

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования
«Тольяттинский государственный университет»

Институт машиностроения

(наименование института полностью)

Кафедра **Проектирование и эксплуатация автомобилей**

(наименование)

23.03.03 Эксплуатация транспортно-технологических машин и комплексов

(код и наименование направления подготовки, специальности)

Автомобили и автомобильное хозяйство

(направленность (профиль) / специализация)

ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА (БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА)

на тему **Комплексный тюнинг легкового автомобиля. Автозвук**

Студент

К.Д. Ардашев

(И.О. Фамилия)

(личная подпись)

Руководитель

д-р техн. наук, профессор О.И. Драчев

(ученая степень, звание, И.О. Фамилия)

Консультанты

канд. пед. наук, доцент С.А. Гудкова

(ученая степень, звание, И.О. Фамилия)

Тольятти 2020

Аннотация

В соответствии с заданием на выполнение ВКР, выданным кафедрой «Проектирование и эксплуатация автомобилей», была выполнена разработка темы: «Комплексный тюнинг легкового автомобиля. Автозвук».

В современном мире автомобиль играет важную роль в жизни многих людей, машина сегодня нечто большее, нежели просто средство передвижения. Человек проводит за рулем достаточно большое количество времени, особенно это касается жителей крупных городов. В связи с этим, особое внимание уделяется комфорту в автомобиле, в частности, качественному звуковоспроизведению. Аудиосистема является неотъемлемым компонентом современного автомобиля.

Тема данной работы актуальна, так как проектирование аудиосистем является одним из самых популярных направлений автомобильного тюнинга. Зачастую у владельцев транспортных средств возникает желание усовершенствовать свой автомобиль с помощью современных устройств.

Цель работы: Рассмотреть научную и практическую сторону тюнинга легкового автомобиля в области автомобильного звука и изучить технологии установки аудиосистемы в автомобиле.

Выпускная квалификационная работа бакалавра включает в себя четыре основных раздела, в первом разделе которого проведен обзор различных видов тюнинга автомобиля и виды выполняемых работ.

Во втором разделе подробно рассмотрены основные понятия, применяющиеся в области автомобильного звука.

В третьем разделе рассмотрена поэтапная установка фронтальных акустических систем в дверях, твитера, сабвуфера.

В четвертом разделе рассмотрены различные варианты настройки аудиосистемы.

Выпускная квалификационная работа состоит из 62 страниц, и включает в себя 40 иллюстраций, 2 таблицы, 22 источника.

Abstract

The graduation work is devoted to car tuning in the field of car sound.

Currently, the car has an important role for many people. Today, a car is more than just a transportation. People spend quite a lot of time driving a car, especially in large cities. Therefore, special attention is paid to comfort in the car, in particular, to the high-quality sound of the audio system. The audio system became an indispensable element of the modern car.

Designing audio systems is one of the most popular areas of car tuning, so the topic of the study is relevant today.

The aim of the work is to consider the scientific and practical aspects of car tuning in the field of car sound and to study the installing technologies of an audio system.

The graduation work consists of 62 pages, including 40 illustrations, 2 tables and 22 sources of literature.

The thesis of graduation project consists of 4 parts.

In the first part we consider various types of car tuning and the types of working operations.

In the second part we consider the basic concepts in the field of vehicle sound.

The third part presents the methodology of front speakers, tweeter, subwoofer phased installation.

The fourth part deals with various of audio tuning options.

The results of the study can be used at cars service stations and at transport enterprises.

Содержание

Введение.....	3
1 Виды тюнинга.....	6
2 Основные понятия автозвука.....	11
2.1 Динамическая головка.....	11
2.2 Акустическая система.....	14
2.3 Акустическое оформление.....	24
3 Установка аудиосистемы в автомобиле.....	26
3.1 Установка фронтальных акустических систем в дверях.....	26
3.2 Установка твитера.....	31
3.3 Установка сабвуфера.....	36
4 Настройка аудиосистемы.....	48
4.1 Начальные установки эквалайзера.....	48
4.2 Настройка по «натуральным инструментам».....	52
4.3 Настройка с помощью эквалайзера.....	54
Заключение.....	59
Список используемой литературы и используемых источников.....	60

Введение

В настоящее время сфера услуг в мировой экономике развитых стран играет определяющую роль. Так, доля сферы услуг в структуре ВВП (внутреннего валового продукта) США составляет 80 %, стран Западной Европы – 67-71 %. В отечественной экономике на сферу услуг приходится пока примерно 50 % ВВП.

Среди широкой номенклатуры услуг особое место занимают услуги автомобильного сервиса. Политические и социально-экономические преобразования, произошедшие в России, способствовали возрождению и развитию отечественного автомобилестроения, а также увеличению импорта иностранных автомобилей. Это привело к быстрому росту парка легковых автомобилей. Из года в год доля иномарок увеличивается и сейчас составляет примерно 25 %. Среди иномарок достаточно много престижных и дорогих автомобилей. Это – наглядный показатель значительно выросшего благосостояния российских граждан.

«Отечественный автомобильный сервис стремительно прогрессирует. Постоянный рост автомобильного парка страны обусловил увеличение производственных мощностей, то есть увеличение количества предприятий автосервиса, повышение уровня их технической оснащенности и профессионализма работников» [1].

«Одновременно изменяются требования и запросы клиентов автосервиса, так как в период информационного бума они становятся более разборчивыми и требовательными. Поэтому значительно возрос перечень автомобильных услуг, что повлекло за собой создание универсальных станций технического обслуживания автомобилей (далее – СТОА). Среди большого количества структурных подразделений СТОА появились новые: секторы тюнинга и продаж запасных частей и аксессуаров» [1].

Тюнинг является одной из современных разновидностей автомобильного сервиса, порожденных новыми вкусами и потребностями автовладельцев.

Тюнинг автомобиля – это техническое воздействие на автотранспортное средство, направленное на улучшение его потребительских свойств, то есть на удовлетворение требований владельца автомобиля, не связанных с изменением основной функции автомобиля как транспортного средства и не приводящих к снижению его надежности.

В переводе с английского *liming* дословно означает «настройка», «регулировка». Следовательно, тюнинг автомобиля можно понимать как настройку или подготовку автомобиля в соответствии с пожеланиями клиента, который заказывает услугу. Иногда в технической литературе [1, 3, 4] тюнинг называют модификацией.

Тюнинг систем, в результате которого изменяются эксплуатационные свойства автомобиля (модификация двигателя, трансмиссии, тормозной системы, системы управления), называется дооборудованием (переоборудованием) автомобиля.

Одни автовладельцы желают изменить внешний вид автомобиля для того, чтобы сделать его более заметным в транспортном потоке (ведь яркие автомобили более заметны в любое время суток); другие стремятся сделать его отличающимся от автомобилей аналогичных моделей, которыми обладают друзья и знакомые; третьи – любители острых ощущений – улучшают тягово-скоростные свойства серийного автомобиля, приближая его к спортивному варианту; а иные, так называемые мастера-золотые руки, по своей натуре испытывают острую потребность улучшать конструкцию узлов и агрегатов в соответствии со своими представлениями о совершенстве.

Спортивные клубы подвергают серьезному тюнингу автомобили (как легковые, так и грузовые), предназначенные для участия в спортивных соревнованиях автомобилей, ралли. Таким образом, тюнинг – это искусство

придать индивидуальность одному из сотен тысяч одинаковых автомобилей, выпускаемых автомобильной промышленностью. Чаще всего тюнингу подвержены легковые автомобили. Правда, иногда в литературе встречается мнение, что дооборудование спортивных автомобилей не является тюнингом. Но существа дела это не меняет.

В настоящее время тюнинг автомобилей в России получил довольно широкий размах, а за рубежом он давно уже стал настоящим искусством и прибыльным бизнесом. Поскольку количество потенциальных заказчиков тюнинга постоянно растет, создаются необходимые условия для удовлетворения соответствующих запросов автовладельцев. На удивление, современному тюнингу стали подвергаться автомобили еще советского производства: ГАЗ, ВАЗ, АЗЛК. Но это вполне объяснимо. Качество металла позволяет автомобилям, выпущенным в 70-80-х гг. прошлого века, по прежнему быть в строю. Конечно, время дает о себе знать, однако именно из таких автомобилей народные умельцы часто создают настоящие шедевры тюнинга.

Отдельным направлением тюнинга автомобилей является автозвук. Не редко именно под качественную акустическую систему переделывается салон: проклеивается шумовиброизоляции, устанавливаются акустические подиумы, иногда, даже, изготавливается заново передняя панель под установку в неё акустики

1 Виды тюнинга

По виду выполняемых работ (услуг) различают тюнинг внутренний, тюнинг внешний, аэрографию, дооборудование (или технический тюнинг) и антикоррозионную защиту. В зависимости от целей и места проведения тюнинга он может быть заводским, предпродажным или выполненным в специализированном (тюнинговом) ателье.

Внутренний тюнинг – изменение интерьера салона, то есть его улучшение в соответствии со вкусом владельца автомобиля, при которой производится декоративная отделка салона под различные металлы, ценные породы дерева или карбон.

Также к внутреннему тюнингу можно отнести:

- изменение внутренней обивки салона материалами последнего поколения, добавляется изысканная оплетка рулевого колеса;
- устанавливаются сиденья анатомического типа, многоточечные ремни безопасности, ручки рычага коробки передач, накладки на педали;
- заменяются коврики на более современные и экологичные;
- выполняется неоновая подсветка, добавляется современная аудиосистема, GPS-навигатор, авторегистратор, телевизор, мобильный телефон или рация и многое другое.

Используя современную терминологию, можно сказать, что производится рестайлинг автомобиля, то есть добавление новых опций в стандартные комплектации автомобиля и небольшое косметическое изменение для того, чтобы освежить его внешний вид. Обычно рестайлингу подвергаются автомобили последних лет выпуска.

При внешнем тюнинге предполагается установка:

- колесных дисков;
- спойлеров, антикрыльев;
- накладок на пороги;

- бамперов, аэродинамического обвеса;
- воздухозаборников, декоративных решеток радиатора;
- использование аэрографии;
- монтаж рейлингов на крыше автомобиля;
- кенгурятников.

Необходимо учитывать, что внешний тюнинг – явление довольно противоречивое. При установке различных наружных аксессуаров автомобиль несомненно становится более привлекательным, но аэродинамика его кузова ухудшается. Объективно проконтролировать степень изменения аэродинамических показателей в условиях СТОА сложно, так как для этого необходима специальная лаборатория, оснащенная аэродинамической трубой. Только продувка автомобиля в аэродинамической трубе по аналогии с продувкой летательных аппаратов может выявить величину изменения аэродинамического сопротивления машины. Однако стоимость таких исследований очень высока, и поэтому для частных автовладельцев они нецелесообразны.

Аэрография – это техника нанесения рисунка с помощью специальною прибора (аэрографа) на любую поверхность автомобиля. Эксклюзивные, неповторимые рисунки на кузове придают индивидуальность автомобилю и снижают вероятность его угона.

Технический тюнинг (дооборудование, переоборудование). Технический тюнинг автомобиля – это более высокий уровень тюнинга. Он имеет целью изменение параметров трансмиссии, рулевого управления; увеличение мощности двигателя (форсирование ДВС), увеличение максимальной скорости автомобиля; улучшение его тормозных свойств; придание автомобилю спортивного стиля и так далее. Следствием технического тюнинга является изменение некоторых эксплуатационных свойств автомобиля, например динамичности, управляемости, устойчивости, топливной экономичности. «К техническому тюнингу следует отнести тюнинг автомобильного двигателя, трансмиссии, рулевого управления и

тормозной системы. Технический тюнинг требует выполнения сложных и трудоемких технологических операций, которые возможны только при наличии специального оборудования» [2].

Тюнинг двигателя предполагает изменение конструкции систем впуска горючей смеси и выпуска продуктов сгорания, изменение формы камер сгорания и клапанов, установку облегченных распределительных валов, замену коленчатого вала с увеличенными размерами кривошипов, монтаж турбонагнетателя и так далее. Может возникнуть потребность изменения микропроцессорной программы управления двигателем.

Тюнинг трансмиссии требует внесения изменений, затрагивающих агрегаты и узлы автомобиля. Например, может быть произведена замена редуктора главной передачи или механической ступенчатой коробки передач на другую с увеличенным количеством ступеней и, может быть, с иным законом распределения передаточных чисел. Это поможет удерживать частоту вращения вала двигателя в зоне максимального крутящего момента, избежать «провалов» скоростного режима при переключениях передач, интенсивнее разгонять автомобиль. Многие такие работы невозможны без серьезных инженерных расчетов или большого практического опыта тюнера.

Тюнинг тормозной системы и рулевого управления также является очень важным аспектом технического тюнинга, требующим специальных знаний. При доработке тормозной системы следует учитывать, что до 80 % всей работы тормозных механизмов выполняют тормоза передних колес, поэтому они требуют интенсивного охлаждения, особенно после форсирования ДВС и увеличения скорости движения автомобиля. С целью улучшения эффективности тормозной системы могут быть размещены значительно большие по размеру тормозные вентилируемые диски, а также более мощные тормозные механизмы, основные параметры, конструкции которых должны быть тщательно рассчитаны специалистами.

