

Министерство образования и науки Российской Федерации

САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКИЙ
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ

А.А. Сидоров А.Б. Зайцев

СИСТЕМЫ ДВС

АКУСТИЧЕСКИЙ РАСЧЕТ ГЛУШИТЕЛЯ
СИСТЕМЫ ВЫПУСКА ОТРАБОТАВШИХ ГАЗОВ ДВС

УЧЕБНОЕ ПОСОБИЕ

Санкт-Петербург
Политехнический университет
2012

УДК 621.43

Сидоров А.А., Зайцев А.Б. Системы ДВС. Акустический расчет глушителя системы выпуска отработавших газов ДВС: Учеб. пособие. СПб.: Политехн. ун-т, 2012. – 57 с.

Пособие соответствует государственному образовательному стандарту дисциплины «Системы двигателей» по разделу «Системы воздухообеспечения и газораспределения» направлений подготовки специалистов 101200 «Двигатели внутреннего сгорания» и бакалавров 552700 «Энергетическое машиностроение».

Целью составления пособия является закрепление и подтверждение сведений, излагаемых в лекционном курсе по разделу «Системы воздухообеспечения и газораспределения» курса «Системы двигателей» по специальности 101200 «Двигатели внутреннего сгорания» и 552700 «Энергетическое машиностроение».

Учебное пособие предусматривает самостоятельную работу студентов по изучению процессов возникновения воздушного шума выпускных систем ДВС и способов снижения его интенсивности.

Предназначено для студентов энергомашиностроительного и других факультетов, изучающих двигатели внутреннего сгорания в рамках подготовки бакалавров и специалистов.

Табл. 8. Ил. 12. Библиогр.: 10 назв.

© Сидоров А.А., Зайцев А. Б., 2012
© Санкт-Петербургский государственный
политехнический университет, 2012

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	4
1. Источники шума поршневых двигателей	5
2. Назначение глушителей шума выпуска	10
3. Типы глушителей шума выпуска	11
3.1. Активные глушители	12
3.2. Резонансные реактивные глушители	12
3.3. Отражательные реактивные глушители	13
4. Акустический расчет глушителя реактивного типа	14
4.1. Подготовка исходных данных для расчета	15
4.1.1. Параметры двигателя	15
4.1.2. Параметры глушителя	15
4.2. Акустический расчет глушителей ДВС	17
4.2.1. Однокамерные глушители	17
4.2.2. Двухкамерные глушители	17
4.2.3. Резонансные глушители	18
4.3. Порядок проведения расчета по определению основных конструктивных параметров глушителей	20
4.3.1. Общие рекомендации	20
4.3.2. Порядок расчета реактивных однокамерных глушителей	20
4.3.3. Порядок расчета реактивных двухкамерных глушителей	21
4.3.4. Порядок расчета реактивных резонансных глушителей	21
Библиографический список	24
<i>Приложение 1. Пример оформления курсовой работы.....</i>	<i>25</i>
<i>Приложение 2. Инструкция по использованию программного комплекса оптимизационного расчета глушителей.....</i>	<i>30</i>

ВВЕДЕНИЕ

Современные поршневые двигателя (ПД) являются источниками интенсивного шума, который вредно отражается на здоровье и работоспособности людей. Действуя на центральную нервную систему, шум оказывает влияние на весь организм человека. Под влиянием интенсивного шума притупляется острота зрения, изменяются ритмы дыхания и сердечной деятельности, повышается внутричерепное и кровяное давление, замедляется процесс пищеварения, происходят изменения объема внутренних органов.

Воздействуя на кору головного мозга, шум оказывает и раздражающее действие, ускоряет процесс утомления, ослабляет внимание, замедляет реакции. По этим причинам интенсивный шум на производстве, в том числе и на транспорте, может способствовать возникновению травматических случаев и ведет к снижению производительности труда, в некоторых случаях до 40...60 %.

Современное законодательство в области экологии характеризуется повышенными требованиями к предельно допустимому уровню шума, излучаемому транспортными средствами. В России введен в действие ряд государственных стандартов [4, 5, 6, 7, 8], в начале 2006 года Европейский Союз принял вторую часть Директивы 2000/14/ЕС [9, 10], согласно которой изготовители должны вдвое снизить уровень шума выпускаемого ими оборудования.

В тоже время развитие мировой экономики требует дальнейшего повышения удельной мощности двигателей, что без принятия соответствующих мер ведет к повышению уровня шума излучаемого этими двигателями.

1. ИСТОЧНИКИ ШУМА ПОРШНЕВЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ

Шум ПД, в зависимости от механизма его образования, можно разделить на аэродинамический (газодинамический) и механический (структурный) [2].

Шум, возникновение которого связано с процессом сгорания, имеет газодинамическую природу, но проявляется в основном в результате механического взаимодействия деталей цилиндро-поршневой группы (ЦПГ) и кривошипно-шатунного механизма (КШМ) с остовом. Непосредственное проникновение газодинамических колебаний через стенки цилиндра также имеет место и в некоторых случаях может играть существенную роль.

Механический шум излучается остовом ПД. Его уровень зависит от сил возбуждения, импеданса передачи и коэффициента излучения.

Основной причиной механического шума у тронковых двигателей являются удары поршней при переключке. Определенную роль играют и удары в подшипниках КШМ. Шум от ударов поршней и в подшипниках КШМ вызван действием сил давления газов и инерционных сил возвратно-поступательного движения КШМ. В крейцкопфных дизелях шум от ударов поршней практически отсутствует, поскольку сила давления поршня на гильзу воспринимается ползуном крейцкопфа.

Механический шум также вызывают клапанно-распределительный механизм (КРМ), топливная аппаратура (ТА), а также агрегаты наддува (АН).

Аэродинамический (газодинамический) шум связан с системой воздухообеспечения ПД и непосредственно с тактами всасывания и выпуска. Интенсивным источником шума системы турбонаддува являются компрессор, его впускной и нагнетательный тракты, включающие диффузор с улиткой, холодильник наддувочного воздуха и ресивер. У четырехтактных ПД без наддува (а иногда и с наддувом) во всасывающем тракте, вследствие резонансных явлений, возникают низкочастотные колебания воздуха. У двухтактных дизелей возможен резонанс столба воздуха в ресивере соз-

даваемого возмущающими усилиями вследствие заброса газов из цилиндров.

Газодинамические импульсы, возникающие в первоначальные периоды выпуска газов (свободный выпуск), вызывают колебания стенок выпускного тракта в широком диапазоне частот и при его жестком креплении к корпусным конструкциям распространяются в виде структурного шума.

На основании исследований большого количества дизелей основные источники шума располагаются в порядке убывания их интенсивности в следующем порядке:

1. системы впуска и выпуска;
2. процесс сгорания;
3. цилиндро-поршневая группа;
4. топливо-впрыскивающая аппаратура;
5. клапанно-распределительный механизм;
6. зубчатые передачи и т.п.

На рис. 1 приведены частотные шумограммы дизеля 2Д100 в диапазонах частот 60...85 Гц и 680...960 Гц, измеренные с помощью полуоктавных фильтров.

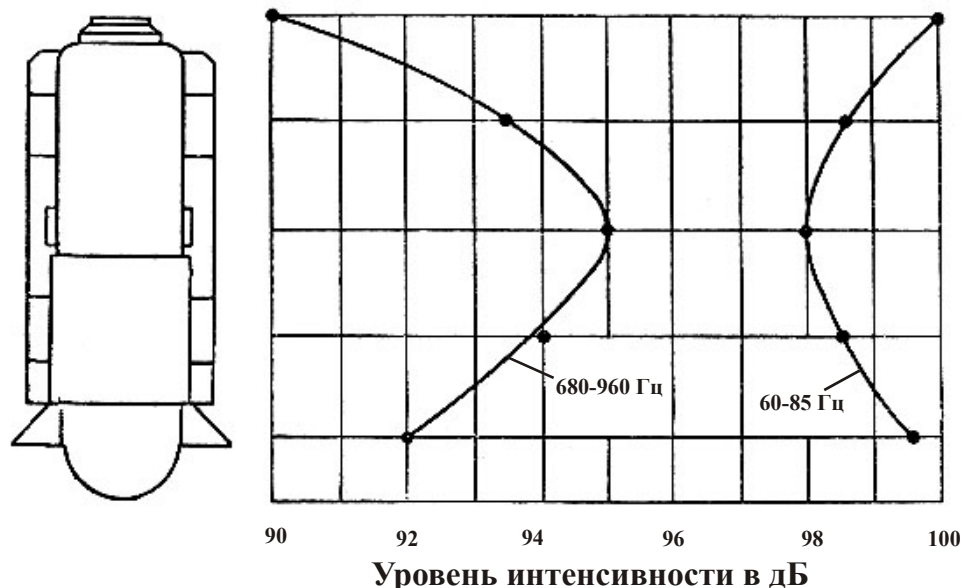


Рис. 1. Частотные шумограммы дизеля 2Д100

Как видно из шумограммы, наиболее интенсивное излучение на низких частотах имеет место в районе впускного и выпускного коллекто-

ров, крышки и картера. Наиболее интенсивное излучение на высоких частотах наблюдается в районе расположения топливных насосов.

Рост среднего эффективного давления и максимального давления сгорания приводит к росту интенсивности пульсаций давления в системе воздухообеспечения ПД, и соответственно к росту уровней звука, излучаемого ПД, в том числе и газовыпускным трактом.

Основной причиной шума на выпуске являются колебания давления в потоке выпускных отработавших газов.

В момент открытия выпускных клапанов газы устремляются из рабочего цилиндра в выпускную систему, что приводит к интенсивному падению давления в цилиндре. Вследствие многократных отражений в цилиндре возникает затухающий газодинамический колебательный процесс. Подобный процесс происходит и в выпускном коллекторе. Изменения давления, возникшие в районе выпускных клапанов, распространяются по длине выпускного коллектора со скоростью, близкой к скорости звука. Кривая колебаний давления в выпускном коллекторе представляет собой периодически повторяющиеся импульсы. Эти импульсы сопровождаются резким периодическим усилением интенсивности шума на выпуске. Периодичность объясняется тем, что каждый импульс давления отработавших газов успевает затухнуть за время до следующего импульса.

В автотранспортных двигателях объем выпускного коллектора имеет порядок объема рабочего цилиндра и площадь сечения, близкую к площади проходного сечения горловины выпускного клапана (или клапанов) при максимальном объеме. Такое соотношение объемов определяет достаточно быстрое выравнивание давлений в цилиндре и выпускном коллекторе (рис. 2).

Они будут различаться на величину гидравлических потерь в клапанной щели или выпускном окне. Резкий подъем давления в системе наблюдается во время свободного выпуска. В дальнейшем характер изменения давления в цилиндре и коллекторе определяется соотношениями эффек-

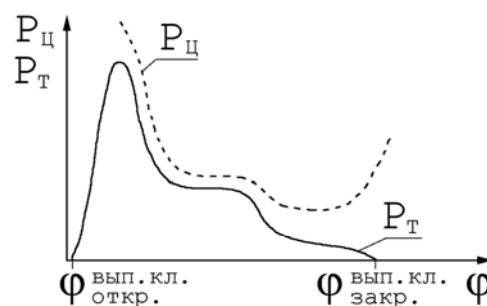


Рис. 2. Изменение давления в выпускном коллекторе по время выпуска газов из цилиндра

тивных проходных сечений выпускных органов, кинематикой поршня, а также объемом самого коллектора. Малый объем выпускного коллектора обуславливает значительные амплитуды колебаний давления газа от давления порядка начала выпуска до давления, близкого к давлению за выхлопным коллектором.

Для многоцилиндровых двигателей, где выпускные патрубки объединяются одним коллектором, необходимо учитывать порядок работы цилиндров во избежание заброса выпускных газов в соседние цилиндры, где процесс выпуска только начинается. На рис. 3 представлен пример схемы объединения выпускных патрубков шестицилиндрового двигателя с порядком работы 1-5-3-6-2-4.

