300 мм до 3300 мм. Большинство производителей выпускает глушители, длина которых пропорциональна диаметру входного патрубка. (1, 1,5 и 2 калибра). Толщина

звукопоглощающей облицовки колеблется от 50 до 150 мм. Большинство моделей глушителей выпускается с толщиной облицовки 100 мм. (У некоторых производителей толщина облицовки зависит от выпускаемого типоразмера). Глушители с цилиндрической вставкой, по видимому, имеют большую величину $K_{ж.с.}$ по сравнению с большинством выпускаемых пластинчатых глушителей, и при сравнимой или большей акустической эффективности, должны характеризоваться меньшей величиной аэродинамического сопротивления. (Краткий сравнительный анализ подтверждает это). Большинство рассмотренных конструкций глушителей с цилиндрической вставкой имеет цилиндрическую наружную форму корпуса. Но две из рассмотренных конструкций при цилиндрической форме внутреннего канала имеют прямоугольную форму наружного корпуса с поперечным сечением в форме квадрата. Это глушители, выпускаемые фирмами Price (рисунок 1.9) и Caryaire Equipments (рисунок 1.10).

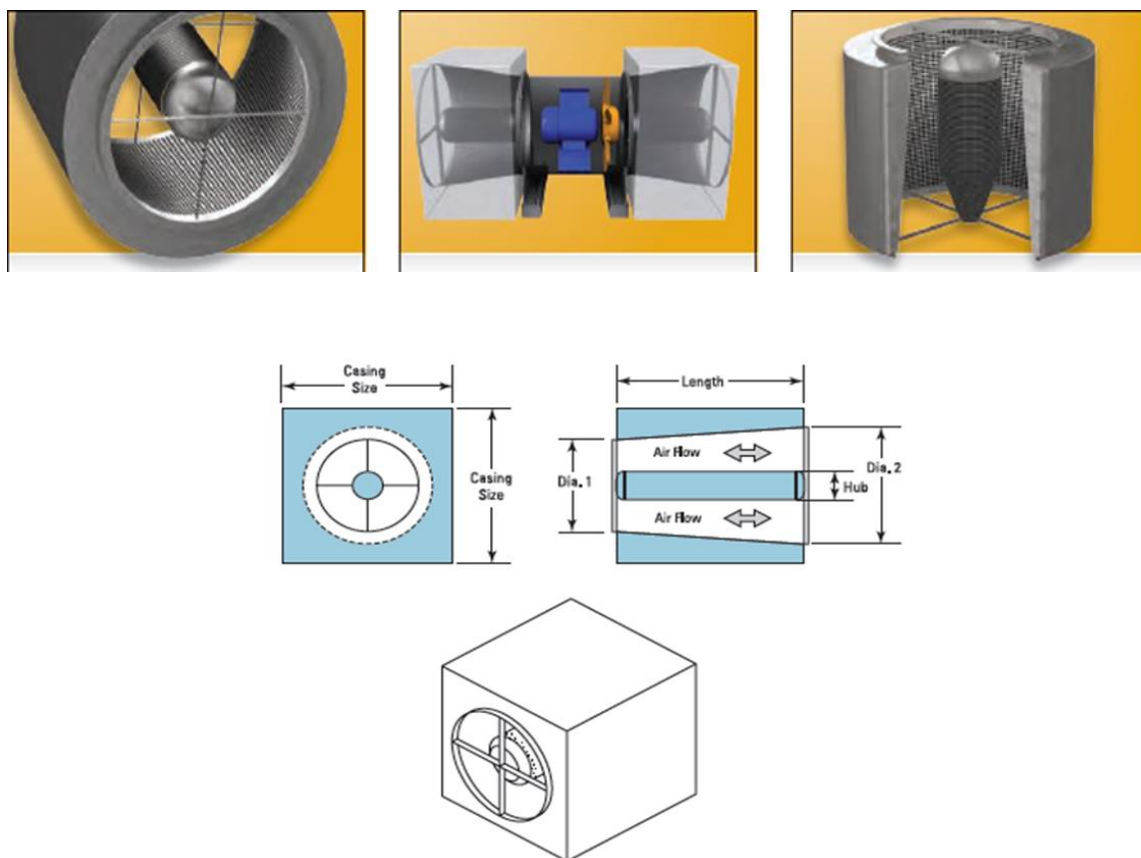


Рисунок 1.9 - Глушитель с цилиндрической вставкой и прямоугольной формой наружного корпуса серии AFS производства фирмы Price.

На конструкции фирмы Price хотелось бы остановиться поподробнее. У глушителей фирмы Price внутренний канал имеет не цилиндрическую, а форму усеченного конуса, и соответственно разные значения диаметров входного (подсоединяемого к вентилятору) и выходного (присоединяемого к воздуховоду) патрубка, соотношение между диаметрами которых подчиняется определенной зависимости (угол раскрытия конуса составляет 15°). Соответственно, и толщина слоя звукопоглощающего материала на концах глушителя имеет разную величину (75 и 140 мм). Также имеются 2 типа цилиндрических звукопоглощающих вставок (у глушителей большого диаметра 3 типа), цилиндрической и каплевидной формы, которые характеризуются различной эффективностью звукопоглощения и разной величиной аэродинамического сопротивления. Глушитель даже при сравнительно небольшой длине характеризуется достаточно высокими значениями эффективности в области низких и средних частот. Причем фирмой приводятся характеристики эффективности глушителя, определенные, как при статических, так и при динамических испытаниях. Надо отметить, что существующие стандарты определения характеристик эффективности глушителей рассматривают только статические методы испытаний (при отсутствии воздушного потока). Большинство фирм имеют акустические стенды для определения характеристик глушителей в статическом режиме испытаний, и, соответственно, приводят характеристики эффективности, определенные данным методом. Считается, что при скоростях воздушного потока до 20 м/с, он практически не влияет на эффективность шумоглушения. А вообще влияние воздушного потока (при больших скоростях) заключается в уменьшении эффективности глушителя. Но в данном случае наличие воздушного потока приводит к возрастанию эффективности глушителя в области низких и средних частот на 1-5 дБ, которая достигает на частотах 63 и 125 Гц величины 12 дБ и 20 дБ соответственно. (В данном случае рассматривается глушитель с диаметром входного патрубка 450 мм и длиной 900 мм). Возрастание эффективности

зависит от типа используемой звукопоглощающей вставки. То есть можно предположить, что установка такого глушителя позволяет не только снизить шум, излучаемый вентилятором, но и уменьшить уровень звукоизлучения самого вентилятора. При этом данный тип глушителя характеризуется достаточно низкой величиной аэродинамического сопротивления. Так при объемном расходе 5800 м³/ч перепад давления составляет 15 Па. (Для сравнения перепад давления на глушителе RSA 500x300 с примерно такой же площадью поперечного сечения и при таком же объемном расходе около 200 Па) [14].

У фирмы Caryaire Equipments, выпускающей глушители, как с круглой (CAF-R), так и с прямоугольной (CAF-S) (рисунок 1.10) формой наружного корпуса, если судить по характеристикам приведенным в ее каталоге, более высокую акустическую эффективность демонстрируют глушители с круглой формой наружного корпуса.

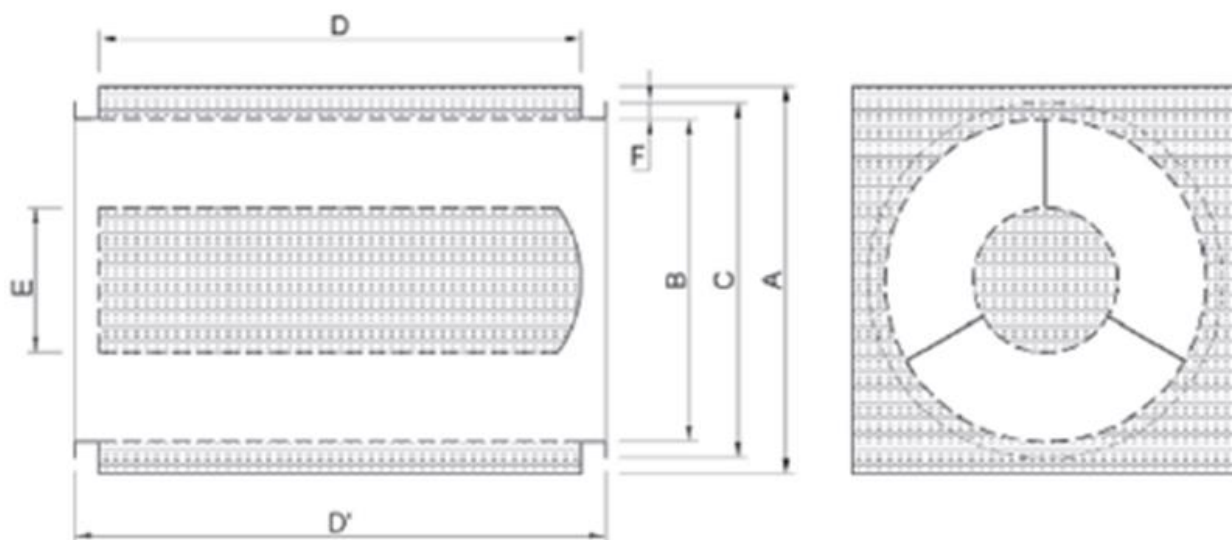


Рисунок 1.10 - Глушитель с цилиндрической вставкой и прямоугольной формой наружного корпуса серии CAF-S фирмы Caryaire Equipments.

Ниже, в таблице 1.5, приведены сравнительные характеристики глушителей этой фирмы с различной формой наружного корпуса длиной 2 калибра. (Фирма выпускает еще глушители длиной 1 и 1,5 калибра и там наблюдается примерно такая же картина) [15].

Таблица 1.5 - Эффективность шумоглушения глушителей шума фирмы Caryaire с круглой (CAF-R) и прямоугольной (CAF-S) формой наружного корпуса.

Типоразмер глушителя	Среднегеометрические частоты октавных полос, Гц					
	125	250	500	1000	2000	4000
	Эффективность глушителя, дБ					
CAF-R-315	6	7	17	32	33	22
CAF-S-315	6	6	16	26	17	13
CAF-R-355	2	8	19	40	39	27
CAF-S-355	2	6	15	25	16	12
CAF-R-400	2	9	20	37	35	23
CAF-S-400	2	7	18	24	15	12
CAF-R-450	3	10	23	39	36	21
CAF-S-450	1	7	21	21	15	10
CAF-R-500	3	10	24	38	32	18
CAF-S-500	2	8	23	21	14	11
CAF-R-560	2	12	27	41	35	18
CAF-S-560	1	9	24	19	14	10
CAF-R-630	3	11	27	37	29	15
CAF-S-630	2	9	25	17	14	10
CAF-R-710	5	14	29	41	32	18
CAF-S-710	4	9	24	14	11	8
CAF-R-800	6	16	29	35	26	15
CAF-S-800	6	13	22	14	10	9
CAF-R-900	7	17	30	34	20	12
CAF-S-900	6	14	23	13	9	7
CAF-R-1000	13	28	39	47	38	19
CAF-S-1000	6	16	23	12	7	7
CAF-R-1120	14	26	36	42	24	13
CAF-S-1120	6	15	23	10	7	6
CAF-R-1250	13	25	35	37	17	11
CAF-S-1250	8	17	22	10	6	6
CAF-R-1400	14	25	33	38	18	10
CAF-S-1400	7	16	22	11	5	6
CAF-R-1600	13	24	34	20	16	9
CAF-S-1600	8	16	23	10	6	5

Как можно заметить из таблицы 1.5 глушители с круглой формой наружного корпуса имеют значительное преимущество в акустической эффективности, особенно в области высоких частот. Такое преимущество (до 35 дБ на 1000 Гц) при одинаковом диаметре цилиндрической вставки и использовании одинакового звукопоглощающего материала необъяснимо с точки зрения акустики. Поэтому приведенные в каталоге фирмы характеристики эффективности глушителей, особенно с цилиндрической формой наружного корпуса, при внимательном анализе вызывают определенное недоверие. Вообще сравнение характеристик глушителей, особенно различных производителей, не имеет большого смысла, так как зачастую они получены в разных условиях (статический и динамический режим испытаний) по разным методикам на разных испытательных стендах и даже поверхностный анализ показывает, что они имеют различную достоверность.

В заключение, хотелось бы отметить, что, с нашей точки зрения, возможно более целесообразно создание конструкции глушителя с цилиндрической центральной вставкой не аналогичной выпускаемым фирмами Lindab, Trox, Systemair и Hidria, а имеющей прямоугольную форму наружного корпуса (с прямоугольной, а не квадратной формой поперечного сечения), что, возможно, позволило бы увеличить эффективность шумоглушения в области низких частот, а в высокочастотной области глушители с цилиндрической вставкой и так имеют достаточно высокую для практических целей эффективность. Следует также провести испытания таких глушителей при различной форме обтекателя центральной вставки с целью выбора оптимального варианта. Диаметр центральной вставки следует выбирать из условия обеспечения Кж.с. в пределах 0,6-0,7.

Современный рынок России в полной мере обеспечен разными видами устройств, снижающими уровень шума, в том числе и шумоглушителями от более чем 200 малых и крупных производителей, но нельзя на все 100% сказать, что все шумоглушители, представленные отечественными и

зарубежными производителями, качественно выполняют свою главную функцию – снижают уровень шума. Об этом нам говорят и статистические данные Роспотребнадзора по РФ: из полутора тысяч обследованных рабочих мест, на которых проводились измерения шума, на 475 (31,7%) рабочих местах было установлено превышение предельно-допустимого уровня шума.

Поэтому актуальной данной выпускной квалификационной работы, на сегодняшний день, достаточно высока.

В следующей главе данной работы остановимся на выборе конструкции и параметров опытного образца канального глушителя шума с центральной цилиндрической звукопоглощающей вставкой.

Глава 2. Конструкция опытного образца канального глушителя шума с центральной цилиндрической звукопоглощающей вставкой

Опытный образец канального глушителя с центральной цилиндрической звукопоглощающей вставкой CSC (рисунок 2.1) изготовлен на основе, описанного в первой главе, шумоглушителя для круглых воздуховодов с прямоугольным корпусом CSR, но с наличием цилиндрической центральной звукопоглощающей вставки. Данный шумоглушитель предназначен для снижения аэродинамического шума в воздуховодах круглого сечения. Шумоглушитель разработан для монтажа в ограниченном пространстве и имеет малую габаритную высоту, устанавливается независимо от направления движения воздуха.

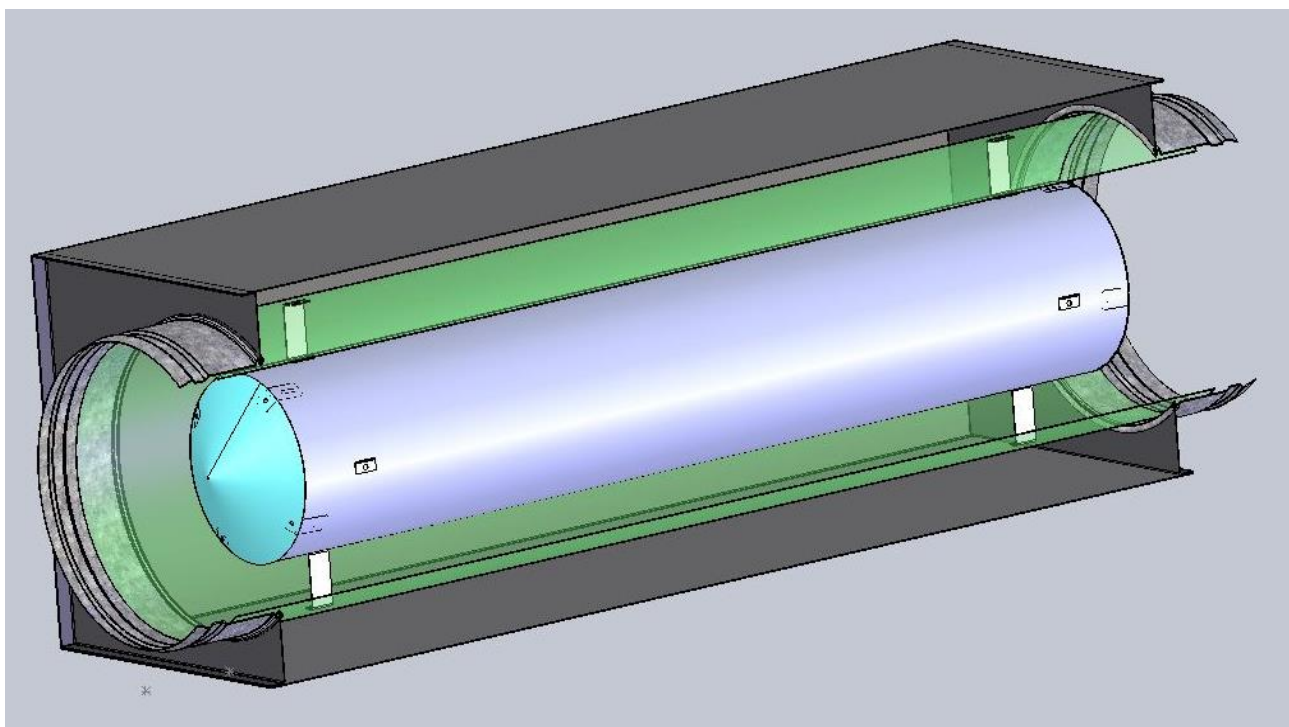


Рисунок 2.1 – Внешний вид опытного образца канального глушителя с центральной цилиндрической звукопоглощающей вставкой.

В данной выпускной квалификационной работе использовался образец типоразмера 250. Внутренний канал глушителя имеет круглое сечение диаметром соответственно 250 мм. Наружный корпус глушителя имеет форму прямоугольного параллелепипеда, изготавливается из оцинкованной

стали. Пространство между внутренним каналом и наружным корпусом заполнено звукопоглощающим материалом «Rockwool тех мат 50». «Rockwool тех мат 50» представляет собой лёгкие гидрофобизированные базальтоволоконистые маты на синтетическом связующем. Плотность 43 кг/м³. Длина активной части глушителя составляет 900 мм. По центру внутреннего канала расположена цилиндрическая вставка из звукопоглощающего материала «Rockwool тех мат 50» диаметром 150 мм.

В конструкции данного шумоглушителя применена цилиндрическая вставка, а не плоская с целью использования данного шумоглушителя в непосредственной близости от осевого вентилятора. На выходе из вентилятора без спрямляющего устройства профиль скоростей в воздушном канале неравномерный. Наибольшая скорость потока воздуха находится на периферии, а в центре скорость близка к нулю. В случае установки шумоглушителя с цилиндрической вставкой вблизи от осевого вентилятора вставка не будет препятствовать потоку воздуха исходящего из него.

Для снижения величины аэродинамического сопротивления, а также собственной генерации шума самим шумоглушителем на торцах цилиндрической звукопоглощающей вставки были установлены обтекатели в виде конического сегмента из перфорированной стали с тремя значениями угла при вершине конуса: 60° (рисунок 2.2), 120° и 180° (плоская или без обтекателя). Угол при вершине конуса обтекателя 60° выбирался исходя из возможностей вальцовочного станка, остальные два угла были выбраны как средний и крайний вариант обтекателя. Вставки обеспечат более плавное изменение скорости воздушного потока по сравнению с изменением скорости при резком изменении поперечного сечения и, соответственно, уменьшает величину аэродинамического сопротивления. Рекомендуемый угол при вершине конуса обтекателя обтекателя определится в период испытаний.

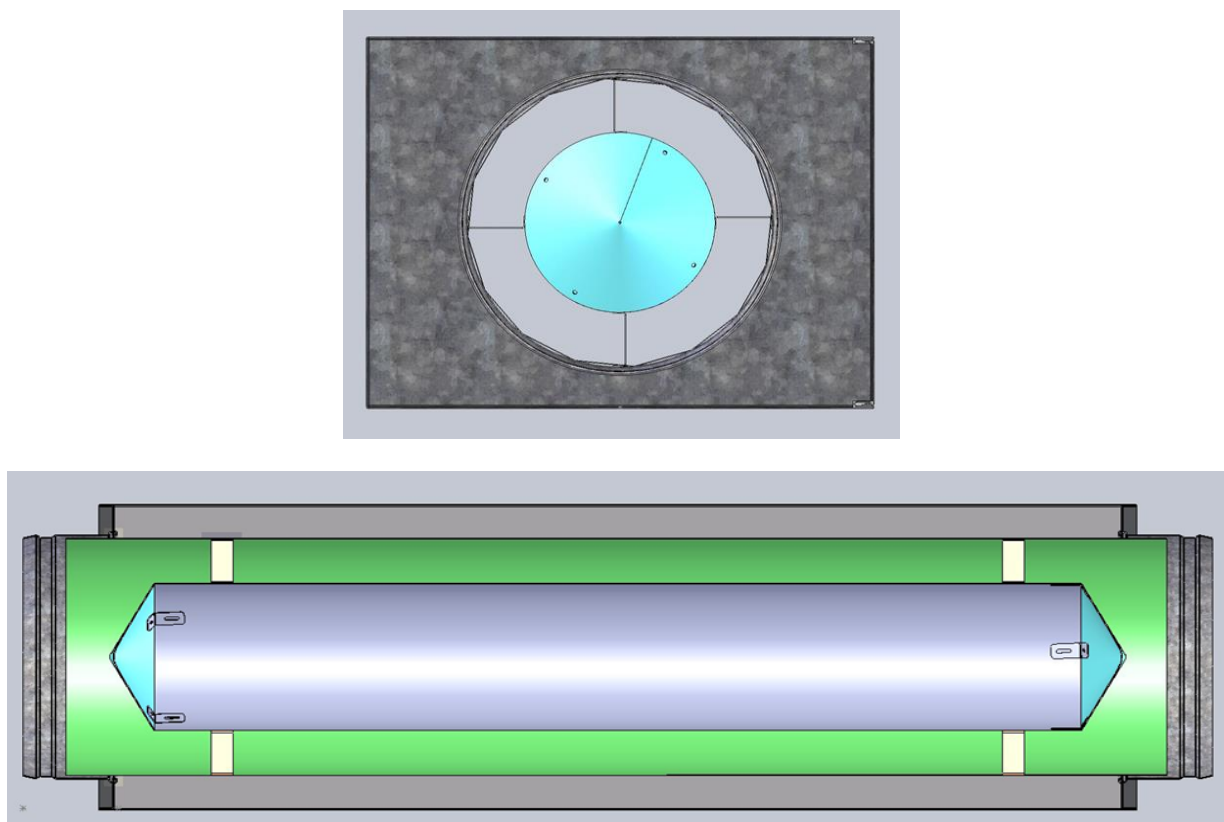


Рисунок 2.2 – Цилиндрическая центральная вставка с обтекателем в виде конического сегмента (угол при вершине конуса 120°).