«Спортивный стиль – еще одно из направлений технического тюнинга, который предполагает установку следующих элементов:

- форсированного двигателя;
- конструкций, усиливающих кузов (балки жесткости, дуги безопасности и тому подобное);
- колес с низкопрофильными шинами для снижения центра масс автомобиля;
- спортивной тормозной системы, содержащей вентилируемые тормозные диски, алюминиевые суппорты с направляющими из нержавеющей стали, тормозные шланги, которые армированы обмоткой из нержавеющей стали, высокоэффективные тормозные колодки» [3].

Также возможно установка:

- двух- или многодискового спортивного фрикционного сцепления без демпферных пружин;
- облегченного маховика двигателя, то есть маховика с меньшим моментом инерции;
- спортивного глушителя, обладающего минимальным аэродинамическим сопротивлением;
- воздушного фильтра с высокой степенью фильтрации, но с минимальным сопротивлением воздушному потоку.

К недостаткам можно отнести высокий уровень шума.

Антикоррозионная защита автомобиля. Антикоррозионная защита автомобилей крайне необходима, так как многие автомобили хранятся на открытых стоянках, при эксплуатации подвергаются действию атмосферной пыли и влаги, содержащей химически агрессивные вещества, поскольку в населенных пунктах в зимнее время дороги обрабатываются специальными реагентами, оказывающими негативное влияние на металлические части автомобилей. Все ведущие автопроизводители на своих заводах выполняют антикоррозионное покрытие автомобилей.

Антикоррозионное покрытие с течением времени разрушается, поэтому его периодически необходимо восстанавливать либо заменять качественно

новым антикоррозионным составом. Это и составляет предмет антикоррозионного тюнинга.

Заводской тюнинг. Заводской тюнинг предполагает выполнение заказа будущего автовладельца еще на стадии изготовления автомобиля, то есть в заводских цехах либо у дилера. Заказчик может выбрать один из вариантов комплектации автомобиля из тех, что предлагаются в автосалоне, например, выбрать цвет кузова, обивку салона. Он даже может заказать вариант автомобиля с другим двигателем, усиленной подвеской. Однако возможности заказчика здесь ограничены, и такие услуги стоят очень дорого.

Тюнинговые ателье – это специализированные предприятия автосервиса, в которых выполняются сложные проекты технического тюнинга. В ателье применяется специализированное технологическое оборудование, на котором работает высококвалифицированный персонал. После выполнения тюнинга такие ателье предоставляют заказчику гарантии на выполненные работы и дают подробные инструкции по эксплуатации переделанного ими автомобиля.

«Например, известные иностранные тюнинговые ателье «Brabus Karlsson», «Tech Art» и «Cartonic» после выполнения технического тюнинга, устанавливают на нем свой товарный знак. Фирма «AMG» получает с конвейеров автозавода «Mercedes» кузова автомобилей, дорабатывает их в соответствии с пожеланиями заказчика и затем вновь передает на завод, после чего их собирают в тюнинговом ателье» [4]. По имеющимся сведениям [4] такая технология является гарантией высокого качества выполненных работ и поддерживает высокий престиж фирмы.

Предпродажный тюнинг. В соответствии с названием предпродажный тюнинг проводится в автосалоне перед непосредственной продажей автомобиля. Заказчик, то есть покупатель, может заказать аудиосистему, центральный замок, систему сигнализации, противоугонную систему и ряд других аксессуаров.

2 Основные понятия автозвука

2.1 Динамическая головка

«Динамическая головка обеспечивает преобразование колебаний электрического напряжения и тока в упругие механические колебания, то есть преобразует электрические сигналы в звуковые» [5].

Существуют разговорные названия динамической головки – динамик, излучатель. Динамики большого размера часто называют драйверами, обычно используют сочетания «низкочастотный драйвер», «среднечастотный излучатель», «высокочастотный излучатель». Низкочастотную динамическую головку часто называют также «вуфер», а высокочастотную головку – «твитер». Оба эти термина также заимствованы из английской литературы. СЧ-динамик в двухполосной системе частот называют «мид-бас» от английского «middle» – средний. В этой книге будут использоваться слова «динамик», «излучатель», часто с приставками НЧ, СЧ, ВЧ.

«Динамическая головка состоит из магнитного сердечника в форме цилиндра, часто с внешним тороидальным магнитом, механически объединенного с металлическим каркасом в жесткую конструкцию (рисунок 1). К каркасу мягко прикреплен диффузор в виде плоской, выпуклой, но чаще всего вогнутой мембраны. В местах крепления диффузора к каркасу имеется концентрический гофр, обеспечивающий упругость подвеса. Диффузор изготавливают из бумаги или более сложных материалов, например, целлюлозного композита, алюминия, полипропилена, кевлара, современных материалов. Если материал диффузора жесткий, вместо гофрирования внешней части применяют упругую прокладку из иного материала, в худших конструкциях низкочастотных головок – просто используют внешнее кольцо из резины» [5].

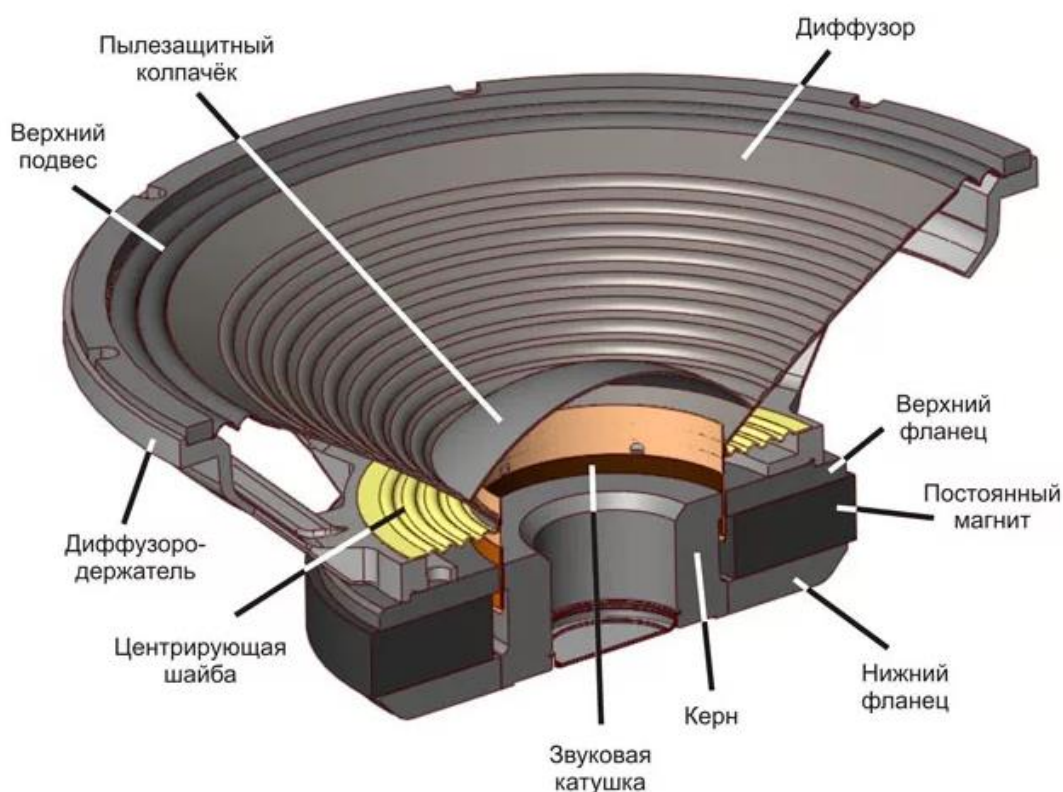


Рисунок 1 – Общее устройство динамической головки

«Диффузор жестко связан с цилиндрической катушкой, которая перемещается свободно вдоль оси цилиндрического сердечника в магнитном зазоре. При подаче переменного электрического напряжения на катушку, находящуюся в магнитном поле, возникает сила, которая и приводит в движение катушку вместе с прикрепленным к ней диффузором. Такая простейшая конструкция не может обеспечить воспроизведение всего звукового диапазона. При колебаниях диффузора излучаемая им мощность пропорциональна квадрату частоты. Поэтому, для излучения одной и той же мощности на низких частотах требуется большая амплитуда колебаний. На нижней границе звукового диапазона при мощности, необходимой для озвучивания жилого помещения, амплитуда колебаний динамической головки диаметром 20 см составляет несколько мм» [5].

На высоких частотах амплитуда колебаний ничтожна. Не только потому, что для поддержания равной мощности с ростом частоты требуется

меньшая амплитуда, но еще и потому, что в типичной музыкальной фонограмме с ростом частоты уменьшается интенсивность звука. Как уже отмечалось, основные звуковые тона музыкальных инструментов и голоса вокалистов находятся ниже 1 кГц. Выше этой границы находятся только обертона, формирующие окраску звука.

«Динамические головки можно условно разделить на две большие группы:

- низкочастотные, имеющие большой диффузор конической формы и большую амплитуду колебаний для воспроизведения нижней части звукового диапазона – условно до 1-2 кГц;
- высокочастотные – маленькие, обычно в форме купола, с малой амплитудой колебаний, неуловимой невооруженным глазом» [6].

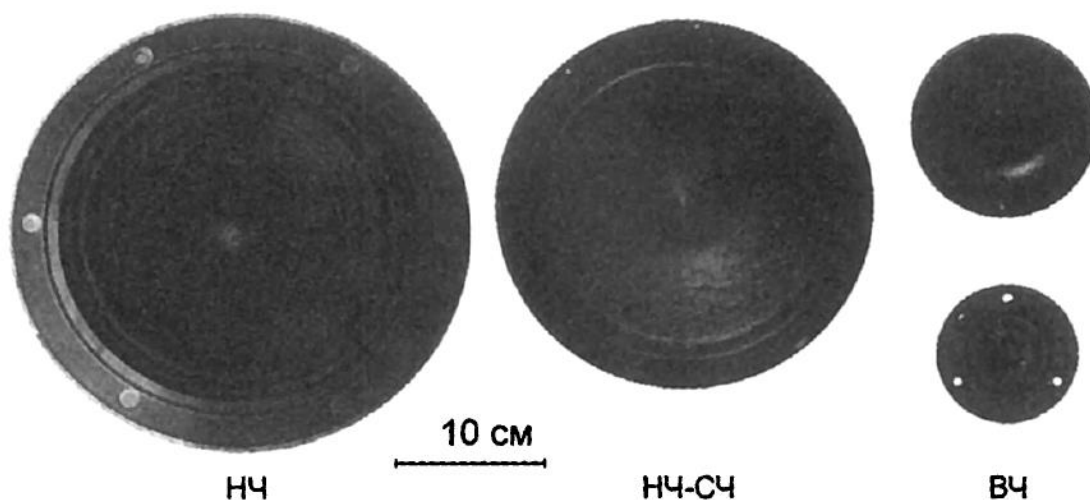
Купол ВЧ-головки изготавливают из ткани либо из специально разработанных композитов или сплавов.

Для расширения диапазона воспроизводимых частот в сторону очень низких (до 30 Гц и менее) частот делают динамики большого диаметра (25-40 см). Полоса воспроизведения для таких динамиков сверху обычно составляет 500-600 Гц. Такие динамики могут работать только в составе системы с разделением на три или даже более полос.

В этом случае в акустической системе кроме НЧ и ВЧ-динамиков появляется среднечастотный динамик. Такой динамик имеет обычно диаметр 8-16 см, а по конструкции может быть как диффузорным, так и купольным.

СЧ-динамики купольной конструкции имеют диаметр менее 10 см, применяются обычно в составе дорогих АС, часто с числом полос более трех. Они по своим свойствам приближаются к ВЧ-динамикам, а СЧ-динамики с диффузором – к НЧ-динамикам.

Примеры различных динамиков представлены на рисунке 2.



НЧ – низкочастотная (полоса частот 30-500 Гц), НЧ-СЧ – низкочастотно-среднечастотная (полоса частот 40-5000 Гц), ВЧ – высокочастотные (полоса частот 2 000- 20 000 Гц)

Рисунок 2 – Виды динамических головок

НЧ-СЧ-динамик имеет в центре похожий на пулю фазовыравнивающий колпачок. Купол ВЧ-динамика скрыт под защитной решеткой. В последние годы появились ВЧ-динамики не с простым куполом, а со сложной формой излучающей поверхности в виде концентрических выпуклых колец.

2.2 Акустическая система

«Акустическая система – это ящик, содержащий одну или несколько динамических головок. В литературе прошлых лет вместо термина акустическая система использовали термин громкоговоритель. При этом к словам динамическая головка неизбежно прибавляли слово громкоговорителя» [7].

Типичная акустическая система содержит обычно две или три динамические головки. В некоторых конструкциях акустической системы каждая головка устанавливается в свой ящик.

«Синонимом термина акустическая система является слово звуковая колонка, часто просто колонка. Происхождение этого термина связано с наиболее типичной формой акустических систем – вытянутого вертикального параллелепипеда» [7].

«В стереофонии используют как минимум две акустических системы – по одной на каждый канал. В трифонической системе применяют три колонки: две стандартные идентичные правую и левую («сателлиты») и одну общую низкочастотную. В квадрафонической системе звуковоспроизведения (широкого распространения не получила) применяют две фронтальные и две тыловые колонки. В популярных сегодня системах домашнего кинотеатра применяют пять колонок: переднюю правую, центральную, фронтальную левую, и две тыловых. К ним часто добавляют сабвуфер» [7].