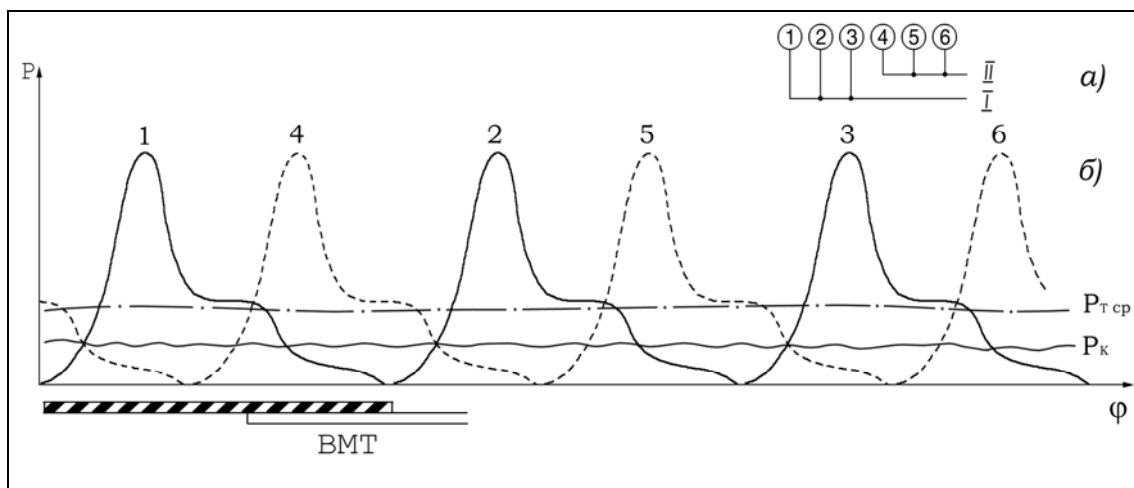


Рис. 3. Диаграммы изменения давления в выпускных коллекторах шестицилиндрового двигателя

Наличие сложных колебательных процессов выпускных газов, а также вихреобразования на конструктивных элементах газовыпускного тракта обуславливает сплошной спектр шума на выпуске.

В спектре шума на выпуске можно выделить ряд составляющих. Наиболее интенсивные из них обычно кратны числу тактов выпуска и подсчитываются по формуле:

$$f_{\text{вып}} = k \frac{ni}{60z}, \quad (1)$$

где: n – число оборотов коленчатого вала дизеля в минуту; i – число рабочих цилиндров дизеля; z – коэффициент тактности (1 – для двухтактных

двигателей, 2 – для четырехтактных); $k = 1, 2, 3, \dots$ – порядок гармоники основного тона.

В спектре шума на выпуске наряду с интенсивными составляющими, частота которых кратна частоте тактов выпуска, имеются также составляющие шума, возникающие вследствие вихреобразования при протекании струи газа через переменное сечение выпускного клапана.

В проходных сечениях выпускных клапанов вследствие больших скоростей выхлопных газов образуются вихри, вызывающие так называемые щелевые звуки высокой частоты. Частота щелевого звука может быть определена по эмпирической формуле [1]:

$$f_{\text{вып}} = \frac{ku}{S}, \quad (2)$$

где: u – скорость потока газа в проходном сечении выпускного клапана в м/сек; S – площадь проходного сечения в м²; k – коэффициент пропорциональности, обычно принимаемый 0,04 м.

В связи с непрерывным изменением площади проходных сечений выпускных клапанов и объемов цилиндров в процессе такта выпуска, можно полагать, что спектр шума на выпуске, в большой мере обусловленный щелевыми звуками, будет также непрерывным.

Как показали исследования [1], интенсивность шума на выпуске пропорциональна 8-й степени скорости пульсации выхлопных газов, что и определяет высокий уровень воздушного шума на выпуске.

Кроме того, шум на выпуске характеризуется большой нестационарностью во времени, что оказывает существенное влияние на его субъективное восприятие.

Общий уровень и спектральный состав шума на выпуске в основном определяются числом оборотов коленчатого вала дизеля, числом рабочих цилиндров, величиной противодействия выпуску и «время-сечением» выпускных клапанов.

Вместе с тем уровень и частотный состав шума на выпуске зависят также от формы и размеров камеры сгорания и всего выпускного тракта.

Для снижения шума на выпуске следует уменьшать скорость пульсаций давления отработавших газов и препятствовать распространению шума через выпускные клапаны в атмосферу в момент их открытия.

Эффективным методом снижения шума на выпуске является уменьшение амплитуды колебания давления в самом выпускном коллекторе за счет специального его конструктивного выполнения с тем расчетом, чтобы волны давления отработавших газов накладывались в нем одна на другую в противофазе.

Введение газовой турбины в выпускной тракт также позволяет уменьшить интенсивность шума на выпуске. При прохождении потока отработавших газов через проточную часть турбины происходит превращение энергии газов в механическую работу. Поэтому на выходе из турбины поток выпускных газов становится более равномерным, а шум – ослабленным.

В настоящее время уменьшение скорости пульсаций давления выпускных газов достигается в основном установкой глушителей с расширительными камерами. Выбор типа глушителя определяется частотным составом шума на выпуске и требуемой величиной заглушения. Кроме того, снижение шума выпуска производится путем соответствующей звуко- и виброизоляции выпускного трубопровода.

Значительное снижение шума ПД в целом может быть достигнуто выбором рациональной конструкции глушителя выпуска еще на стадии разработки двигателя с учетом прогнозируемых санитарных норм по уровню производимого шума.

2. НАЗНАЧЕНИЕ ГЛУШИТЕЛЕЙ ШУМА ВЫПУСКА

Назначение глушителя шума выпуска двигателя состоит в сглаживании пульсаций потока отработавших газов на величину, обеспечивающую выполнение требований санитарных норм по уровню шума на выходе газового потока из выхлопного коллектора в свободное пространство.

Пульсации газового потока можно сгладить двумя путями:

1. Превращением энергии пульсации газового потока в тепловую энергию. Для этого двигатель внутреннего сгорания следует нагрузить акустическим сопротивлением, в котором осуществляется поглощение энергии пульсирующего газового потока, а постоянный поток газа пропускается в окружающую среду неослабленным.

2. Не пропускать энергию пульсации из источника в окружающую среду. Для этой цели ПД следует нагружать реактивным акустическим сопротивлением, представляющим собой глушитель, работающий на принципе акустического фильтра. В подобном глушителе энергия пульсации газового потока возвращается источнику, а постоянная составляющая потока беспрепятственно выпускается в окружающую среду.

Во всех случаях глушения шума выпуска двигателя постоянный поток газа должен выпускаться в среду с возможно меньшим сопротивлением.

3. ТИПЫ ГЛУШИТЕЛЕЙ ШУМА ВЫПУСКА

В соответствии с механизмом ослабления шума выпуска, глушители классифицируются на:

- активные (диссипативные) глушители;
- реактивные глушители.

Глушители реактивного типа подразделяются на расширительные (однокамерные и многокамерные) и резонансные. Сравнительные характеристики глушителей различных типов представлены в таблице 1.

Таблица 1. Сравнение характеристик глушителей различных типов

Тип глушителя	Преимущества	Недостатки
Активные	Широкополосное ослабление, малые потери давления	Чувствительность к загрязнению и механическому разрушению
Реактивные: Резонансные	Настраиваемое ослабление, нечувствительность к загрязнению	Узкополосное ослабление, чувствительность к параметрам потока
Отражательные	Прочный элемент, возможность использования при высоких пульсациях давления, высоких уровнях звука, загрязняющих потоках, сильных механических вибрациях	Большие потери давления, наличие акустических полос прозрачности (частотные полосы с малым или нулевым ослаблением), чувствительность акустических характеристик к параметрам потока

3.1. Активные глушители

Эти глушители обеспечивают широкополосное ослабление звука преобразованием звуковой энергии в тепловую при относительно малых потерях давления.

Активные глушители разделяют на глушители с последовательным включением акустического сопротивления, представляющие собой трубопровод, в котором установлены перфорированные перегородки, и глушители с параллельным включением акустического сопротивления, представляющие собой трубопровод, облицованный изнутри звукопоглощающим материалом.

В связи с возможностью образования налета или забивания поверхности звукопоглощающего материала выхлопными газами, а также механическим разрушением пористых поглотителей, изготовленных из хороших волокнистых материалов или тонкостенных структур, сильно изменяющимся по амплитуде давлением активные глушители для ослабления шума выпуска практически не применяются.

3.2. Резонансные реактивные глушители

Эти глушители обеспечивают преобразование пульсаций и колебаний газа в звуковую энергию и поглощают звук. Простые резонаторы устанавливают как боковые ответвления в стенках канала (рис. 4).

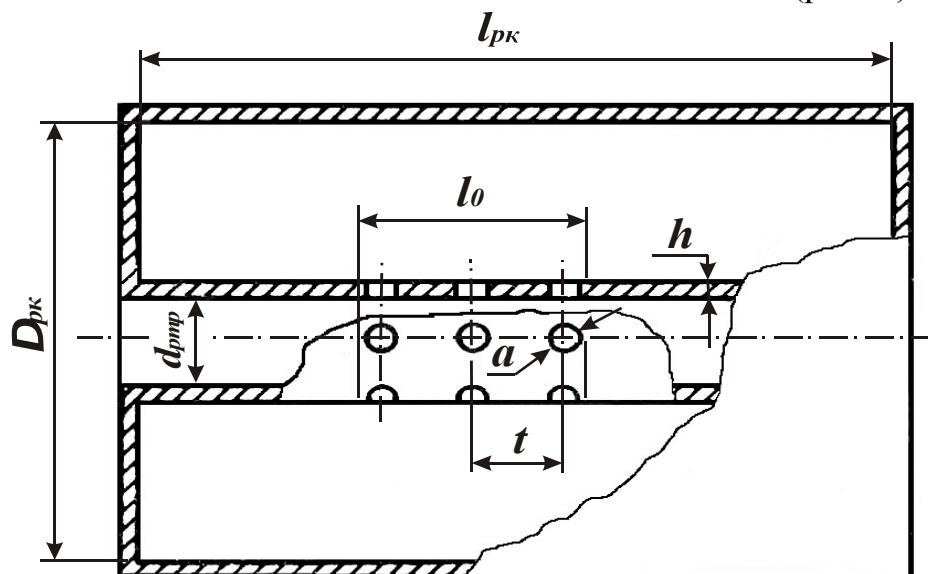


Рис. 4. Схема реактивного резонансного глушителя

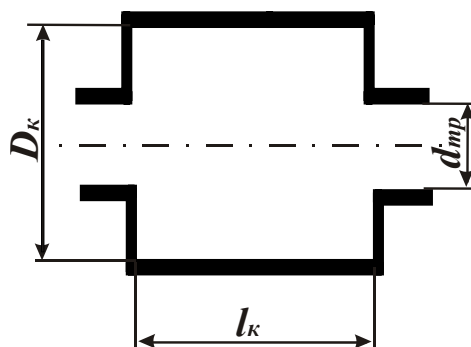
Резонаторы настроены преимущественно на низкие или промежуточные частоты, на которых требуется ослабление. Характеристика ослабления ограничена узким частотным диапазоном и чувствительна к проходящему потоку и может (при определенных неблагоприятных условиях) стать отрицательной, что приведет к генерации тонального звука.

Группы резонаторов используют как облицовку канала или разделительные элементы (дефлекторы) в трубах, что ограничивает падение давления.

3.3. Отражательные реактивные глушители

Отражательные глушители обеспечивают преобразование пульсаций и колебаний газа в звуковую энергию. Обычно эти глушители выбирают из-за их прочности, когда применение диссипативных глушителей менее удобно и допустимы повышенные потери давления. Такие ситуации наблюдаются в запыленных и задымленных газовых потоках, при высоких скоростях и давлениях потока, сильных механических вибрациях (рис. 5).