Глушители CSC (рисунок 2.3) будут иметь габаритные размеры и диаметры патрубков как у шумоглушителя CSR (таблица 2.1).

Таблица 2.1 - Конструктивные характеристики шумоглушителей CSC.

Типоразмер	ØD, мм	D1, мм	A, мм	B, мм	Масса не более, кг
CSC 250 / 900	249	150	400	310	21,4
CSC 315 / 900	314	190	470	375	25,3
CSC 355 / 900	354	210	510	415	28,8
CSC 400 / 900	399	240	560	460	30,9
CSC 500 / 900	499	300	660	560	39,4
CSC 630 / 900	629	380	790	690	47,7

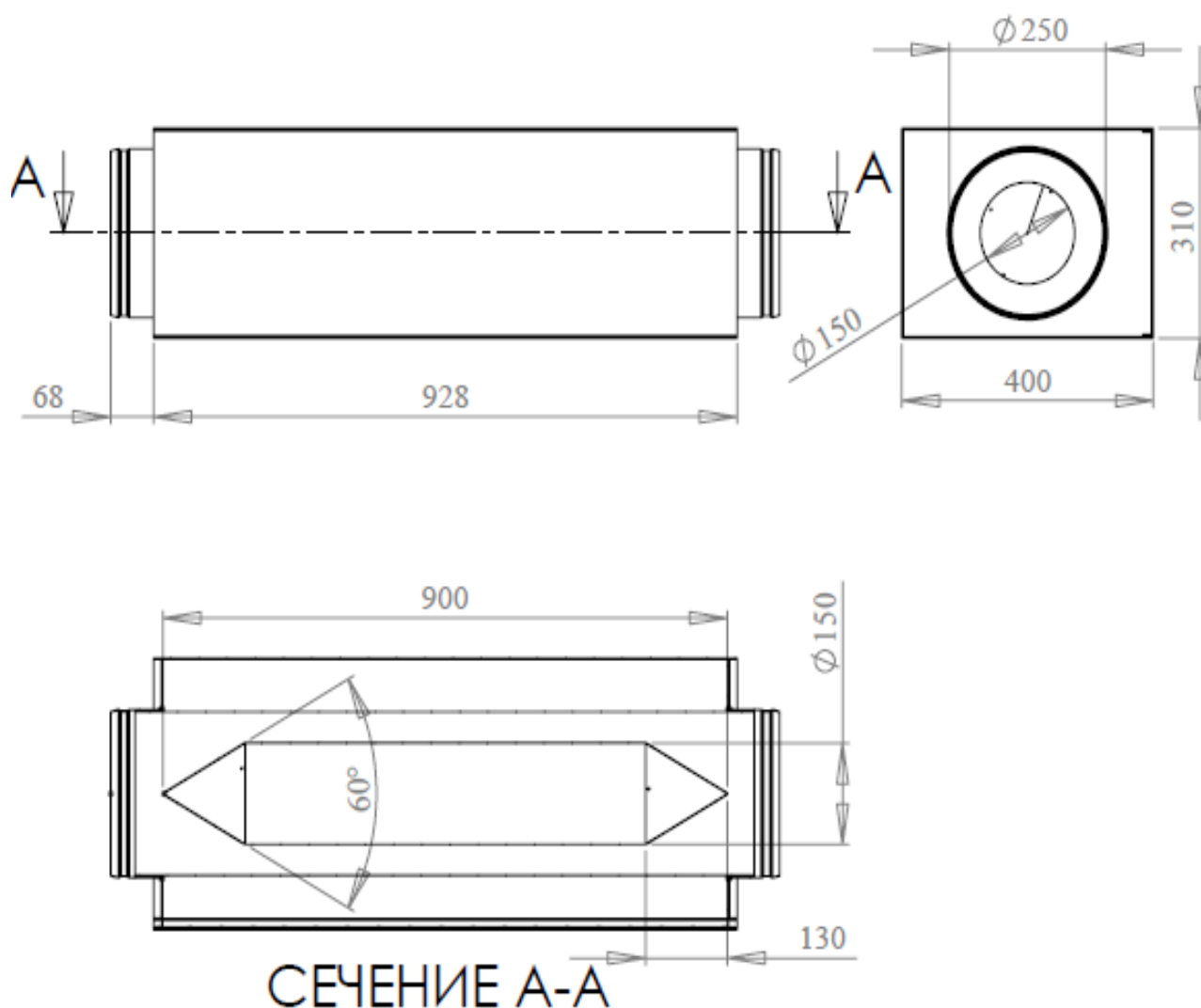


Рисунок 2.3 – Чертёж шумоглушителя CSC 250/900 с цилиндрической центральной вставкой с обтекателем в виде конического сегмента.

Изготавливать шумоглушитель с квадратной формой поперечного сечения нецелесообразно: при производстве квадратного глушителя со стороной равной «А» высота его будет больше, чем у большинства канальных вентиляторов; при изготовлении квадратного глушителя со стороной равной «В», эффективность глушителя уменьшится.

Необходимо предусмотреть возможность изготовления шумоглушителей с фланцевым соединением на заказ для монтажа непосредственно к осевому вентилятору (разрабатывать указанный вид

соединения изначально нецелесообразно, т.к. у разных производителей вентиляторов разные размеры фланцевого соединения).

Условия эксплуатации

Шумоглушители CSC предназначены для снижения шума, распространяющегося по вентиляционной сети в тех случаях, когда требуется повышенная эффективность шумоглушения по сравнению с обычными канальными глушителями (типа CSR или CSA), а также для установки в непосредственной близости от осевого вентилятора. При монтаже вплотную к вентилятору уменьшаются аэродинамическое сопротивление шумоглушителя и интенсивность шумоизлучения самого осевого вентилятора, что можно рассматривать, как дополнительный эффект шумоглушения.

Применение шумоглушителей осуществляется в соответствии с требованиями СП 60.13330.2012 «Отопление, вентиляция и кондиционирование воздуха» [16].

Шумоглушители должны быть изготовлены в климатическом исполнении УХЛ 1 по ГОСТ 15150-69 [17].

В следующей главе будет подробно рассказано о методике измерения опытного образца канального глушителя, отмечены особенности и специфика методов измерения данного образца. Так же познакомимся с назначением, конструкцией, техническими данными и принципами работы акустического стенда, на котором будут производиться испытания опытного образца канального глушителя шума с центральной цилиндрической звукопоглощающей вставкой.

Глава 3. Методика измерения опытного образца канального глушителя шума с центральной цилиндрической звукопоглощающей вставкой в заглушенной камере со звукоотражающим полом

3.1 Методика измерения опытного образца канального шума с центральной цилиндрической звукопоглощающей вставкой.

В ходе проведения акустических испытаний опытных образцов глушителей шума CSR определялась эффективность шумоглушения (Δl_1) в дБ без учета отражения звука от открытого конца («вносимые потери» по терминологии ГОСТ 28100-2007) [18].

Измерения эффективности шумоглушения проводились в соответствии с требованиями ГОСТ 52799-2007 (ИСО 11691:1995) [19] и «Методикой определения величины снижения шума шумоглушителями и воздухораспределительными устройствами», разработанной в испытательном центре НИЛАА, которая учитывает специфику проведения измерений в заглушенной камере со звукоотражающим полом [20].

В соответствии с ГОСТ 28100-2007 эффективность глушителя определяется как снижение уровня звуковой мощности в воздуховоде позади испытуемого объекта, обусловленное установкой испытуемого объекта вместо замещающего воздуховода, то есть используется метод замещения. Замещающий воздуховод представляет собой жесткий, не поглощающий звук элемент воздуховода, имеющий такие же, как у испытуемого объекта длину и соединительные поперечные сечения. При этом к конструкции испытательной установки вообще, и к замещающему воздуховоду в частности, предъявляются определенные требования, которые позволяют исключить влияние обходных путей прохождения звука на результат измерений.

Необходимо отметить, что при проведении испытаний глушителей CSC исключение влияния обходных путей прохождения звука на результат измерений является более сложной задачей, по сравнению с испытаниями обычных канальных глушителей (CSA или CSR). Глушители с цилиндрической центральной вставкой имеют более высокие значения эффективности по сравнению с обычными канальными глушителями и сигнал, прошедший через канал глушителя со звукопоглощающей вставкой ослабляется в большей степени, чем в случае обычного канального глушителя. Соответственно, возрастает относительный вклад сигнала помех, обусловленного обходными путями прохождения звука (через корпус глушителя, переходные устройства и стенки измерительного канала). Вклад обходных путей прохождения звука и учет их влияния на результат измерений проводился в соответствии с требованиями ГОСТ 28100-2007 (ИСО 7235:2003).

При проведении измерений использовалась универсальная многоканальная многофункциональная система «PULSE 3560- В-030» (зав. № 2518504), производства фирмы «Брюль и Кьер» (Дания), снабженная 5 микрофонными блоками, в состав которых входит измерительный микрофон типа 4189 и предусилитель типа 2969L. Перед началом измерений была проведена сквозная калибровка измерительного тракта с помощью акустического калибратора 4226 [21]. Вся вышеперечисленная аппаратура прошла госповерку в установленном порядке. Блок-схема измерительного тракта для испытаний глушителей CSC представлена на рисунке 3.1.

Глушитель (1) помещался в подкамерное помещение (см. рисунок 3.1). Выходное сечение глушителя было вровень с полом заглушенной камеры. Использовался замещающий воздуховод (2). Соединение источника звука (4) и входного патрубка глушителя (или замещающего воздуховода) осуществлялось с помощью диффузора (3). Измерительные точки (5-9) располагались по полусфере радиусом 2 м или 1 м, в центре которой

находился выходной патрубок испытуемого глушителя. Метод измерений соответствует требованиям ГОСТ 52799-2007 (ИСО 11691:1995).

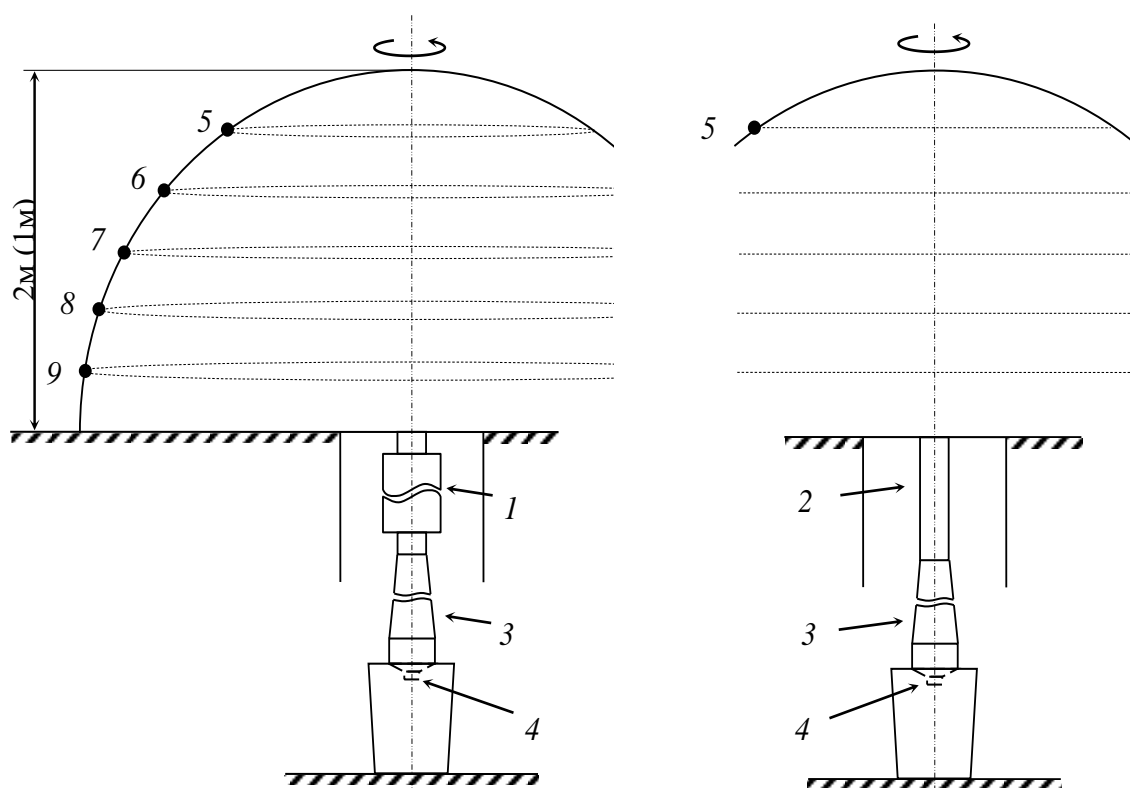


Рисунок 3.1 - Измерение эффективности шумоглушителя CSC: 1 - испытуемый шумоглушитель, 2 – замещающий воздуховод, 3 – диффузор, 4 – акустический излучатель, 5 - 9 – круговые измерительные траектории.

Так как данные измерения эффективности шумоглушения проводились после модернизации акустического стенда, с использованием измерительной схемы, имеющей некоторые отличия от применявшейся ранее, до модернизации, то для повышения надежности и точности результатов, проводились дополнительные (дублирующие) измерения с иным расположением измерительных точек. Блок схема таких измерений представлена на рисунке 3.2.

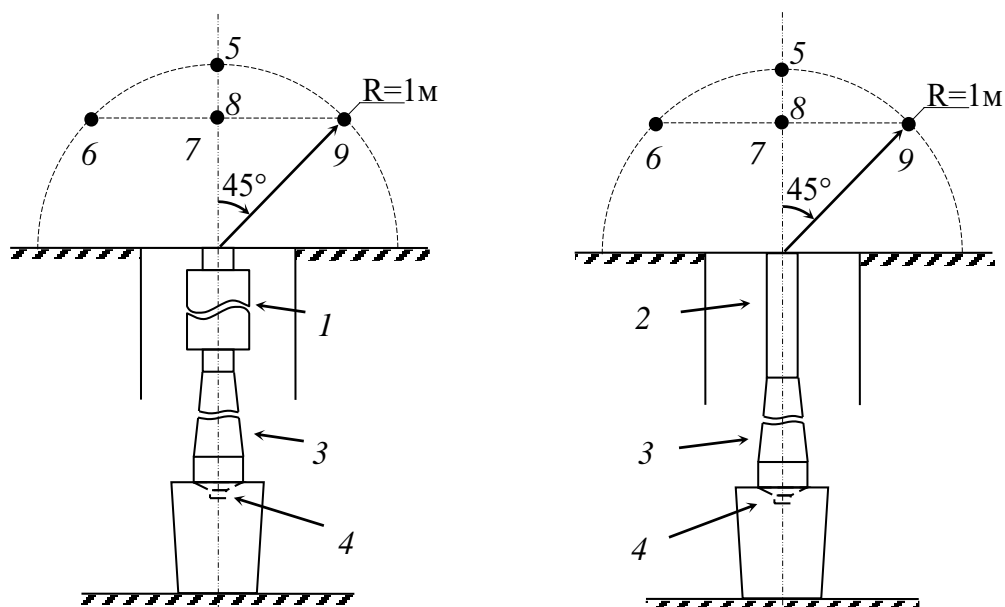


Рисунок 3.2 – Дополнительные (дублирующие) измерения эффективности шумоглушителя: 1– испытуемый шумоглушитель, 2 – замещающий воздуховод, 3 – диффузор, 4 – акустический излучатель, 5-9 –измерительные точки.

Дополнительные измерения отличаются только расположением точек на измерительной поверхности. Одна измерительная точка (5) располагается на геометрической оси глушителя на расстоянии 1м от его выходного сечения и четыре измерительные точки (6-9) располагаются под углом 30° или 45° в двух взаимно-перпендикулярных плоскостях на расстоянии 1м от выходного сечения глушителя. Данный метод реализован для учета влияния лучевого эффекта. Метод измерений в основном соответствует требованиям ГОСТ 52799-2007 (ИСО 11691:1995). Присутствует отличие в расположении измерительных точек, но при этом отличие не принципиальное, так как используется сравнительный метод измерений.

В качестве источника сигнала, подаваемого на источник звука на основе динамика «Prology TX 1323», использовался генератор розового шума анализирующей системы PULSE 3560-B-030, производства фирмы «Брюль и Кьер» (Дания). При использовании обоих измерительных схем проводилась

оценка влияния обходных путей прохождения звука. Оценка влияния обходных путей прохождения звука (акустических помех) проводилась в соответствии со стандартом ГОСТ 28100-2007 (ИСО 7235:2003). С этой целью выходное отверстие глушителя (или замещающего воздуховода) закрывалось специальной цилиндрической заглушкой из стали, толщиной 6 мм, покрытой слоем звукопоглощающего материала, толщиной 100 мм, затем измерялись УЗД в измерительных точках при закрытом заглушкой выходном сечении глушителя. При достаточной звукоизолирующей способности заглушки, измеренные УЗД, в данном случае, определяются в основном обходными путями прохождения звука (сигнал акустических помех). Затем заглушка убиралась, и снова определялись УЗД в тех же измерительных точках. Уровень звуковой мощности, излучаемый источником шума при этом не изменялся. В этом случае, измеренные УЗД определяются суммой исследуемого сигнала, прошедшего через глушитель и сигнала акустических помех. Если разница между измеренными значениями УЗД в измерительной точке при установленной и снятой заглушке составляет 10дБ и более, то влиянием обходных путей проникновения звука в измерительную точку можно пренебречь. Если она менее 10дБ, то в результаты измерений необходимо вносить поправку в соответствии с законами энергетического суммирования. При использовании данной конфигурации акустического стенда, в отличие от проводимых ранее измерений эффективности глушителей шума, необходимости в коррекции результатов практически не возникало [22].

Следует сразу отметить, что результаты измерения эффективности, основанные на определении уровней звуковой мощности (на измерительных сферах с радиусом 1 и 2 м) и дополнительные измерения, основанные на измерении вносимой разности уровней звукового давления, показали достаточно близкие результаты. Некоторое отличие в величине эффективности шумоглушения наблюдается в основном в области высоких частот и обусловлено наличием «лучевого эффекта».

Результаты измерений эффективности опытных образцов глушителей CSC, определенные в соответствии с ГОСТ 52799-2007 (ИСО 11691:1995) (блок-схема представлена на рис.3.4) сопоставлялись со значениями эффективности шумоглушения глушителя CSR 250, также определенной при проведении настоящих испытаний, и глушителя CSI 250, испытанного ранее, а также с эффективностью шумоглушения зарубежных аналогов: глушителей PVAP-250-900-100 фирмы «Lindab» (Швеция), имеющего круглую форму наружного корпуса и толщину материала 100 мм (диаметр цилиндрической центральной вставки неизвестен).

Надо отметить, что существующие международные (ИСО) и отечественные стандарты определения характеристик эффективности глушителей рассматривают только статические методы испытаний (при отсутствии воздушного потока). Большинство фирм, выпускающих глушители, имеют акустические стенды для определения характеристик глушителей в статическом режиме испытаний, и, соответственно, приводят характеристики эффективности, определенные данным методом. Считается, что при скоростях воздушного потока до 20 м/с, он практически не влияет на эффективность шумоглушения. При больших скоростях воздушного потока может изменяться плотность материала и, соответственно, характеристики его звукопоглощения, что, как правило, приводит к снижению эффективности шумоглушения. Но, как утверждают различные источники, при монтаже такого глушителя вплотную к осевому вентилятору уменьшаются аэродинамическое сопротивление шумоглушителя и интенсивность шумоизлучения самого осевого вентилятора, что можно рассматривать, как дополнительный эффект шумоглушения. Этот дополнительный эффект можно обнаружить при проведении динамических испытаний при наличии воздушного потока. Методика проведения таких испытаний приведена в американском стандарте ASTM E477-13. К сожалению, данный стандарт отсутствует в открытом доступе. Поэтому динамические испытания мы проводили по собственной методике, которая

во многом аналогична методике статических испытаний, то есть в данном случае также использовался метод замещения, только вместо акустического излучателя с диффузором непосредственно к входному патрубку глушителя (или замещающего воздуховода) подсоединялся осевой вентилятор Ostberg СК 250 С, который работал либо в режиме притока, либо удаления воздуха. Испытания проводились при двух значениях объемного расхода воздуха: 570 м³/ч и 880 м³/ч. Измерительные точки располагались также, как и при статических испытаниях (см. рис. 3.4 и 3.5).

Проведение измерений с использованием измерительных полусфер двух различных радиусов (1 и 2 м) объясняется следующим обстоятельством. Измерения с расположением измерительных точек на полусфере радиусом 2м характеризуются более высокой точностью, так как в этом случае на результат измерений в меньшей степени оказывает влияние эффект ближнего поля. (Рекомендуется использовать измерительную сферу максимально возможного для данного измерительного помещения радиуса. 1 м - это минимально допустимое значение). Но при этом уровень измеряемого сигнала по сравнению со сферой радиусом 1 м будет на 6 дБ ниже. И при измерениях в области высоких частот, где испытываемый глушитель характеризуется достаточно высокими значениями эффективности (50 дБ и выше), измеряемое значение может быть сопоставимо с уровнем акустического фона в заглушенной камере.

Для снижения величины аэродинамического сопротивления, а также собственной генерации шума самим шумоглушителем на торцах цилиндрической звукопоглощающей вставки были установлены обтекатели в виде конического сегмента из перфорированной стали с тремя значениями угла при вершине конуса: 60°, 120° и 180° (плоская или без обтекателя).