Рассмотрим подробно элементы акустической системы.

Твитер – динамик, воспроизводящий диапазон высоких частот.

В настоящее время распространены 2 типа твитеров:

- купольные (рисунок 3а) применяются обычно в повседневных системах без заявки на громкость;
- рупорные (рисунок 3б) – применяются в системах, цель которых развивать большую громкость, без учета качества звука.



а – купольный; б – рупорный

Рисунок 3 – Виды твитеров

Среднечастотный динамик (мидрейндж) – динамик, работающий в области средних частот.

В настоящее время распространены 2 типа:

- диффузорные (рисунок 4а) – повторяют конструкцию обычных диффузорных динамиков;
- купольные (рисунок 4б) – конструкцией повторяют устройство купольных пищалок.



а)



б)

а – диффузорный; б – купольные

Рисунок 4 – Виды среднечастотных динамиков

Мидбас (мидвуфер) (рисунок 5) – диффузорные динамики, конструкцией напоминающие сабвуферы, служащие для воспроизведения мидбасового диапазона, находящегося между среднечастотным и сабвуферным диапазонами. В двухполосных системах, частично берут на себя воспроизведение СЧ диапазона.



Рисунок 5 – Пример конструкции мидбаса

Сабвуфер – динамик, воспроизводящий область самых низких частот (суббас).

В настоящее время распространены 2 типа:

- активный сабвуфер (рисунок 6а) – сабвуфер в корпусе, оборудованный встроенным усилителем мощности;
- пассивный сабвуфер (рисунок 6б) – сабвуфер, требующий покупки отдельного, внешнего усилителя мощности.



а – активный; б – пассивный

Рисунок 6 – Виды сабвуферов

«Кроссоверы – это устройства в звуковых системах, которые создают нужные рабочие частотные диапазоны для динамиков проще говоря, кроссовер – это пара электрических фильтров. Допустим, кроссовер имеет частоту среза равную 1000 Гц. Это означает, что один из его фильтров срезает все частоты ниже 1000 Гц и пропускает только частоты выше 1000 Гц. Такой фильтр называют high-pass фильтром. Другой фильтр, пропускающий частоты ниже 1000 Гц называется low-pass» [8].



Рисунок 7 – Пример кроссовера

Усилитель – устройство для преобразования маломощного электрического сигнала, поступающего от источника, в мощный, способный идеально управлять электроакустическими преобразователями – громкоговорителями или наушниками без его искажения

«По количеству каналов усиления, усилители делятся на:

- одноканальные (моноблоки) (рисунок 8а) – бывают моноблоки сабвуферные (с ограниченным диапазоном частот) и полнополосные, воспроизводящие весь диапазон. Используются, как правило, для работы с достаточно мощными сабвуферами;
- двухканальные усилители (рисунок 8б) применяют как для работы с фронтом, тылом, так и соединяют в мост для работы с сабвуфером.
- четырехканальные усилители (рисунок 8в) как правило, 2 канала соединяют в мост для сабвуфера. Оставшейся парой каналов питают фронт, тыл, либо просто поканально подключают фронт и тыл;
- пятиканальные усилители (рисунок 8г) – 4 канала для фронта-тыла и 1 канал более мощный на сабвуфер, либо можно

организовать поканальное усиление двухполосного фронта и сабвуфера.

- шестиканальные усилители (рисунок 8д) – тоже, что и пяти только можно подключить 2 сабвуфера (либо один, но подключив сабвуферные каналы в мост), или трехполосный фронт поканально» [8].



а)



б)



в)



г)



д)

а – одноканальный; б – двухканальный; в – четырехканальный;
г – пятиканальный; д – шестиканальный

Рисунок 8 – Виды усилителей

«Компонентная акустика (рисунок 9) – акустика, у которой все полосы устанавливаются отдельно и независимо. Полосы, как правило, подключаются к общему кроссоверу (в котором на общей плате собраны кроссоверы персонально для каждого динамика каждой полосы), либо каждая полоса имеет отдельный кроссовер» [9].



Рисунок 9 – Пример компонентной акустики

«Коаксиальная акустика (рисунок 10) – акустика, в которой все полосы собраны вместе перед мидбасовым динамиком. На нем же, очень часто устанавливают и кроссовер» [9].

Такие динамики очень широко представляет бюджетный сегмент. Иногда, их заявляют как 4-5-6 полосными, и даже более. Зачастую это не более чем рекламный трюк и половина динамиков в центре это пластиковая обманка. Кроме того, количество динамиков может быть больше количества полос. Например, если производитель установит 2 пищалки, то полос в этом случае останется 2, просто ВЧ полоса будет сдвоенной.



Рисунок 10 – Пример коаксиальной акустики

Головное устройство, автомагнитола (рисунок 11) – устройство воспроизведения звука в аудиосистеме.



Рисунок 11 – Пример головного устройства

«Поканальная система усиления (рисунок 12) – это система, в которой у каждого динамика, есть свой канал усилителя, свой линейный выход магнитолы, а также свой набор инструментов для настройки и управления каждой полосой». [6]

Как правило, в таких системах отсутствуют пассивные кроссоверы, а разделение полос осуществляют, либо активные кроссоверы головного устройства и усилителей, либо внешнего процессора.

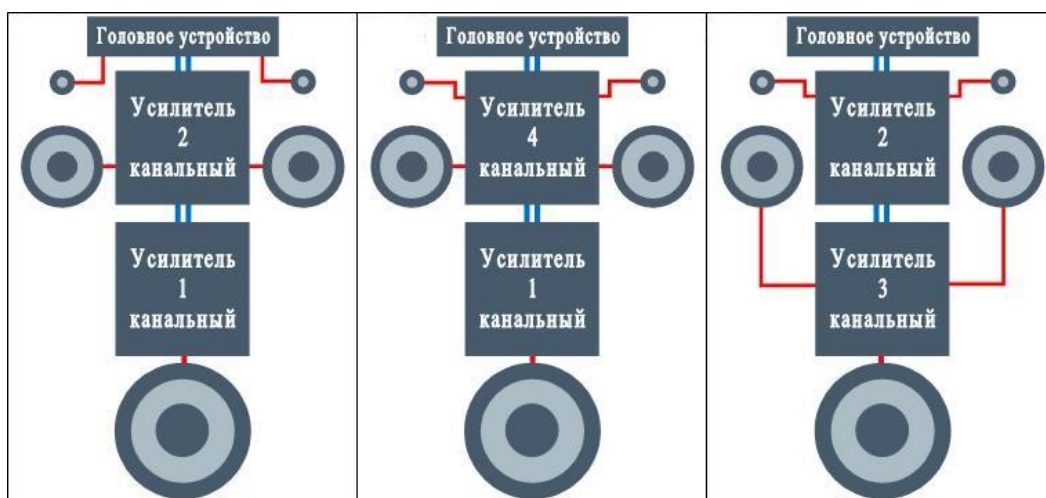


Рисунок 12– Примеры поканальной системы усиления

Силовые кабели (рисунок 13) – провода питания автозвуковой аппаратуры.



Рисунок 13– Примеры силовых кабелей

Межблочные кабели (рисунок 14) – провода от линейных выходов магнитолы до входов усилителя.



Рисунок 14 – Примеры межблочных кабелей

Акустическая проводка (рисунок 15) – провода, идущие к динамикам от магнитолы или усилителя.

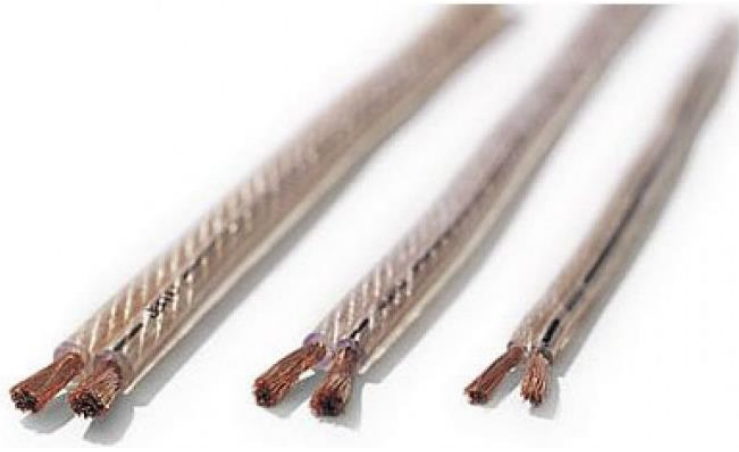


Рисунок 15– Примеры акустической проводки

2.3 Акустическое оформление

«Конструкцию ящика, а точнее конструкцию всего, что входит в состав акустической системы, за исключением собственно самих динамических головок, называют акустическим оформлением. Если подать сигнал, содержащий в основном низкочастотные звуки (запись игры на контрабасе, бас-гитаре или запись, содержащую нижние тона органа), с выхода усилителя непосредственно на низкочастотный динамик, звук будет очень сильно отличаться от того, что мы хотели бы услышать. Связано это с тем, что диффузор, совершая колебательное движение, излучает звуковые волны как вперед, так и назад. Длина волны для низких частот составляет несколько метров, то есть многократно превышает размеры динамика. Поэтому волны, испущенные вперед и назад, интерферируют и в значительной степени гасят друг друга. Этот эффект проявляется настолько сильно, что для динамика, способного реально воспроизводить частоты порядка 40-50 Гц, может вообще создаться впечатление, что он неисправен. Поэтому, для того, чтобы обеспечить нормальное воспроизведение низкочастотных звуков, необходимо отделить излучение, испускаемое вперед, от излучения, испускаемого назад. Для этого, в первую очередь, и предназначено акустическое оформление. Наиболее распространенными типами

акустического оформления являются ящики: иногда герметично закрытые, иногда с отверстием, иногда с вставленной через отверстие внутрь ящика небольшой трубой»[10].

Среднечастотные и высокочастотные динамические головки не совершают поступательного движения, не излучают звуковых волн, длина которых многократно превышает их размеры, и не нуждаются в сложном акустическом оформлении. Для высокочастотных головок обычно корпус головки уже является минимально достаточным акустическим оформлением.

3 Установка аудиосистемы в автомобиле

3.1 Установка фронтальных акустических систем в дверях

Фронтальные громкоговорители (рисунок 16) – самый важный элемент автомобильной аудиосистемы. Иногда их монтируют на передней панели или на полу. Однако в большинстве случаев фронтальные колонки устанавливают в дверях. Это самое благоприятное для них место в автомобиле, поскольку там меньше всяких препятствий, которые стояли бы на пути звуковой волны. Итак, рассмотрим способ установки громкоговорителей в дверях.



Рисунок 16 – Примеры установленных фронтальных акустических систем в дверях

В первую очередь необходимо провести демпфирование дверей.

Для демпфирования дверей следует использовать относительно мягкий (рисунок 17а) и жесткий (рисунок 17б) материалы.

Стальная стенка двери имеет неровную поверхность. Поэтому разные ее участки резонируют по-разному. Эта разница влияет на низкие ноты и является одной из причин ухудшения звука.

Сочетание мягких и жестких материалов для демпфирования помогает не только снизить резонанс, но и уменьшить разницу в резонансе стальной стенки, избавиться от глухоты в звуке, порождаемой этой разницей.



а)



б)

а – жесткий материал (полиуретан с алюминиевым покрытием);

б – мягкий материал (бутил с алюминиевым покрытием)

Рисунок 17 – Виды материалов для демпфирования

Если постучать по двери, то в одних областях звук будет отчетливым, как у музыкального инструмента, а в других - совсем глухим.

Там, где звук отчетливый, установите жесткий материал, типа полиуретана, а там, где глухой – мягкий материал, вроде бутила.

Демпфирующий материал покрыт алюминиевой пленкой. Благодаря ей, резонанс смещается к верхним частотам, улучшая тем самым эффект демпфирования. Но алюминиевая пленка имеет тенденцию к отражению звука, и между внутренней конструкцией двери демпфированной стальной стенкой возникают стоячие волны. Кроме того, демпфирующий материал сам по себе может выступать как барабанная кожа и издавать звуки. Чтобы не допустить этого, рекомендуется сделать алюминиевую поверхность неровной, обработав ее ручкой отвертки или чем-нибудь подобным после установки демпфирующего материала (рисунок 18).