а) Одно-камерный глушитель



б) Двух-камерный глушитель

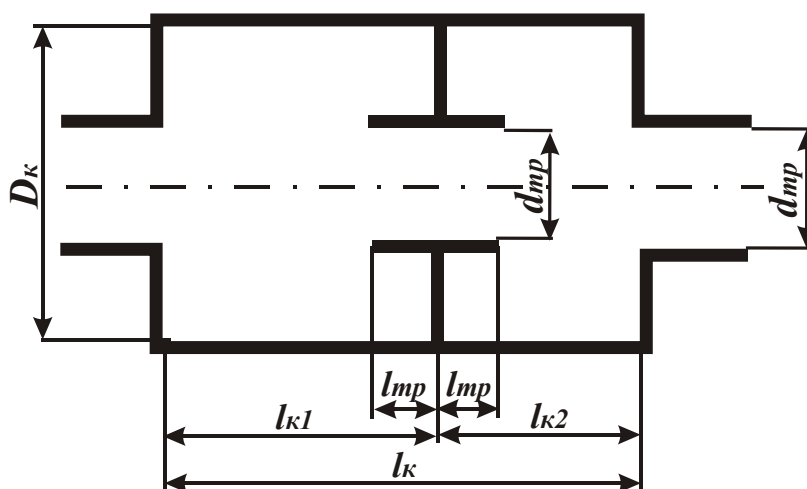


Рис. 5. Схемы отражательных реактивных глушителей

Максимальное ослабление и частоты, на которых оно имеет место, зависит от параметров потока, значения которых зависят от режима работы двигателя. В некоторых частотных полосах возможны малые или отрицательные значения ослабления. Поэтому акустический расчет глушителя необходимо проводить не только для номинального режима работы, но и для частичных нагрузок.

4. АКУСТИЧЕСКИЙ РАСЧЕТ ГЛУШИТЕЛЯ РЕАКТИВНОГО ТИПА

Согласно многочисленным опытным данным [1, 2, 3], однокамерные расширительные глушители используются при значениях $\Delta L_{mp} < 15$ дБ; при $\Delta L_{mp} > 15$ дБ целесообразно использовать глушитель с двумя расширительными камерами. Увеличение числа камер более двух приводит к существенному увеличению гидравлического сопротивления при незначительном росте ослабления шума. При необходимости возможна установка двух глушителей отдельно.

При наличии в спектре шума выпуска двигателя на отдельных частотах интенсивных тональных составляющих, используются резонансные глушители, настроенные на ослабление на этих частотах.

Как правило, в реальных условиях конструкция глушителя расширительного типа состоит из расширительных и резонансных камер, что позволяет получить частотную характеристику без особых провалов в широком диапазоне частот.

Суммарная эффективность комбинированного глушителя определяется:

$$\Delta L_{ГЛ} = \Delta L_{КГЛ} + \Delta L_{РГЛ} . \quad (3)$$

Для тепловозных, судовых и дизель-генераторных установок наружную поверхность глушителей покрывают теплоизоляционным материалом, что дает дополнительный эффект шумоглушения за счет диссипации энергии колебаний.

4.1. Подготовка исходных данных для расчета

4.1.1. Параметры двигателя

Площадь сечения трубопровода выхлопного коллектора двигателя и скорость звука в выхлопных газах определяются экспериментально или в результате расчета рабочего процесса по методике разработанной на кафедре ДВС СПбГПУ.

В результате расчета рабочего процесса двигателя определяются:

Расход газов на номинальной мощности, м³/с – Q ;

Температура газов на входе в глушитель, К – T_r ;

Допустимое противодавление на выходе из выхлопного коллектора двигателя, МПа – p_r ;

Диаметр выходного отверстия выхлопного коллектора, м – d_{mp} .

На основании полученных данных определяются скорость потока газа u и скорость звука c в выпускном трубопроводе двигателя:

$$u = Q / S_{mp}, \quad c = \sqrt{kRT}, \quad (4)$$

где: $S_{mp} = \pi d_{mp}^2 / 4$ – площадь проходного сечения трубопровода; $k = 1,34$ – показатель адиабаты выпускных газов; $R = 287$ Дж/кг·К – газовая постоянная; $T = T_r - \Delta T$ – температура газа в глушителе; ΔT – поправка на охлаждение газов в выпускном тракте (в зависимости от длины выпускного трубопровода ΔT может достигать 50...80 °).

4.1.2. Параметры глушителя

Акустическая эффективность глушителя определяется разностью уровней шума, излучаемого выпускным отверстием выхлопного коллектора без глушителя и с глушителем. Уровень требуемого ослабления шума выпуска глушителем при измеренных уровнях давления в октавных полосах частот определяется по формуле [3]:

$$\Delta L_{mp} = L_{изм} - L_{дон} - 20 \lg(r/r_0) + 5, \quad (5)$$

где: $L_{изм}$ – измеренные уровни шума, излучаемого выпускным отверстием выхлопного коллектора без глушителя, в октавных полосах частот (пример протокола измерения уровней шума дизелем представлен в Приложении 1);

$r_0 = 1,0$ м – стандартное расстояние от выпускного отверстия выхлопного коллектора до точки измерения; r – текущее расстояние по прямой от выпускного отверстия выхлопного коллектора до расчетной точки (в большинстве случаев для определения уровня шума в рабочей зоне в помещении энергетического отделения (дизель-электростанция, судно и т.п.) можно принять $r = 1,0$ м); L_{don} – допустимый уровень звукового давления согласно ГОСТ 12.1.003-83 «ШУМ. Общие требования безопасности».

Пример определения требуемого ослабления уровня шума в рабочей зоне в помещении энергетического отделения морского судна представлен в таблице 2.

Таблица 2. Определение требуемого ослабления уровня шума

Уровень звукового давления, дБ	Среднегеометрические частоты октавных полос							
	$f, \text{Гц}$							
	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
$L_{изм}, \text{дБ}$	102	97	106	104	107	102	99	97
$L_{don}, \text{согласно ГОСТ 12.1.003-83, дБ}$	95	87	82	78	75	73	71	69
$\Delta L_{mp}, \text{дБ}$	12	15	29	31	37	34	33	33

Частотная характеристика проектируемого глушителя $\Delta L_{ГЛ}$ во всем диапазоне частот должна соответствовать требуемому ослаблению шума ΔL_{mp} , т.е. должно выполняться условие: $\Delta L_{ГЛ} >$ или $= \Delta L_{mp}$

В общем случае тип и конструктивные параметры глушителя выбираются с учетом:

1. требуемой частотной характеристики ослабления шума;
2. допустимого противодавления;
3. условий размещения в машинном отделении (тепловоза, судна, дизель-генератора и т.п.).

В связи с тем, что настоящая методика предусматривает только акустический расчет без привязки к конкретному объекту (дизель-электрическая станция, транспортное средство и т.п.), при выборе типа и конструктивных параметров глушителя учитывается только требуемая частотная характеристика ослабления шума.

4.2. Акустический расчет глушителей ДВС

4.2.1. Однокамерные глушители

Эффективность $\Delta L_{КГЛ}$ однокамерного реактивного глушителя (см. рис. 5, а) определяется по формуле:

$$\Delta L_{КГЛ} = 10 \lg \left[1 + \frac{1}{4} \left(m - \frac{1}{m} \right)^2 \sin^2 kl_{\kappa} \right], \text{ дБ}, \quad (6)$$

где: l_{κ} – длина расширительной камеры глушителя, м; $m = S_{\kappa} / S_{mp}$ – коэффициент расширения; S_{κ} – площадь сечения расширительной камеры глушителя, м²; S_{mp} – площадь сечения трубопровода выхлопного коллектора двигателя, м²; $k = \frac{2\pi f}{c}$ – волновое число; f – среднегеометрические частоты октавных полос, Гц; c – скорость звука в выхлопных газах, м/с.

В основу вывода формулы (6) положены следующие допущения:

- а) давление в звуковой волне пренебрежимо мало по сравнению со средним давлением в системе;
- б) в трубопроводе отсутствуют отраженные волны;
- в) стенки глушителя не проводят и не передают звуковую энергию;
- г) рассматриваются только плоские волны давления;
- д) влиянием вязкости среды можно пренебречь.

Формула устанавливает зависимость между снижением уровня шума на заданной частоте и размерами конструкции глушителя, основными из которых являются: диаметр входного отверстия, диаметр и длина глушителя. Решение находится последовательным подбором размеров.

4.2.2. Двухкамерные глушители

Эффективность $\Delta L_{КГЛ}$ двухкамерного реактивного глушителя (см. рис. 5,б) определяется по формуле:

$$\Delta L_{КГЛ} = 10 \lg (A^2 + B^2), \text{ дБ}, \quad (7)$$

где:

$$A = \cos kl_{ГЛ} - (m - 1) \sin kl_{ГЛ} \operatorname{tg} kl_{TP}, \quad (8)$$

$$B = 0,5 \cdot (B_1 + B_2), \quad (9)$$

$$B_1 = [(m + 1/m) \sin kl_{ГЛ}], \quad (10)$$

$$B_2 = 2m(m - 1) \operatorname{tg} kl_{ТР} \left(\frac{1}{m^2} \cos kl_{K1} \cos kl_{K2} - \sin kl_{K1} \sin kl_{K2} \right), \quad (11)$$

в которых: l_{κ} – общая длина расширительных камер глушителя, м; l_{K1} , l_{K2} – длина первой и второй расширительных камер, м; $l_{ТР}$ – длина соединительного трубопровода, м.

4.2.3. Резонансные глушители

Для оценки эффективности $\Delta L_{РГЛ}$ резонансного глушителя (см. рис. 4) на практике используют разные формулы в зависимости от длины резонансного глушителя. При длине резонансного глушителя $l_{рк} \leq 0,4\lambda_{рез}$, его эффективность определяется по формуле:

$$\Delta L_{РГЛ} = 10 \lg \left[1 + \left(\frac{(\sqrt{c_0 V_{ргл}}) / 2S_{ртр}}{f - 1/f} \right)^2 \right], \quad (12)$$

где: $S_{ртр}$ – площадь проходного сечения резонансной трубы, м²; $\lambda_{рез} = c / f_{рез}$ – длина звуковой волны на резонансной частоте $f_{рез}$;

$f_{рез} = \frac{c}{2 \cdot \pi} \sqrt{\frac{c_0}{V_{ргл}}}$ – резонансная частота глушителя, Гц; $\sqrt{\frac{c_0}{V_{ргл}}}$ – резонанс-

ный параметр; $c_0 = \frac{0,785 a^2 n_0}{h + 0,785 a / \gamma}$ – проводимость отверстий, соединяющих

резонансную трубу с резонансной камерой, м; a – диаметр отверстий в резонансной трубе, м; h – длина отверстия (равна толщине стенки резонансной трубы), м; n_0 – количество отверстий в резонансной трубе;

$\gamma \left(\frac{a}{t} \right) = \left(1 - 1,4093 \frac{a}{t} + 0,3382 \frac{a^2}{t^2} + 0,0679 \frac{a^5}{t^5} + \dots \right)^{-1}$ – функция Фока; t – шаг

между отверстиями, м; $V_{ргл} = 0,785 [D_{рк} - (d_{мп} + 2h)^2] l_{рк}$ – объем рабочей камеры резонансного глушителя, м³; $D_{рк}$ – диаметр резонансного глушителя,

м; $d_{пр}$ – диаметр проходного сечения резонансной трубы, м; $\bar{f} = f / f_{рез}$ – безразмерная частота; f – среднегеометрические частоты октавных полос, Гц.

При длине резонансного глушителя $l_{рк} \geq 0,4\lambda_{рез}$, эффективность глушения определяется по формуле:

$$\Delta L_{РГЛ} = 10 \lg \left[1 + \left(\frac{m}{\frac{kS_{рк}}{c_0} - ctg \frac{kl_{рк}}{2}} \right)^2 \right], \quad (13)$$

Расчет акустической проводимости отверстий c_0 проводится для резонансной частоты $c_0/V_{ргл} = [2\pi f_{рез}/c]^2$.

Количество отверстий n_0 , необходимое для требуемого ослабления уровня шума, рассчитывается по формуле:

$$n_0 = [c_0(h+0,785a/\gamma)] / (0,785a^2). \quad (14)$$

Из представленных формул видно, что чем больше объем резонансной камеры $V_{ргл}$ и чем меньше проводимость соединительных отверстий c_0 , тем ниже резонансная частота глушителя. Эти параметры очень важны, так как они определяют настройку резонансного глушителя на глушение соответствующих частотных составляющих спектра шума.