3.2 Назначение акустического стенда

Акустический стенд (далее – АС), предназначен для:

- определения в условиях свободного звукового поля уровней звуковой мощности (УЗМ) и направленности источников шума, в том числе воздухораспределительного оборудования, с максимальным линейным размером до 1,5м по звуковому давлению точным методом по ГОСТ ISO 3745-2014 [23];
- определения вносимых потерь (снижение УЗМ в воздуховоде позади испытуемого объекта, обусловленное установкой испытуемого объекта вместо замещающего воздуховода) в элементах вентиляционных систем и устройствах перемещения воздуха по ГОСТ 28100-2007 (ИСО 7235:2003) и ГОСТ 52799-2007 (ИСО 11691:1995);

Условия эксплуатации АС должны соответствовать требованиям ГОСТ ISO 3745-2014.

3.3 Основные технические данные полузаглушенной камеры

1. Размер полузаглушенной камеры, входящей в состав АС, (свободный объем) после заглушения $L \times B \times H = 8,0 \times 4,5 \times 4,6$, м;
 $V = 165,6$ м³.
2. Испытательное пространство (рабочая зона измерений) определена как объем, расположенный на расстоянии 0,75 м от звукопоглощающих конструкций стен и потолка.
3. Уровень акустических помех в испытательном пространстве заглушенной камеры АС не превышает значений, приведенных в таблице 3.1.

Таблица 3.1 – Уровни акустических помех в заглушенной камере АС.

Средние геометрические частоты октавных полос, Гц	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
Уровень помех, дБ	26	10	<10	<10	<10	<10	<10	<10

4. Уровень помех по корректирующей кривой А в испытательном пространстве не более 10 дБА.
5. Отклонение ΔL , дБ, от условий свободного поля в испытательном пространстве в диапазонах частот составляет:
менее 500Гц..... $\pm 2,5$;
от 1000 до 5000 Гц..... $\pm 2,0$;
Свыше 5000 Гц..... $\pm 3,0$;
6. Средний коэффициент звукопоглощения в камере, $\alpha_{ср}$:
в диапазоне частот ниже 125Гц, не менее.....0,90
в диапазоне частот выше 125Гц, не менее..... 0,95
7. Коэффициент звукопоглощения звукоотражающего пола, не более... .0,06
8. Максимальный радиус измерительной полусферы по ГОСТ ISO 3745 2014,м.....3
9. Среднегеометрические частоты октавных полос измерительного диапазона, Гц.....63-8000
10. Максимальный линейный размер испытываемого оборудования точным методом, м, не более..... 1,5
11. Максимальный объем испытываемого оборудования, м³, не более.....0,8
12. Площадь выходного отверстия измерительного воздуховода, м².....0,2
13. Звукоизоляция ограждающих конструкций камеры, R, дБ, не менее.....67
14. Допускаемая абсолютная погрешность определения уровней звуковой мощности, дБ..... $\pm 1,5$.

Технические характеристики, приведенные в п.п. 2, 7, 9., 13 - 14 являются справочными. Характеристики, приведенные в п.п. 1, 6., проверяются путем анализа технической документации. Характеристики, приведенные в п.п.8, 10 определяются путем расчета (см. п. 8.2 ГОСТ ISO 3745-2014) и уточняются в ходе проведения аттестационных испытаний. Характеристики, приведенные в п.п. 10-11 проверяются путем расчета (см. п.

8.2 ГОСТ ISO 3745-2014). Характеристики, приведенные в п.п. 3-5 проверяются в ходе проведения аттестационных испытаний.

3.4 Конструкция и принцип работы

3.4.1 Конструкция акустического стенда

Конструкция акустического стенда представляет собой систему смежных по горизонтали и вертикали основных и вспомогательных помещений (рисунок 3.3 а, б).

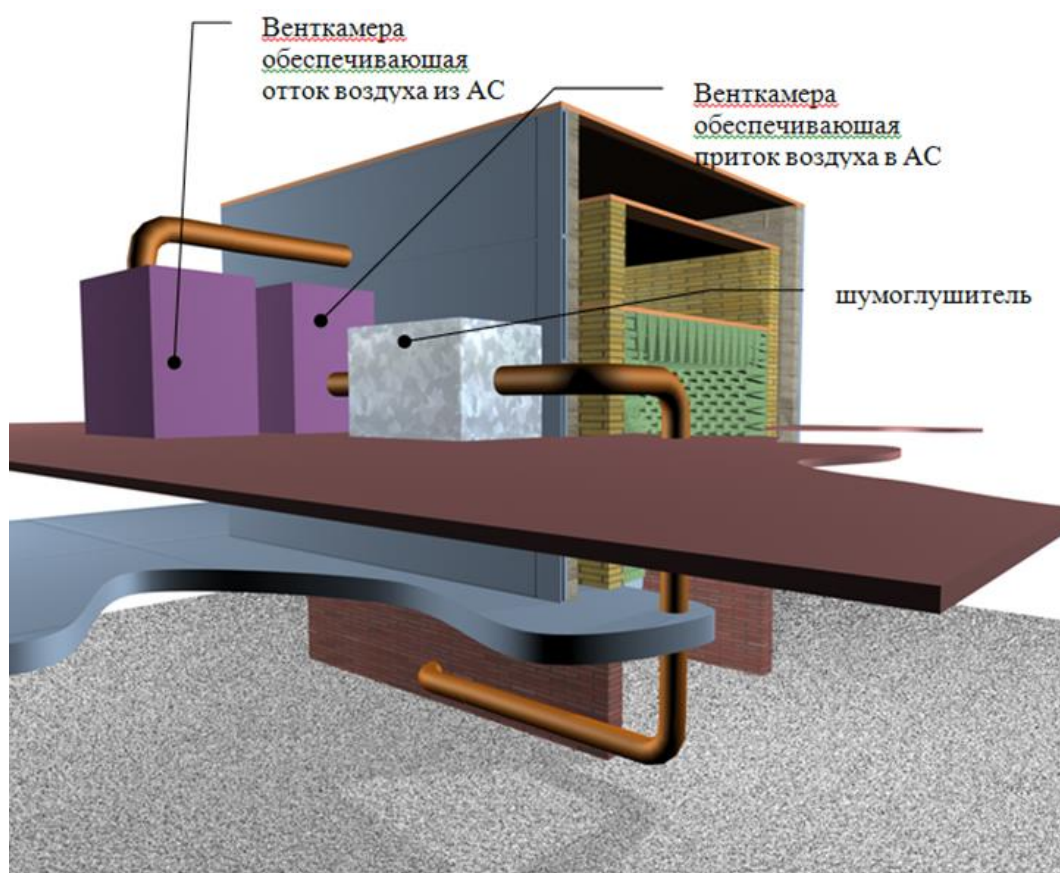


Рисунок 3.3 (а) – Конструкция акустического стенда (вид сбоку).

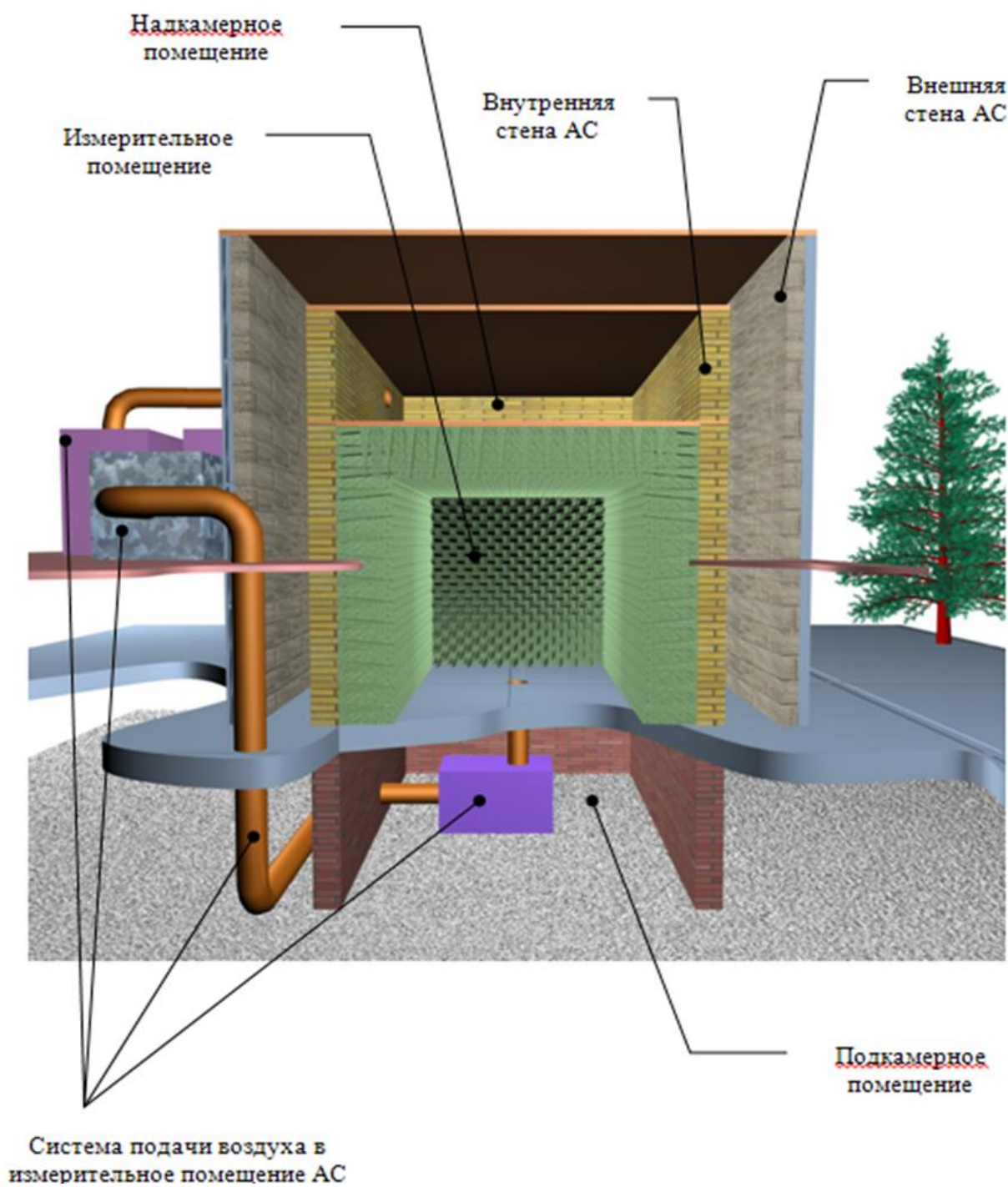


Рисунок 3.3(б) – Конструкция акустического стенда.

Основное испытательное помещение (полузаглушенная камера) представляет собой параллелепипед прямоугольной формы на отметке + 2.400. Размеры его до заглушения 10,0 x 6,5 x 5,6 м (рисунок 3.4).

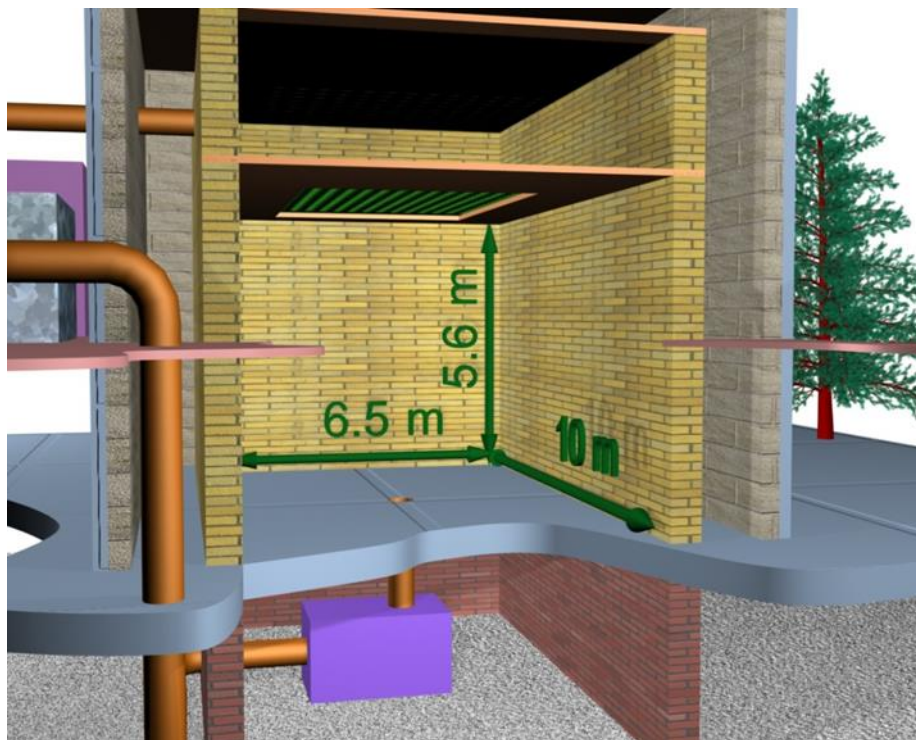


Рисунок 3.4 – Погузашлушенная камера без облицовки.

Стены камеры кирпичные толщиной 500 мм и пенобетонные толщиной 300 мм с панелями VPS 150, разделенные воздушным промежутком 700 мм; потолок – двойной железобетонный толщиной 100 мм и 220 мм со стяжкой 50 мм, разделенный промежутком 1500 мм с облицовкой звукопоглощающими плитами из базальтового волокна типа Paroc IVL толщиной 100 мм. Пол бетонный наливной, звукоотражающий. Стены камеры, входная дверь и потолок облицованы звукопоглощающими конструкциями, представляющими собой клинья из базальтовой минеральной ваты марки BLT 6 по ГОСТ 4640-2011[24] с покрытием из нетканого звукопроницаемого материала по ГОСТ 26966-86 (рисунок 3.5) [25].

Длина клиньев – 1,0 м, площадь основания – $0,04 \text{ м}^2$. Воздушный зазор между основаниями клиньев и стенами 0,15 м. Клинья, облицовывающие потолок, размещаются с зазором на расстоянии 10 мм друг от друга.

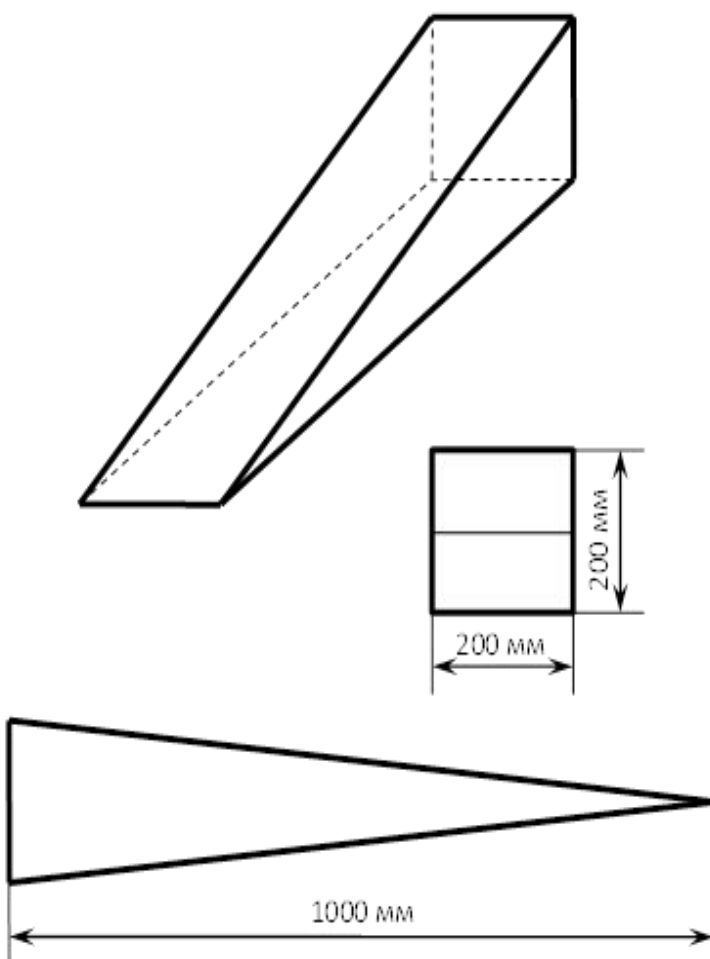


Рисунок 3.5 – Полузаглушенная камера с облицовкой.

Клинья смонтированы так, чтобы грани вершин соседних клиньев были взаимно перпендикулярны.

Дверь в камеру двойная из стального листа 4 мм с заполнением звукопоглощающими плитами URSA марки M15 и плитами марки П60 с уплотнителем по контуру типа DURYS B55 размером 2,1 x 1,0 (рисунок 3.6).

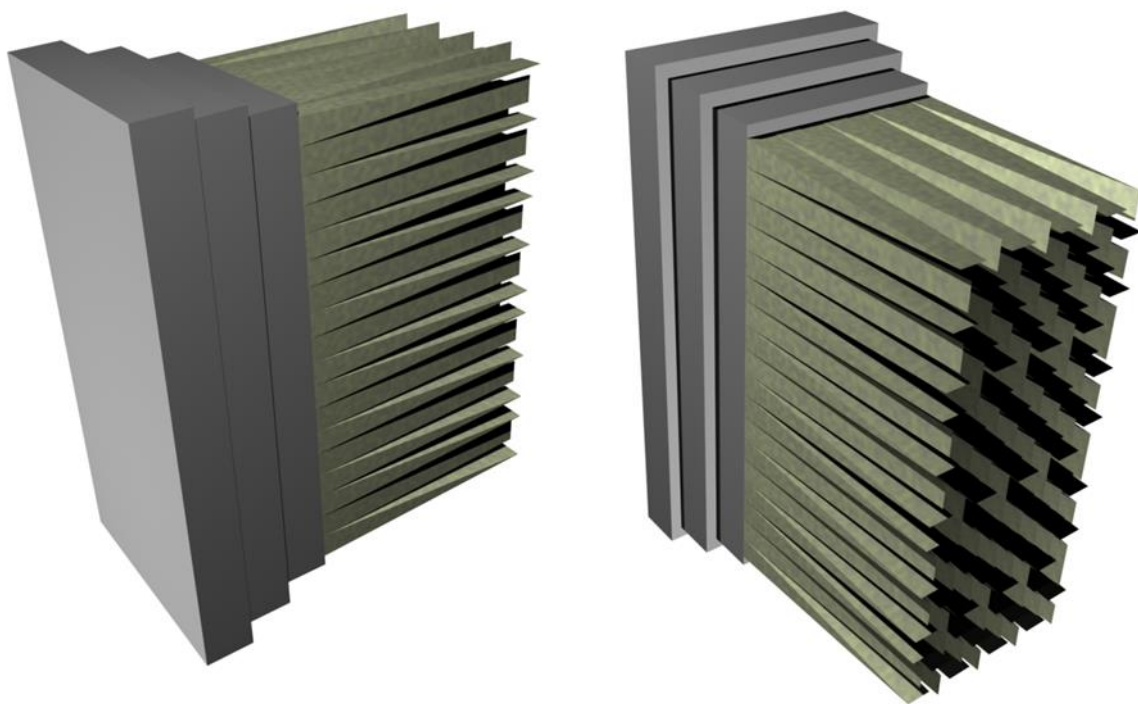


Рисунок 3.6 – Конструкция двери полузаглушенной камеры.

На внутренние стены нанесены звукопоглощающие плиты типа Paroc IVL толщиной 100 мм. Вход из аппаратной в камеру осуществляется по лестнице. Для обеспечения воздухообмена в потолке камеры имеется отверстие размером 4,0 х 6,0 м с перфорированной железобетонной плитой толщиной 100 мм с 280 отверстиями диаметром 100 мм с шагом 300 мм. Суммарная площадь отверстий 2,24 м² (рисунок 3.7).

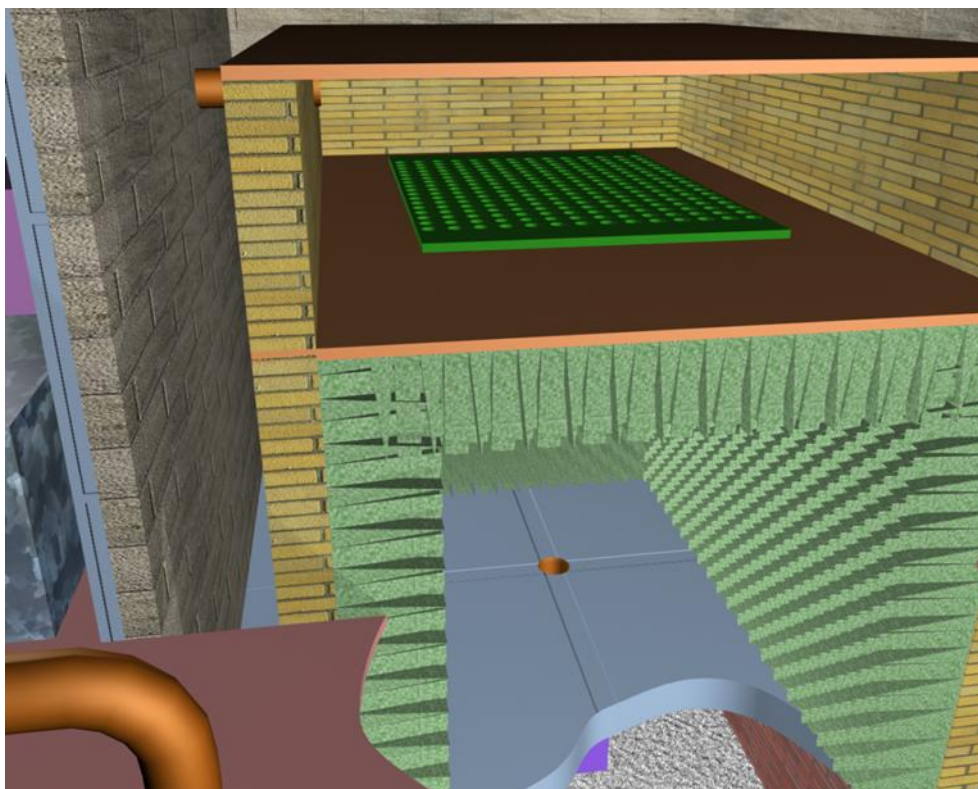


Рисунок 3.7 – Полузаглушенная камера и над потолочное пространство.

В полу камеры вмонтирован измерительный воздуховод с выходным отверстием диаметром 500 мм, которое может закрываться специальной металлической заглушкой.