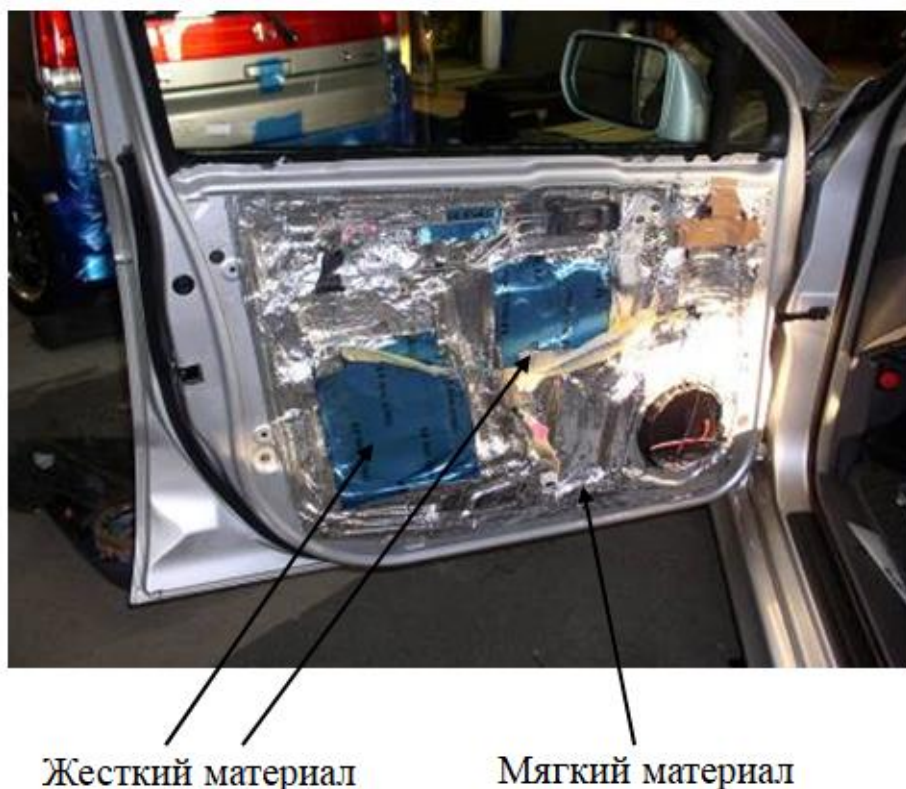


Рисунок 19 – Пример демпфирования с помощью комбинации разных материалов

Следует иметь в виду, что и избыток звукопоглощающего материала для дверей дает обратный эффект.

Наклейте один лист акустического материала 30 на 40 см позади громкоговорителя, а второй лист – как можно дальше от него.

Плотная набивка акустическим материалом дает хороший эффект, если громкоговоритель отвечает определенным требованиям:

- имеет низкую добротность;
- площадь его поверхности не превышает 10 см;
- имеет большую подвижную массу.

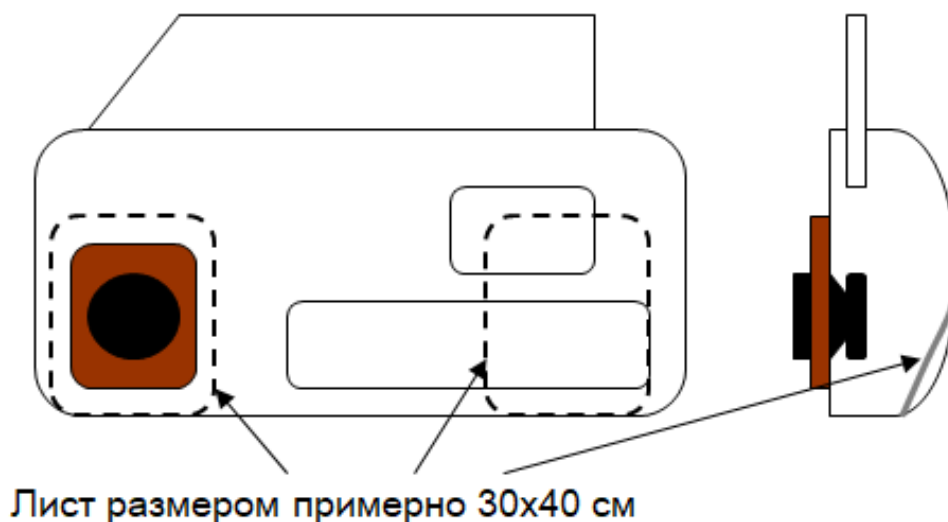


Рисунок 20 – Пример выполнения звукопоглощения

В этом случае получается громкоговоритель типа «акустическая подвеска», плотно набитый акустическим материалом. Но АС такого типа – большая редкость в автомобильных аудиосистемах. Тогда лучше установить на переднюю панель динамик маленького диаметра для акустики домашнего кинотеатра.

Установка акустического экрана в двери – один из самых важных элементов монтажа автомобильной аудиосистемы. Громкоговоритель в двери имеет прямое отношение к басу, особенно в области средних-низких частот. Если экран двери плох, то каким бы замечательным ни был сабвуфер, бас так и не обретет должной грациозности. Фронтальные громкоговорители должны быть установлены так, чтобы выдавать, по меньшей мере, 50 Гц, иначе возможны проблемы с воспроизведением высококачественного баса. Борьба за бас началась с момента зарождения автомобильных аудиосистем. Поэтому большая часть процесса установки системы будет ориентирована на достижение наилучшего баса.

Возможны два варианта акустического экрана в двери: «внутренний», когда экран располагается под облицовкой двери; и «наружный», когда экран

выступает наружу (рисунок 21). Каждый из вариантов имеет свои достоинства и недостатки.

Внутренний акустический экран.

«Достоинства:

- экран, установленный под облицовочным материалом двери, не нарушает ее оригинального вида;
- если экран не виден, то изготовить его будет проще, так как не надо заботиться о красоте оформления;
- громкоговоритель почти целиком находится внутри двери, не создает дополнительных помех и будет надежнее работать» [14].

«Недостатки:

- если громкоговоритель спрятан под обшивкой, то сам по себе он выглядит неказисто;
- поскольку нельзя увеличить размер экрана, он будет легким и следовательно упругость в басу будет недостаточной;
- трудно изменять угол наклона динамика, звучание может утрачивать равномерность частотного баланса, а при этом нарушается локализация музыкальных образов» [14].

Наружный акустический экран.

«Достоинства:

- используя наружный вариант, можно придать экрану уникальный дизайн;
- размер экрана можно увеличить. хорошо прикрепив динамик к большому экрану, мы можем погасить резонанс рамы динамика. это поможет сделать звучание чище и эффективнее демпфировать нижние частоты;
- акустический экран можно установить под углом, что поможет улучшить частотную характеристику и обеспечить лучшую локализацию звуковых образов» [15].

«Недостатки:

- изготовление усложняется, требуя больших затрат времени и материала;
- стоимость такого громкоговорителя также возрастает;
- если мы будем работать, не имея хороших знаний, то недостаточное противодействие динамика может привести к значительной деградации звука или вызвать повреждение самого динамика» [15].

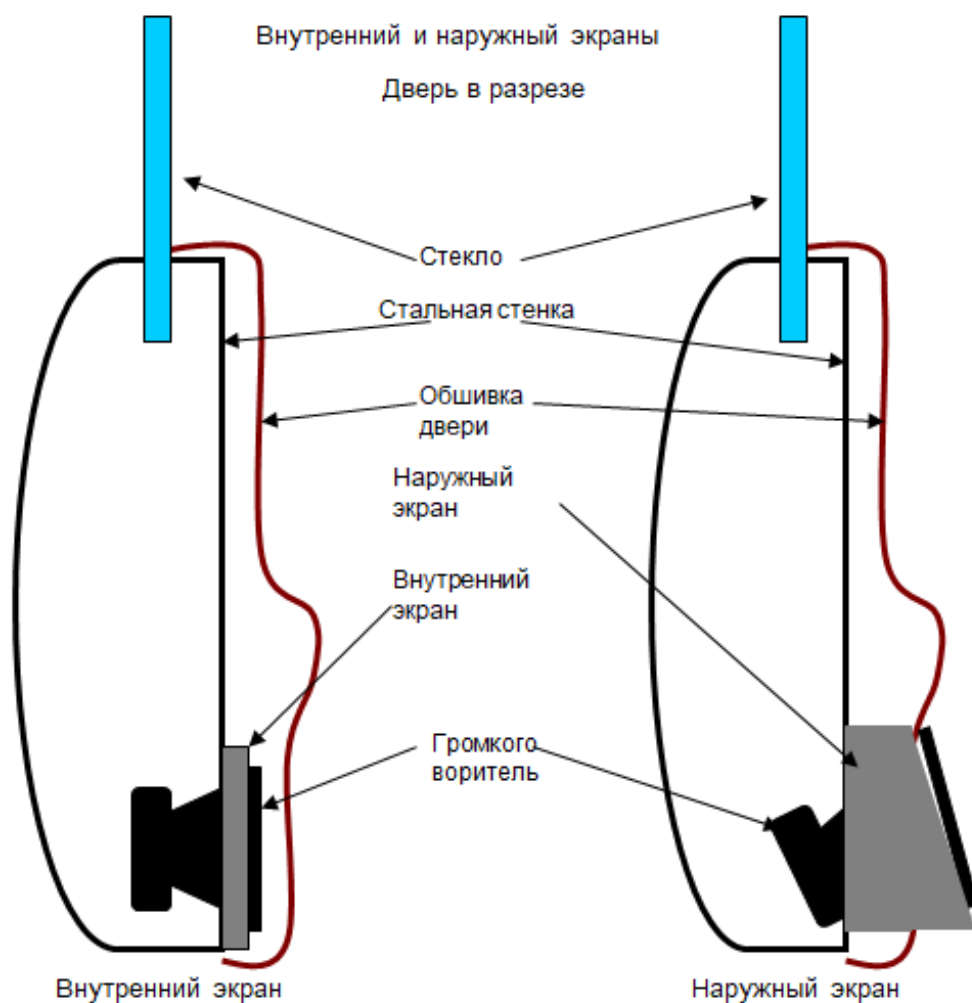


Рисунок 21 – Виды акустических экранов

3.2 Установка твитера

«Твитер – это динамик для воспроизведения высоких частот. Качество его звучания сильно изменяется в зависимости от угла, под которым он направлен к слушателю. Излучаемые им высокие тона с короткими

звуковыми волнами подвержены сильному воздействию разного рода отражений. Если в нескольких сантиметрах от твитера находится какой-либо предмет, отражающий звук, это сразу скажется на качестве. Установка твитера – это компромисс, связанный с выбором оптимального угла, и постоянная борьба с отражениями. Если нам удастся установить твитер под наиболее благоприятным углом и исключить возможность отражений, значит мы выиграли эту борьбу» [16].

Считается, что наилучшим местом для установки твитера является передняя стойка (рисунок 22).



Рисунок 22 – Примеры размещения твитеров

«Доводы в пользу этого будут приведены позже. Между тем, с одной стороны от передней стойки находится ветровое стекло, а с другой – окно двери, что, казалось бы, создает условия для всяких отражений. Однако особенно неблагоприятным для громкоговорителя является такое отражение, которое способствует образованию стоячих волн: когда форма сигнала меняется на обратную, изменяя его фазу, а высокие частоты, которые излучает твитер, очень легко отражаются от окружающих предметов и в результате легко возникают стоячие волны» [16].

На рисунке 23 схематически показан салон автомобиля сверху.

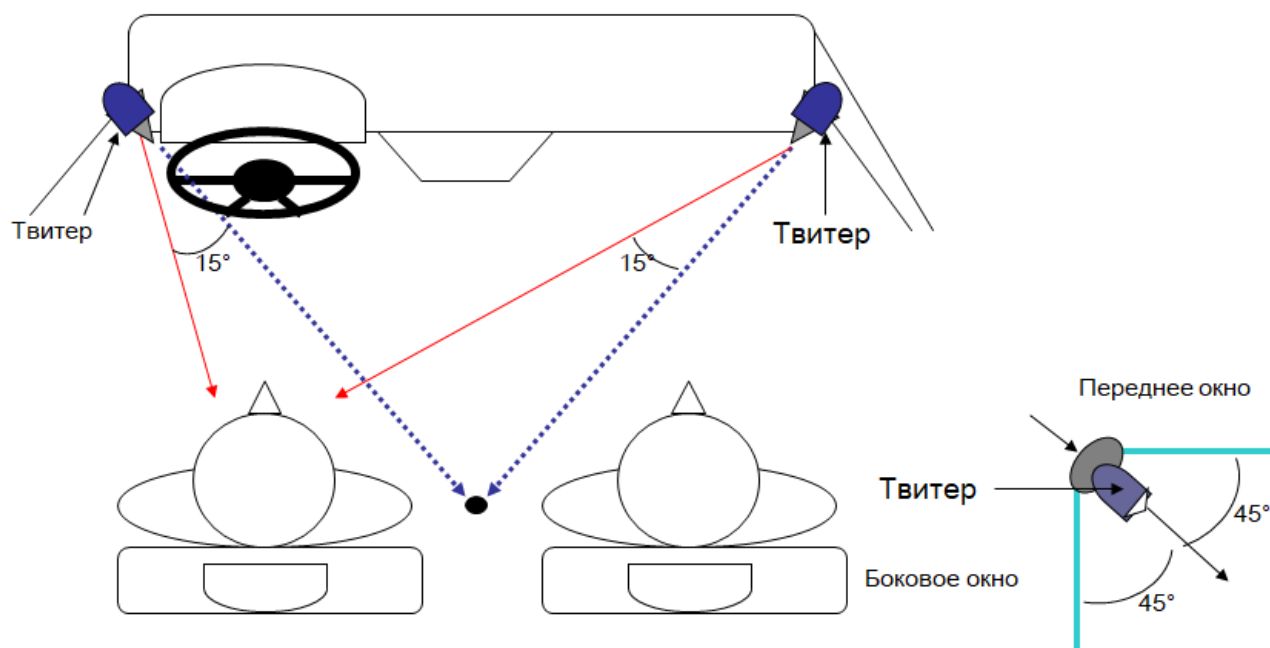


Рисунок 23 – Угол установки твитера в салоне автомобиля

«Прямые оси двух твитеров, изображенные синими пунктирными линиями, сходятся точно посередине между сидениями водителя и пассажира на уровне их ушей. Звук должен быть хорошо слышен в пределах 45 градусов между передним и боковым окнами с каждой стороны (красная линия). То есть, поскольку с обеих сторон угол прослушивания одинаков, характер звука с каждой стороны будет практически одинаковым. Кроме того, поскольку прямая ось твитера проходит под одинаковыми углами к переднему и боковому окнам, то и нарушения, вызываемые отражениями, будут почти одинаковыми с той и другой стороны» [17].