При выводе формул (12) и (13) использованы следующие допущения:

- а) давление в звуковой волне пренебрежимо мало по сравнению со средним давлением в системе;
- б) в трубопроводе отсутствуют отраженные волны;
- в) стенки глушителя не проводят и не передают звуковую энергию;
- г) во входной и выпускной трубах глушителя распространяются только плоские волны;
- д) влиянием вязкости можно пренебречь всюду, за исключением труб, соединяющих входную трубу с резонансной камерой;
- е) размеры резонатора малы по сравнению с заглушаемой волной.

4.3. Порядок проведения расчета по определению основных конструктивных размеров глушителей

4.3.1. Общие рекомендации

1. На основании протокола испытаний, выдаваемого преподавателем (см. Приложение 1), и требований ГОСТ 12.1.003-83 [4], составляется таблица требуемого ослабления шума в зависимости от частоты.

2. Определяется частотная полоса, в которой требуется максимальное ослабление шума $f_{max}(\Delta L_{эл max})$.

3. На основании рекомендаций приведенных выше определяется типовая конструкция глушителя (для $\Delta L_{mp} < 15$ дБ – однокамерный глушитель; для $\Delta L_{mp} > 15$ дБ – двухкамерный глушитель).

4. С увеличением диаметра трубопровода до величин соизмеримых с длиной волны заглушаемого звука, звуковые волны не могут считаться плоскими. В этом случае расчетные характеристики расходятся с экспериментальными и справедливы лишь для низких частот. В связи с изложенным, при разработке конструкции глушителя необходимо стремиться к тому, чтобы поперечные размеры труб и камер глушителя не превышали половины длины волны заглушаемого звука.

4.3.2. Порядок расчета реактивных однокамерных глушителей

1. Исходя из условия сохранения плоского волнового фронта в глушителе определяется значение диаметра расширительной камеры глушителя D_k для f_{max} : $D_k \leq (c / 2 f_{max})$.

2. Определяется значение m по формуле: $m = (D_k / d_{mp})^2$.

3. Определяется длина расширительной камеры для f_{max} : $l_k = \frac{c}{4 f_{max}}$.

4. Определяется величина ослабления шума $\Delta L_{ГЛ}$ для каждой частотной полосы и проверяется условие $\Delta L_{ГЛ} >$ или $= \Delta L_{mp}$.

5. В случае невыполнения условия по пункту 4, необходимо изменить значение m и повторить расчет.

4.3.3. Порядок расчета реактивных двухкамерных глушителей

1. Исходя из условия сохранения плоского волнового фронта в глушителе определяется значение диаметра расширительной камеры глушителя D_k для f_{\max} : $D_k \leq (c / 2f_{\max})$.

2. Определяется значение m по формуле: $m = (D_k / d_{mp})^2$.

3. Для определения начального значения длины глушителя можно воспользоваться формулой [1]:

$$l_k = \frac{V_{zl} \cdot 10^3}{0,785 D_k}, \quad V_{zl} = k \frac{s}{n} \sqrt{\frac{1}{i}}, \quad (15)$$

Где: V_{zl} – объем глушителя, л; s – ход поршня, см; n – скорость вращения коленчатого вала, об/мин; i – число цилиндров; k – коэффициент, учитывающий условия эксплуатации (изменяется в пределах $5 \cdot 10^3 \dots 5 \cdot 10^4$).

4. Для определения длин камер глушителя вводится параметр $z = l_{k1} / l_{k2}$. Тогда $l_k = (1 + z) \cdot l_{k2}$. При этом: $0 < z < 1,0$.

5. Задаваясь значениями m , l_k и z определяется величину ослабления шума $\Delta L_{ГЛ}$ для каждой частотной полосы и проверяется условие $\Delta L_{ГЛ} >$ или $= \Delta L_{mp}$.

6. В случае невыполнения условия пункта 5, изменяется значение m , l_k и z и расчет производится снова.

4.3.4. Порядок расчета реактивных резонансных глушителей

1. Определяются частоты, на которых требуется ослабление шума. Для этого составляется таблица требуемого ослабления в зависимости от частоты. Пример выбора расчетных частот резонансного глушителя для случая, когда проведен расчет эффективности $\Delta L_{КГЛ}$ реактивного двухкамерного глушителя представлен в таблице 3, при анализе которой видно, что можно выделить 3 частоты (125, 2000 и 8000 Гц), на которых требуется дополнительное ослабление шума.

2. По формуле $\frac{c_0}{V_{ргл}} = \left(\frac{6,28 \cdot f_{рез}}{c} \right)^2$ определяется значение отношения проводимости отверстий c_0 и объема $V_{ргл}$.

Таблица 3. Пример выбора расчетных частот для резонансного глушителя

Уровень звукового давления, дБ	Среднегеометрические частоты октавных полос f , Гц							
	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
$\Delta L_{КГЛ}$, дБ	6,8	8,3	23,8	36,3	36,5	30,5	41,8	27,7
$\Delta L_{тр}$, дБ	12	15	29	31	37	34	33	33
$\Delta L_{РГЛ} = \Delta L_{КГЛ} - \Delta L_{тр}$, дБ	-5,2	-6,7	-4,8	5,3	-0,5	-3,5	8,8	-5,3

3. Для требуемого ослабления уровня шума резонансным глушителем $\Delta L_{РГЛ}$ на выбранной частоте, по графикам (рис. 6), определяется величина параметра затухания $\left(\frac{\sqrt{c_0 \cdot V_{рзл}}}{2S_{тр}} \right)$. При выборе числового значения данного параметра следует исходить из того, что увеличение c_0 и $V_{рзл}$ приводит к не только к расширению зоны ослабления и снижению влияния режима работы дизеля, но и к увеличению габаритов и веса глушителя.

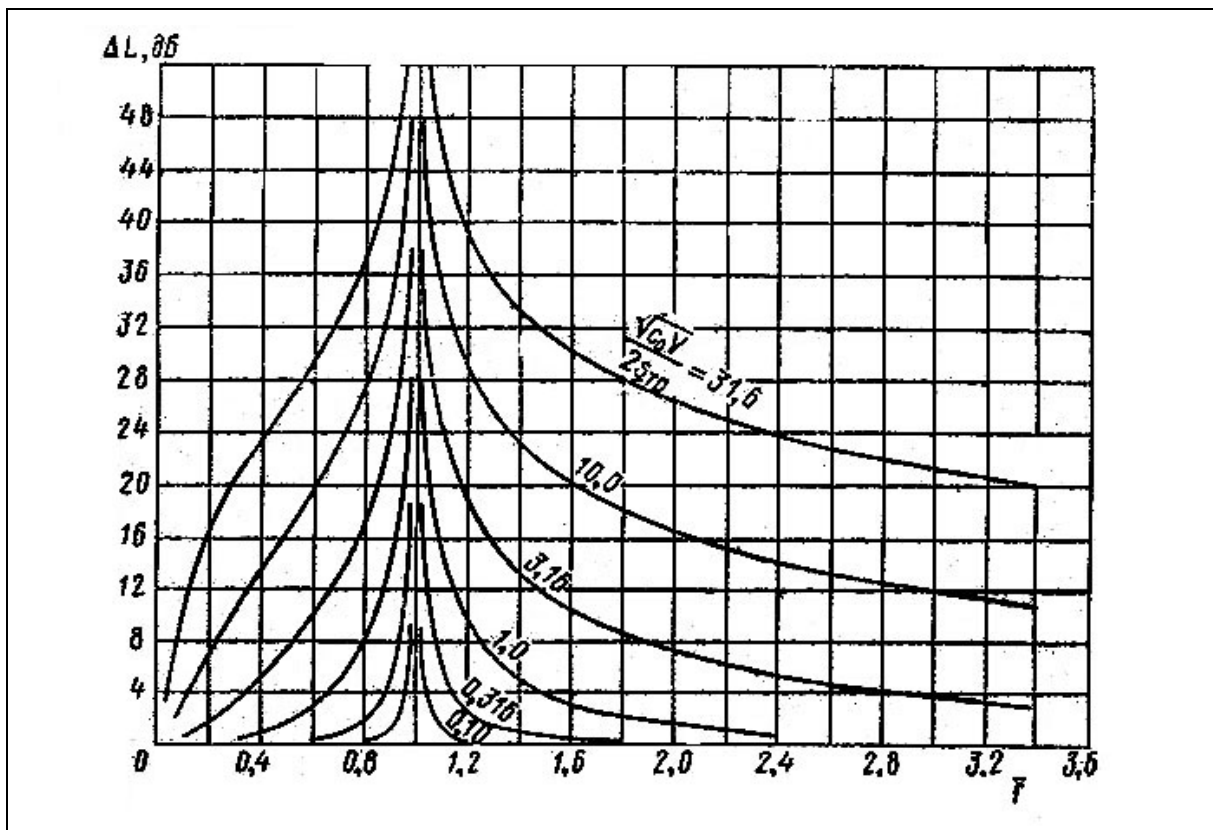


Рис. 6. Расчетные характеристики однокамерного резонансного глушителя

4. По известному значению $S_{прт}$ определяется величина $c_0 \cdot V_{ргл}$.
5. По значениям $c_0/V_{ргл}$ и $c_0 \cdot V_{ргл}$ определяется проводимость c_0 и объем $V_{ргл}$.
6. Из конструктивных соображений назначаются диаметр глушителя $D_{рк}$ и его длина и $l_{рк}$.
7. По условию $l_{рк} \leq или \geq 0,4\lambda_{рез}$ выбирается формула и производится расчет ослабления шума $\Delta L_{ргл}$.

Если в результате расчета не выполняются условия по требуемому ослаблению шума, следует задать новые параметры и повторить расчет.

8. По известному значению проводимости c_0 , задаваясь диаметром отверстий a , длиной отверстий h и шагом t , определяется необходимое количество отверстий n_0 . При этом протяженность расположения отверстий должна удовлетворять условию $l_0 \leq \lambda_{рез} / 12$, а шаг условию $t \geq 1,2a$.

Из соображений прочности и надежности минимальный шаг принимается равным $1,5a$. Длина соединительных отверстий h определяется толщиной резонансной трубы, которые изготавливаются из сортового проката с толщинами стенок 1 мм, 1,5 мм, 2 мм, 2,5 мм, 3 мм, 6 мм и т.д. Поэтому на практике при расчете резонансных глушителей изменятся только диаметр a .

9. Если полученное количество отверстий не может быть размещено на внутренней трубе глушителя, необходимо задаться новыми значениями a , t и h и вновь определить число отверстий n_0 .

Расчет основных размеров конструкции глушителя необходимо проводить на ЭВМ с использованием Microsoft Excel или программного комплекса оптимизационного расчета глушителей, разработанного на каф. ДВС СПбГПУ на основе описанной выше методики. Курсовую работу следует оформлять в среде Microsoft Word.

Пример оформления курсовой работы и результатов расчета комбинированного глушителя, состоящего из двух расширительных и трех резонансных камер, представлен в Приложении 1.

Рекомендации для использования программного комплекса оптимизационного расчета глушителей изложена в Приложении 2.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. **Скобцов Е.А.** Методы снижения вибраций и шума дизелей / Е.А. Скобцов, А.Д. Изотов, Л.В. Тузов. – Л. : Ленинградское отделение машгиза, 1962. – 192 с.
2. **Скуридин А.А.** Борьба с шумом и вибрацией судовых ДВС / А.А. Скуридин, Е.М. Михеев. – Л.: Судостроение. 1970, – 220 с.
3. Справочник по судовой акустике. Под общ. ред. И.И. Клюкина и И.И. Боголепова. Л.: Судостроение, 1978. – 503 с.
4. ГОСТ 12.1.003-83. Система стандартов безопасности труда. Шум. Общие требования безопасности. – М.: Стандартиформ, 2008. – 12 с.
5. ГОСТ 31328-2006 (ИСО 14163:98). Шум. Руководство по снижению шума глушителями. – М.: Стандартиформ, 2007. – 42 с.
6. ГОСТ 31324-2006 (ИСО 14163:98). Шум. Определение характеристик глушителей при испытаниях на месте установки. – М.: Стандартиформ, 2007. – 25 с.
7. ГОСТ Р 51401-99 (ИСО 3744-94). Шум машин. Определение уровней звуковой мощности источников шума по звуковому давлению. Технический метод в существенно свободном звуковом поле над звукоотражающей плоскостью. – М.: Издательство стандартов, 2000. – 20 с.
8. ГОСТ Р 51402-99 (ИСО 3746-95). Шум машин. Определение уровней звуковой мощности источников шума по звуковому давлению. Ориентировочный метод с использованием измерительной поверхности над звукоотражающей плоскостью. – М.: Издательство стандартов, 2000. – 16 с.
9. Directive 2000/14/EC of the European Parliament and of the Council of 8 May 2000 on the approximation of the laws of the Member States relating to the noise emission in the environment by equipment for use outdoors. Official Journal L 162, 03/07/2000, P. 0001 – 0078.
10. Directive 2003/10/EC of the European Parliament and of the Council of 6 February 2003 on the minimum health and safety requirements regarding the exposure of workers to the risks arising from physical agents (noise) (seventeenth individual directive within the meaning of article 16(1) of directive 89/391/EEC)

Пример оформления курсовой работы

Общие положения

Цель выполнения курсовой работы – закрепление и углубление знаний по курсу «Системы двигателей», приобретение навыков расчетной работы, пользования специальной литературой и составления отчетной технической документации.