Стены камеры для предотвращения распространения структурного шума установлены на виброразвязанный фундамент.

Аппаратная представляет собой прямоугольное помещение на отметке +3.000, смежное с камерой площадью 72,0 м². В аппаратной расположено рабочее место оператора со стойкой средств измерений.

Вспомогательное оборудование в виде нагнетающего вентилятора стенда, пяти пластинчатых шумоглушителей общим объемом 40м^3 , воздухораспределительных коробов с управляющими заслонками образуют систему подачи воздуха через испытываемые элементы в камеру и удаления воздуха из объема камеры для обеспечения различных режимов работы в соответствии с программой испытаний. Предусматривается возможность введения звукоизлучателей (звуковая колонка Microlab Solo-MK2/MK3) во внутренний объем воздухораспределительных коробов.

2.3.2 Принцип работы акустического стенда

Выполнение измерений в условиях свободного звукового поля по определению уровней звуковой мощности и направленности источников шума по звуковому давлению по точному методу согласно ГОСТ ISO 3745-2014 производится после установки объекта испытаний в центре на полу камеры. Измерительные микрофоны располагаются на соосных круговых траекториях в соответствии с п.8.1. ГОСТ ISO 3745-2014 (см. рисунок 3.8).

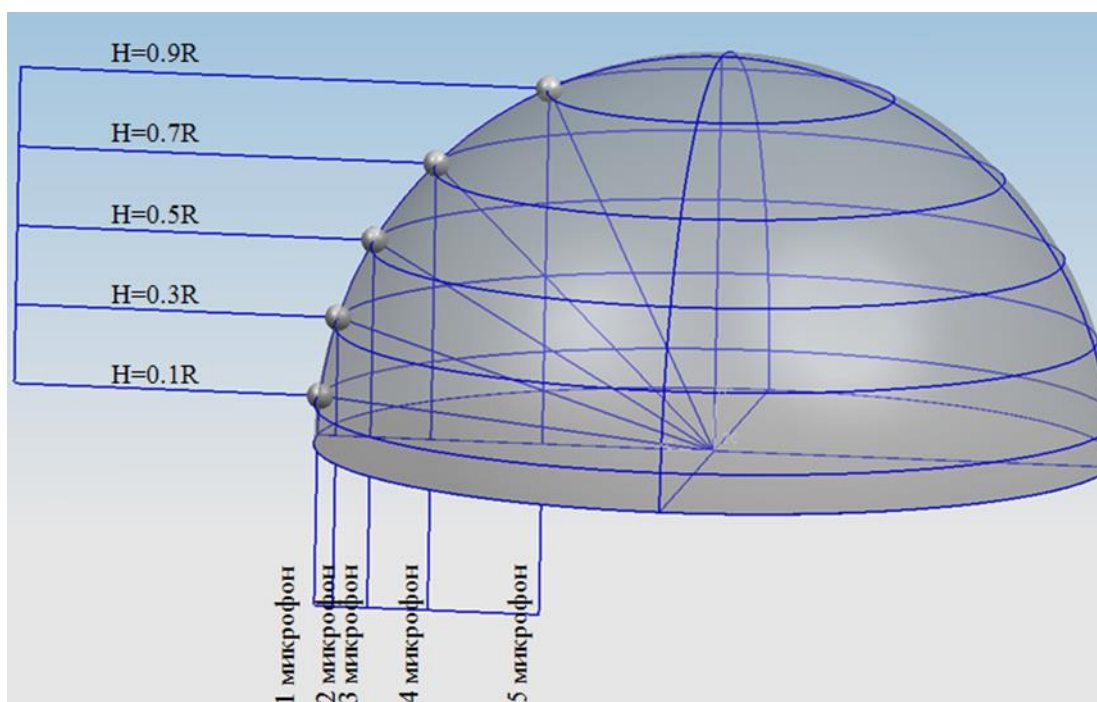


Рисунок 3.8 – Расположение измерительных микрофонов на соосных круговых траекториях.

Для того, чтобы максимально возможно увеличить размеры измерительной поверхности (и соответственно величину максимального линейного размера испытываемого объекта, звуковая мощность которого может быть определена точным методом), расположение микрофонов на соосных круговых траекториях осуществляется следующим образом. Измерительный микрофон (траектория №5), имеющий максимальную высоту расположения над отражающим полом заглушенной камеры устанавливается на оси параллельной короткой стене заглушенной камеры (см. рисунок 3.9).

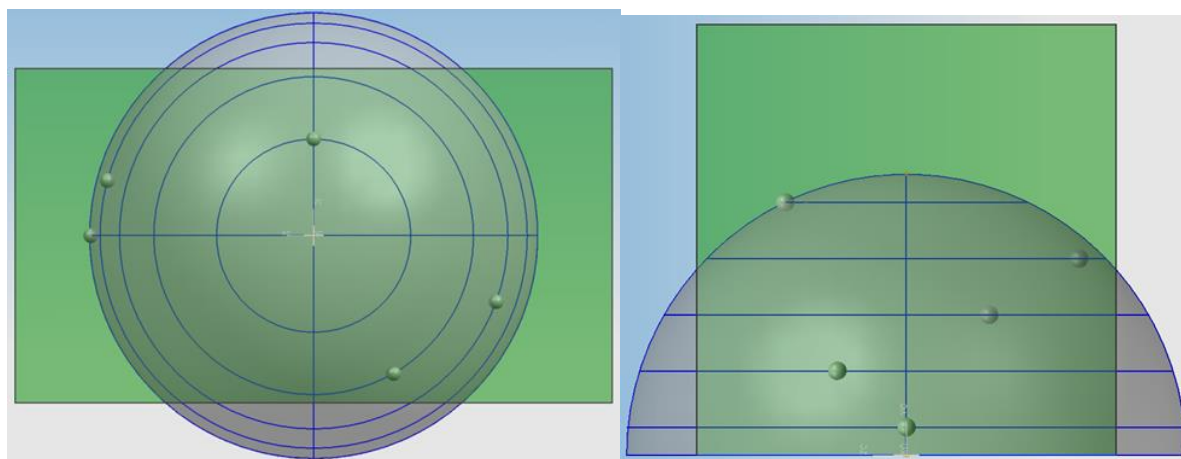


Рисунок 3.9 – Расположение измерительных микрофонов в случае максимального увеличения линейного размера испытываемого объекта.

Микрофон, имеющий минимальную высоту расположения над отражающим полом камеры (траектория №1) устанавливается на оси параллельной длинной стене заглушенной камеры. Остальные измерительные микрофоны могут располагаться на полу между этими двумя осями, причем измерительные микрофоны, имеющие большую высоту расположения измерительной траектории, располагаются ближе к оси параллельной короткой стене заглушенной камеры. Круговые траектории получаются путем медленного ($0,3 - 0,5$ об/мин) равномерного вращения испытываемого объекта на 3600 с помощью опорно - поворотного устройства. При невозможности использовать опорно-поворотное устройство, вращение испытываемого объекта производится вручную дискретно на угол 45° . При этом продолжительность измерений в каждом из 8 фиксированных положений испытываемого объекта должна составлять не менее 30 секунд.

Измерительная анализирующая система PULSE модели 3560B-030-T06 или шумомер-анализатор типа 2250-B-1 работают при этом в режиме усреднения измеряемых значений по линейному закону. Процесс усреднения возобновляется после поворота испытуемого объекта в новое положение.

Измерительная анализирующая система PULSE - Это универсальная мультиканальная система для решения большого количества текущих и будущих задач в области вибрационного и акустического анализа.

Общепринятый подход при осуществлении вибрационных и акустических испытаний и их анализа, который состоит в создании испытательного стенда из отдельно приобретаемых шумомеров, датчиков, измерителей вибраций, фильтров, генераторов, регистраторов и прочих приборов, соединении их между собой, калибровке, снятии показаний и их последующем анализе, оказывается не только очень длительным, но и экономически не выгодным. На смену давно устаревшим технологиям приходит современная универсальная модульная многоканальная измерительно-испытательной система Pulse 3560, которая оснащена мощным аналитическим программным обеспечением и автоматической калибровкой. Ее преимущество очевидно при возникновении новых задач, решить которые можно путем лишь незначительного расширения системы, приобретая дополнительные модули, датчики, или программное обеспечение.

Модульная многоканальная измерительно-испытательная система Pulse 3560 применяется для измерения и анализа шумов и вибраций в самых разных областях техники. И, прежде всего, это исследования и контроль разнообразных двигателей, поршней, подшипников, выявление их резонансных частот с целью предотвращения разрушений и ремонта. Данная система позволяет избежать ежегодных остановок оборудования на предприятиях для вынужденных плановых проверок. Разбор аппарата, проведение виброанализа подшипников, слабых узлов - эти и многие другие необходимые действия требуют от организации больших материальных и

временных затрат. При использовании Pulse 3560 в комплексе с лазерным точечным виброметром, акселерометрами и микрофонной сеткой, которая заменяет прецизионный шумомер, аппараты не нуждаются ни в остановке, ни в разборе.

За рубежом Российской Федерации Pulse 3560 получил широкое применение почти во всех производственных областях, таких как:

- анализ вибраций и шумов в автомобилях, кораблях и самолетах для разработки мер защиты пассажиров или же повышения качества будущих партий продукции;
- с целью предотвращения аварийной ситуации при работе турбинных аппаратов на заводах и электростанциях;
- исследование акустических свойств помещений;
- испытания свойств шумопоглощения материалов;
- виброиспытания изделий на прочность;

Достаточно сложной, но в тоже время стандартной, с точки зрения мирового опыта, задачей для многих предприятий нашей страны, являются виброакустические испытания объекта. В роли объекта может выступать мотор автомобиля, турбинный генератор, генераторы на электростанции, корпус самолета. Также, проводится калибровка авиационных датчиков, модальный анализ лопастей винта, а так же акустические испытания различных построек.

Эти и еще много других задач поможет решить Pulse 3560. Система легко и просто соединяется со всеми датчиками фирмы "Брюль и Кьер": акселерометрами, виброщупами, микрофонами, гидрофонами, зондами и т. п. Также возможен параллельный анализ влажности, температуры объекта, подключения токо-вихревых и тензорных датчиков. Большей частью, стандартный виброакустический анализ проводится соединенными в комплекс анализатором и компьютером. От анализатора (в зависимости от количества каналов) отходят кабели с присоединенными к ним датчиками

(микрофоны, акселерометры, датчики виброускорения), закрепленные к исследуемому объекту. Такой комплект позволит проводить анализ "собственных" частот объекта.

Для проведения анализа с незатухающими колебаниями данную систему нужно будет дополнить вибратором производства Брюль и Кьер". При подсоединении к Pulse 3560 он автоматически устанавливается - и можно приступать к работе.

На случай проведения исследования, когда нет возможности разобрать объект, либо среда опасна для жизни, либо температура для установки акселерометра слишком высока, систему возможно дополнить виброметром, способным измерять вибрацию на расстоянии до 200 метров.

Следовательно, основными достоинствами Pulse 3560 являются:

- Универсальность (позволяет решить большинство проблем при измерении шумов и вибраций).
- Гибкость и наращиваемость (благодаря модульному построению существует возможность минимизировать начальные затраты, сохраняя при этом возможность быстро расширить возможности анализатора при возникновении новых проблем).
- Генерация испытательных сигналов (наличие в составе модулей программно-управляемых генераторов).
- Автоматическая калибровка датчиков (преобразование механических или звуковых колебаний в электрические сигналы, поступающие в анализатор).
- Большой выбор датчиков, подключаемых и опознаваемых анализатором.
- Наличие портативного пульта дистанционного управления (возможность управлять анализатором, наблюдая за объектом исследований на удалении от управляющего компьютера).

До начала измерений определяют уровень акустических помех. Затем фиксируют усредненные результаты измерений уровней звукового давления в измерительных траекториях при работе испытуемого объекта в установленном режиме и вычисляют уровни звуковой мощности и, при необходимости, показатель направленности. Результаты испытаний записывают в рабочий журнал и оформляют протокол испытаний.

Выполнение измерений по определению вносимых потерь вентиляционного оборудования включает измерения с заменой испытуемого объекта замещающим воздуховодом согласно ГОСТ 28100-2007 (ИСО 7235:2003) и ГОСТ 52799-2007 (ИСО 11691:1995). Возбуждение звукового поля при этом осуществляется с помощью акустической колонки типа Microlab Solo-МК2/МК3, помещаемой в измерительный воздуховод.

Определение УЗМ различных воздухораспределительных устройств осуществляется при подаче воздушного потока, проходящего через систему высокоэффективных глушителей шума общим объемом 24 м^3 , на испытуемый объект, соединяемый с воздуховодом с помощью специального переходного устройства. Скорость воздушного потока может при этом плавно регулироваться в заданных пределах. В качестве уровня фонового шума при этом измеряются УЗД в измерительных точках (траекториях) при наличии воздушного потока и при отсутствии испытываемого объекта. Расположение измерительных точек (траекторий) в соответствии с паспортом АС.

В четвертой главе представим и проанализируем полученные в ходе испытаний результаты акустических характеристик эффективности опытного образца канального глушителя шума с центральной цилиндрической звукопоглощающей вставкой.

Глава 4. Результаты акустических и аэродинамических испытаний опытного образца канального глушителя шума с центральной цилиндрической звукопоглощающей вставкой CSC

4.1. Результаты акустических испытаний опытного образца канального глушителя шума

Важнейшей акустической характеристикой элементов вентиляционных систем является такой параметр, как эффективность снижения шума. Это в основном относится к воздухораспределителям и глушителям шума. Причем для глушителей и воздухораспределителей под эффективностью понимаются различные акустические параметры. По терминологии ГОСТа в одном случае это «вносимые потери», а другом случае «потери при прохождении». Не вдаваясь в особые тонкости можно сказать, что в одном случае учитывается поправка на отражение от открытого конца воздуховода (воздухораспределители), а в другом (глушители) – нет. Поправка на отражение от конца воздуховода определяется аналитическим путем и зависит от частоты звуковой волны и диаметра воздуховода. На низких частотах у воздуховодов небольшого диаметра эта поправка может иметь значительную величину (более 20 дБ) [26]. Это обстоятельство необходимо учитывать при выборе воздухораспределителей и понимать, что большая величина снижения шума, приведенная в каталоге производителя, (намного больше, чем у глушителя), обусловлена не какой-то уникальной конструкцией воздухораспределителя, а только отражением звука от открытого конца воздуховода, а сам воздухораспределитель может при этом не оказывать практически никакого влияния на снижение шума, распространяющегося по вентиляционной сети.

Ниже в таблицах 4.1, 4.2 представлены результаты статических (по ГОСТ 52799-2007, блок-схема рис.1) и динамических измерений

эффективности глушителя CSC 250/900 с тремя вариантами обтекателя конической вставки (60°, 120° и 180°), а также статических измерений эффективности глушителя CSR 250/900 и глушителя CSI 250/900 (проведенных в 2015 г). Статические испытания проводились при подаче на акустический излучатель сигнала розового шума. Динамические испытания проводились при работе вентилятора в режиме подачи и удаления воздуха, объемный расход воздушного потока составлял 570 м³/ч и 880 м³/ч. В данной выпускной квалификационной работе не приводятся все первичные результаты измерений, а также значения эффективности, полученные при дополнительных (дублирующих) испытаниях вследствие большого объема экспериментального материала (342 таблицы на 114 стр.). Этот материал хранится в электронном виде в специальных приложениях к данной работе и в любое время может быть представлен к рассмотрению, как целиком, так и в объеме необходимом для анализа. В данной работе можно ознакомиться с частью этих данных, представленных в Приложении 1.

Таблица 4.1 – Эффективность шумоглушителей при проведении статических испытаний.

Марка глушителя	Тип вставки/ угол раскрытия конуса обтекателя, градус	Среднегеометрические частоты октавных полос, Гц								L _{WA} , дБА
		63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	
		Эффективность глушителя, дБ								
CSC 250/900	цилиндр./60°	10	9	18	28	48	42	37	35	25
	цилиндр./120°	16	9	17	29	52	43	45	39	26
	цилиндр./180°	12	9	17	30	51	43	43	36	26
	Без вставки	12	8	15	26	38	21	10	13	21
CSI 250/900	плоская	-	6	15	27	46	48	37	24	-
CB 250 (Trox)	Сферический обтекатель	5	10	17	30	47	50	50	36	-
PVAP-250-900 (Lindab)	Сферический обтекатель	3	8	16	33	44	50	36	23	-

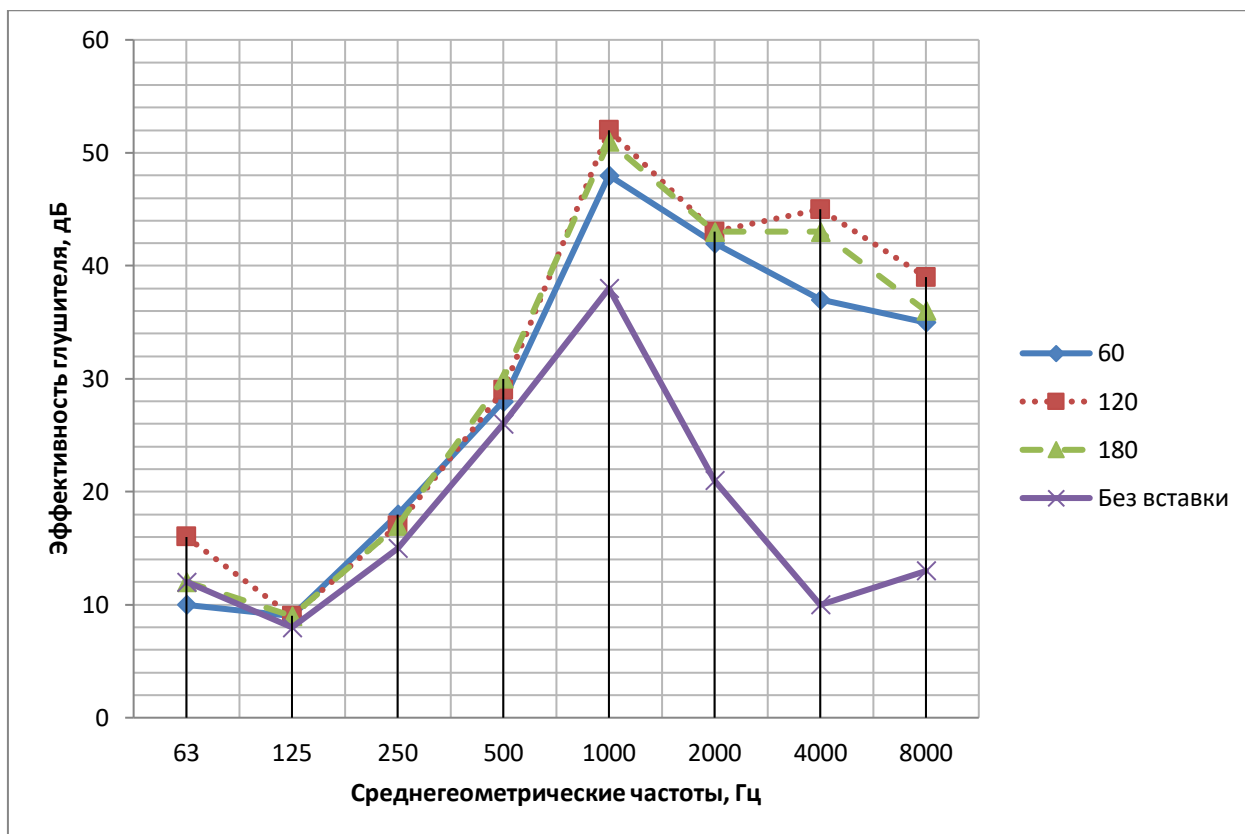


Рисунок 4.1 – Результаты статических испытаний эффективности шумоглушителя CSC 250/900 без вставки и с различной формой обтекателя.

Анализируя результаты статических испытаний, приведенные в таблице 4.1 и на рисунке 4.1, можно заметить следующее:

1. Глушитель CSC 250/900 имеет эффективность шумоглушения, сопоставимую с эффективностью зарубежных аналогов в большей части нормируемого диапазона частот, имеет бóльшую эффективность в октавной полосе 63 Гц (что может объясняться цилиндрической формой наружного корпуса у зарубежных аналогов) и несколько уступает в эффективности в высокочастотной области (октавные полосы 2000 и 4000 Гц). При этом нам неизвестен диаметр цилиндрической центральной вставки у зарубежных аналогов.

2. Эффективность шумоглушения глушителя CSC 250/900 в незначительной степени зависит от типа обтекателя, установленного на торцах цилиндрической центральной вставки. При этом коэффициент местного сопротивления изменяется существенно (в 1,5 раза).

Соответственно при выборе формы обтекателя следует ориентироваться на аэродинамические характеристики шумоглушителя в большей степени.

3. По сравнению с глушителем CSI 250/900 с плоской вставкой глушитель CSC 250/900 характеризуется примерно одинаковыми значениями эффективности в области средних частот и более высокой эффективностью в низкочастотной и высокочастотной области. Отличие в области низких частот, вероятно, объясняется отличием в условиях испытаний, тем более, что настоящие испытания базового глушителя CSR на низких частотах продемонстрировали лучшие характеристики, чем у CSI. В связи с этим рекомендуется произвести повторные испытания глушителем CSI 250/900 для определения необходимости дальнейшей корректировки характеристик.

Таблица 4.2 – Эффективность шумоглушителя CSC 250/900 при проведении динамических испытаний.