На рисунке 24 схематически изображен слушатель в кресле водителя. Прямая ось твитера направлена горизонтально и находится на уровне рта слушателя. Если твитер повернуть вверх, или установить выше и повернуть вниз, то может сильно сместиться фаза и пострадает интеграция высоких частот со средними и низкими.

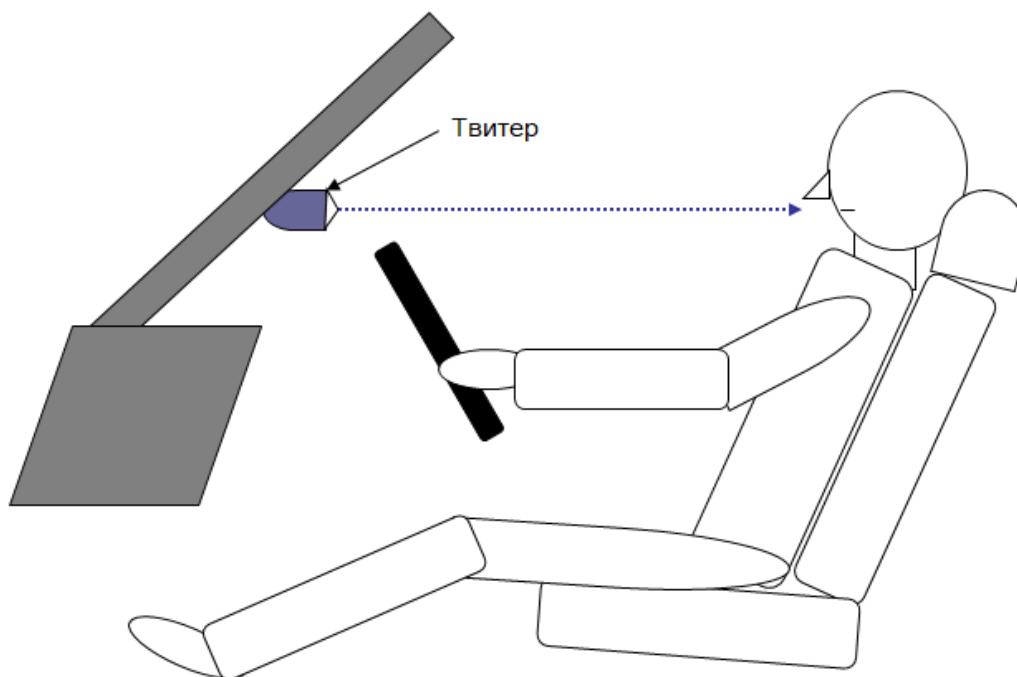


Рисунок 24 – Выбор угла при установке твитера (вид сбоку)

Если твитер установлен на уровне рта слушателя в автомобилях типа седан, купе или универсал, то твитер и мидвуфер могут оказаться выровненными по одной прямой линии. Это способствует улучшению их взаимодействия.

При установке твитера важно разместить его так, чтобы рядом, в радиусе 5 см не было никаких отражающих предметов (рисунок 25). Это помогает резко снизить вероятность возникновения стоячих волн в области высоких частот.

При отражении звуковой волны образуется разрыв между отраженным и прямым звуками.



Рисунок 25 – Установка твитера на стойке кузова

Отраженная волна, оказавшаяся в 4 раза длиннее разрыва, и принимает обратную фазу, при этом звуковое давление падает и ухудшается качество звука. Это стоячая волна длиной 5 см. Находим произведений и получаем 20 см. Частота с длиной волны 20 см составляет 1,7 кГц. Обычно твитеры не используют эту частоту.

Если установить твитер так, чтобы предметы, способные вызвать отражения, находились от него на расстоянии более 5 см, образование стоячих волн будет сведено до минимума. Кроме того, если ближе к верхней части твитера сделать углубление, это будет способствовать рассеянию отражений и уменьшению стоячих волн, образуемых отражением от передней стойки. В отличие от низкочастотного и среднечастотного динамиков, звучание твитера сильно зависит от угла, под которым до вас доходит его звук.

Описанная ситуация особенно характерна для автомобильных акустических систем – из-за отражений возникают стоячие волны, ведущие к потере музыкальной информации и ухудшению звучания.

«Если установить его в верхней части двери, то даже при высоте акустического экрана твитера всего в 1,0 см стоячая волна будет гасить музыкальные звуки с частотой 8,5 кГц. В этом случае трудно будет обеспечить симметричный угол, и частотные характеристики по обеим сторонам твитера будут сильно отличаться. Если сделать большой акустический экран и установить твитер в нижней части двери методом поверхностного монтажа, когда динамик не выступает над экраном, вероятность возникновения стоячих волн понизится, но совершенно невозможно будет обеспечить оптимальный угол. Установка на пороговой панели методом поверхностного монтажа с большим экраном также препятствует образованию стоячих волн. Но если сильно не поднять угол твитера, звуковые образы не будут достигать уровня приборной доски, а если и будут, то на этом уровне будет присутствовать только центральный образ, а боковые окажутся ниже – там, где находится мидвуфер. Поэтому твитер рекомендуется устанавливать на передней стойке под верным углом» [17].

3.3 Установка сабвуфера

Оригинальный чистый бас не имеет ни окраски, ни направленности. Поэтому трудно определить его источник. Часто кажется, что бас исходит из фронтальных громкоговорителей, где сосредоточены обертона басовых музыкальных инструментов. Эту особенность можно успешно использовать: бас будет слышен спереди, хотя сам сабвуфер – громкоговоритель, воспроизводящий самые низкие частоты – расположен в багажнике. Однако нередко бас не совпадает по фазе со средними частотами фронтальных громкоговорителей, плохая конструкция корпуса сабвуфера ведет к образованию пиков или провалов, из-за недостаточно грамотного монтажа слишком сильно начинают вибрировать окружающие предметы и спереди мы слышим лишь какую-то часть баса. Кроме того, если даже сабвуфер будет

установлен идеально, но мидвуфер (динамик средних-низких частот) – плохо, то добиться звучания баса спереди будет довольно трудно.

Рассмотрим, как правильно установить сабвуфер и как сделать корпус для него.

На рисунке 26 показаны примеры установки сабвуферов.



Рисунок 26 – Примеры установки сабвуферов

Для автомобильной аудиосистемы корпус закрытого типа предпочтителен не только потому, что обеспечивает высокое качество звучания, но и потому, что прост в изготовлении. К тому же, большинство автомобильных низкочастотных динамиков рассчитаны на корпус именно такой конструкции.

Рассмотрим показатели, касающиеся расчета конструкции корпуса сабвуфера.

F_0 означает частоту НЧ-резонанса. Это то же самое, что F_S – частота собственного резонанса. Их величины одинаковы. Величина F_0 выражается в Гц и соответствует частоте, оказавшейся на 3 дБ ниже среднего уровня сигнала при спаде эффективности громкоговорителя (рисунок 26).

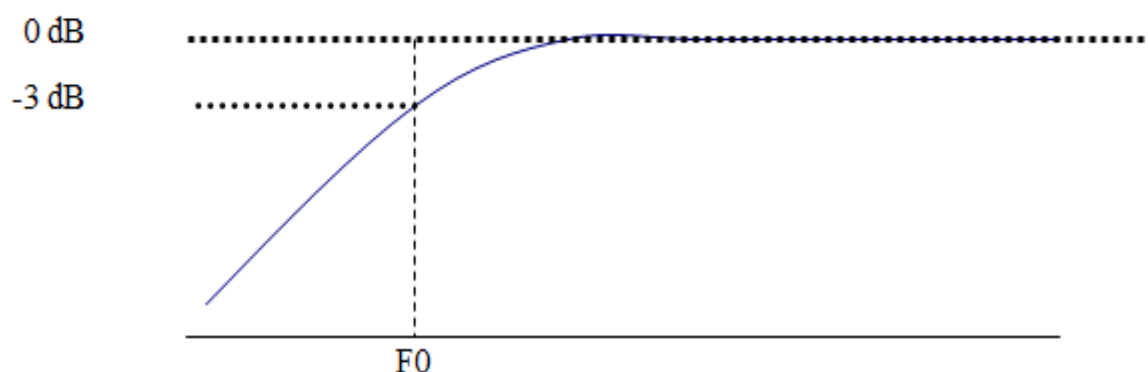


Рисунок 26 – График зависимости собственного резонанса

Q (добротность) – это величина, которая означает степень остроты низкочастотного резонанса громкоговорителя и является важным показателем в его характеристике. Если площадь квадрата равна 1 (единице), то площадь вписанного в него круга составляет 0,71. Когда кривая (рисунок 27) начинает спадать у точки F_0 , образуется так называемая бемольная форма $Q=0,71$ MAX-FLAT (Q_{ts} означает полную добротность). С ее повышением добротность возрастает (HiQ), с понижением – добротность снижается (LoQ). Величина добротности не имеет специальных единиц выражения.

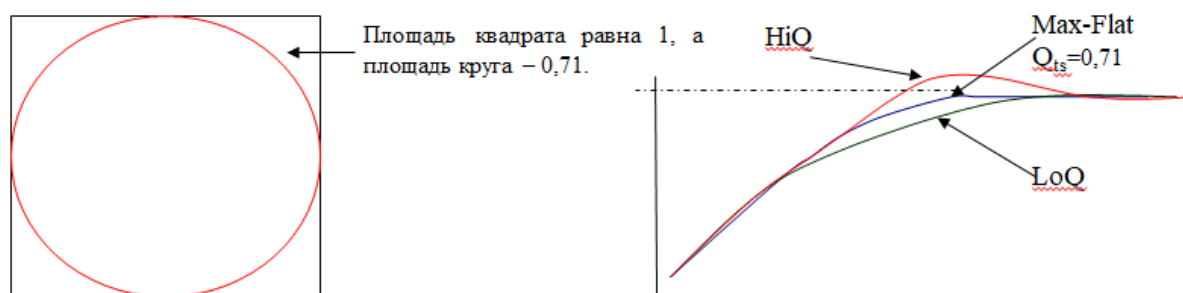


Рисунок 27 – Характеристика степень остроты низкочастотного резонанса

VAS – эквивалентный объем динамика. Это возбуждаемый динамиком закрытый объем воздуха в закрытом ящике, упругость которого эквивалентна упругости подвеса диффузора. Эта величина измеряется в литрах (L).

Итак, величина Q определяет звуковой характер баса. Предполагаемое качество звучания (Q_{tc}) для закрытого корпуса можно вычислить по приведенной ниже таблице 1.

Таблица 1 – Тенденции в качестве звучания

Q_{ts}	Тенденция в качестве звучания
0,5 или менее	Неадекватность звуковой атаки (демпфирование). Чем больше корпус, тем лучше пространственность баса
0,55-0,6	Хотя демпфирование недостаточное, но величина F0 мала и звук хороший. Хорошая ритмичность. Богатый бас
0,65-0,7	Наилучший баланс. Если при такой добротности (Q) величина F3 (частота среза, на которой отдача динамика снижается на 3 дБ) не повышается, используйте величину Q_{tc} в приведенном здесь диапазоне
0,75 или более	Звук становится жестким и кажется закрытым. Если увеличить количество басовых динамиков, звучание баса будет напоминать эффект клуба

Объем корпуса, вычисляется по следующей формуле (1):

$$\sqrt{\frac{V_{as}}{V_b} + 1} \cdot Q_{ts} = Q_{tc} \quad (1)$$

По формуле (2), необходимо провести проверку обеспечит ли конструкция достаточный уровень баса и затем окончательно рассчитать объем корпуса.

$$\sqrt{\frac{V_{as}}{V_b} + 1} \cdot F_0 = F_3. \quad (2)$$

По данной формуле можно узнать величину F_3 в условиях закрытого ящика. Если величина F_3 недостаточно низка, необходимо вернуться к предыдущей формуле и пересчитать заново с расчетом на более низкую величину Q_{tc} .

Данные формулы необходимо использовать при расчете каждого нового корпуса. Кроме того, для проектирования корпусов АС существует много компьютерных программ.

Рассмотрим различия в звучании в зависимости от формы корпуса

Прямоугольный корпус (рисунок 28).

Такой корпус прост в изготовлении, но склонен к образованию пиков над F_3 и провалов после F_3 . Выравнивание характеристики достигается такими методами, как установка внутрь отражающей плиты, снижение параллельной фазы, использование звукопоглощающего материала.