Курсовая работа выполняется на основании задания, выдаваемого в VIII семестре, в котором указывается назначение, мощность, частота вращения коленчатого вала, тактность, размер и число цилиндров двигателя и уровни шума выпуска в октавных полосах частот.

Пояснительная записка должна включать следующие разделы:

1. обоснование принятой схемы глушителя и общей компоновки системы выпуска отработавших газов;
2. выбор и обоснование исходных данных для расчета глушителя;
3. акустический расчет глушителя;
4. выводы по курсовой работе;
5. перечень использованной литературы.

В пояснительной записке, объемом 5...10 страниц формата А4, кроме собственно результатов расчетов должна быть представлена схема проточной части глушителя с размерами.

Протокол

измерения воздушного шума двигателя внутреннего сгорания

Тип дизеля: судовой дизель-генератор мощностью $N_e = 700$ кВт,
 $n = 1500$ об/мин, обозначение по ГОСТ: 6ЧН21/21

Место испытаний ОАО «Дизельный завод».

Крепление к фундаменту на амортизаторах АДПН-1450 (12 шт.).

Измерения производились приборами 7005, 2209 фирмы «Брюль и Кьер».

Замеры выполнялись на номинальном режиме работы двигателя.

Схема расположения точек измерений показана на рис. П1, значения уровней шума представлены в таблице П-1.

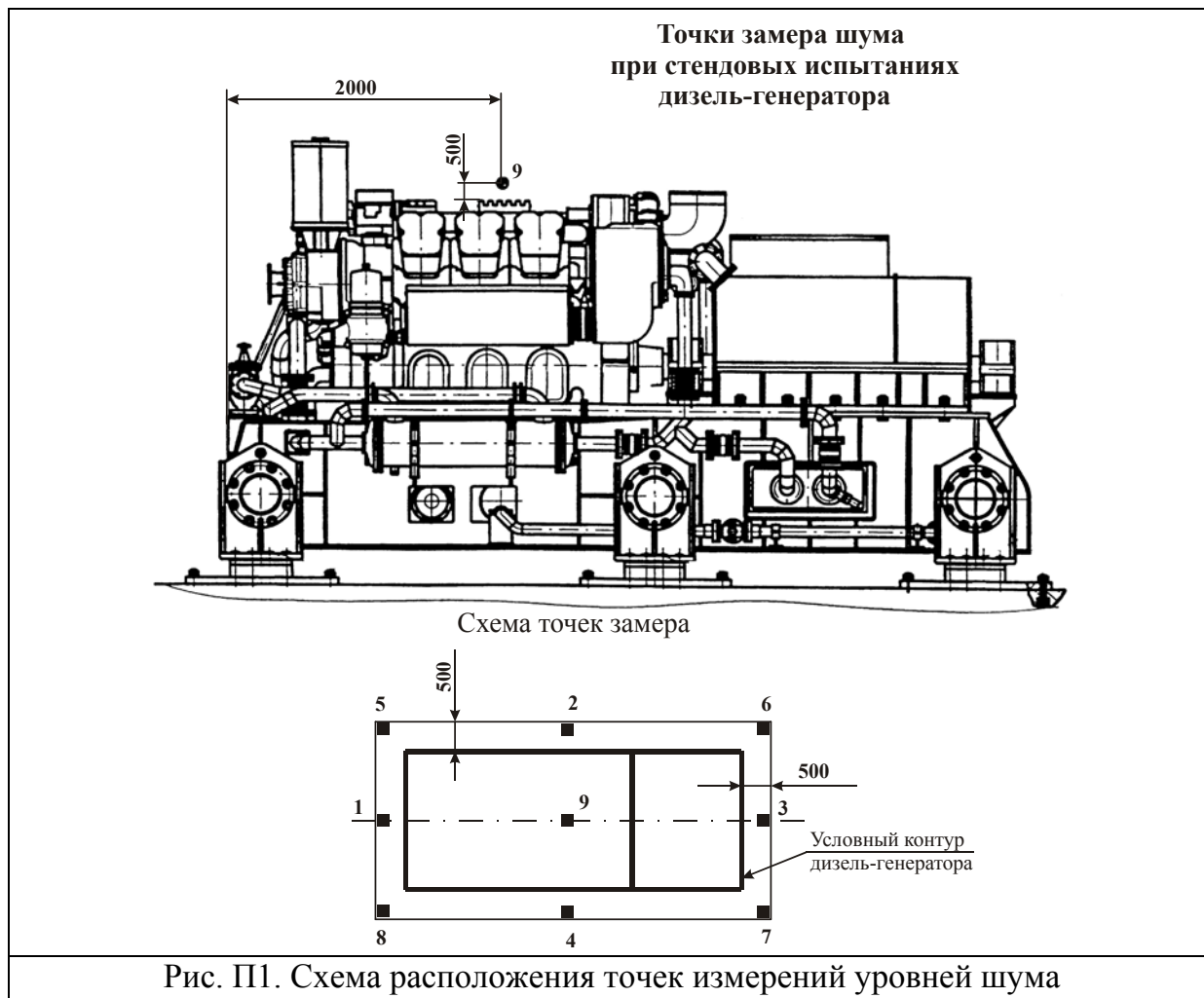


Таблица П-1. Уровни шума в октавных полосах частот, дБ

f , Гц	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
т. 1	97	95	104	102	105	102	100	96
т. 2	100	100	105	106	106	101	98	98
т. 3	98	101	104	103	105	101	97	96
т. 4	102	97	106	104	107	102	99	97
т. 5	98	101	104	103	104	102	101	97
т. 6	99	97	106	102	105	100	97	96
т. 7	103	97	107	104	106	101	98	98
т. 8	96	99	105	103	107	101	99	98
т. 9	101	99	104	102	106	102	101	98
$L_{\text{макс}}$								
$L_{\text{хар}}$	102	97	106	104	107	102	99	97

Для выполнения акустического расчета необходимо произвести расчет рабочего процесса двигателя (как правило, для номинального режима работы). Результаты расчета сводятся в таблицу П-2.

Таблица П-2. Результаты расчета рабочего процесса дизеля

№ п/п	Наименование параметра	Значение
1	Скорость вращения коленчатого вала	1500 об/мин
2	Расход топлива	161,0 кг/час
3	Коэффициент избытка воздуха	2,02
4	Расход отработавших газов	4805,0 кг/час
5	Температура отработавших газов	773,0 К
6	Скорость звука в потоке отработавших газов	558,8 м/с

Далее производится оптимизационный акустический расчет по методикам, описанным в п. 4.3. Его результаты сводятся в таблицу вида П-3. Выбранные при проведении расчета конструктивные параметры глушителя сводятся в таблицу вида П-4. Выполняется эскизный чертеж глушителя, аналогичный представленному на рис. П2.

Таблица П-3. Результаты расчета акустической эффективности конструкции комбинированного глушителя

№ п/п	Расчетная частота, Гц	Эффективность шумоглушения, дБ				
		2-х камерный глушитель	резонансные вставки			Суммарный эффект
			1-я	2-я	3-я	
	f	$\Delta L_{кгл}$	ΔL_{p2l1}	ΔL_{p2l2}	ΔL_{p2l3}	ΔL_{Σ}
1	63	6,775	0,516	0,578	1,086	8,955
2	125	8,415	1,851	2,806	7,139	20,211
3	250	23,817	5,858	25,633	0,422	55,730
4	500	36,294	19,339	2,350	0,080	58,062
5	1000	36,490	10,303	0,488	0,019	47,300
6	2000	30,446	3,437	0,116	0,005	34,004
7	4000	41,863	1,009	0,029	0,001	42,902
8	8000	27,742	0,266	0,007	0,000	28,016

Таблица П-4. Конструктивные размеры комбинированного глушителя

№ п/п	Наименование конструктивного элемента глушителя		Значение, м
1	Общая длина глушителя		1,420
2	Длина 1-й расширительной камеры		0,885
3	Длина 2-й расширительной камеры		0,365
4	Длина резонансных вставок		0,17
5	Диаметр трубы на входе и на выпуске из глушителя		0,252
6	Диаметр расширительной камеры		0,7
7	Диаметр резонансной камеры		0,7
8	Диаметр резонансной трубы		0,5
9	Толщина стенки резонансной трубы		0,006
10	Диаметр резонансных отверстий		0,01
11	Шаг между отверстиями		0,02
12	Количество отверстий (отверстия размещаются равномерно на боковых поверхностях резонанс- ных труб), шт.	Длина камеры, м:	
		0,07	200
		0,05	40
		0,05	8

По результатам проведенного расчета в конце записки формулируются выводы, отражающие основной результат работы. К примеру, выполненный в данном примере расчет комбинированного глушителя, позволил определить конструктивные размеры, обеспечивающие требуемую акустическую эффективность во всем частотном диапазоне (см. таблицу 5).

Таблица П-5. Оценка эффективности разработанного глушителя

Наименование параметра	Среднегеометрические частоты полос, Гц							
	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
Заданная шумовая характеристика дизеля, дБ	102	97	106	104	107	102	99	97
Допустимые уровни шума, дБ	95	87	82	78	75	73	71	69
Необходимое заглушение, дБ	7	10	24	26	32	29	28	28
Эффективность разработанной конструкции, дБ	8,9	20,2	55,7	58,0	47,3	34,0	42,9	28,0