Угол раскрытия конуса обтекателя	Режим работы вентилятора	Объемный расход воздуха, м³/ч	Среднегеометрические частоты октавных полос, Гц								L _{WA} , дБА
			63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	
			Эффективность глушителя, дБ								
60°	Нагнетание	570	10	11	13	25	33	33	29	19	20
		880	10	10	12	25	34	35	36	32	21
	Всасывание	570	12	9	15	26	39	36	35	30	22
		880	11	10	15	24	37	34	36	33	21
120°	Нагнетание	570	11	12	12	23	31	33	30	20	20
		880	10	9	12	24	31	32	34	31	21
	Всасывание	570	13	10	15	26	32	31	31	24	22
		880	12	11	14	26	32	28	30	33	20
180°	Нагнетание	570	11	12	11	24	31	32	30	20	19
		880	9	10	12	24	31	32	34	32	21
	Всасывание	570	13	10	15	26	30	29	30	24	22
		880	11	11	17	28	31	27	28	32	22
Без вставки	Нагнетание	570	10	9	6	22	30	28	22	18	14
		880	10	9	9	23	30	28	21	22	18
	Всасывание	570	10	8	10	24	34	29	21	16	18
		880	11	9	13	23	36	30	20	20	18

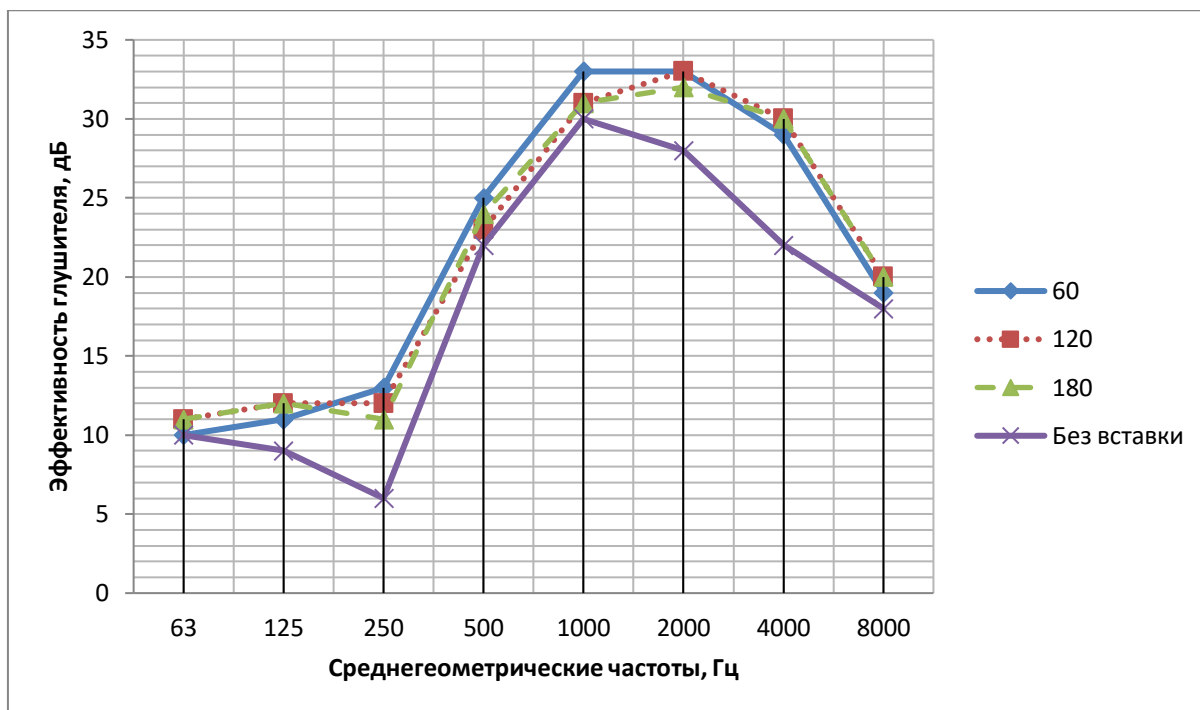


Рисунок 4.2 – Результаты динамических испытаний эффективности шумоглушителя CSC250/900 без вставки и с различной формой обтекателя (режим – нагнетание, объёмный расход воздуха 570 м³/ч).

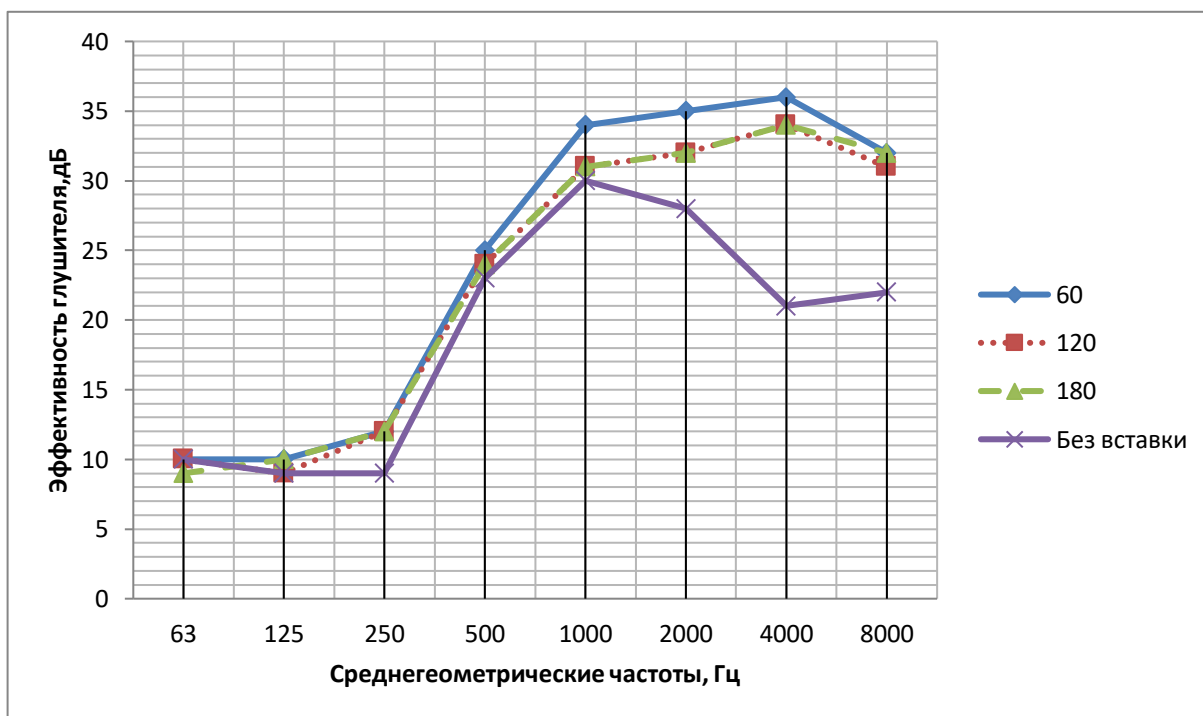


Рисунок 4.3 – Результаты динамических испытаний эффективности шумоглушителя CSC250/900 без вставки и с различной формой обтекателя (режим – нагнетание, объёмный расход воздуха 880 м³/ч).

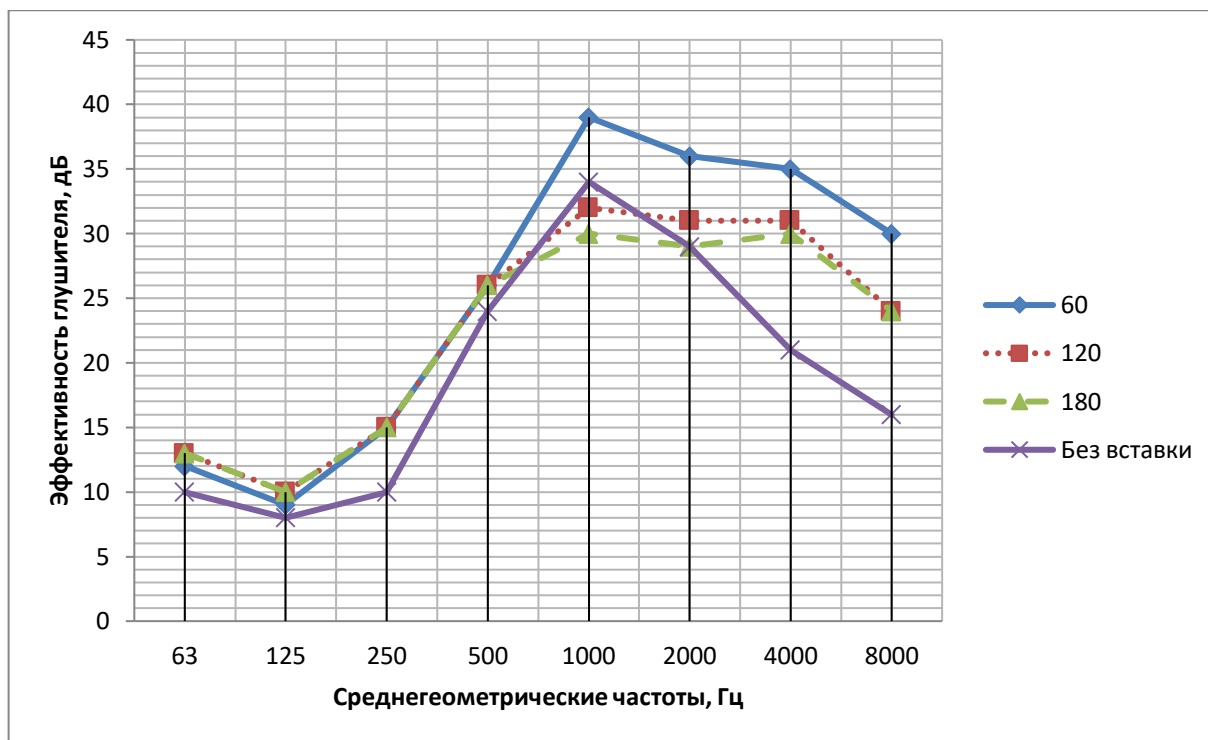


Рисунок 4.4 – Результаты динамических испытаний эффективности шумоглушителя CSC250/900 без вставки и с различной формой обтекателя (режим – всасывание, объёмный расход воздуха 570 м³/ч).

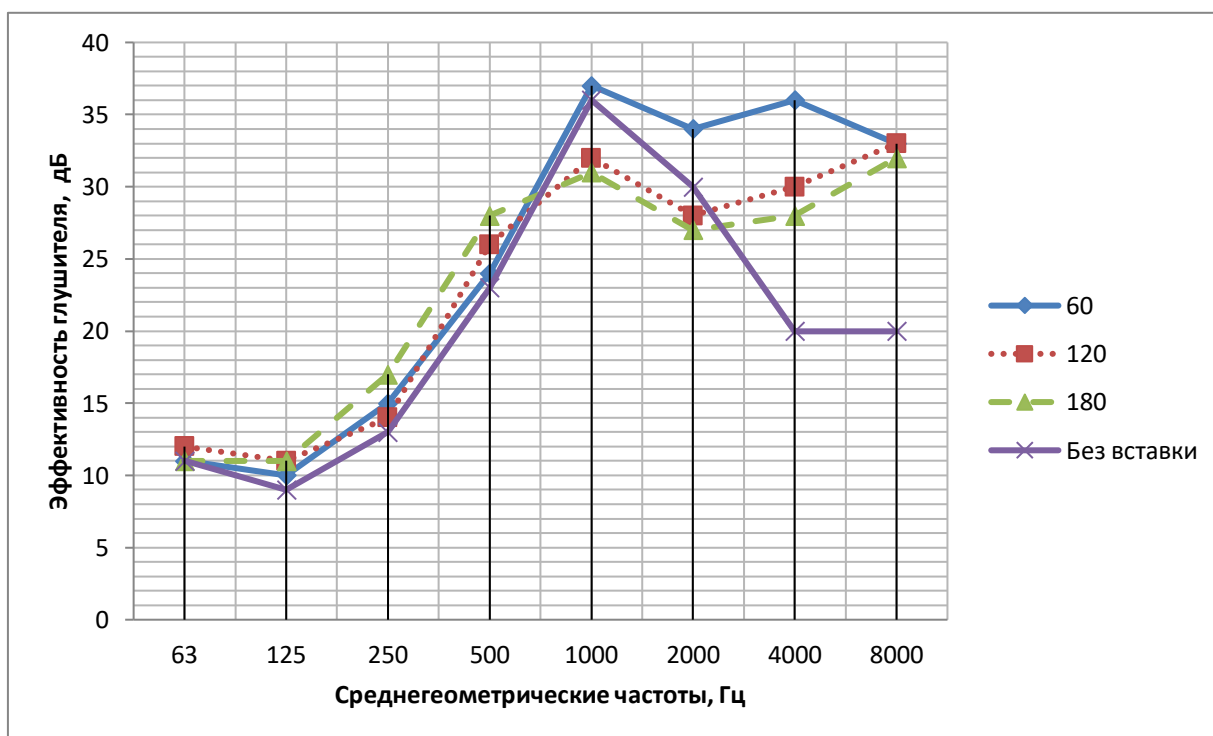


Рисунок 4.5 – Результаты динамических испытаний эффективности шумоглушителя CSC250/900 без вставки и с различной формой обтекателя (режим – всасывание, объёмный расход воздуха 880 м³/ч).

Анализируя результаты динамических испытаний, приведенные в таблицах 4.2 и рисунках 4.2-4.5, можно заметить следующее:

1. Проведение динамических испытаний не выявило заметных преимуществ работы глушителя CSC 250/900 при установке в непосредственной близости от осевого вентилятора, как это показали результаты испытаний, проведенные американской фирмой «Price». Однако они испытывали глушители большего диаметра (начиная с 450 мм), и к тому же нам неизвестна методика испытаний, которой они пользовались (стандарт ASTM E477-13).

2. Характеристики эффективности, полученные в ходе динамических испытаний, в целом имеют более низкие значения, чем полученные в результате статических испытаний. Наибольшее отличие наблюдается в области высоких частот. При этом характеристики шумоглушения, полученные при работе вентилятора в режиме вытяжки немного выше, чем при работе в режиме нагнетания (такая же картина наблюдается и при испытаниях глушителей фирмы «Price»).

3. Анализ результатов испытаний глушителя с цилиндрической центральной звукопоглощающей вставкой проводился на основании испытаний одного типоразмера - CSC 250/900 и не может автоматически переноситься на весь типоразмерный ряд глушителей.

Выводы

1. Полученные результаты испытаний шумоглушителей CSC с цилиндрической вставкой с тремя видами обтекателей демонстрируют незначительную зависимость эффективности шумоглушения от типа обтекателя. Следовательно, выбор геометрии обтекателя должен определяться по результатам аэродинамических испытаний.

2. Эффективность шумоглушение CSC в области низких частот существенно выше, чем у аналогов, из-за конструкции корпуса.

3. Для корректного сравнения полученных характеристик с данными глушителя CSI необходимо провести испытания последнего на модернизированном стенде.

4. Характеристики эффективности, полученные в ходе динамических испытаний, в целом имеют более низкие значения, чем полученные в результате статических испытаний. Следовательно, с точки зрения акустических характеристик рекомендовать данный вид глушителей для установки непосредственно после вентилятора нецелесообразно.

4.2 Результаты аэродинамических испытаний опытного образца канального глушителя шума.

Цель проведения испытаний:

- определение аэродинамических характеристик шумоглушителя высокой эффективности CSC 250/900;
- выбор оптимальной формы обтекателя.

Шумоглушитель CSC 250/900 (рис.4.1) испытывался в трех вариантах исполнения:

- без центральной цилиндрической вставки;
- с центральной цилиндрической вставкой $d=150\text{мм}$ с углом раскрытия конуса обтекателя – 60° (рис.4.2);
- с центральной цилиндрической вставкой $d=150\text{мм}$ с углом раскрытия конуса обтекателя – 180° (рис.4.3).



Рис. 4.1 - Шумоглушитель CSC 250/900.



Рис. 4.2 - Цилиндрическая вставка $d=150\text{мм}$
угол раскрытия конуса обтекателя – 60° .



Рис. 4.3 - Цилиндрическая вставка $d=150\text{мм}$
угол раскрытия конуса обтекателя – 180° .

Испытания проводились в двух вариантах:

- А. измерение сопротивления шумоглушителя CSC 250/900, установленного в системе воздуховодов;
- В. оценка влияния вида цилиндрической вставки на напорные характеристики вентилятора Ostberg СК 250 при имитации вентиляционной сети.

В варианте испытаний «А» выполнялись измерения динамического, статического и полного давлений $P_{д1}$, $P_{ст1}$, $P_{п1}$, $P_{ст2}$ в поперечных сечениях измерительных участков с помощью многофункционального микроманометра МР 200 КИМО (производство Франция) и комбинированного приемника давления (трубки Пито).

Функции манометра МР 200 КИМО:

- измерение давления;
- измерение скорости воздуха;
- измерение объёмного расхода воздуха;
- измерение концентрации CO ;
- измерение температуры.

По полученным значениям рассчитывались:

- скорость воздуха в воздуховоде первого мерного сечения, V_1 :

$$V_1 = \sqrt{\frac{2(P_{д1} * K_{пито})}{\rho}}, \text{ м/с}, \quad (4.1)$$

где $P_{д1}$ – измеренное динамическое давление в воздуховоде «1», Па;

- расход воздуха, L :

$$L = 3600 \times F_1 \times V_1, \text{ м}^3/\text{ч}, \quad (4.2)$$

где F_1 – площадь поперечного сечения измерительного воздуховода, м^2 ;

- коэффициент потерь давления ζ :

$$\zeta = \frac{\Delta P_{ст}}{P_{д1}} \quad (4.3)$$

В варианте испытаний «В» имитировалась вентиляционная система, состоящая из следующих компонентов:

- участка всасывания длиной 3м, диаметром d250мм, с установленным на всасывании воздухораспределителем ДПУ-К 250;
- вентилятора Ostberg СК 250 (рис. 4.4) со спиленным выпрямителем потока воздуха на истечении, подключенного с помощью электронного автотрансформатора SB0034 (СпинбрэйнПро) и потенциометра PSS-M (PolarBear);
- шумоглушителя CSC 250/900 установленного на нагнетании после вентилятора СК 250;
- участка нагнетания длиной 2м, диаметром d250мм.



Рисунок 4.4 - вентилятора Ostberg СК 250.

Канальные вентиляторы СК оснащены асинхронным двигателем с внешним ротором и рабочим колесом с загнутыми назад лопатками. Корпус вентиляторов изготавливается из оцинкованной стали.

Вентиляторы СК имеют типоразмеры от 100 до 315 мм и предназначены для соединения с воздуховодами круглого сечения. Степень защиты электродвигателя IP 44, клеммной коробки – IP 54.

Установка: вентиляторы могут быть установлены в любом положении.

Регулирование скорости

Регулирование скорости вентиляторов осуществляется в диапазоне от 0 до 100% с помощью электронного или 5-ступенчатого регулятора скорости. К одному регулятору скорости можно подключить несколько вентиляторов при условии, что общий рабочий ток вентиляторов не превышает номинальный ток регулятора скорости.

Измерения давления ($P_{д1}$, $P_{ст1}$, $P_{п1}$) производились на участке всасывания [27]. Расчет скорости и расхода воздуха производился по формулам (1, 2).

В таблицах 4.3÷4.4 представлены результаты испытаний.

Таблица 4.3 - Результаты измерений расхода воздуха при монтаже шумоглушителя CSC 250/900 сразу за вентилятором СК 250.

№ режима	Угол раскрытия конуса обтекателя	Режим работы вентилятора СК 250	Участок измерения d=250мм до шумоглушителя и вентилятора					
			P _{дл} , Па	P _{ст1} , Па	P _{п1} , Па	F ₁ , м ²	V ₁ , м/с	L, м ³ /ч
1	Без центральной вставки	10V	13.4	-59	-45	0.049	4.7	830
2		5V	6.4	-25	-19		3.3	580
3	60°	10V	15.1	-55	-40		5.0	880
4		5V	6.8	-24	-17		3.4	590
5	180°	10V	14.8	-57	-42		5.0	880
6		5V	6.3	-25	-18		3.2	570

Таблица 4.4 - Результаты измерений давления и расчет коэффициента потерь давления ξ .

№ режима	Угол раскрытия конуса обтекателя	Режим работы вентилятора "ТВЗ"	Участок измерения d=250мм до шумоглушителя						Участок измерения d=250мм после шумоглушителя		$\xi = \frac{\Delta P_{ст}}{P_{дин}}$	Средн. знач. ξ
			P _{дл} , Па	P _{ст1} , Па	P _{п1} , Па	F ₁ , м ²	V ₁ , м/с	L, м ³ /ч	P _{ст2} , Па	$\Delta P_{ст}$		
1	Без центральной вставки	20Гц	8,3	28	37	0,049	3,7	660	26	2,8	0,3	0,3
2		30Гц	18,7	67	85		5,6	980	60	6,3	0,3	
3		40Гц	35,5	121	156		7,7	1360	109	12,1	0,3	
7	60°	20Гц	6,3	36	42		3,2	570	22	14,3	2,3	2,3
8		30Гц	14,9	87	102		5,0	880	52	34,7	2,3	
9		40Гц	26,8	160	186		6,7	1180	95	64,4	2,4	
10	180°	20Гц	5,5	37	43		3,0	530	18	19,3	3,5	3,5
11		30Гц	13,1	92	105		4,7	820	46	46,4	3,5	
12		40Гц	24,5	172	196		6,4	1130	86	85,8	3,5	

Анализируя данные, представленные в табл. 4.3÷4.4, можно сделать следующие выводы:

- при имитации вентиляционной сети и монтаже шумоглушителя CSC 250/900 со стороны нагнетания воздуха сразу за вентилятором СК 250 – установка цилиндрической центральной вставки практически не оказывает влияния на аэродинамические характеристики;

- угол раскрытия конуса обтекателя цилиндрической центральной вставки не влияет на напорные характеристики вентилятора СК 250;
- относительно шумоглушителя CSC 250/900 без центральной цилиндрической вставки – сопротивление версий шумоглушителя с цилиндрическими вставками с углом раскрытия конуса обтекателя 60° и 180° больше в 8 и 12 раз соответственно.

Выводы:

1. В результате настоящих испытаний получены аэродинамические характеристики шумоглушителя высокой эффективности CSC 250/900 (таблица 4.4).
2. Предпочтительно изготавливать шумоглушитель CSC 250/900 с центральной цилиндрической вставкой с углом раскрытия конуса обтекателя 60°, так как по данным испытаний установлено отсутствие влияния вида и наличия цилиндрической вставки у шумоглушителя на напорные характеристики вентилятора Ostberg СК 250 при монтаже глушителя на нагнетании за вентилятором (табл. 4.3), а глушитель с цилиндрической вставкой с углом раскрытия конуса обтекателя 180° имеет большее (~52%) сопротивление (табл.4.4).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Шумовое воздействие - это стандартный элемент окружающей среды человека, который помогает ему ориентироваться в пространстве. Но если этот элемент начинает выходить за стандартные рамки, он становится опасным. Уже сейчас установлено, что шум является одной из причин преждевременного старения, каждая третья женщина, и каждый четвёртый мужчина страдает неврозами, вызванными повышенным уровнем шума, шумы более 130 дБА уже через 1 минуту могут вызывать изменения в электрической активности мозга, которая становится схожей с электрической активностью мозга у больных эпилепсией [25].