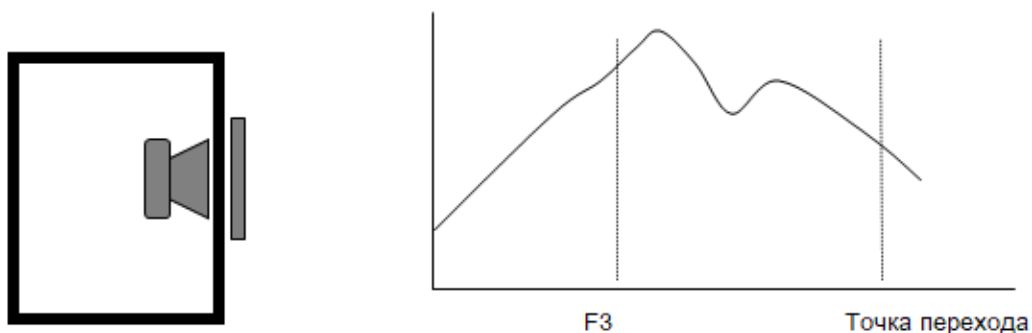


Рисунок 28 – Прямоугольный корпус и его характеристика

Трапецевидный корпус 1 (рисунок 29).

Хотя горб на кривой энергетической характеристики немного сглаживается, но провал после пика все же остается. Желательно умеренное использование звукопоглощающего материала.

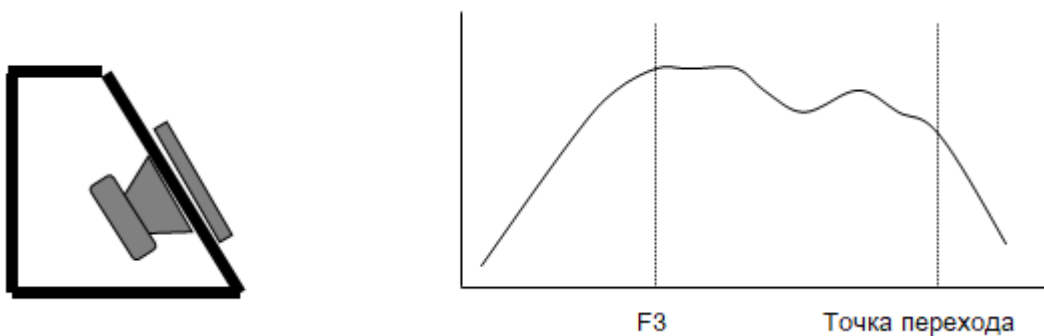


Рисунок 29 – Трапецевидный корпус 1 и его характеристика

Трапецевидный корпус 2 (рисунок 30).

Характеристика ровнее, чем в двух предыдущих случаях. Если углы корпуса закруглить, характеристика станет еще ровнее



Рисунок 30 – Трапецевидный корпус 2 и его характеристика

Трапецевидный корпус 3 (рисунок 31).

На переднюю часть трапециевидного корпуса 2 наложена еще одна трапецевидная форма. Кривая принимает плавную, покатуую форму и звук становится энергичнее.

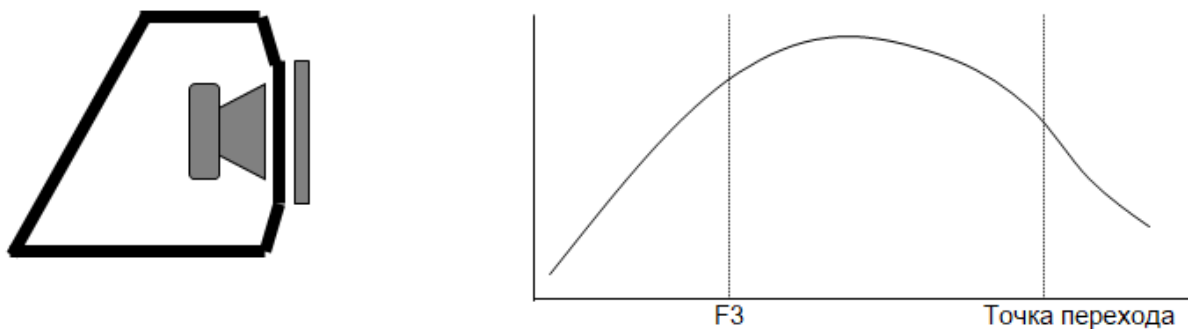


Рисунок 31 – Трапецевидный корпус 3 и его характеристика

Скрытый монтаж (рисунок 32).

Установка сабвуфера в отсек, где хранятся запасные шины в автомобилях, называется скрытым монтажом.

Пол багажного отсека образует акустический экран, удобный для распространения низких частот. И если мы можем понизить переходную частоту на стыке с фронтальными громкоговорителями, то это будет наилучшим местом для установки сабвуфера.

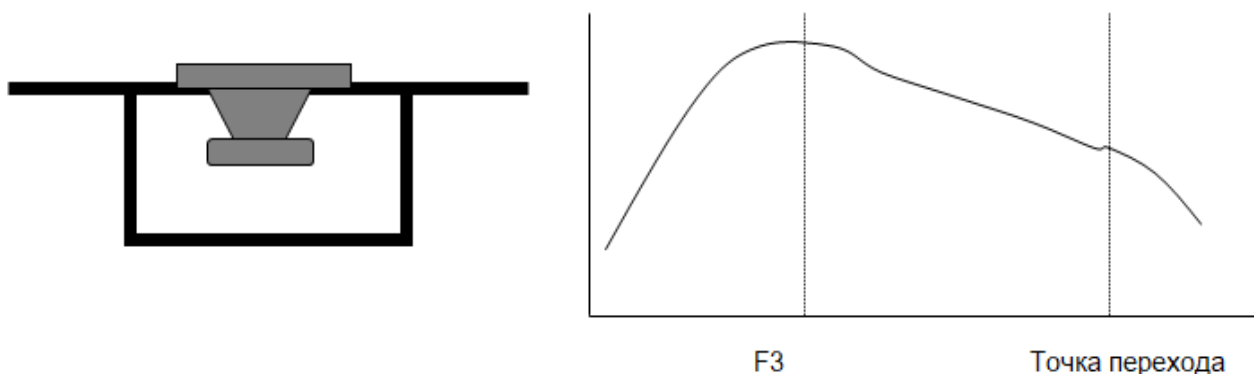


Рисунок 32 – Скрытый монтаж в отсеке запасного колеса

Если вы не хотите отнимать много места в багажном отсеке или если сам отсек невелик, использовать большой корпус будет невозможно. В настоящее время продается много сабвуферов, предназначенных для установки в небольшие корпуса. И такие корпуса, несмотря на малый объем, дают хороший эффект. Проблемы начинаются тогда, когда корпус должен иметь еще и малую глубину. В этом случае короткое расстояние от динамика до задней стенки корпуса и отраженная от стенки волна создает резонанс для диафрагмы, в результате чего бас становится глухим. Если внутри сделать перегородку, которая будет рассеивать отражение, это поможет вернуть басу чистоту. Перегородка не должна отнимать много пространства внутри корпуса и не должна разделять его сверху донизу.

Кроме того, выступ конической формы позади динамика (рисунок 33) из латуни, свинца или даже из усиленной волокном шпатлевки, даст тот же эффект, что и перегородка.

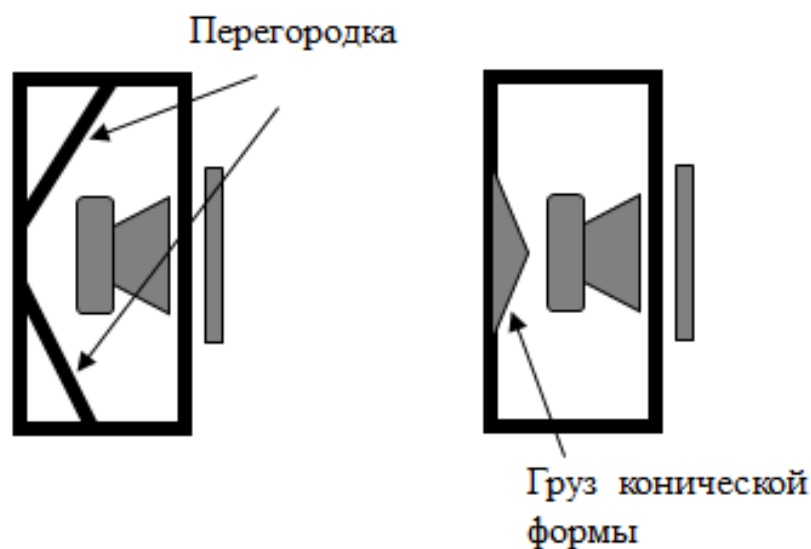
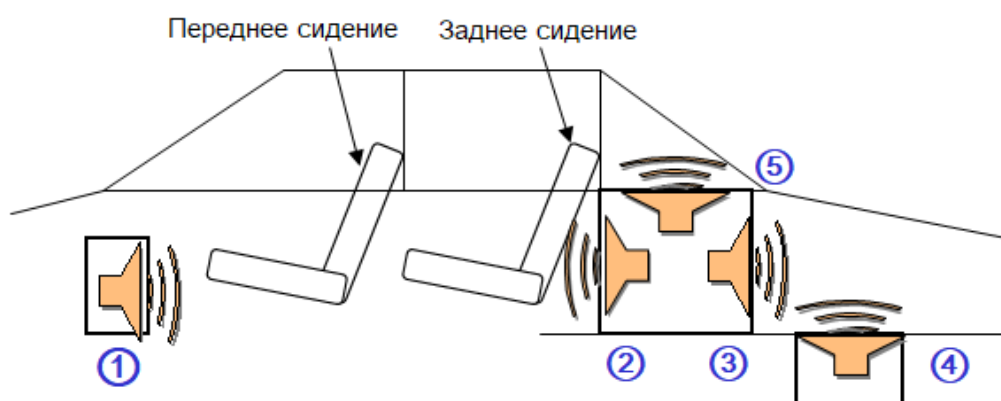


Рисунок 33 – Примеры уменьшения объема корпуса

Рассмотрим варианты установки сабвуфера (рисунок 34).



1 – спереди по центру; 2 – багажный отсек, направленность вперед; 3 – багажный отсек, направленность назад; 4 – вровень с полом; 5 – задняя дека

Рисунок 34 – Варианты установки сабвуфера

Спереди по центру.

Хорошая позиция. Хорошая связь с фронтальными громкоговорителями, способствует расширению переходной частоты. Хотя в автомобилях с ограниченным пространством впереди такая установка невозможна. Этот способ подходит для микроавтобусов. Поскольку места там не особенно много, для сабвуфера приходится использовать маленький закрытый корпус.

Багажный отсек, направленность вперед.

Этот метод очень популярен. Хотя если между сабвуфером и противоположной стенкой багажного отсека места окажется недостаточно, излучаемая сабвуфером звуковая волна подвергается давлению и пострадает качество баса.

Что касается автомобилей типа седан или купе, там погашенная звуковая волна фронтальных громкоговорителей, достигая багажника, меняет фазу на обратную. И если открыть багажник, звук становится неожиданно громким. Обычно причиной тому является внутренняя планировка.

Багажный отсек, направленность назад.

Это неплохой способ. Однако в автомобилях типа седан или купе поведение звуковой волны будет таким же, как и в предыдущем случае. Для исправления этого эффекта следует использовать достаточно большой акустический экран, убрать препятствия на пути звуковой волны или уменьшить размер корпуса. В автомобилях типа хэтчбек или в фургоне таких проблем не возникает.

Вровень с полом.

Метод «вровень с полом» применим для багажника, где лежат шины

Пол багажника успешно выполняет роль акустического экрана, бас обретает хорошую пространственность и энергию. Этот метод можно использовать в автомобилях разных типов – седан, купе, универсал, кроме моделей, не имеющих пространства для запасных шин. Причем, установка сабвуфера большого диаметра может вызвать проблемы, поскольку места там не очень много.

Задняя дека.

Для седана и купе это очень хорошая позиция, однако размещения там сабвуфера дека должна быть достаточно широкой, а также очень прочной, чтобы выдержать давление звуковых волн и вес самого сабвуфера.

Необходимо отметить важные моменты установки сабвуфера.

«Энергия баса вызывает резонанс окружающих объектов. Каждый из них начинает издавать звучание на собственных частотах, что ведет к деградации музыкального баса. Для воспроизведения максимально чистого, незагрязненного баса корпус сабвуфера должен быть как можно более тяжелым, чтобы не резонировать самому и не распространять резонанс. Если автомобиль не чрезмерно тяжел, то чем больше вес корпуса сабвуфера, тем лучше бас. Однако если вы выберете для корпуса какой-нибудь резонирующий материал, вроде металла, то, несмотря на всю его тяжесть, результат окажется неудовлетворительным. Хороший эффект погашения вибрации дает использование внутри корпуса изолирующего материала» [17].

Для корпуса громкоговорителей следует выбирать материал, не подверженный резонансу и не заглушающий звучание, то есть материал должен обладать большой плотностью. Для автомобильной акустики рекомендуется использовать древесноволокнистая плиту, так как она обладает достаточно низкой стоимостью, имеет большую плотность, трудно поддается резонансу и легка для обработки. Лучше всего использовать плиты толщиной более 18 см. Черное дерево и палисандр, применяемые в музыкальных инструментах, не подходят для корпуса, так как они легкие и хорошо резонируют.

Звукопоглощающий материал нужен для снижения эффекта стоячих волн внутри корпуса, однако слишком много этого материала не допускается, так как звучание становится зажатым и снижается отдача громкоговорителя.

Рекомендуется клеить звукопоглощающий материал по задней стенке (внутри корпуса), или по задней, верхней и нижней стенкам внутри корпуса (рисунок 35). Лучше использовать губчатый материал, нежели, например, стекловату, так как первый обладает лучшими звукопоглощающими свойствами.