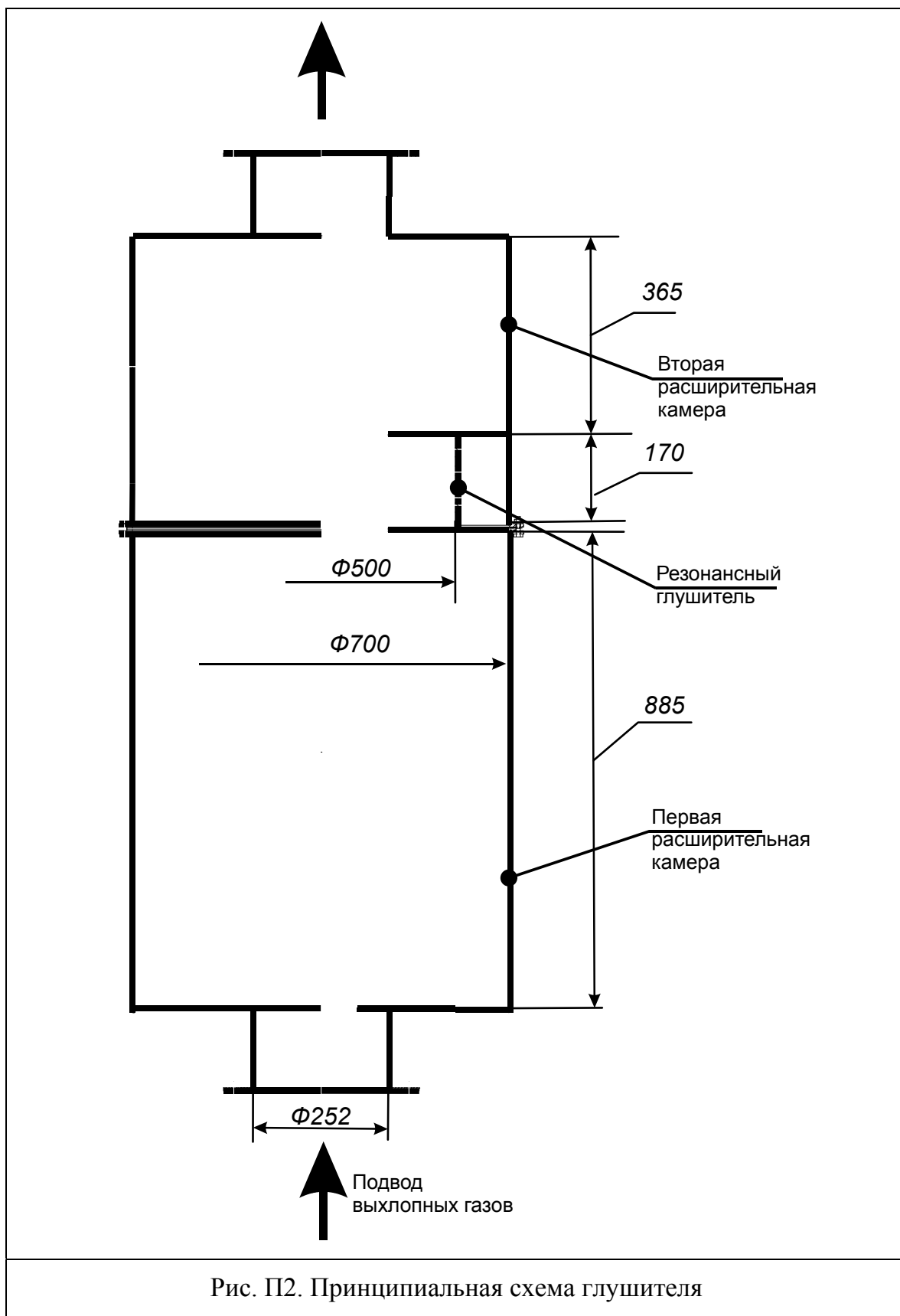


Рис. П2. Принципиальная схема глушителя

Инструкция по использованию программного комплекса оптимизационного расчета глушителей

1. Назначение

Настоящий комплекс программ разработан на основе методик, описанных в настоящем пособии, и предназначен для оптимизационного расчета реактивных глушителей шума выпуска судовых дизелей.

2. Состав комплекса

В состав комплекса входят два расчетных модуля: оптимизационного расчета отдельных типов глушителей Glusitel.exe и окончательного расчета комбинированного глушителя, состоящего из двухкамерного глушителя и трех резонансных Combiglu.exe. Программы составлены на языке программирования Microsoft Fortran Power Station 1.0.

3. Порядок применения комплекса и его возможности

Основная масса многовариантных расчетов производится при помощи программы Glusitel.exe. Данная программа реализует метод прямого перебора вариантов с возможностью выбора нескольких оптимальных. Программа позволяет производить расчет:

- однокамерного глушителя на поле 21×21 по диаметрам и длинам глушителя (всего от 1-го до 441-го вариантов);
- двухкамерного – на поле $21 \times 21 \times 10 \times 10$ по диаметрам и длинам глушителя, относительной длине второй камеры и длине соединительной трубки (всего от 100 до 44100 вариантов);
- резонансного глушителя на поле 21×21 по диаметрам и длинам глушителя (всего от 1-го до 441-го вариантов) на одной заданной резонансной частоте.

Программа Glusitel.exe позволяет воспользоваться файлом протокола расчета, в котором приводятся характеристики шумоглушения вариантов глушителей (которые определяются как “проходящие” (Да!) и “непроходящие” (нет)), для вывода проходящих вариантов по заданному списку в

отдельный файл для передачи в графический пакет (список определяется после проведения первичного расчета). Для минимизации объема расчетной информации, “непроходящие” варианты в файл протокола могут не выводиться. Критериями для определения “проходящего” варианта являются средний уровень глушения в третьоктавной (или любой другой) полосе частот, который должен быть выше заданного уровня, и количество отрицательных оценок – т.е. число частот, на которых условия шумоглушения не выполняются (обычно задают не более 3-х, т.к. на эти частоты придется устанавливать дополнительный резонансный глушитель, имеющий весьма узкую полосу глушения).

При помощи программы Combiglu.exe производится окончательный расчет характеристики шумоглушения определенного оптимизационным расчетом глушителя. Обычно в состав комбинированного глушителя входит двухкамерный расширительный глушитель и несколько реактивных резонансных глушителей.

4. Файловая структура программы Glusitel.exe

В программу Glusitel.exe исходные данные вводятся через файл исходных данных типа GLU00*.DAT, где * – номер стандартного номера файла (от 1 до 8). Имя исходного файла может быть любым другим, состоящим из 6-ти символов (не более) и имеющим расширение .DAT. Файл может быть отредактирован и записан при помощи любого текстового редактора.

После окончания работы программы на диск выгружаются два файла – GLU***.TXT – файл протокола, в имени которого *** – номер варианта расчета, определенный в файле исходных данных, и GGL***.DAT, содержащий информацию для построения графиков глушения шума в продуктах типа ORIGIN, EXEL и им подобным, позволяющим использовать ASCII кодировку файла.

5. Описание исходных данных, размещаемых в файлах типа GLU00*.DAT

Поскольку программа Glusitel.exe позволяет проводить расчет трех типов глушителей, файлы исходных данных для их расчета имеют свои

особенности. Примеры файлов приведены ниже. В первом столбце – нумерация строк.

*Пример файла исходных данных к расчету
реактивного однокамерного глушителя*

```

1      Дизель АДГР2-630/1500
2      *** Вариант 001 *** Реактивный однокамерный глушитель
3      1      ! Тип расчетной схемы
4      0      ! Протокол: 0 - оптимизированный, 1 - полный
5      6      ! Количество цилиндров в двигателе
6      0.21   ! Диаметр цилиндра [м]
7      0.21   ! Ход поршня [м]
8      1500   ! Частота вращения коленчатого вала двигателя [об/мин]
9      860.   ! Мощность двигателя [кВт]
10     1.520  ! Расход воздуха через двигатель [кг/с]
11     0.230  ! Удельный расход топлива [кг/кВт*час]
12     720.   ! Температура отработавших газов [К]
13     250.0  ! Внутренний диаметр выпускной трубы [мм]
14     1100.0 ! Максимально допустимый диаметр глушителя [мм]
15     500.0  ! Минимальный диаметр глушителя [мм]
16     200.0  ! Шаг расчета по диаметру глушителя [мм]
17     1050.0 ! Максимально допустимая длина глушителя [мм]
18     50.0   ! Минимальная длина глушителя [мм]
19     250.0  ! Шаг расчета по длине глушителя [мм]
20     21     ! Количество расчетных частот (максимум - 50)
21     25 32 40 50 63 80 100 125 160 200
22     250 315 400 500 630 800 1000 2000 4000 8000
23     16000  ! Расчетные частоты [Гц]
24     9.0 10.0 10.0 10.0 10.0 10.0 10.0 10.0 10.0 10.0
25     10.0 10.0 10.0 10.0 10.0 10.0 10.0 10.0 10.0 10.0
26     10.0   ! Требуемое ослабление уровня шума
           в третьоктавной полосе [Дб]
27     6      ! Количество допускаемых частот с отрицательной оценкой
28     4      ! Количество вариантов, записываемых в файл для графики
           (max 8)

```


29 1 2 3 4 0 0 0
 30 0 ! Номера вариантов расчета для вывода на графику

Пояснения:

Строка 1 – любой текст до 40 символов;

Строка 2 – номер варианта от 001 до 999;

Строка 3 – расчетная схема 1 – однокамерный глушитель;

Строка 4 – если 0, таблицы расчетных параметров выводятся только для “проходящих” вариантов;

Строки 5...26, 28 – не требуют пояснений;

Строка 27 – обычно не более 3-х, но число их может быть увеличено;

Строка 29...30 – номера выбираются из файла протокола этого же расчета.

Общее замечание: в качестве прототипа следует использовать имеющийся файл для данного типа глушителя. Изменять при корректировке формат записи исходных данных крайне не рекомендуется.

*Пример файла исходных данных к расчету
 реактивного двухкамерного глушителя*

1 Дизель АДГР2-630/1500
 2 *** Вариант 002 *** Реактивный двухкамерный глушитель
 3 2 ! Тип расчетной схемы
 4 0 ! Протокол: 0 - оптимизированный, 1 - полный
 5 6 ! Количество цилиндров в двигателе
 6 0.21 ! Диаметр цилиндра [м]
 7 0.21 ! Ход поршня [м]
 8 1500 ! Частота вращения коленчатого вала двигателя [об/мин]
 9 860. ! Мощность двигателя [кВт]
 10 1.520 ! Расход воздуха через двигатель [кг/с]
 11 0.230 ! Удельный расход топлива [кг/кВт*час]
 12 720. ! Температура отработавших газов [К]
 13 250.0 ! Внутренний диаметр выпускной трубы [мм]
 14 1100.0 ! Максимально допустимый диаметр глушителя [мм]
 15 500.0 ! Минимальный диаметр глушителя [мм]
 16 200.0 ! Шаг расчета по диаметру глушителя [мм]
 17 932.0 ! Максимально допустимая длина глушителя [мм]

18	782.0	! Минимальная длина глушителя [мм]									
19	50.0	! Шаг расчета по длине глушителя [мм]									
20	0.200	0.250	0.300	0.325	0.350	0.375	0.400	0.425	0.450		
21	0.500	! Относительная длина второй камеры (1 - длина первой камеры)									
22	0.200	0.300	0.400	0.450	0.500	0.550	0.600	0.650	0.700		
23	0.800	! Относительные длины трубки (1 - длина второй камеры)									
24	21	! Количество расчетных частот (максимум - 50)									
25	25	32	40	50	63	80	100	125	160	200	
26	250	315	400	500	630	800	1000	2000	4000	8000	
27	16000	! Расчетные частоты [Гц]									
28	3.0	4.0	5.0	6.0	7.0	8.0	10.0	12.0	15.0	17.0	
29	20.0	25.0	25.0	25.0	25.0	25.0	25.0	25.0	25.0	25.0	
30	15.0	! Требуемое ослабление уровня шума в третьоктавной полосе [Дб]									
31	1	! Количество допускаемых частот с отрицательной оценкой									
32	8	! Количество вариантов, записываемых в файл для графики (max 8)									
33	1	17	34	42	55	67	80				
34	99	! Номера вариантов расчета для вывода на графику									

Пояснения (в основном, те же, поэтому только особенности):

Строка 3 – расчетная схема 2 – двухкамерный глушитель;

Строки 20...21 – относительная длина от суммарной длины глушителя
(в долях от единицы);

Строка 22...23 – относительная длина соединительной трубки
в относительных долях от длины второй камеры.