В связи с тем, что шумовое воздействие носит массовый характер, проблема исследования шума, разработки эффективных методов борьбы с ним, остаётся, по сей день, очень значимой. И значимость этой проблемы растёт, вместе с ростом урбанизации, развитием техники и технологий.

Основные выводы по работе:

1. Результаты проводимых статистических испытаний показали, что глушитель CSC 250/900 имеет эффективность шумоглушения, сопоставимую с эффективностью зарубежных аналогов в большей части нормируемого диапазона частот и на 5-7 дБА уступает в эффективности в высокочастотной области. При этом нам не был неизвестен диаметр цилиндрической центральной вставки у зарубежных аналогов.

2. Проведенные динамические испытания не выявили заметных преимуществ работы глушителя CSC 250/900 при установке в непосредственной близости от осевого вентилятора, как это показали результаты испытаний, проведенные американской фирмой «Price», использовавшей глушители большего диаметра (начиная с 450 мм), и к тому же нам была неизвестна применённая методика испытаний (стандарт ASTM E477-13).

3. Характеристики эффективности, полученные в ходе динамических испытаний, в целом имеют более низкие значения, чем полученные в результате статических испытаний. Наибольшее отличие наблюдается в области высоких частот. При этом характеристики шумоглушения, полученные при работе вентилятора в режиме вытяжки немного выше, чем при работе в режиме нагнетания (такая же картина наблюдается и при испытаниях глушителей фирмы «Price»).

Полученные результаты данной квалификационной работы, дают направление для дальнейших исследований и проведение испытаний:

1. Провести динамические испытания шумоглушителя большего диаметра (начиная с 400мм) в непосредственной близости от осевого вентилятора, что возможно позволит повысить эффективность шумоглушения.

2. При последующих испытаниях следует уменьшить угол раскрытия конуса обтекателя, что приведет к уменьшению коэффициента потерь давления.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Иванов, Н.И. Проблемы борьбы с шумом / Н.И. Иванов // NOISE 93, С.Петербург, 1993, С. 4 - 16.
2. Римский — Корсаков, А.В. Физические основы образования звука в воздуходушных машинах / А.В. Римский — Корсаков, Д.В. Баженов, Л.А. Баженова. -М.: Наука, 1988. -356с.
3. Защита от шума и вибраций в системах ОВК. Практическое руководство / Марк Шаффер; [пер. с англ.].-М.:АВОК-ПРЕСС, 2009.-215с. – 3000 экз.
4. Справочник проектировщика. Внутренние санитарно-технические устройства. Вентиляция и кондиционирование воздуха. Книга 1,2 Под редакцией Н.Н.Павлова и Ю.И.Шиллера. М. Стройиздат 1992.
5. А.Г. Сотников. Процессы, аппараты и системы кондиционирования воздуха и вентиляции./ Теория, техника и проектирование на рубеже столетий/ В двух томах. Том II, 4.2,С.-Петербург, 2007г., 512стр.с илл.
6. Московские нормы МГСН 2.04-97. Допустимые уровни шума, вибрации и требования к звукоизоляции в жилых и общественных зданиях. Москва-1997.
7. СанПиН 2.2.4.3359-16 "Санитарно-эпидемиологические требования к физическим факторам на рабочих местах", 2017.
8. СНиП 23-03-2003. Защита от шума. Госстрой России, 2004.
9. Каталог продукции. Канальное оборудование завода «Арктос», 2017.
- 10.Справочник проектировщика. Внутренние санитарно-технические устройства. Вентиляция и кондиционирование воздуха. Книга 1,2 Под редакцией Н.Н.Павлова и Ю.И.Шиллера. М. Стройиздат 1992.
- 11.Каталог продукции фирмы «Lindab», 2016.

- 12.Общий каталог продукции компании Sistemair, ГК "Скандинавия инжиниринг групп", 2018.
13. Электронный каталог продукции TopClimatService фирмы Hidria, 2017.
14. Каталог продукции. Шумоглушители фирмы Price, 2017.
15. Электронный каталог продукции фирмы Электронный каталог продукции фирмы TopClimatService, 2016.
- 16.СП 60.13330.2012. Отопление, вентиляция и кондиционирование воздуха. Актуализированная редакция СНиП 41-01-2003. М.: Минрегион России, 2012.
17. ГОСТ 15150-69. Машины, приборы и другие технические изделия. Исполнения для различных климатических районов. Категории, условия эксплуатации, хранения и транспортирования в части воздействия климатических факторов среды. М.: Стандартиформ, 2010.
18. ГОСТ 28100-2007 (ИСО 7235:2003). Акустика. Измерения лабораторные для заглушающих устройств, устанавливаемых в воздуховодах, и воздухораспределительного оборудования. Вносимые потери, потоковый шум и падение полного давления. М.: Стандартиформ, 2008.
19. ГОСТ Р 52799-2007. Шум. Измерение вносимых потерь канальных глушителей при отсутствии потока. Ориентировочный метод в лабораторных условиях. М.: Стандартиформ, 2008.
20. Методика определения величины снижения шума шумоглушителями и воздухораспределительными устройствами. Завод «Арктос», НИЛАА, 2005.
21. Hassal, J.R., and K. Zaveri. 1979. Acoustic noise measurements, 4th ed. Naerum, Denmark: Bruel & Kjaer.
22. Гусев, В.П. Глушители шума систем вентиляции и их акустические характеристики / В.П. Гусев, М.Ю. Лешко//АВОК, №4, 2002.

23. ГОСТ ISO 3745-2014. Акустика. Определение уровней звуковой мощности и звуковой энергии источников шума по звуковому давлению. Точные методы для заглушенных и полузаглушенных камер. М.: Стандартиформ, 2015.
24. ГОСТ 4640-2011. Вата минеральная. Технические условия. М.: Стандартиформ, 2012.
25. ГОСТ 26966-86. Сооружения водозаборные, водосборные и затворы. Термины и определения. М.: ИПК Издательство стандартов, 2003.
26. Борьба с шумом на производстве. Справочник. / Под общ. ред. Е. Я. Юдина - М.: Машиностроение, 1985.
27. Гусев, В.П. К вопросу об аэроакустических испытаниях вентиляторов / В.П. Гусев, М.Ю. Лешко//АВОК, №2, 2002.

ПРИЛОЖЕНИЕ

Измерительное расстояние 2м

Статические испытания:

Цилиндрическая вставка, угол раскрытия конуса обтекателя - 60°.

Таблица П.1 - Измеренные значения уровней звуковой давления CSC 250/900, МФ под углом в 30°.

№МФ	Среднегеометрические частоты октавных полос, Гц							
	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
	Уровни звукового давления L _p , дБ							
1	26	40	45	42	20	17	13	14
2	27	40	46	42	20	18	13	15
3(верхний МФ)	28	42	47	44	23	21	16	25

Таблица П.2 – Эффективность шумоглушителя CSC 250/900, МФ под углом 30°.

№МФ	Среднегеометрические частоты октавных полос, Гц							
	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
	Эффективность глушителя, дБ							
1	20	20	28	35	50	45	43	35
2	19	20	28	35	49	44	43	38
3(верхний МФ)	18	18	26	33	48	51	54	39

Таблица П.3 – Эффективность шумоглушителя CSC 250/900 усредненная по всем МФ, МФ под углом в 30°.

Среднегеометрические частоты октавных полос, Гц							
63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
Эффективность глушителя, дБ							
19	19	27	34	49	47	47	37

Таблица П.4 - Измеренные значения уровней звукового давления CSC 250/900 , МФ под углом в 45°.

№МФ	Среднегеометрические частоты октавных полос, Гц							
	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
	Уровни звукового давления L _p , дБ							
1	29	44	49	45	21	18	14	15
2	29	44	49	46	21	20	13	15
3(верхний МФ)	29	44	49	46	23	21	16	24

Таблица П.5 – Эффективность шумоглушителя CSC 250/900 , МФ под углом в 45°.

№МФ	Среднегеометрические частоты октавных полос, Гц							
	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
	Эффективность глушителя, дБ							
1	15	14	22	29	46	42	40	36
2	15	14	22	29	46	40	41	37
3(верхний МФ)	17	15	24	31	48	51	54	39

Таблица П.6 – Эффективность шумоглушителя CSC 250/900 усредненная по всем МФ, МФ под углом в 45°.

Среднегеометрические частоты октавных полос, Гц							
63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
Эффективность глушителя, дБ							
16	14	23	30	47	44	45	37

Таблица П.7 – Эффективность шумоглушителя CSC 250/900, измерения по сфере.

Среднегеометрические частоты октавных полос, Гц							
63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
Эффективность глушителя, дБ							
10	9	18	28	48	42	37	35

Таблица П.8 - Измеренные значения уровней звуковой мощности шумоглушителя CSC 250/900 по сфере.

Среднегеометрические частоты октавных полос, Гц								L _{WA} , дБА
63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	
Уровни звуковой мощности L _w , дБ								
43	58	63	56	28	27	22	28	
58	73	78	71	43	42	37	43	58

Цилиндрическая вставка, угол раскрытия конуса обтекателя - 120°.

Таблица П.9 - Измеренные значения уровней звукового давления CSC 250/900, МФ под углом в 30°.

№МФ	Среднегеометрические частоты октавных полос, Гц							
	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
	Уровни звукового давления L _p , дБ							
1	47	58	59	49	18	22	19	25
2	47	58	59	49	17	23	19	25
3(верхний)	49	60	61	51	21	26	20	43

Таблица П.10 – Эффективность шумоглушителя CSC 250/900, МФ под углом в 30°.

№МФ	Среднегеометрические частоты октавных полос, Гц							
	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
	Эффективность глушителя, дБ							
1	14	7	15	28	52	42	42	37
2	14	7	16	28	53	41	45	42
3(верхний)	14	7	16	29	53	51	59	33

Таблица П.11 – Эффективность шумоглушителя CSC 250/900 усредненная по всем МФ, МФ под углом в 30°.

Среднегеометрические частоты октавных полос, Гц							
63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
Эффективность глушителя, дБ							
14	7	16	28	53	45	49	38

Таблица П.12 - Измеренные значения уровней звукового давления CSC 250/900, МФ под углом в 45°.

№МФ	Среднегеометрические частоты октавных полос, Гц							
	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
	Уровни звукового давления L _p , дБ							
1	48	60	61	50	20	24	19	24
2	49	61	61	51	20	25	20	26
3(верхний)	49	60	61	51	21	26	20	43

Таблица П.13 – Эффективность шумоглушителя CSC 250/900, МФ под углом в 45°.

№МФ	Среднегеометрические частоты октавных полос, Гц							
	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
	Эффективность глушителя, дБ							
1	15	9	17	30	52	41	44	39
2	15	8	16	29	53	42	46	41
3(верхний)	15	8	17	29	53	51	59	33

Таблица П.14 – Эффективность шумоглушителя CSC 250/900 усредненная по всем МФ, МФ под углом в 45°.

Среднегеометрические частоты октавных полос, Гц							
63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
Эффективность глушителя, дБ							
15	8	17	29	53	45	50	38

Таблица П.15 – Эффективность шумоглушителя CSC 250/900, измерения по сфере.

Среднегеометрические частоты октавных полос, Гц							
63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
Эффективность глушителя, дБ							
17	10	18	30	53	44	47	40

Таблица П.16 - Измеренные значения уровней звуковой мощности шумоглушителя CSC 250/900 по сфере.

Среднегеометрические частоты октавных полос, Гц								L _{WA} , дБА
63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	
Уровни звуковой мощности L _w , дБ								
57	68	68	59	28	31	27	39	62

Цилиндрическая вставка, угол раскрытия конуса обтекателя - 180°.

Таблица П.17 - Измеренные значения уровней звукового давления CSC 250/900, МФ под углом в 30°.

№МФ	Среднегеометрические частоты октавных полос, Гц							
	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
	Уровни звукового давления L _p , дБ							
1	44	55	56	45	15	18	16	23
2	44	55	57	46	15	18	16	23
3(верхний)	46	57	58	48	17	23	20	42

Таблица П.18 – Эффективность шумоглушителя CSC 250/900 , МФ под углом в 30°.

№МФ	Среднегеометрические частоты октавных полос, Гц							
	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
	Эффективность глушителя, дБ							
1	11	9	18	30	52	44	43	36
2	12	10	18	30	53	44	45	40
3(верхний)	11	10	18	31	55	52	56	32

Таблица П.19 – Эффективность шумоглушителя CSC 250/900 усредненная по всем МФ, МФ под углом в 30°.

Среднегеометрические частоты октавных полос, Гц							
63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
Эффективность глушителя, дБ							
11	10	18	30	53	46	48	36

Таблица П.17 - Измеренные значения уровней звукового давления CSC 250/900, МФ под углом в 45°.

№МФ	Среднегеометрические частоты октавных полос, Гц							
	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
	Уровни звукового давления L _p , дБ							
1	40	51	53	42	13	16	15	19
2	40	52	53	42	12	16	15	20
3(верхний)	41	52	53	43	13	18	16	35

Таблица П.18 – Эффективность шумоглушителя CSC 250/900 , МФ под углом в 45°.

№МФ	Среднегеометрические частоты октавных полос, Гц							
	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
	Эффективность глушителя, дБ							
1	12	10	18	30	50	41	41	35
2	11	10	18	30	52	42	42	38
3(верхний)	13	10	18	30	53	50	54	32

Таблица П.19 – Эффективность шумоглушителя CSC 250/900 усредненная по всем МФ, МФ под углом в 45°.

Среднегеометрические частоты октавных полос, Гц							
63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
Эффективность глушителя, дБ							
12	10	18	30	52	44	46	35

Таблица П.20 – Эффективность шумоглушителя CSC 250/900, измерения по сфере.

Среднегеометрические частоты октавных полос, Гц							
63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
Эффективность глушителя, дБ							
12	9	17	30	51	43	43	36

Таблица П.21 - Измеренные значения уровней звуковой мощности шумоглушителя CSC 250/900 по сфере.

Среднегеометрические частоты октавных полос, Гц								L _{WA} , дБА
63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	
Уровни звуковой мощности L _w , дБ								
55	65	67	55	26	30	28	36	60

Цилиндрическая вставка отсутствует.

Таблица П.22 - Измеренные значения уровней звукового давления CSC 250/900, МФ под углом в 30°.

№МФ	Среднегеометрические частоты октавных полос, Гц							
	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
	Уровни звукового давления L _p , дБ							
1	29	47	52	44	24	31	34	29
2	30	47	53	45	25	32	36	30
3(верхний)	33	50	55	47	29	48	57	56

Таблица П.23 - Измеренные значения уровней звукового давления замещающего воздуховода, МФ под углом в 30°.

№МФ	Среднегеометрические частоты октавных полос, Гц							
	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
	Уровни звукового давления L _p , дБ							
1	41	54	66	69	61	54	48	42
2	42	55	67	70	62	55	49	45
3(верхний)	45	57	69	72	66	67	64	58

Таблица П.24 – Эффективность шумоглушителя CSC 250/900, МФ под углом 30°.

№МФ	Среднегеометрические частоты октавных полос, Гц							
	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
	Эффективность глушителя, дБ							
1	11	7	14	25	37	24	13	13
2	12	8	14	25	38	23	13	16
3(верхний)	13	7	14	26	37	19	7	2

Таблица П.25 – Эффективность шумоглушителя CSC 250/900 усредненная по всем МФ, МФ под углом в 30°.

Среднегеометрические частоты октавных полос, Гц							
63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
Эффективность глушителя, дБ							
12	7	14	25	37	22	11	10

Таблица П.26 - Измеренные значения уровней звукового давления CSC 250/900, МФ под углом в 45°.

№МФ	Среднегеометрические частоты октавных полос, Гц							
	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
	Уровни звукового давления L _p , дБ							
1	33	49	55	46	26	33	37	32
2	33	50	56	46	27	34	38	33
3(верхний)	34	50	55	47	29	48	57	56

Таблица П.27 - Измеренные значения уровней звукового давления замещающего воздуховода, МФ под углом в 45°.

№МФ	Среднегеометрические частоты октавных полос, Гц							
	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
	Уровни звукового давления L _p , дБ							
1	42	56	68	71	63	56	49	44
2	43	56	68	71	64	57	50	48
3(верхний)	45	56	68	72	66	67	64	58

Таблица П.28 – Эффективность шумоглушителя CSC 250/900, МФ под углом 45°.

№МФ	Среднегеометрические частоты октавных полос, Гц							
	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
	Эффективность глушителя, дБ							
1	9	7	13	25	37	22	12	12
2	10	6	12	25	37	22	11	15
3(верхний)	11	6	13	26	37	19	6	1

Таблица П.29 – Эффективность шумоглушителя CSC 250/900 усредненная по всем МФ, МФ под углом в 45°.

Среднегеометрические частоты октавных полос, Гц							
63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
Эффективность глушителя, дБ							
10	6	13	25	37	21	10	9

Таблица П.30 - Измеренные значения уровней звуковой мощности шумоглушителя CSC 250/900 по сфере.

Среднегеометрические частоты октавных полос, Гц								L _{WA} , дБА
63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	
Уровни звуковой мощности L _w , дБ								
46	62	68	60	40	50	54	49	63

Таблица П.31 - Измеренные значения уровней звуковой мощности замещающего воздуховода по сфере.

Среднегеометрические частоты октавных полос, Гц								L _{WA} , дБА
63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	
Уровни звуковой мощности L _w , дБ								
58	70	83	86	78	72	64	61	84

Таблица П.32 – Эффективность шумоглушителя CSC 250/900, измерения по сфере.

Среднегеометрические частоты октавных полос, Гц							
63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
Эффективность глушителя, дБ							
12	8	15	26	38	21	10	13

Динамические испытания:

Цилиндрическая вставка, угол раскрытия конуса обтекателя - 60°, вентилятор в режиме нагнетания.

Таблица П.33 - Измеренные значения уровней звукового давления CSC 250/900, МФ под углом в 30°, объёмный расход воздуха **570 м³/ч**.

№МФ	Среднегеометрические частоты октавных полос, Гц							
	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
	Уровни звукового давления L _p , дБ							
1	35	40	35	14	11	11	13	14
2	35	41	36	14	11	11	13	14
3(верхний)	41	42	38	16	12	11	12	13

Таблица П.34 – Эффективность шумоглушителя CSC 250/900, МФ под углом в 30°, объёмный расход воздуха **570 м³/ч**.

№МФ	Среднегеометрические частоты октавных полос, Гц							
	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
	Эффективность глушителя, дБ							
1	12	11	13	25	32	31	29	17
2	12	11	13	25	32	31	29	18
3(верхний)	9	12	13	26	34	32	31	16

Таблица П.35 – Эффективность шумоглушителя **CSC 250/900**, усредненная по всем МФ, МФ под углом в 30°, объёмный расход воздуха **570 м³/ч**.

Среднегеометрические частоты октавных полос, Гц							
63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
Эффективность глушителя, дБ							
11	11	13	25	33	31	30	17

Таблица П.36 - Измеренные значения уровней звукового давления CSC 250/900, МФ под углом в 45°, объёмный расход воздуха **570 м³/ч.**

№МФ	Среднегеометрические частоты октавных полос, Гц							
	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
	Уровни звукового давления L _p , дБ							
1	37	42	37	15	12	12	13	14
2	38	43	38	16	12	12	13	14
3(верхний)	41	42	38	16	12	11	12	13

Таблица П.37 – Эффективность шумоглушителя CSC 250/900, МФ под углом в 45°, объёмный расход воздуха **570 м³/ч.**

№МФ	Среднегеометрические частоты октавных полос, Гц							
	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
	Эффективность глушителя, дБ							
1	12	12	13	26	33	33	31	20
2	12	11	12	26	33	32	31	20
3(верхний)	8	12	12	26	34	32	31	17

Таблица П.38 – Эффективность шумоглушителя **CSC 250/900**, усредненная по всем МФ, МФ под углом в 45°, объёмный расход воздуха **570 м³/ч.**

Среднегеометрические частоты октавных полос, Гц							
63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
Эффективность глушителя, дБ							
11	11	12	26	34	32	31	19

Таблица П.39 - Измеренные значения уровней звукового давления CSC 250/900, МФ под углом в 30°, объёмный расход воздуха **880 м³/ч.**

№МФ	Среднегеометрические частоты октавных полос, Гц							
	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
	Уровни звукового давления L _p , дБ							
1	43	45	45	23	19	18	15	15
2	44	46	46	23	18	17	15	15
3(верхний)	51	48	47	25	20	18	15	16

Таблица П.40 – Эффективность шумоглушителя CSC 250/900, МФ под углом в 30°, объёмный расход воздуха **880 м³/ч.**

№МФ	Среднегеометрические частоты октавных полос, Гц							
	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
	Эффективность глушителя, дБ							
1	11	10	13	25	34	34	35	31
2	11	9	12	25	35	34	35	31
3(верхний)	5	10	13	26	35	35	37	29

Таблица П.41 – Эффективность шумоглушителя **CSC 250/900**, усредненная по всем МФ, МФ под углом в 30°, объёмный расход воздуха **880 м³/ч.**

Среднегеометрические частоты октавных полос, Гц							
63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
Эффективность глушителя, дБ							
9	10	13	26	34	34	36	30

Таблица П.42 - Измеренные значения уровней звукового давления CSC 250/900, МФ под углом в 45°, объёмный расход воздуха **880 м³/ч.**

№МФ	Среднегеометрические частоты октавных полос, Гц							
	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
	Уровни звукового давления L _p , дБ							
1	44	47	47	24	21	19	16	15
2	45	48	47	25	20	19	16	15
3(верхний)	51	48	47	26	20	18	15	16

Таблица П.43 – Эффективность шумоглушителя CSC 250/900, МФ под углом в 45°, объёмный расход воздуха **880 м³/ч.**

№МФ	Среднегеометрические частоты октавных полос, Гц							
	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
	Эффективность глушителя, дБ							
1	11	10	13	26	34	34	36	32
2	11	9	12	26	34	33	36	32
3(верхний)	5	10	12	26	35	35	38	29

Таблица П.44 – Эффективность шумоглушителя **CSC 250/900**, усредненная по всем МФ, МФ под углом в 45^0 , объёмный расход воздуха **880 м³/ч**.