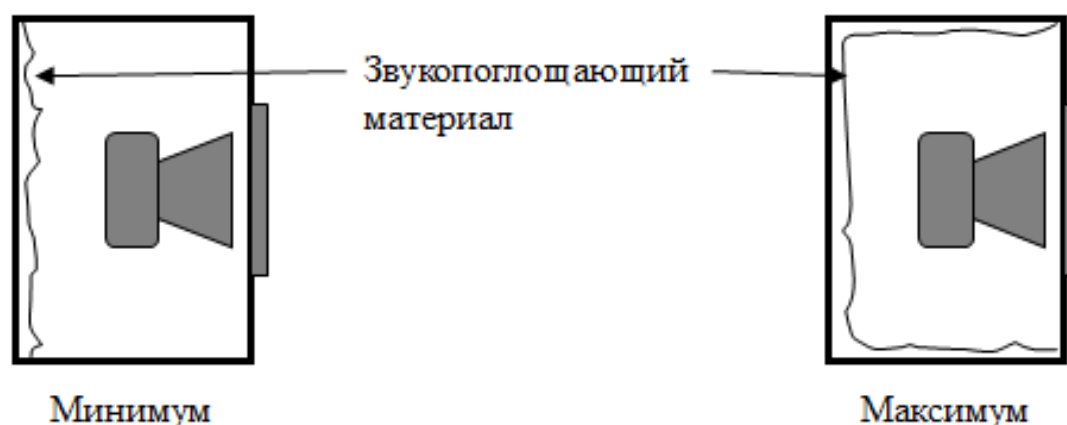


Рисунок 35 – Размещение звукопоглощающего материала внутри корпуса

В некоторых ситуациях, – когда сабвуфер имеет очень низкую общую добротность (Q_{ts}); когда сабвуфер имеет малый диаметр (менее 20 см); когда сабвуфер имеет большую подвижную массу (M_0) – удобнее использовать конструкцию типа акустическая подвеска со звукопоглощающим материалом в корпусе, но в автомобильных аудиосистемах такие сабвуферы большая редкость.

4 Настройка аудиосистемы

4.1 Начальные установки эквалайзера

Начальные установки эквалайзера выравнивают громкость на всех частотах обоих каналов. При этом используются тестовые сигналы (в диапазоне 20 Гц-20 кГц, 31 полоса), записанные с одинаковой громкостью для каждого канала.

Тестовые сигналы записываются с уровнем 0 дБ и -20 дБ. Версия с -20 дБ удобна тем, что позволяет производить регулировку при громкости, на которой мы обычно слушаем музыку.

Настройка громкости и баланса частот по тестовому сигналу.

Проверьте, где располагается центральный образ, возникающий при воспроизведении монофонической записи.

Предположим, он находится в точке, обозначенной на рисунке 36 желтым пятном. Поначалу для большего удобства можно пометить эту точку липкой лентой на стекле.



Рисунок 36 – Расположение центрального образа

Прослушивая тестовый сигнал, отслеживайте местоположение образов на разных частотах. Если центральный образ находится посередине – там же, где и желтое пятно, определенное с помощью моно записи, значит трогать

эквалайзер не надо. Если образ смещен вправо (синее пятно), опустите регулятор данной частоты справа и поднимите слева. Если центральный образ смещен влево (красное пятно), опустите регулятор слева и поднимите справа, добиваясь совмещения красного пятна с желтым.



Рисунок 37 – Расположение образов

Тестовые сигналы прослушивайте по восходящей, начиная с нижних частот. Иначе трудно будет определить разницу в громкости. Начав с 20 Гц, не перескакивайте к 20 кГц – прослушивайте все по порядку.

На самых низких частотах образ не появляется. Звуковой образ формируется, начиная примерно с 63 Гц. Поскольку бас ниже 50 Гц невозможно настраивать в левом правом каналах по отдельности, настраивайте только баланс громкости. Кроме того, на начальной стадии не стоит заниматься регулировкой фазы, так как бас от 20 Гц до 31,5 Гц очень трудно услышать, воспроизводя тестовый сигнал. То же самое касается и высоких частот от 16 кГц до 20 кГц. Фазу в этих диапазонах на данной стадии настраивать не надо.

На частотах 2,5 кГц-5 кГц громкость кажется слишком большой и звук получается кричащим. Это связано с особенностями человеческого слуха. Если мы понизим громкость, сделав ее такой же, как на других частотах, то окажется, что звучанию будет нехватать верхней середины. Понизьте громкость в этом диапазоне, но немного. Если же частоты в этой области

будут слышны не очень громко, значит, есть какой-то дефект. Баланс громкости следует устанавливать так, чтобы все частоты были слышны одинаково.

В некоторых случаях, когда образ звука на какой-то частоте находится далеко справа или далеко слева, как показано на рисунке 38 и воспринимается как очень маленький, нам так и не удастся совместить его с точкой, обозначенной желтым пятном, перемещая регуляторы эквалайзера.



Рисунок 38 – Расположение образов далеко справа или далеко слева

Если сильно смещенный вправо или влево образ представляется на какой-то частоте очень большим (рисунок 39), значит не отрегулированы не только баланс громкости, но и фаза. Если с помощью эквалайзера вы сильно сместите баланс справа налево, фаза тоже сместится справа налево. Постарайтесь извлечь пользу из этого эффекта и сместите баланс в обратную сторону. Такой способ позволяет исправлять не только размытые образы вдалеке от центра, но и близко к центру.

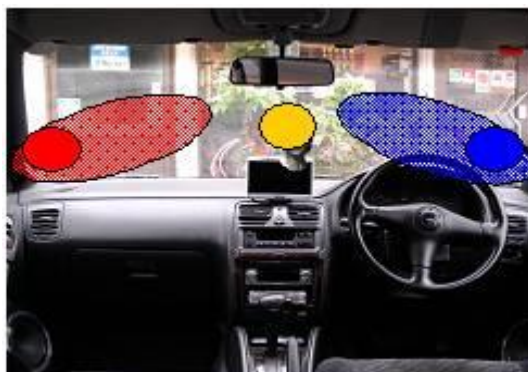


Рисунок 39 – Сильно смещенный вправо или влево образ

Если образ на какой-либо частоте растекается настолько, что теряет форму (рисунок 40), исправить это эквалайзером невозможно. Настройте только баланс громкости. Если образ не ощущается, а громкость чересчур мала, скорее всего, на этой частоте левый или правый канал имеет противоположную фазу. В этом случае не следует настраивать громкость и не надо ничего делать с эквалайзером.



Рисунок 40 – Расположение образа с потерянной формой

Сильно повышать громкость эквалайзера допустимо лишь в том случае, когда образ расположен точно в центре, но звучит тихо. Если образ немного смещен, установите его в центральную позицию, действуя регуляторами левого и правого каналов эквалайзера.

Если образ недостаточно отчетлив, подвигайте посильнее регуляторы левого и правого каналов, чтобы придать ему большую четкость. Однако не стоит надеяться, что образ обязательно установится по центру. Если образ исключительно размытый и локализовать его невозможно, тогда просто настройте регуляторами эквалайзера баланс громкости. Если же локализовать образ невозможно и громкость почти отсутствует, то эквалайзер в этой ситуации нам не поможет.

Разница в громкости на разных частотах может быть связана с особенностями громкоговорителя, с образованием пика на частоте кроссовера или с возникновением стоячих волн в кабине автомобиля. Во многих случаях это можно исправить с помощью эквалайзера. Но частота, на которой образ не позиционируется, представляет проблему. Даже в хороших автомобильных аудиосистемах могут возникать проблемы на некоторых частотах, но в идеале их следует полностью устранять. Если количество частот, на которых образы не локализуются, достаточно велико, скорее всего есть проблемы с временной синхронизацией (ТА), переходной частотой или с установкой – все они оказывают отрицательное влияние на воспроизведение. Необходимо проверить правильность установки или повторить настройку.

4.2 Настройка по «натуральным инструментам»

Дальнейшая настройка предполагает звучание левого и правого каналов одновременно. Здесь желательно подобрать музыку с минимумом индивидуальных особенностей, с равным количеством низких и высоких частот и со звуками удобными для настройки системы с помощью эквалайзера. Но поскольку один диск вряд ли будет отвечать всем этим требованиям, воспользуйтесь несколькими дисками. Разные музыкальные произведения звучат по-разному какими бы простыми они ни были, и если настраивать систему по одному диску, ее звучание не будет универсальным.

Рекомендованные диски:

а) Jennifer Warnes The Hunter. Трек 2, Somewhere, Somebody.

Здесь есть низкие и высокие ноты. Женский вокал обладает хорошим вибрато.

Мужской голос, вступающий в середине композиции, звучит контрастом основной партии женского голоса, и включает широкий диапазон средних-низких частот. Бас однообразен и легко поддается настройке.

б) Jorma Kaukonen Blue Country Heart. Трек 3, Blues Stay Away From Me.

Хриплый мужской голос под аккомпанемент акустической гитары. Звучание гитары преисполнено энергии.

Выполняя настройку, добейтесь, чтобы первый аккорд звучал изолированно. Мелодию поддерживает бас, являющийся важным элементом ритма, так как ударник отсутствует.

в) Pam Tillis Homeward Looking Angel. Трек 1, How Gone Is Goodbye.

Женский вокал, спокойный, но собранный. Музыка в стиле кантри. Ритм-секция включает барабаны и бас. Электргитара на чистом звуке.

г) Allan Hall Nose Of Thousand Dreams. Трек 1, Gulf Coast Highway.

Мужской вокал, слегка тяготеющий к верхнему регистру.

Если вокал заглушается другими звуками, портится фактура композиции.

д) Dvorak Symphony No,9 From The New World Czech Philharmonic Orchestra Vladimir Ashkenazy (conductor). Трек 4, Allegro con fuoco.

Широкое и плотное звучание с высоким разрешением.

Множество инструментов и поэтому большое количество гармоник. Обильная реверберация.

е) Anne Sophie Mutter Carmen Fantasie. Трек 7, Moderato.

Соло для скрипки с оркестром. Этот материал – один из самых сложных для воспроизведения. Лишь после того, как вы добьетесь естественности скрипки и разрешения оркестра, появится объемность и музыкальность звучания.

ж) Van Halen 1984 (Remaster). Трек 2, Jump.

Материал записан в студии, но звучит будто с концерта.

Ощущение ритмичности будет испорчено, если барабаны окажутся забитыми плотным звуком синтезатора.

4.3 Настройка с помощью эквалайзера

Для настройки используйте диск со знакомой музыкой.

Каким бы высоким ни было качество записи и сколь бы хорошим ни был ее частотный баланс, но если записанная музыка нам не понятна, мы не добьемся от системы по-настоящему впечатляющего звучания. Для настройки следует выбирать материал, содержащий минимум специфических особенностей. Настройщик, который любит экстремальную музыку и использует ее в своей работе, не сможет обеспечить универсальность звучания аудиосистемы.

Поэтому специалист по настройке должен воспринимать разнообразную музыку и хорошо разбираться в ней.

Эквалайзером можно регулировать баланс громкости гармоник.

Одна из проблем состоит в том, что разные частоты оказывают влияние друг на друга. Так, если не ощущается присутствия вокала, мы поднимаем частоту 1 кГц и звучание улучшается. Однако данная проблема вокала необязательно ограничивается частотой 1 кГц. Если 1 кГц рассматривать как основной тон, то он может включать гармоники на 2 кГц, 3 кГц, 4 кГц и выше. Следовательно, если повысить громкость на 1 кГц, это еще не значит, что проблема будет решена полностью.

При настройке аудиосистемы с помощью эквалайзера необходимо обращать внимание на звучание музыкальных инструментов, чтобы определить, насколько естественно это звучание и надо ли его корректировать. Это предполагает, что вы хорошо разбираетесь в музыке. То есть, вы должны знать, как звучит тот или иной инструмент в реальности. Если живая музыка составляет часть вашей жизни, вы сразу поймете, верен

звук или нет. Итак, повторяю: настройщику совершенно необходимо уметь распознавать, насколько близко к реальности звучит тот или иной музыкальный инструмент. Только тогда вы сможете определять, на каких частотах есть проблемы.

Как бы глубоко мы ни разбирались в музыке, мы не можем знать, в каких условиях записывался диск – все студии разные. В других условиях невозможно воспроизвести оригинальный живой звук, как бы мы ни старались. Привести звучание записи с помощью эквалайзера в полное соответствие с живым звучанием невозможно в принципе. Поэтому каким бы хорошим ни был баланс, в общем звучании системы всегда будет присутствовать индивидуальность. Для проверки настройки нужна эталонная система, со звучанием которой можно было бы сравнивать результат. В качестве таковой можно использовать домашнюю аудиосистему. Но даже у самой лучшей системы все равно есть индивидуальные черты. И если мы полностью подгоним автомобильную систему под домашнюю, ее звучание заведомо не будет естественным.

Индивидуальными особенностями обладают все записывающие и воспроизводящие системы. И все же существуют устройства, которые воспроизводят относительно нейтральное звучание. Это наушники. Когда возникают проблемы при настройке автомобильной аудиосистемы, запись для сравнения можно прослушивать через наушники. Можно даже держать в салоне наушники и портативный CD-плеер, и периодически сравнивать звучание автомобильной системы с этим CD-плеером.