*Пример файла исходных данных к расчету
реактивного резонансного глушителя*

1	Дизель АДГР2-630/1500										
2	*** Вариант 003 *** Резонансный глушитель										
3	3	! Тип расчетной схемы									
4	0	! Протокол: 0 - оптимизированный, 1 - полный									
5	6	! Количество цилиндров в двигателе									

7	0.21	! Диаметр цилиндра [м]									
8	0.21	! Ход поршня [м]									
9	1500	! Частота вращения коленчатого вала двигателя [об/мин]									
10	860.	! Мощность двигателя [кВт]									
11	1.520	! Расход воздуха через двигатель [кг/с]									
12	0.230	! Удельный расход топлива [кг/кВт*час]									
13	720.	! Температура отработавших газов [К]									
14	250.0	! Внутренний диаметр выпускной трубы [мм]									
15	1000.0	! Максимально допустимый диаметр глушителя [мм]									
16	600.0	! Минимальный диаметр глушителя [мм]									
17	100.0	! Шаг расчета по диаметру глушителя [мм]									
18	88.0	! Максимально допустимая длина глушителя [мм]									
19	48.0	! Минимальная длина глушителя [мм]									
20	10.0	! Шаг расчета по длине глушителя [мм]									
21	500.0	! Внутренний диаметр резонансной трубы [мм]									
22	1.5	! Толщина стенки резонансной трубы [мм]									
23	10.0	! Диаметр отверстий [мм]									
24	30.0	! Начальный (рекомендуемый) шаг между отверстиями [мм]									
25	1000	! Резонансная частота									
26	21	! Количество расчетных частот (максимум - 50)									
27	25	32	40	50	63	80	100	125	160	200	
28	250	315	400	500	630	800	1000	2000	4000	8000	
29	16000	! Расчетные частоты [Гц]									
30	.001	.001	.001	.002	.002	.005	.006	.007	.008	.009	
31	.01	.05	.1	.5	2.0	8.0	30.0	5.0	1.0	.1	
32	.01	! Требуемое ослабление уровня шума в третьоктавной полосе [Дб]									
33	3	! Количество допускаемых частот с отрицательной оценкой									
34	4	! Количество вариантов, записываемых в файл для графики (max 8)									
35	1	2	3	4	0	0	0				
36	0	! Номера вариантов расчета для вывода на графику									

Пояснения:

Строка 3 – расчетная схема 3 – резонансный глушитель;

Строка 25 – резонансная частота выбирается из необходимости глушения на ней по результатам расчета расширительного глушителя;

Скорость звука в потоке о/газов 539.34 [м/с]

Требуемый средний уровень глушения 9.95 [Дб]

Количество заданных расчетных частот 21

Допускаемое число отрицательных оценок 6

===== I= 1 =====

Цикл по диаметру глушителя, шаг .200 [м]

----- J= 1 -----

Цикл по длине глушителя, шаг .250 [м]

Диаметр расширительной камеры .500 [м]

Длина расширительной камеры .050 [м]

Коэффициент расширения М 4.00

Характеристическая частота 2696.70 [Гц]

Среднее значение Delta L глушения 2.00

Число отрицательных оценок глушения 21

Средняя разность эффектов глушения -7.95 Нет

----- J= 2 -----

Цикл по длине глушителя, шаг .250 [м]

Диаметр расширительной камеры .500 [м]

Длина расширительной камеры .300 [м]

Коэффициент расширения М 4.00

Характеристическая частота 449.45 [Гц]

Среднее значение Delta L глушения 4.02

Число отрицательных оценок глушения 21

Средняя разность эффектов глушения -5.93 Нет

----- J= 3 -----

Цикл по длине глушителя, шаг .250 [м]

Диаметр расширительной камеры .500 [м]

Длина расширительной камеры .550 [м]

Коэффициент расширения М 4.00

Характеристическая частота 245.15 [Гц]

Среднее значение Delta L глушения 3.78
Число отрицательных оценок глушения 21
Средняя разность эффектов глушения -6.17 Нет

----- J= 4 -----

Цикл по длине глушителя, шаг .250 [м]
Диаметр расширительной камеры .500 [м]
Длина расширительной камеры .800 [м]
Коэффициент расширения М 4.00
Характеристическая частота 168.54 [Гц]

Среднее значение Delta L глушения 3.41
Число отрицательных оценок глушения 21
Средняя разность эффектов глушения -6.54 Нет

----- J= 5 -----

Цикл по длине глушителя, шаг .250 [м]
Диаметр расширительной камеры .500 [м]
Длина расширительной камеры 1.050 [м]
Коэффициент расширения М 4.00
Характеристическая частота 128.41 [Гц]

Среднее значение Delta L глушения 3.88
Число отрицательных оценок глушения 21
Средняя разность эффектов глушения -6.07 Нет

===== I= 2 =====

Цикл по диаметру глушителя, шаг .200 [м]

----- J= 1 -----

Цикл по длине глушителя, шаг .250 [м]
Диаметр расширительной камеры .700 [м]
Длина расширительной камеры .050 [м]
Коэффициент расширения М 7.84
Характеристическая частота 2696.70 [Гц]

Среднее значение Delta L глушения 4.78
Число отрицательных оценок глушения 19
Средняя разность эффектов глушения -5.18 Нет

----- J= 2 -----

Цикл по длине глушителя, шаг .250 [м]
Диаметр расширительной камеры .700 [м]
Длина расширительной камеры .300 [м]
Коэффициент расширения М 7.84
Характеристическая частота 449.45 [Гц]

Среднее значение Delta L глушения 7.76
Число отрицательных оценок глушения 13
Средняя разность эффектов глушения -2.20 Нет

----- J= 3 -----

Цикл по длине глушителя, шаг .250 [м]
Диаметр расширительной камеры .700 [м]
Длина расширительной камеры .550 [м]
Коэффициент расширения М 7.84
Характеристическая частота 245.15 [Гц]

Среднее значение Delta L глушения 7.78
Число отрицательных оценок глушения 14
Средняя разность эффектов глушения -2.17 Нет

----- J= 4 -----

Цикл по длине глушителя, шаг .250 [м]
Диаметр расширительной камеры .700 [м]
Длина расширительной камеры .800 [м]
Коэффициент расширения М 7.84
Характеристическая частота 168.54 [Гц]

Среднее значение Delta L глушения 6.19
Число отрицательных оценок глушения 14
Средняя разность эффектов глушения -3.77 Нет

----- J= 5 -----

Цикл по длине глушителя, шаг .250 [м]
Диаметр расширительной камеры .700 [м]
Длина расширительной камеры 1.050 [м]
Коэффициент расширения М 7.84
Характеристическая частота 128.41 [Гц]

Среднее значение Delta L глушения 6.12
Число отрицательных оценок глушения 13
Средняя разность эффектов глушения -3.83 Нет

===== I= 3 =====

Цикл по диаметру глушителя, шаг .200 [м]

----- J= 1 -----

Цикл по длине глушителя, шаг .250 [м]
Диаметр расширительной камеры .900 [м]
Длина расширительной камеры .050 [м]
Коэффициент расширения М 12.96
Характеристическая частота 2696.70 [Гц]

Среднее значение Delta L глушения 7.69
Число отрицательных оценок глушения 14
Средняя разность эффектов глушения -2.26 Нет

----- J= 2 -----

Цикл по длине глушителя, шаг .250 [м]
Диаметр расширительной камеры .900 [м]
Длина расширительной камеры .300 [м]
Коэффициент расширения М 12.96
Характеристическая частота 449.45 [Гц]

N	Frсч	Fотн	k*Lk	Mmax	Delta L	Разность
1	25.	.0556	.087	1861.68	6.65	-2.35
2	32.	.0712	.112	1136.28	7.51	-2.49
3	40.	.0890	.140	727.22	8.31	-1.69
4	50.	.1112	.175	465.42	9.15	-.85

5	63.	.1402	.220	293.16	10.03	.03
6	80.	.1780	.280	181.80	10.95	.95
7	100.	.2225	.349	116.35	11.82	1.82
8	125.	.2781	.437	74.47	12.68	2.68
9	160.	.3560	.559	45.45	13.62	3.62
10	200.	.4450	.699	29.09	14.42	4.42
11	250.	.5562	.874	18.62	15.16	5.16
12	315.	.7009	1.101	11.73	15.80	5.80
13	400.	.8900	1.398	7.27	16.22	6.22
14	500.	1.1125	1.747	4.65	16.22	6.22
15	630.	1.4017	2.202	2.93	15.38	5.38
16	800.	1.7800	2.796	1.82	11.78	1.78
17	1000.	2.2249	3.495	1.16	.00	-10.00
18	2000.	4.4499	6.990	.29	14.46	4.46
19	4000.	8.8998	13.980	.07	16.23	6.23
20	8000.	17.7995	27.959	.02	11.41	1.41
21	16000.	35.5991	55.919	.00	.00	-10.00

Среднее значение Delta L глушения 11.32

Число отрицательных оценок глушения 6

Средняя разность эффектов глушения 1.37 Да!

----- J= 3 -----

Цикл по длине глушителя, шаг .250 [м]
 Диаметр расширительной камеры .900 [м]
 Длина расширительной камеры .550 [м]
 Коэффициент расширения M 12.96
 Характеристическая частота 245.15 [Гц]

N	Frсч	Fотн	k*Lk	Mmax	Delta L	Разность
1	25.	.1020	.160	1861.68	8.82	-.18
2	32.	.1305	.205	1136.28	9.75	-.25
3	40.	.1632	.256	727.22	10.61	.61
4	50.	.2040	.320	465.42	11.48	1.48
5	63.	.2570	.404	293.16	12.38	2.38
6	80.	.3263	.513	181.80	13.29	3.29
7	100.	.4079	.641	116.35	14.12	4.12

8	125.	.5099	.801	74.47	14.88	4.88
9	160.	.6527	1.025	45.45	15.62	5.62
10	200.	.8158	1.281	29.09	16.10	6.10
11	250.	1.0198	1.602	18.62	16.28	6.28
12	315.	1.2849	2.018	11.73	15.84	5.84
13	400.	1.6316	2.563	7.27	13.75	3.75
14	500.	2.0395	3.204	4.65	.00	-10.00
15	630.	2.5698	4.037	2.93	.00	-10.00
16	800.	3.2633	5.126	1.82	.00	-10.00
17	1000.	4.0791	6.407	1.16	7.88	-2.12
18	2000.	8.1581	12.815	.29	10.49	.49
19	4000.	16.3163	25.630	.07	13.18	3.18
20	8000.	32.6325	51.259	.02	15.54	5.54
21	16000.	65.2650	102.518	.00	15.90	5.90

Среднее значение Delta L глушения 11.23

Число отрицательных оценок глушения 6

Средняя разность эффектов глушения 1.28 Да!

----- J= 4 -----

Цикл по длине глушителя, шаг .250 [м]
 Диаметр расширительной камеры .900 [м]
 Длина расширительной камеры .800 [м]
 Коэффициент расширения M 12.96
 Характеристическая частота 168.54 [Гц]

Среднее значение Delta L глушения 8.88

Число отрицательных оценок глушения 9

Средняя разность эффектов глушения -1.07 Нет

----- J= 5 -----

Цикл по длине глушителя, шаг .250 [м]
 Диаметр расширительной камеры .900 [м]
 Длина расширительной камеры 1.050 [м]
 Коэффициент расширения M 12.96
 Характеристическая частота 128.41 [Гц]

Среднее значение Delta L глушения 8.65
 Число отрицательных оценок глушения 9
 Средняя разность эффектов глушения -1.30 Нет

===== I= 4 =====

Цикл по диаметру глушителя, шаг .200 [м]

----- J= 1 -----

Цикл по длине глушителя, шаг .250 [м]
 Диаметр расширительной камеры 1.100 [м]
 Длина расширительной камеры .050 [м]
 Коэффициент расширения M 19.36
 Характеристическая частота 2696.70 [Гц]

Среднее значение Delta L глушения 10.44
 Число отрицательных оценок глушения 10
 Средняя разность эффектов глушения .49 Нет

----- J= 2 -----

Цикл по длине глушителя, шаг .250 [м]
 Диаметр расширительной камеры 1.100 [м]
 Длина расширительной камеры .300 [м]
 Коэффициент расширения M 19.36
 Характеристическая частота 449.45 [Гц]

N	Fрсч	Fотн	k*Lk	Mmax	Delta L	Разность
1	25.	.0556	.087	1861.68	9.61	.61
2	32.	.0712	.112	1136.28	10.57	.57
3	40.	.0890	.140	727.22	11.46	1.46
4	50.	.1112	.175	465.42	12.36	2.36
5	63.	.1402	.220	293.16	13.30	3.30
6	80.	.1780	.280	181.80	14.27	4.27
7	100.	.2225	.349	116.35	15.17	5.17
8	125.	.2781	.437	74.47	16.07	6.07
9	160.	.3560	.559	45.45	17.03	7.03
10	200.	.4450	.699	29.09	17.85	7.85
11	250.	.5562	.874	18.62	18.60	8.60

12	315.	.7009	1.101	11.73	19.25	9.25
13	400.	.8900	1.398	7.27	19.68	9.68
14	500.	1.1125	1.747	4.65	19.67	9.67
15	630.	1.4017	2.202	2.93	18.82	8.82
16	800.	1.7800	2.796	1.82	15.13	5.13
17	1000.	2.2249	3.495	1.16	.00	-10.00
18	2000.	4.4499	6.990	.29	17.89	7.89
19	4000.	8.8998	13.980	.07	19.69	9.69
20	8000.	17.7995	27.959	.02	14.75	4.75
21	16000.	35.5991	55.919	.00	.00	-10.00

Среднее значение Delta L глушения 14.34

Число отрицательных оценок глушения 2

Средняя разность эффектов глушения 4.39 Да!