Среднегеометрические частоты октавных полос, Гц							
63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
Эффективность глушителя, дБ							
9	10	12	26	34	34	36	31

Цилиндрическая вставка, угол раскрытия конуса обтекателя - 60^0 , вентилятор в режиме всасывания.

Таблица П.45 - Измеренные значения уровней звукового давления **CSC 250/900**, МФ под углом в 30^0 , объёмный расход воздуха **570 м³/ч**.

№МФ	Среднегеометрические частоты октавных полос, Гц							
	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
	Уровни звукового давления L_p , дБ							
1	35	39	33	21	10	11	13	14
2	36	41	35	22	10	11	13	14
3(верхний)	38	41	36	24	11	11	12	14

Таблица П.46 – Эффективность шумоглушителя **CSC 250/900**, МФ под углом в 30^0 , объёмный расход воздуха **570 м³/ч**.

№МФ	Среднегеометрические частоты октавных полос, Гц							
	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
	Эффективность глушителя, дБ							
1	13	9	15	25	34	30	29	21
2	13	8	15	25	34	31	30	22
3(верхний)	13	9	15	26	38	32	31	27

Таблица П.47 – Эффективность шумоглушителя **CSC 250/900**, усредненная по всем МФ, МФ под углом в 30^0 , объёмный расход воздуха **570 м³/ч**.

Среднегеометрические частоты октавных полос, Гц							
63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
Эффективность глушителя, дБ							
13	9	15	25	36	31	30	23

Таблица П.48 - Измеренные значения уровней звукового давления CSC 250/900, МФ под углом в 45°, объёмный расход воздуха **570 м³/ч.**

№МФ	Среднегеометрические частоты октавных полос, Гц							
	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
	Уровни звукового давления L _p , дБ							
1	37	42	36	24	11	11	13	14
2	37	42	36	24	10	12	13	14
3(верхний)	38	41	36	24	11	11	12	14

Таблица П.49 – Эффективность шумоглушителя CSC 250/900, МФ под углом в 45°, объёмный расход воздуха **570 м³/ч.**

№МФ	Среднегеометрические частоты октавных полос, Гц							
	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
	Эффективность глушителя, дБ							
1	13	9	15	25	35	32	31	24
2	14	8	15	25	36	33	32	24
3(верхний)	12	9	14	26	38	32	31	27

Таблица П.50 – Эффективность шумоглушителя **CSC 250/900**, усредненная по всем МФ, МФ под углом в 45°, объёмный расход воздуха **570 м³/ч.**

Среднегеометрические частоты октавных полос, Гц							
63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
Эффективность глушителя, дБ							
13	9	15	25	37	32	32	25

Таблица П.51 - Измеренные значения уровней звукового давления CSC 250/900, МФ под углом в 30°, объёмный расход воздуха **880 м³/ч.**

№МФ	Среднегеометрические частоты октавных полос, Гц							
	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
	Уровни звукового давления L _p , дБ							
1	42	45	44	32	18	17	14	15
2	43	45	45	32	18	18	14	15
3(верхний)	46	47	46	34	20	18	16	22

Таблица П.52 – Эффективность шумоглушителя CSC 250/900, МФ под углом в 30°, объёмный расход воздуха **880 м³/ч**.

№МФ	Среднегеометрические частоты октавных полос, Гц							
	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
	Эффективность глушителя, дБ							
1	13	10	15	25	36	33	34	32
2	12	9	15	24	36	33	34	32
3(верхний)	12	10	15	25	38	33	35	27

Таблица П.53 – Эффективность шумоглушителя **CSC 250/900**, усредненная по всем МФ, МФ под углом в 30°, объёмный расход воздуха **880 м³/ч**.

Среднегеометрические частоты октавных полос, Гц							
63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
Эффективность глушителя, дБ							
12	10	15	25	37	33	34	30

Таблица П.54 - Измеренные значения уровней звукового давления CSC 250/900, МФ под углом в 45°, объёмный расход воздуха **880 м³/ч**.

№МФ	Среднегеометрические частоты октавных полос, Гц							
	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
	Уровни звукового давления L _p , дБ							
1	45	47	46	33	19	18	15	15
2	45	47	47	34	19	19	15	15
3(верхний)	46	47	46	34	20	18	16	22

Таблица П.55 – Эффективность шумоглушителя CSC 250/900, МФ под углом в 45°, объёмный расход воздуха **880 м³/ч**.

№МФ	Среднегеометрические частоты октавных полос, Гц							
	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
	Эффективность глушителя, дБ							
1	12	10	16	25	36	34	34	34
2	12	9	15	25	36	33	35	34
3(верхний)	12	10	16	25	38	33	35	27

Таблица П.56 – Эффективность шумоглушителя **CSC 250/900**, усредненная по всем МФ, МФ под углом в 45^0 , объёмный расход воздуха **880 м³/ч**.

Среднегеометрические частоты октавных полос, Гц							
63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
Эффективность глушителя, дБ							
12	10	16	25	37	33	35	32

Таблица П.57 - Измеренные значения уровней звуковой мощности **CSC 250/900** по сфере (Вентилятор в режиме **нагнетания**).

Величина объемного расхода воздуха L_0 , м³/ч	Среднегеометрические частоты октавных полос, Гц								L_{WA} , дБА
	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	
	Уровни звуковой мощности L_w , дБ								
570	53	56	52	29	26	26	27	28	45
880	60	61	61	39	34	33	29	29	53

Таблица П.58 – Эффективность шумоглушителя **CSC 250/900**, измерения по сфере (Вентилятор в режиме **нагнетания**).

Величина объемного расхода воздуха L_0 , м³/ч	Среднегеометрические частоты октавных полос, Гц							
	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
	Эффективность глушителя, дБ							
570	10	11	13	25	33	33	29	19
880	10	10	12	25	34	35	36	32

Таблица П.59 - Измеренные значения уровней звуковой мощности **CSC 250/900** по сфере (Вентилятор в режиме **всасывания**).

Величина объемного расхода воздуха L_0 , м³/ч	Среднегеометрические частоты октавных полос, Гц								L_{WA} , дБА
	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	
	Уровни звуковой мощности L_w , дБ								
570	52	56	50	37	21	21	22	22	44
880	59	61	60	48	32	31	27	29	54

Таблица П.60 – Эффективность шумоглушителя **CSC 250/900**, измерения по сфере (Вентилятор в режиме **всасывания**).

Величина объемного расхода воздуха L_0 , м ³ /ч	Среднегеометрические частоты октавных полос, Гц								
	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	
	Эффективность глушителя, дБ								
570	12	9	15	26	39	36	35	30	
880	11	10	15	24	37	34	36	33	

Цилиндрическая вставка, угол раскрытия конуса обтекателя - 120⁰, вентилятор в режиме **нагнетания**.

Таблица П.61 - Измеренные значения уровней звукового давления **CSC 250/900**, МФ под углом в 30⁰, объёмный расход воздуха **570 м³/ч**.

№МФ	Среднегеометрические частоты октавных полос, Гц							
	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
	Уровни звукового давления L_p , дБ							
1	35	40	37	16	13	12	13	14
2	36	41	38	17	14	12	13	14
3(верхний)	42	43	39	19	15	12	13	13

Таблица П.62 – Эффективность шумоглушителя **CSC 250/900**, МФ под углом в 30⁰, объёмный расход воздуха **570 м³/ч**.

№МФ	Среднегеометрические частоты октавных полос, Гц							
	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
	Эффективность глушителя, дБ							
1	12	11	12	23	30	31	29	17
2	12	11	11	23	29	30	29	18
3(верхний)	8	11	12	23	31	31	31	17

Таблица П.63 – Эффективность шумоглушителя **CSC 250/900**, усредненная по всем МФ, МФ под углом в 30⁰, объёмный расход воздуха **570 м³/ч**.

Среднегеометрические частоты октавных полос, Гц							
63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
Эффективность глушителя, дБ							
11	11	11	23	30	31	30	17

Таблица П.64 - Измеренные значения уровней звукового давления CSC 250/900, МФ под углом в 45°, объёмный расход воздуха **570 м³/ч.**

№МФ	Среднегеометрические частоты октавных полос, Гц							
	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
	Уровни звукового давления L _p , дБ							
1	37	42	39	18	14	13	13	14
2	37	43	39	18	16	13	13	14
3(верхний)	41	43	39	18	15	12	13	13

Таблица П.65 – Эффективность шумоглушителя CSC 250/900, МФ под углом в 45°, объёмный расход воздуха **570 м³/ч.**

№МФ	Среднегеометрические частоты октавных полос, Гц							
	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
	Эффективность глушителя, дБ							
1	12	12	11	23	31	32	31	20
2	13	11	11	23	29	31	31	20
3(верхний)	8	11	11	24	32	32	31	17

Таблица П.66 – Эффективность шумоглушителя **CSC 250/900**, усредненная по всем МФ, МФ под углом в 45°, объёмный расход воздуха **570 м³/ч.**

Среднегеометрические частоты октавных полос, Гц							
63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
Эффективность глушителя, дБ							
11	11	11	23	31	32	31	19

Таблица П.67 - Измеренные значения уровней звукового давления CSC 250/900, МФ под углом в 30°, объёмный расход воздуха **880 м³/ч.**

№МФ	Среднегеометрические частоты октавных полос, Гц							
	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
	Уровни звукового давления L _p , дБ							
1	42	46	45	25	21	19	16	15
2	43	46	46	25	23	21	16	15
3(верхний)	54	48	47	27	23	20	17	15

Таблица П.68 – Эффективность шумоглушителя CSC 250/900, МФ под углом в 30°, объёмный расход воздуха **880 м³/ч**.

№МФ	Среднегеометрические частоты октавных полос, Гц							
	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
	Эффективность глушителя, дБ							
1	11	9	12	24	32	32	34	31
2	11	9	12	24	30	30	34	31
3(верхний)	2	9	12	25	32	32	36	30

Таблица П.69 – Эффективность шумоглушителя **CSC 250/900**, усредненная по всем МФ, МФ под углом в 30°, объёмный расход воздуха **880 м³/ч**.

Среднегеометрические частоты октавных полос, Гц							
63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
Эффективность глушителя, дБ							
8	9	12	24	31	32	35	31

Таблица П.70 - Измеренные значения уровней звукового давления CSC 250/900, МФ под углом в 45°, объёмный расход воздуха **880 м³/ч**.

№МФ	Среднегеометрические частоты октавных полос, Гц							
	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
	Уровни звукового давления L _p , дБ							
1	44	48	47	26	22	21	18	15
2	45	48	48	26	24	22	17	15
3(верхний)	52	48	47	27	23	20	17	15

Таблица П.71 – Эффективность шумоглушителя CSC 250/900, МФ под углом в 45°, объёмный расход воздуха **880 м³/ч**.

№МФ	Среднегеометрические частоты октавных полос, Гц							
	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
	Эффективность глушителя, дБ							
1	11	9	12	24	32	32	34	32
2	11	9	12	24	30	30	35	32
3(верхний)	5	9	12	25	32	32	36	30

Таблица П.72 – Эффективность шумоглушителя **CSC 250/900**, усредненная по всем МФ, МФ под углом в 45^0 , объёмный расход воздуха **880 м³/ч**.

Среднегеометрические частоты октавных полос, Гц							
63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
Эффективность глушителя, дБ							
9	9	12	24	31	31	35	31

Цилиндрическая вставка, угол раскрытия конуса обтекателя - 120^0 , вентилятор в режиме всасывания.

Таблица П.73 - Измеренные значения уровней звукового давления **CSC 250/900**, МФ под углом в 30^0 , объёмный расход воздуха **570 м³/ч**.

№МФ	Среднегеометрические частоты октавных полос, Гц							
	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
	Уровни звукового давления L_p , дБ							
1	35	40	34	22	13	13	13	14
2	35	40	34	22	14	13	13	14
3(верхний)	38	41	35	24	16	15	13	13

Таблица П.74– Эффективность шумоглушителя **CSC 250/900**, МФ под углом в 30^0 , объёмный расход воздуха **570 м³/ч**.

№МФ	Среднегеометрические частоты октавных полос, Гц							
	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
	Эффективность глушителя, дБ							
1	13	9	15	25	31	29	29	21
2	13	8	15	25	31	29	30	22
3(верхний)	13	10	15	26	32	28	31	27

Таблица П.75 – Эффективность шумоглушителя **CSC 250/900**, усредненная по всем МФ, МФ под углом в 30^0 , объёмный расход воздуха **570 м³/ч**.

Среднегеометрические частоты октавных полос, Гц							
63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
Эффективность глушителя, дБ							
13	9	15	25	31	28	30	24

Таблица П.76 - Измеренные значения уровней звукового давления CSC 250/900, МФ под углом в 45°, объёмный расход воздуха 570 м³/ч.

№МФ	Среднегеометрические частоты октавных полос, Гц							
	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
	Уровни звукового давления L _p , дБ							
1	37	41	36	24	15	14	13	14
2	37	42	36	24	15	15	13	14
3(верхний)	38	41	36	24	16	15	13	13

Таблица П.77 – Эффективность шумоглушителя CSC 250/900, МФ под углом в 45°, объёмный расход воздуха 570 м³/ч.

№МФ	Среднегеометрические частоты октавных полос, Гц							
	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
	Эффективность глушителя, дБ							
1	13	9	14	25	31	30	31	24
2	14	8	14	25	31	30	32	24
3(верхний)	13	10	14	25	32	28	31	27

Таблица П.78 – Эффективность шумоглушителя CSC 250/900, усредненная по всем МФ, МФ под углом в 45°, объёмный расход воздуха 570 м³/ч.

Среднегеометрические частоты октавных полос, Гц							
63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
Эффективность глушителя, дБ							
13	9	14	25	32	29	31	25

Таблица П.79 - Измеренные значения уровней звукового давления CSC 250/900, МФ под углом в 30°, объёмный расход воздуха 880 м³/ч.

№МФ	Среднегеометрические частоты октавных полос, Гц							
	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
	Уровни звукового давления L _p , дБ							
1	43	44	44	31	22	23	18	15
2	43	45	46	31	22	22	18	15
3(верхний)	45	46	47	33	24	27	23	18

Таблица П.80 – Эффективность шумоглушителя CSC 250/900, МФ под углом в 30°, объёмный расход воздуха **880 м³/ч**.

№МФ	Среднегеометрические частоты октавных полос, Гц							
	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
	Эффективность глушителя, дБ							
1	12	10	15	26	32	27	30	32
2	12	10	14	26	32	28	30	32
3(верхний)	12	10	15	26	34	24	28	31

Таблица П.81 – Эффективность шумоглушителя **CSC 250/900**, усредненная по всем МФ, МФ под углом в 30°, объёмный расход воздуха **880 м³/ч**.

Среднегеометрические частоты октавных полос, Гц							
63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
Эффективность глушителя, дБ							
12	10	14	26	33	27	29	32

Таблица П.82 - Измеренные значения уровней звукового давления CSC 250/900, МФ под углом в 45°, объёмный расход воздуха **880 м³/ч**.

№МФ	Среднегеометрические частоты октавных полос, Гц							
	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
	Уровни звукового давления L _p , дБ							
1	44	46	47	33	23	25	19	15
2	45	47	48	33	23	24	19	15
3(верхний)	45	46	47	33	24	27	23	18

Таблица П.83 – Эффективность шумоглушителя CSC 250/900, МФ под углом в 45°, объёмный расход воздуха **880 м³/ч**.

№МФ	Среднегеометрические частоты октавных полос, Гц							
	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
	Эффективность глушителя, дБ							
1	12	10	14	26	32	27	31	33
2	13	10	14	26	32	28	30	34
3(верхний)	12	10	15	26	34	24	28	31

Таблица П.84 – Эффективность шумоглушителя **CSC 250/900**, усредненная по всем МФ, МФ под углом в 45°, объёмный расход воздуха **880 м³/ч**.

Среднегеометрические частоты октавных полос, Гц							
63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
Эффективность глушителя, дБ							
12	10	14	26	33	26	30	33

Таблица П.85 - Измеренные значения уровней звуковой мощности **CSC 250/900** по сфере (Вентилятор в режиме **нагнетания**).

Величина объемного расхода воздуха L_0 , м³/ч	Среднегеометрические частоты октавных полос, Гц								L_{WA} , дБА
	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	
	Уровни звуковой мощности L_w , дБ								
570	51	56	53	31	29	26	27	28	45
880	60	62	61	40	38	35	31	29	53

Таблица П.86 – Эффективность шумоглушителя **CSC 250/900**, измерения по сфере (Вентилятор в режиме **нагнетания**).

Величина объемного расхода воздуха L_0 , м³/ч	Среднегеометрические частоты октавных полос, Гц							
	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
	Эффективность глушителя, дБ							
570	11	12	12	23	31	33	30	20
880	10	9	12	24	31	32	34	31

Таблица П.87 - Измеренные значения уровней звуковой мощности **CSC 250/900** по сфере (Вентилятор в режиме **всасывания**).

Величина объемного расхода воздуха L ₀ , м ³ /ч	Среднегеометрические частоты октавных полос, Гц								L _{WA} , дБА
	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	
	Уровни звуковой мощности L _w , дБ								
570	51	55	49	37	28	27	27	28	43
880	59	60	61	46	37	38	32	29	55

Таблица П.88 – Эффективность шумоглушителя **CSC 250/900**, измерения по сфере (Вентилятор в режиме **всасывания**).

Величина объемного расхода воздуха L_0 , м ³ /ч	Среднегеометрические частоты октавных полос, Гц							
	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
	Эффективность глушителя, дБ							
570	13	10	15	26	32	31	31	24
880	12	11	14	26	32	28	30	33

Цилиндрическая вставка, угол раскрытия конуса обтекателя - 180⁰, вентилятор в режиме **нагнетания**.

Таблица П.89 - Измеренные значения уровней звукового давления **CSC 250/900**, МФ под углом в 30⁰, объёмный расход воздуха **570 м³/ч**.

№МФ	Среднегеометрические частоты октавных полос, Гц							
	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
	Уровни звукового давления L_p , дБ							
1	35	40	37	16	14	12	13	14
2	35	41	38	16	13	12	13	14
3(верхний)	39	42	39	18	14	12	13	13

Таблица П.90 – Эффективность шумоглушителя **CSC 250/900**, МФ под углом в 30⁰, объёмный расход воздуха **570 м³/ч**.

№МФ	Среднегеометрические частоты октавных полос, Гц							
	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
	Эффективность глушителя, дБ							
1	12	12	11	23	29	30	29	17
2	13	11	11	23	30	30	29	18
3(верхний)	10	12	12	24	32	31	31	17

Таблица П.91 – Эффективность шумоглушителя **CSC 250/900**, усредненная по всем МФ, МФ под углом в 30⁰, объёмный расход воздуха **570 м³/ч**.

Среднегеометрические частоты октавных полос, Гц							
63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
Эффективность глушителя, дБ							
12	12	11	23	30	30	30	17

Таблица П.92 - Измеренные значения уровней звукового давления CSC 250/900, МФ под углом в 45°, объёмный расход воздуха **570 м³/ч.**

№МФ	Среднегеометрические частоты октавных полос, Гц							
	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
	Уровни звукового давления L _p , дБ							
1	37	42	40	17	15	13	13	14
2	37	43	40	18	14	13	13	14
3(верхний)	39	42	40	18	14	12	13	13

Таблица П.93 – Эффективность шумоглушителя CSC 250/900, МФ под углом в 45°, объёмный расход воздуха **570 м³/ч.**

№МФ	Среднегеометрические частоты октавных полос, Гц							
	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
	Эффективность глушителя, дБ							
1	12	12	10	24	30	32	31	20
2	13	11	10	24	31	31	31	20
3(верхний)	11	12	10	24	32	31	31	17

Таблица П.94 – Эффективность шумоглушителя **CSC 250/900**, усредненная по всем МФ, МФ под углом в 45°, объёмный расход воздуха **570 м³/ч.**

Среднегеометрические частоты октавных полос, Гц							
63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
Эффективность глушителя, дБ							
12	12	10	24	31	31	31	19

Таблица П.95 - Измеренные значения уровней звукового давления CSC 250/900, МФ под углом в 30°, объёмный расход воздуха **880 м³/ч.**

№МФ	Среднегеометрические частоты октавных полос, Гц							
	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
	Уровни звукового давления L _p , дБ							
1	43	45	46	25	23	21	16	15
2	43	46	46	25	21	21	17	15
3(верхний)	49	48	48	27	23	20	17	15

Таблица П.96 – Эффективность шумоглушителя CSC 250/900, МФ под углом в 30°, объёмный расход воздуха **880 м³/ч**.

№МФ	Среднегеометрические частоты октавных полос, Гц							
	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
	Эффективность глушителя, дБ							
1	11	10	12	24	30	30	34	31
2	11	9	12	24	31	30	33	31
3(верхний)	8	10	12	24	32	32	35	29

Таблица П.97 – Эффективность шумоглушителя **CSC 250/900**, усредненная по всем МФ, МФ под углом в 30°, объёмный расход воздуха **880 м³/ч**.

Среднегеометрические частоты октавных полос, Гц							
63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
Эффективность глушителя, дБ							
10	10	12	24	31	31	34	31

Таблица П.98 - Измеренные значения уровней звукового давления CSC 250/900, МФ под углом в 45°, объёмный расход воздуха **880 м³/ч**.

№МФ	Среднегеометрические частоты октавных полос, Гц							
	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
	Уровни звукового давления L _p , дБ							
1	45	47	47	26	24	23	18	15
2	45	48	48	27	23	23	19	15
3(верхний)	48	48	47	27	23	21	18	15

Таблица П.99 – Эффективность шумоглушителя CSC 250/900, МФ под углом в 45°, объёмный расход воздуха **880 м³/ч**.