Только регулярный опыт и внимательный анализ помогает быстро определять частоты, на которых есть проблемы. Если вы чувствуете проблему, но не знаете, где именно она кроется, начинайте выбирать частоты на основе догадок, повышая поочередно громкость. Если звучание улучшилось, значит найдена проблемная частота, на которой был провал, и для исправления требуется усилить уровень сигнала.

Обнаружив проблемную частоту, отрегулируйте также и гармоники этой частоты.

Допустим, барабаны звучат недостаточно упруго и ритм недостаточно четкий. Действуя вышеупомянутым методом, вы пришли к выводу, что проблема связана с частотой 125 Гц. Но не торопитесь поднимать на ней громкость. Попробуйте посмотреть на частоту 125 Гц как на основной тон, имеющий гармоники на 250 Гц, 500 Гц и 1 кГц, и, исходя из этого, отрегулировать баланс между всеми четырьмя частотами. Обычно подобные мелкие исправления вполне достаточны для настройки гармоник.

Далее рассмотрим некоторые наиболее распространенные музыкальные инструменты и наиболее характерные для них частоты, а также то, за что отвечают те или иные частоты (таблица 2). Это поможет вам ориентироваться в мире звуков. Характерные частоты всегда разные в зависимости от фирмы-производителя музыкального инструмента и записывающей компании.

Характерные частоты музыкальных инструментов определяются гармониками.

Таблица 2 – Музыкальные инструменты и наиболее характерные для них частоты

Название инструмента	Характерная частота и ее описание
1	2
Ударные	40 Гц, 63 Гц, 80 Гц, 1кГц и др. Частота 40 Гц определяет глубину и мягкость удара, 63 Гц – увесистость, 80 Гц – твердость, а 1 кГц – атаку
Бас	40 Гц, 50 Гц, 100 Гц, 350 Гц и др. Частота 40 Гц определяет самую низкую ноту четырехструнного баса, 50 Гц близка к часто встречающейся ноте А, 100 Гц определяет плотность баса, 315 Гц – это звук касания струны. Характерными частотами для электрической бас-гитары являются 500 Гц, 2 кГц и др.
Гитара	100 Гц, 250 Гц, 630 Гц, 80 Гц, 1,25 кГц, 2 кГц и др. Определяющих частот много: 100 Гц определяет увесистость и энергию, 250 Гц – плотность звука, 630 Гц – эффект присутствия. Частоты 800 Гц, 1,25 кГц и 2 кГц сильно влияют на разрешение звучания

Продолжение таблицы 2

1	2
Скрипка	200 Гц, 315 Гц, 1 кГц, 2 кГц, 4 кГц и др. Очень важной частотой является 200 Гц: если она слишком сильна, то это уже не скрипка. Частота 315 Гц также важна: она определяет эффект присутствия – если она слаба, звук теряет энергию. Частоты 1 кГц и 2 кГц влияют на тембр верхних нот, характерных для скрипки. 4 кГц – очень характерный звук, извлекаемый на скрипке
Вокал	100 Гц, 315 Гц, 1 кГц, 2 кГц, 4 кГц, 8 кГц. 100 Гц – это низкий звук голоса, особенно интересен в записи с обильной реверберацией. Характерен не только для мужского, но и иногда для женского голоса. Частота 315 Гц -- очень важная составляющая вокала. Поскольку она связана с накалом и энергией голоса, то при настройке системы ее обычно несколько усиливают. Частота 1 кГц определяет качество голоса и его разрешение. Хотя эта частота тоже нуждается в некотором усилении, но при этом могут пострадать смежные с ней 800 Гц и 1,25 кГц, поэтому будьте осторожны: старайтесь не затронуть их. Частота 2 кГц – это эффект присутствия, а 4 кГц определяет чистоту голоса. Если слишком усилить 4 кГц и 8 кГц, пострадает воздушность вокала
Тарелки	40 Гц, 80 Гц, 2 кГц, 12.5 кГц, 20 кГц. Хотя издаваемый тарелками звук очень высокий, они имеют низкую исходную частоту резонанса. Это инструмент, у которого гармоники громче основного тона. Если частоты 40 Гц и 80 Гц слабые, тогда пропадает присущая тарелкам увесистость удара. Частота 2 кГц определяет эффект присутствия и разрешение, а 12.5 кГц и 20 кГц – длительность звука

Рассмотрим связь частот с атмосферой музыки в целом.

- если хотите усилить реверберацию и эхо: сначала сильно поднимите 20 Гц. Если в системе есть сабвуфер, частоту можно поднять на 6 дБ. При этом должно появиться эхо в зале. Для баланса подвигайте 40 Гц и 80 Гц – гармоники 20 Гц;
- если хотите сделать звук ярче: Попробуйте понизить громкость в области 200 Гц. Затем поднимите громкость в области 2 кГц. Затем сбалансируйте гармоники;
- если хотите добавить в звучание энергию: поднимите частоты 100 Гц, 315 Гц и 1кГц. Затем скорректируйте их гармоники.

Замечания по настройке с помощью эквалайзера.

Длительная настройка противопоказана.

Когда вокруг стоит постоянный шум, наш организм автоматически снижает чувствительность уха. Только благодаря этой защитной реакции мы не сходим с ума от громких звуков. Для человека, занимающегося настройкой аудиосистем, длительное прослушивание тестовых сигналов и музыки вредно, так как отрицательно влияет на верность восприятия. Через каждые полчаса работы обязательно делайте перерыв минут на десять и только потом продолжайте настройку.

Закончив настройку системы, прослушайте ее через некоторое время снова

После того, как вы закончили настройку системы, постарайтесь в течение нескольких часов больше ничего не слушать. Дайте своим ушам возможность хорошо отдохнуть. После определенного перерыва прослушайте систему еще раз. Вы, наверняка, найдете какие-нибудь новые проблемы.

Настраивать звучание можно до бесконечности. Не останавливайтесь на достигнутом.

Даже если вам кажется, что система настроена идеально, все равно всегда остается возможность что-то улучшить. Изменение громкости на одной лишь частоте на 0,5 дБ способно изменить восприятие музыки. Так что, достичь конечной цели нелегко, а совершенству нет предела.

Заключение

В целях выполнения поставленной цели работы ВКР была выполнена разработка темы: «Комплексный тюнинг легкового автомобиля. Автозвук».

Сегодня цифровые процессоры прошли определенный путь в своем развитии и пользуются непререкаемым авторитетом. Трудно даже поверить, что десять лет назад шли споры о том, есть от них польза или нет. Цифровой процессор позволяет решать многие проблемы автомобильных аудиосистем, благодаря чему эти системы обладают высокими музыкальными способностями.

Даже простые модели цифровых процессоров дают шансы на то, что звучание системы станет более музыкальным. По мере того, как будет расти квалификация специалистов-установщиков, все большее число пользователей начнет по достоинству оценивать возможности автомобильного аудио.

В процессе выполнения работы были решены следующие задачи:

- рассмотрены различные виды тюнинга легкового автомобиля;
- изучены основные понятия, применяющиеся в области автомобильного звука, такие как динамическая головка, акустическая система, акустическое оформление;
- произведён обзор наиболее часто встречающихся вариантов установки аудиосистем;
- дан сравнительный анализ, на основании которого в качестве технического решения в данной работе принят вариант установки головного устройства, передней акустики, двухканального усилителя и задней акустики;
- рассмотрена поэтапная установка фронтальных акустических систем в дверях, твитера, сабвуфера;
- рассмотрены различные варианты настройки аудиосистемы: по «натуральным инструментам», с помощью эквалайзера.

Список используемой литературы и используемых источников

1 Рамрейх, М. Системы автозвука для профессионалов и любителей : выбор, установка, настройка / Марк Рамрейх; [пер. с англ.: Н. Рузова]. - Ростов н/Д : Феникс, 2003 (Волгоград : ОАО Альянс "Югполиграфиздат" ИПК Офсет). - 270 с.

2 Шихатов, А. И. Концертный зал на колесах : [энциклопедия автомобильного звука] / Шихатов А. И. - Изд. 6-е, доп. и последнее. - Москва : ДМК-Пресс, 2011. - 503 с.

3 Виноградов, Ю. А. Радиолюбителю - конструктору : Си - Би связь. Дозиметрия. ИК техника. Электрон. приборы. Средства связи / Ю. А. Виноградов. - М. : ДМК, 1999. - 238 с.

4 Кирсанов, Е. А. Основы расчета, разработки конструкций и эксплуатации технологического оборудования для автотранспортных предприятий : учеб. пособие / Кирсанов Е.А., Новиков С.А. - М. : [б. и.], 19 - В надзаг.: Моск. гос. автомоб.-дор. ин-т (Техн. ун-т). Ч. 1. - 1993. - 80 с.

5 Шихатов, А. И. Концертный зал на колесах : [Магнитолы, усилители, кроссоверы, акустика салона] / Шихатов А. И. - 3. изд., перераб. и доп. - М. : ДМК Пресс, 2004. - 377 с. Грибков, В. М. Справочник по оборудованию для технического обслуживания и текущего ремонта автомобилей / В. М. Грибков, П. А. Карпекин. - Москва : Россельхозиздат, 1984. - 223 с.

6 Детали машин : учеб. для вузов / Л. А. Андриенко [и др.] ; под ред. О. А. Ряховского. - 2-е изд., перераб. ; Гриф МО. - Москва : Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2004. - 519 с.

7 Дунаев, П. Ф. Конструирование узлов и деталей машин : учеб. пособие для вузов / П. Ф. Дунаев, О. П. Леликов. - 11-е изд., стер. ; Гриф МО. - Москва : Академия, 2008. - 496 с.

8 Машины, агрегаты и процессы. Проектирование, создание и модернизация [Текст] : материалы международной научно-практической конференции / Министерство образования и науки Российской Федерации,

Санкт-Петербургский филиал Научно-исследовательского центра "МашиноСтроение" [и др.] ; главный редактор Жуков Иван Алексеевич]. - Санкт-Петербург : СПбФ НИЦ МС, 2018-. - 21 см. № 2. - 2019. - 157 с.

9 Краткий каталог современного оборудования для обслуживания автомобилей / Всесоюз. объединение "Союзсельхозтехника" Совета Министров СССР. Гос. всесоюз. науч.-исслед. технол. ин-т ремонта и эксплуатации маш.-тракт. парка "ГосНИТИ". - Москва : [б. и.], 1975. - 118 с.

10 Бурков, А. А. Проектирование оборудования и систем из него : учеб. пособие / А. А. Бурков, Е. Б. Щелкунов, И. П. Конченкова. - Комсомольск-на-Амуре : КНАГТУ, 2006 (Комсомольск-на-Амуре). - 92 с.

11 Кузнецов, А. С. Малое предприятие автосервиса : организация, оснащение, эксплуатация / А. С. Кузнецов, Н. В. Белов. - Москва : Машиностроение, 1995. - 303 с.

12 Куклин, Н. Г. Детали машин : учеб. для техникумов / Н. Г. Куклин, Г. С. Куклина, В. К. Житков. - 5-е изд., перераб. и доп. ; Гриф МО. - Москва : Илекса, 1999. - 391 с.

13 Теория механизмов и машин : респ. междувед. научно-тех. сб. Вып. 36 / [редкол.: С. Н. Кожевников (отв. ред.) и др.]. - Харьков : Вища шк., 1984. - 129 с.

14 Бортяков, Д. Е. Основы проектной деятельности системы автоматизированного проектирования машин и оборудования : учеб. пособие / Д. Е. Бортяков, С. В. Мещеряков, Н. А. Солодилова ; С.-Петерб. политехн. ун-т Петра Великого. - СПб. : Изд-во Политехн. ун-та, 2017. - 150 с.

15 Волков, И. А. Основы математического моделирования транспортных и транспортно-технологических машин и оборудования: метод. пособие для студентов оч. и заоч. обучения спец. 190600.62 "Эксплуатация трансп.-технол. машин и комплексов" / И. А. Волков, А. С. Рукодельцев, И. С. Тарасов ; Волж. гос. акад. вод. трансп., Каф. приклад. механики и подъем.-трансп. машин. - Н. Новгород : ВГАВТ, 2014. - 51 с.

16 Росс, Т. Приспособления для ремонта автомобилей / Т. Росс. - Москва : За рулем, 2004. - 136 с.

17 Niemann, G. Maschinenelemente: Band 1: Konstruktion und Berechnung von Verbindungen, Lagern, Wellen / G. Niemann, H. Winter. - 2005.Springer, - p. 903.

18 Mikell, P. Fundamentals of Modern Manufacturing: Materials, Processes, and Systems / P. Mikell. - John Wiley & Sons, 2010. - p. 1024.

19 Munjal, Manchar Lal. Acoustics of ducts and mufflers : With application to exhaust a. ventilation system des. / M.L. Munjal. - New York etc. : Wiley, - 1976. – p 328.

20 Konig, R. Schmieretechnik / R. Konig. – Springer, 1963. – p.164.

21 Werner, E. Schmierungstechnik / E. Werner. - 1976. – p. 134.

22 Wittel, H. Maschinenelemente: Normung, Berechnung, Gestaltung - Lehrbuch und Tabellenbuch / H. Wittel, D. Muhs, D. Jannasch. - Vieweg+Teubner Verlag, 2011. - p. 810.