№МФ	Среднегеометрические частоты октавных полос, Гц							
	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
	Эффективность глушителя, дБ							
1	11	10	12	24	30	30	34	32
2	11	9	12	24	31	29	33	32
3(верхний)	8	10	12	25	32	32	35	29

Таблица П.100 – Эффективность шумоглушителя **CSC 250/900**, усредненная по всем МФ, МФ под углом в 45^0 , объёмный расход воздуха **880 м³/ч**.

Среднегеометрические частоты октавных полос, Гц							
63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
Эффективность глушителя, дБ							
10	10	12	24	31	30	34	31

Цилиндрическая вставка, угол раскрытия конуса обтекателя - 180^0 , вентилятор в режиме всасывания.

Таблица П.101 - Измеренные значения уровней звукового давления **CSC 250/900**, МФ под углом в 30^0 , объёмный расход воздуха **570 м³/ч**.

№МФ	Среднегеометрические частоты октавных полос, Гц							
	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
	Уровни звукового давления L_p , дБ							
1	35	39	33	21	15	14	13	14
2	35	40	34	22	15	15	13	14
3(верхний)	38	41	35	24	17	17	13	14

Таблица П.102– Эффективность шумоглушителя **CSC 250/900**, МФ под углом в 30^0 , объёмный расход воздуха **570 м³/ч**.

№МФ	Среднегеометрические частоты октавных полос, Гц							
	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
	Эффективность глушителя, дБ							
1	13	9	15	25	29	27	28	21
2	14	9	15	25	29	28	29	22
3(верхний)	12	10	15	25	32	26	30	27

Таблица П.103 – Эффективность шумоглушителя **CSC 250/900**, усредненная по всем МФ, МФ под углом в 30^0 , объёмный расход воздуха **570 м³/ч**.

Среднегеометрические частоты октавных полос, Гц							
63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
Эффективность глушителя, дБ							
13	9	15	25	30	27	29	24

Таблица П.104 - Измеренные значения уровней звукового давления CSC 250/900, МФ под углом в 45°, объёмный расход воздуха 570 м³/ч.

№МФ	Среднегеометрические частоты октавных полос, Гц							
	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
	Уровни звукового давления L _p , дБ							
1	37	41	34	23	17	15	14	14
2	37	42	35	24	17	16	14	14
3(верхний)	38	41	35	24	17	16	13	13

Таблица П.105 – Эффективность шумоглушителя CSC 250/900, МФ под углом в 45°, объёмный расход воздуха 570 м³/ч.

№МФ	Среднегеометрические частоты октавных полос, Гц							
	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
	Эффективность глушителя, дБ							
1	13	9	16	26	30	29	31	24
2	14	9	16	26	30	29	31	24
3(верхний)	13	9	16	25	32	27	31	27

Таблица П.106 – Эффективность шумоглушителя CSC 250/900, усредненная по всем МФ, МФ под углом в 45°, объёмный расход воздуха 570 м³/ч.

Среднегеометрические частоты октавных полос, Гц							
63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
Эффективность глушителя, дБ							
13	9	16	26	30	28	31	25

Таблица П.107 - Измеренные значения уровней звукового давления CSC 250/900, МФ под углом в 30°, объёмный расход воздуха 880 м³/ч.

№МФ	Среднегеометрические частоты октавных полос, Гц							
	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
	Уровни звукового давления L _p , дБ							
1	43	44	42	29	23	23	21	15
2	43	44	43	29	23	24	23	16
3(верхний)	47	46	44	32	25	26	24	19

Таблица П.108 – Эффективность шумоглушителя CSC 250/900, МФ под углом в 30°, объёмный расход воздуха **880 м³/ч.**

№МФ	Среднегеометрические частоты октавных полос, Гц							
	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
	Эффективность глушителя, дБ							
1	12	11	17	28	31	27	27	31
2	12	10	17	27	30	26	25	31
3(верхний)	11	10	17	28	32	26	27	30

Таблица П.109 – Эффективность шумоглушителя **CSC 250/900**, усредненная по всем МФ, МФ под углом в 30°, объёмный расход воздуха **880 м³/ч.**

Среднегеометрические частоты октавных полос, Гц							
63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
Эффективность глушителя, дБ							
12	11	17	27	31	26	26	31

Таблица П.110 - Измеренные значения уровней звукового давления CSC 250/900, МФ под углом в 45°, объёмный расход воздуха **880 м³/ч.**

№МФ	Среднегеометрические частоты октавных полос, Гц							
	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
	Уровни звукового давления L _p , дБ							
1	45	46	45	31	25	26	24	17
2	45	46	45	31	25	26	24	17
3(верхний)	46	46	44	32	25	26	24	19

Таблица П.111 – Эффективность шумоглушителя CSC 250/900, МФ под углом в 45°, объёмный расход воздуха **880 м³/ч.**

№МФ	Среднегеометрические частоты октавных полос, Гц							
	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
	Эффективность глушителя, дБ							
1	11	11	17	27	30	26	25	32
2	12	10	17	27	30	26	26	32
3(верхний)	11	11	17	28	32	26	27	30

Таблица П.112 – Эффективность шумоглушителя **CSC 250/900**, усредненная по всем МФ, МФ под углом в 45^0 , объёмный расход воздуха **880 м³/ч**.

Среднегеометрические частоты октавных полос, Гц							
63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
Эффективность глушителя, дБ							
12	11	17	27	31	26	26	31

Таблица П.113 - Измеренные значения уровней звуковой мощности **CSC 250/900** по сфере (Вентилятор в режиме **нагнетания**).

Величина объемного расхода воздуха L_0 , м³/ч	Среднегеометрические частоты октавных полос, Гц								L_{WA} , дБА
	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	
	Уровни звуковой мощности L_w , дБ								
570	51	56	53	31	28	27	27	28	46
880	60	61	61	40	37	36	31	29	53

Таблица П.114 – Эффективность шумоглушителя **CSC 250/900**, измерения по сфере (Вентилятор в режиме **нагнетания**).

Величина объемного расхода воздуха L_0 , м³/ч	Среднегеометрические частоты октавных полос, Гц							
	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
	Эффективность глушителя, дБ							
570	11	12	11	24	31	32	30	20
880	9	10	12	24	31	32	34	32

Таблица П.115 - Измеренные значения уровней звуковой мощности **CSC 250/900** по сфере (Вентилятор в режиме **всасывания**).

Величина объемного расхода воздуха L_0 , м³/ч	Среднегеометрические частоты октавных полос, Гц								L_{WA} , дБА
	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	
	Уровни звуковой мощности L_w , дБ								
570	52	55	49	37	30	29	27	28	44
880	60	59	59	44	38	39	35	30	53

Таблица П.116 – Эффективность шумоглушителя **CSC 250/900**, измерения по сфере (Вентилятор в режиме **всасывания**).

Величина объемного расхода воздуха L_0 , м ³ /ч	Среднегеометрические частоты октавных полос, Гц							
	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
	Эффективность глушителя, дБ							
570	13	10	15	26	30	29	30	24
880	11	11	17	28	31	27	28	32

Цилиндрическая вставка отсутствует, вентилятор в режиме **нагнетания**.

Таблица П.117 - Измеренные значения уровней звукового давления **CSC 250/900**, МФ под углом в 30°, объёмный расход воздуха **570 м³/ч**.

№МФ	Среднегеометрические частоты октавных полос, Гц							
	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
	Уровни звукового давления L_p , дБ							
1	36	43	41	18	14	14	18	15
2	36	44	42	18	14	15	19	15
3(верхний)	38	44	42	20	17	27	37	26

Таблица П.118 - Измеренные значения уровней звукового давления **замещающего воздуховода**, МФ под углом в 30°, объёмный расход воздуха **570 м³/ч**.

№МФ	Среднегеометрические частоты октавных полос, Гц							
	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
	Уровни звукового давления L_p , дБ							
1	47	52	49	39	43	43	41	31
2	48	52	49	39	43	42	42	32
3(верхний)	50	54	50	42	46	43	44	30

Таблица П.119 – Эффективность шумоглушителя **CSC 250/900**, МФ под углом в 30°, объёмный расход воздуха **570 м³/ч**.

№МФ	Среднегеометрические частоты октавных полос, Гц							
	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
	Эффективность глушителя, дБ							
1	11	9	8	21	29	29	24	17
2	11	8	7	22	29	27	23	17
3(верхний)	11	10	8	22	30	16	7	4

Таблица П.120 – Эффективность шумоглушителя **CSC 250/900**, усредненная по всем МФ, МФ под углом в 30°, объёмный расход воздуха **570 м³/ч**.

Среднегеометрические частоты октавных полос, Гц							
63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
Эффективность глушителя, дБ							
11	9	8	22	29	24	18	13

Таблица П.121 - Измеренные значения уровней звукового давления **CSC 250/900**, МФ под углом в 45°, объёмный расход воздуха **570 м³/ч**.

№МФ	Среднегеометрические частоты октавных полос, Гц							
	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
	Уровни звукового давления L _p , дБ							
1	38	45	45	20	15	15	21	15
2	39	46	45	19	15	16	20	15
3(верхний)	39	44	44	20	16	27	37	26

Таблица П.122 - Измеренные значения уровней звукового давления **замещающего воздуховода**, МФ под углом в 45°, объёмный расход воздуха **570 м³/ч**.

№МФ	Среднегеометрические частоты октавных полос, Гц							
	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
	Уровни звукового давления L _p , дБ							
1	49	54	50	41	45	45	44	34
2	50	54	50	41	45	44	44	34
3(верхний)	49	54	50	42	46	43	44	30

Таблица П.123 – Эффективность шумоглушителя **CSC 250/900**, МФ под углом в 45°, объёмный расход воздуха **570 м³/ч**.

№МФ	Среднегеометрические частоты октавных полос, Гц							
	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
	Эффективность глушителя, дБ							
1	10	9	5	22	30	30	24	19
2	11	8	5	22	30	28	24	19
3(верхний)	10	10	6	22	30	16	7	4

Таблица П.124 – Эффективность шумоглушителя **CSC 250/900**, усредненная по всем МФ, МФ под углом в 45^0 , объёмный расход воздуха **570 м³/ч**.

Среднегеометрические частоты октавных полос, Гц							
63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
Эффективность глушителя, дБ							
10	9	5	22	30	25	18	14

Таблица П.125 - Измеренные значения уровней звукового давления **CSC 250/900**, МФ под углом в 30^0 , объёмный расход воздуха **880 м³/ч**.

№МФ	Среднегеометрические частоты октавных полос, Гц							
	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
	Уровни звукового давления L _p , дБ							
1	42	47	48	26	23	22	26	21
2	44	48	49	27	24	24	29	22
3(верхний)	45	48	50	28	26	37	45	40

Таблица П.126 - Измеренные значения уровней звукового давления **замещающего воздуховода**, МФ под углом в 30^0 , объёмный расход воздуха **880 м³/ч**.

№МФ	Среднегеометрические частоты октавных полос, Гц							
	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
	Уровни звукового давления L _p , дБ							
1	53	55	57	48	53	51	50	46
2	54	55	58	49	53	51	50	46
3(верхний)	56	57	60	52	55	52	53	45

Таблица П.127 – Эффективность шумоглушителя **CSC 250/900**, МФ под углом в 30^0 , объёмный расход воздуха **880 м³/ч**.

№МФ	Среднегеометрические частоты октавных полос, Гц							
	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
	Эффективность глушителя, дБ							
1	11	8	9	22	30	29	24	25
2	11	8	9	22	29	27	21	24
3(верхний)	11	9	10	23	29	15	8	5

Таблица П.128 – Эффективность шумоглушителя **CSC 250/900**, усредненная по всем МФ, МФ под углом в 30⁰, объёмный расход воздуха **880 м³/ч**.

Среднегеометрические частоты октавных полос, Гц							
63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
Эффективность глушителя, дБ							
11	8	9	23	29	24	18	18

Таблица П.129 - Измеренные значения уровней звукового давления **CSC 250/900**, МФ под углом в 45⁰, объёмный расход воздуха **880 м³/ч**.

№МФ	Среднегеометрические частоты октавных полос, Гц							
	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
	Уровни звукового давления L _p , дБ							
1	45	49	50	28	25	24	30	23
2	46	49	51	28	25	25	29	23
3(верхний)	45	48	50	28	26	37	45	40

Таблица П.130 - Измеренные значения уровней звукового давления **замещающего воздуховода**, МФ под углом в 45⁰, объёмный расход воздуха **880 м³/ч**.

№МФ	Среднегеометрические частоты октавных полос, Гц							
	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
	Уровни звукового давления L _p , дБ							
1	55	57	59	50	54	53	52	47
2	56	57	60	50	54	52	52	47
3(верхний)	56	57	60	52	55	52	53	45

Таблица П.131 – Эффективность шумоглушителя **CSC 250/900**, МФ под углом в 45⁰, объёмный расход воздуха **880 м³/ч**.

№МФ	Среднегеометрические частоты октавных полос, Гц							
	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
	Эффективность глушителя, дБ							
1	10	8	9	22	29	29	22	24
2	10	7	9	22	29	27	23	25
3(верхний)	11	9	10	23	29	15	8	5

Таблица П.132 – Эффективность шумоглушителя **CSC 250/900**, усредненная по всем МФ, МФ под углом в 45^0 , объёмный расход воздуха **880 м³/ч**.

Среднегеометрические частоты октавных полос, Гц							
63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
Эффективность глушителя, дБ							
10	8	9	23	29	24	17	18

Цилиндрическая вставка отсутствует, вентилятор в режиме всасывания.

Таблица П.133 - Измеренные значения уровней звукового давления **CSC 250/900**, МФ под углом в 30^0 , объёмный расход воздуха **570 м³/ч**.

№МФ	Среднегеометрические частоты октавных полос, Гц							
	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
	Уровни звукового давления L_p , дБ							
1	37	41	38	24	12	14	18	19
2	37	41	38	24	12	14	19	19
3(верхний)	40	43	40	26	14	25	38	37

Таблица П.134 - Измеренные значения уровней звукового давления **замещающего воздуховода**, МФ под углом в 30^0 , объёмный расход воздуха **570 м³/ч**.

№МФ	Среднегеометрические частоты октавных полос, Гц							
	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
	Уровни звукового давления L_p , дБ							
1	48	48	48	47	44	41	42	35
2	49	49	49	47	44	42	42	36
3(верхний)	50	51	50	50	49	43	44	41

Таблица П.135– Эффективность шумоглушителя **CSC 250/900**, МФ под углом в 30^0 , объёмный расход воздуха **570 м³/ч**.

№МФ	Среднегеометрические частоты октавных полос, Гц							
	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
	Эффективность глушителя, дБ							
1	11	8	11	23	32	28	23	16
2	11	7	11	23	33	28	23	17
3(верхний)	11	8	11	24	35	18	6	4

Таблица П.136 – Эффективность шумоглушителя **CSC 250/900**, усредненная по всем МФ, МФ под углом в 30°, объёмный расход воздуха **570 м³/ч**.

Среднегеометрические частоты октавных полос, Гц							
63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
Эффективность глушителя, дБ							
11	8	11	23	33	25	17	12

Таблица П.137 - Измеренные значения уровней звукового давления **CSC 250/900**, МФ под углом в 45°, объёмный расход воздуха **570 м³/ч**.

№МФ	Среднегеометрические частоты октавных полос, Гц							
	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
	Уровни звукового давления L _p , дБ							
1	38	43	40	25	13	13	20	19
2	39	43	40	25	12	14	19	19
3(верхний)	39	43	40	26	14	25	38	37

Таблица П.138 - Измеренные значения уровней звукового давления **замещающего воздуховода**, МФ под углом в 45°, объёмный расход воздуха **570 м³/ч**.

№МФ	Среднегеометрические частоты октавных полос, Гц							
	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
	Уровни звукового давления L _p , дБ							
1	50	51	50	49	46	44	44	38
2	51	51	51	49	46	44	45	38
3(верхний)	50	51	50	50	49	43	44	41

Таблица П.139 – Эффективность шумоглушителя **CSC 250/900**, МФ под углом в 45°, объёмный расход воздуха **570 м³/ч**.

№МФ	Среднегеометрические частоты октавных полос, Гц							
	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
	Эффективность глушителя, дБ							
1	12	8	11	24	34	30	25	19
2	12	7	11	24	34	31	25	20
3(верхний)	11	8	11	24	35	18	6	4

Таблица П.140 – Эффективность шумоглушителя **CSC 250/900**, усредненная по всем МФ, МФ под углом в 45⁰, объёмный расход воздуха **570 м³/ч**.

Среднегеометрические частоты октавных полос, Гц							
63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
Эффективность глушителя, дБ							
11	8	11	24	34	26	19	14

Таблица П.141 - Измеренные значения уровней звукового давления **CSC 250/900**, МФ под углом в 30⁰, объёмный расход воздуха **880 м³/ч**.

№МФ	Среднегеометрические частоты октавных полос, Гц							
	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
	Уровни звукового давления L _p , дБ							
1	55	55	59	57	54	50	48	47
2	55	55	60	57	53	50	48	47
3(верхний)	57	57	62	59	58	52	51	50

Таблица П.142 - Измеренные значения уровней звукового давления **замещающего воздуховода**, МФ под углом в 30⁰, объёмный расход воздуха **880 м³/ч**.

№МФ	Среднегеометрические частоты октавных полос, Гц							
	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
	Уровни звукового давления L _p , дБ							
1	43	46	46	34	18	19	24	23
2	43	46	47	33	18	19	25	25
3(верхний)	45	48	48	35	22	33	45	47

Таблица П.143 – Эффективность шумоглушителя **CSC 250/900**, МФ под углом в 30⁰, объёмный расход воздуха **880 м³/ч**.

№МФ	Среднегеометрические частоты октавных полос, Гц							
	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
	Эффективность глушителя, дБ							
1	12	9	13	23	35	31	24	23
2	12	9	13	24	35	31	23	22
3(верхний)	12	9	13	24	35	18	6	2

Таблица П.144 – Эффективность шумоглушителя **CSC 250/900**, усредненная по всем МФ, МФ под углом в 30⁰, объёмный расход воздуха **880 м³/ч**.

Среднегеометрические частоты октавных полос, Гц							
63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
Эффективность глушителя, дБ							
12	9	13	23	35	27	18	16

Таблица П.145 - Измеренные значения уровней звукового давления **CSC 250/900**, МФ под углом в 45⁰, объёмный расход воздуха **880 м³/ч**.

№МФ	Среднегеометрические частоты октавных полос, Гц							
	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
	Уровни звукового давления L _p , дБ							
1	45	48	49	35	20	20	27	26
2	46	48	49	35	20	21	25	25
3(верхний)	46	48	48	35	22	33	45	48

Таблица П.146 - Измеренные значения уровней звукового давления **замещающего воздуховода**, МФ под углом в 45⁰, объёмный расход воздуха **880 м³/ч**.

№МФ	Среднегеометрические частоты октавных полос, Гц							
	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
	Уровни звукового давления L _p , дБ							
1	57	57	62	58	55	52	50	49
2	57	57	62	58	55	52	50	49
3(верхний)	58	57	62	59	58	52	51	50

Таблица П.147 – Эффективность шумоглушителя **CSC 250/900**, МФ под углом в 45⁰, объёмный расход воздуха **880 м³/ч**.

№МФ	Среднегеометрические частоты октавных полос, Гц							
	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
	Эффективность глушителя, дБ							
1	11	9	12	23	35	32	23	23
2	12	8	13	23	35	31	24	24
3(верхний)	12	9	13	24	36	18	6	1

Таблица П.148 – Эффективность шумоглушителя **CSC 250/900**, усредненная по всем МФ, МФ под углом в 45^0 , объёмный расход воздуха **880 м³/ч**.

Среднегеометрические частоты октавных полос, Гц							
63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
Эффективность глушителя, дБ							
12	9	13	23	35	27	18	16

Таблица П.149 - Измеренные значения уровней звуковой мощности **CSC 250/900** по сфере (Вентилятор в режиме **нагнетания**).

Величина объемного расхода воздуха L ₀ , м ³ /ч	Среднегеометрические частоты октавных полос, Гц								L _{WA} , дБА
	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	
	Уровни звуковой мощности L _w , дБ								
570	52	59	59	33	29	31	34	30	50
880	59	63	64	41	39	40	44	39	56

Таблица П.150 - Измеренные значения уровней звуковой мощности **замещающего воздуховода** по сфере (Вентилятор в режиме **нагнетания**).

Величина объемного расхода воздуха L ₀ , м ³ /ч	Среднегеометрические частоты октавных полос, Гц								L _{WA} , дБА
	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	
	Уровни звуковой мощности L _w , дБ								
570	63	68	64	55	59	59	56	47	65
880	69	71	73	64	69	68	65	61	74

Таблица П.151 – Эффективность шумоглушителя **CSC 250/900**, измерения по сфере (Вентилятор в режиме **нагнетания**).

Величина объемного расхода воздуха L_0 , м³/ч	Среднегеометрические частоты октавных полос, Гц							
	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
	Эффективность глушителя, дБ							
570	10	9	6	22	30	28	22	18
880	10	9	9	23	30	28	21	22

Таблица П.152 - Измеренные значения уровней звуковой мощности **CSC 250/900** по сфере (Вентилятор в режиме **всасывания**).

Величина объемного расхода воздуха L ₀ , м ³ /ч	Среднегеометрические частоты октавных полос, Гц								L _{WA} , дБА
	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	
	Уровни звукового давления L _w , дБ								
570	54	57	54	39	26	30	36	36	48
880	60	62	63	49	34	36	43	42	57

Таблица П.153 - Измеренные значения уровней звуковой мощности замещающего воздуховода по сфере (Вентилятор в режиме **всасывания**).

Величина объемного расхода воздуха L ₀ , м ³ /ч	Среднегеометрические частоты октавных полос, Гц								L _{WA} , дБА
	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	
	Уровни звукового давления L _w , дБ								
570	64	65	64	63	60	58	57	52	66
880	71	71	76	72	69	66	63	62	75

Таблица П.154 – Эффективность шумоглушителя **CSC 250/900**, измерения по сфере (Вентилятор в режиме **всасывания**).

Величина объемного расхода воздуха L_0 , м ³ /ч	Среднегеометрические частоты октавных полос, Гц							
	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
	Эффективность глушителя, дБ							
570	10	8	10	24	34	29	21	16
880	11	9	13	23	36	30	20	20