----- J= 3 -----

Цикл по длине глушителя, шаг .250 [м]

Диаметр расширительной камеры 1.100 [м]

Длина расширительной камеры .550 [м]

Коэффициент расширения M 19.36

Характеристическая частота 245.15 [Гц]

N	Frсч	Fотн	k*Lk	Mmax	Delta L	Разность
1	25.	.1020	.160	1861.68	12.00	3.00
2	32.	.1305	.205	1136.28	13.01	3.01
3	40.	.1632	.256	727.22	13.91	3.91
4	50.	.2040	.320	465.42	14.82	4.82
5	63.	.2570	.404	293.16	15.75	5.75
6	80.	.3263	.513	181.80	16.69	6.69
7	100.	.4079	.641	116.35	17.54	7.54
8	125.	.5099	.801	74.47	18.32	8.32
9	160.	.6527	1.025	45.45	19.07	9.07
10	200.	.8158	1.281	29.09	19.56	9.56
11	250.	1.0198	1.602	18.62	19.74	9.74
12	315.	1.2849	2.018	11.73	19.30	9.30
13	400.	1.6316	2.563	7.27	17.16	7.16
14	500.	2.0395	3.204	4.65	.00	-10.00

15	630.	2.5698	4.037	2.93	.00	-10.00
16	800.	3.2633	5.126	1.82	.00	-10.00
17	1000.	4.0791	6.407	1.16	10.98	.98
18	2000.	8.1581	12.815	.29	13.79	3.79
19	4000.	16.3163	25.630	.07	16.57	6.57
20	8000.	32.6325	51.259	.02	18.98	8.98
21	16000.	65.2650	102.518	.00	19.36	9.36

Среднее значение Delta L глушения 14.12

Число отрицательных оценок глушения 3

Средняя разность эффектов глушения 4.17 Да!

----- J= 4 -----

Цикл по длине глушителя, шаг .250 [м]

Диаметр расширительной камеры 1.100 [м]

Длина расширительной камеры .800 [м]

Коэффициент расширения М 19.36

Характеристическая частота 168.54 [Гц]

Среднее значение Delta L глушения 11.13

Число отрицательных оценок глушения 7

Средняя разность эффектов глушения 1.17 Нет

----- J= 5 -----

Цикл по длине глушителя, шаг .250 [м]

Диаметр расширительной камеры 1.100 [м]

Длина расширительной камеры 1.050 [м]

Коэффициент расширения М 19.36

Характеристическая частота 128.41 [Гц]

Среднее значение Delta L глушения 10.75

Число отрицательных оценок глушения 9

Средняя разность эффектов глушения .79 Нет

Всего индцировано 4 удовлетворяющих условиям глушения варианта

N	I	J	Dгл м	Sгл м	M	Fх Гц	dLглу Дб	ddLглу Дб	Notр
1	3	2	.900	.300	12.96	449.4	11.32	1.37	6

2	3	3	.900	.550	12.96	245.2	11.23	1.28	6
3	4	2	1.100	.300	19.36	449.4	14.34	4.39	2
4	4	3	1.100	.550	19.36	245.2	14.12	4.17	3

В приведенном файле пояснений требуют только данные, выводимые в табличной форме.

Для “проходящего” варианта (или для всех, если выводится полный протокол) выводится таблица следующих значений:

N – номер расчетной частоты;

F_{рсч} – значение расчетной частоты;

F_{отн} – относительная частота (отношение расчетной к характеристической);

k*Lk – произведение волнового числа на длину глушителя;

M_{max} – коэффициент m_{max} ;

Delta L – величина глушения звука на расчетной частоте;

Разность – разность между расчетной величиной глушения и требуемой величиной глушения (минус означает провал в характеристике глушения).

В конце протокола выводится таблица следующих значений:

N – порядковый номер “проходящего” варианта;

I – номер шага по диаметру глушителя;

J – номер шага по длине глушителя;

D_{гл} – диаметр глушителя, м;

S_{гл} – длина глушителя, м;

M – коэффициент расширения;

F_х – характеристическая частота;

dL_{глу} – среднее значение величины глушения, Дб;

ddL_{глу} – среднее значение превышения расчетной величины глушения над средней требуемой;

Notp – число частот с отрицательной оценкой глушения.

8. Описание данных, выводимых в файл GGL***.DAT

В файл GGL***.DAT выводятся частотные характеристики “проходящих” вариантов глушителей.

*Пример файла GGL***.DAT для
реактивного однокамерного глушителя*

1	2	3	4	5	6
1.398	9.000	6.647	8.818	9.606	12.005
1.505	10.000	7.506	9.753	10.570	13.005
1.602	10.000	8.313	10.614	11.457	13.914
1.699	10.000	9.145	11.482	12.356	14.822
1.799	10.000	10.027	12.380	13.295	15.753
1.903	10.000	10.952	13.294	14.269	16.694
2.000	10.000	11.821	14.117	15.174	17.537
2.097	10.000	12.685	14.884	16.068	18.320
2.204	10.000	13.619	15.619	17.028	19.067
2.301	10.000	14.424	16.103	17.851	19.558
2.398	10.000	15.160	16.281	18.601	19.739
2.498	10.000	15.797	15.844	19.248	19.295
2.602	10.000	16.219	13.746	19.676	17.158
2.699	10.000	16.217	.000	19.673	.000
2.799	10.000	15.378	.000	18.823	.000
2.903	10.000	11.778	.000	15.129	.000
3.000	10.000	.000	7.881	.000	10.985
3.301	10.000	14.462	10.492	17.890	13.786
3.602	10.000	16.230	13.175	19.687	16.572
3.903	10.000	11.414	15.535	14.752	18.982
4.204	10.000	.000	15.905	.000	19.357

В представленном файле:

Столбец 1 – десятичный логарифм расчетной частоты;

Столбец 2 – требуемый уровень глушения на частоте;

Столбцы 3, 4, 5, 6 – частотные характеристики глушения для найденных
“проходящих” вариантов исполнения глушителя;

В результате построения графиков по данным файла GGL***.DAT
получается характеристика, представленная на рис. ПЗ.

Результаты аналогичных построений для двухкамерного и резонанс-
ного глушителей представлены на рис. П4 и П5 соответственно.

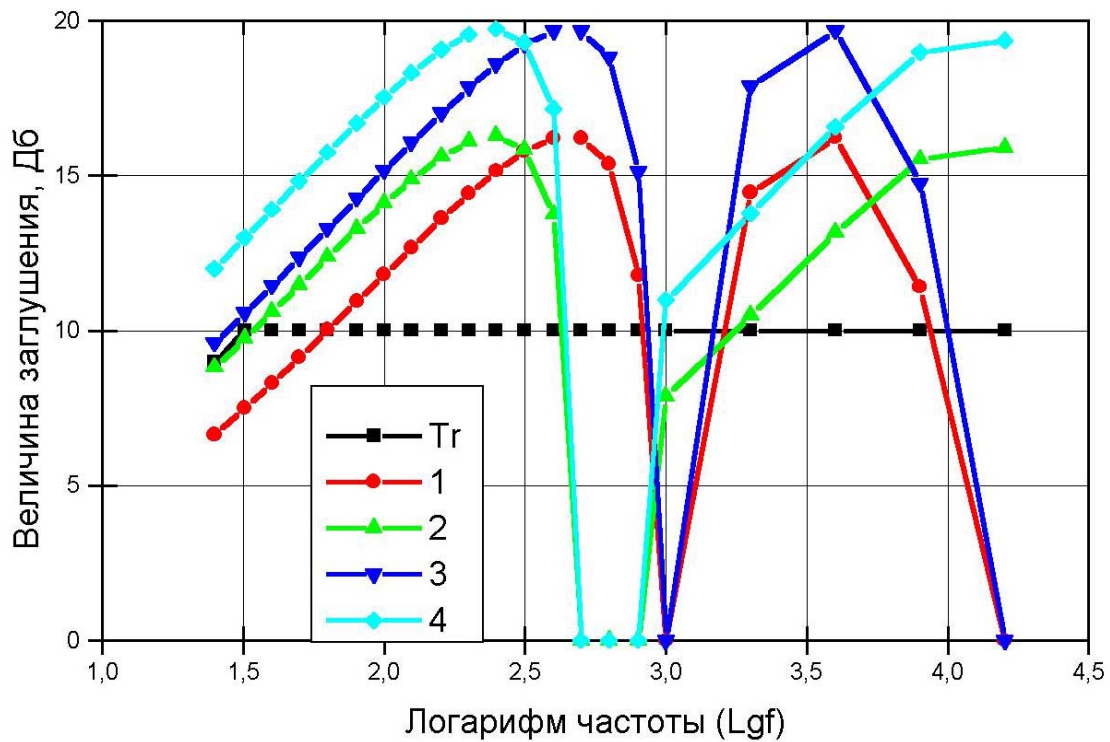


Рис. П3. Частотная характеристика однокамерного реактивного глушителя по четырем оптимизированным вариантам. Tr – требуемый уровень глушения

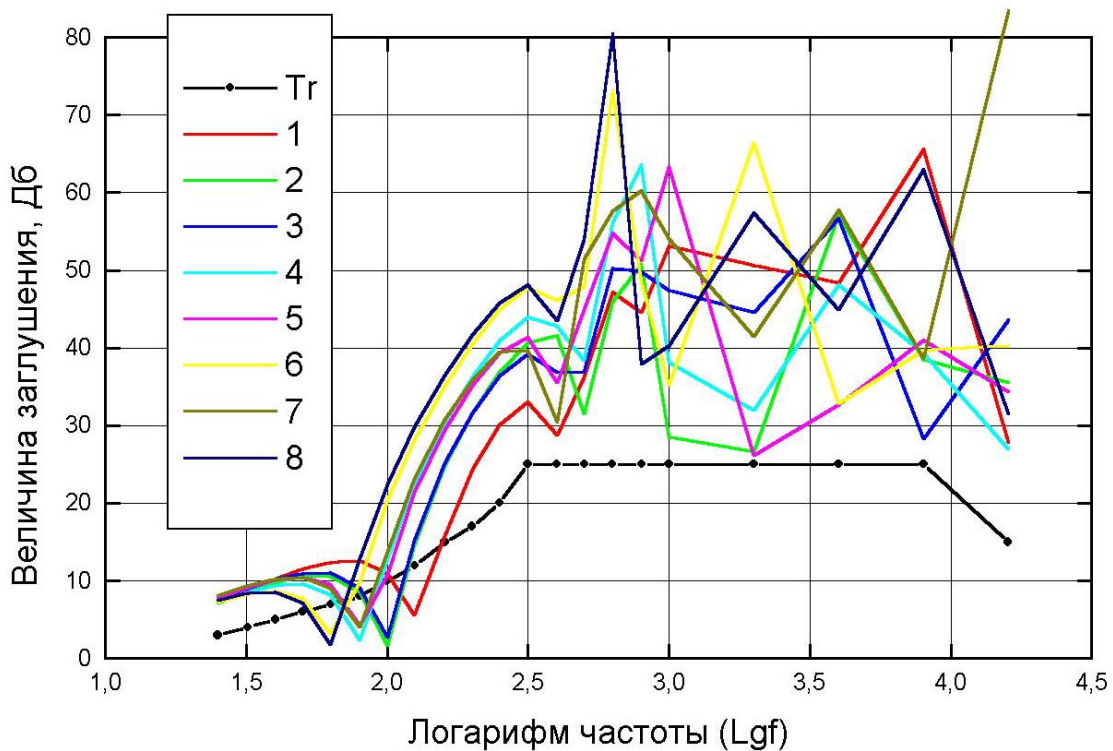


Рис. П4. Частотная характеристика двухкамерного реактивного глушителя по восьми оптимизированным вариантам. Tr – требуемый уровень глушения

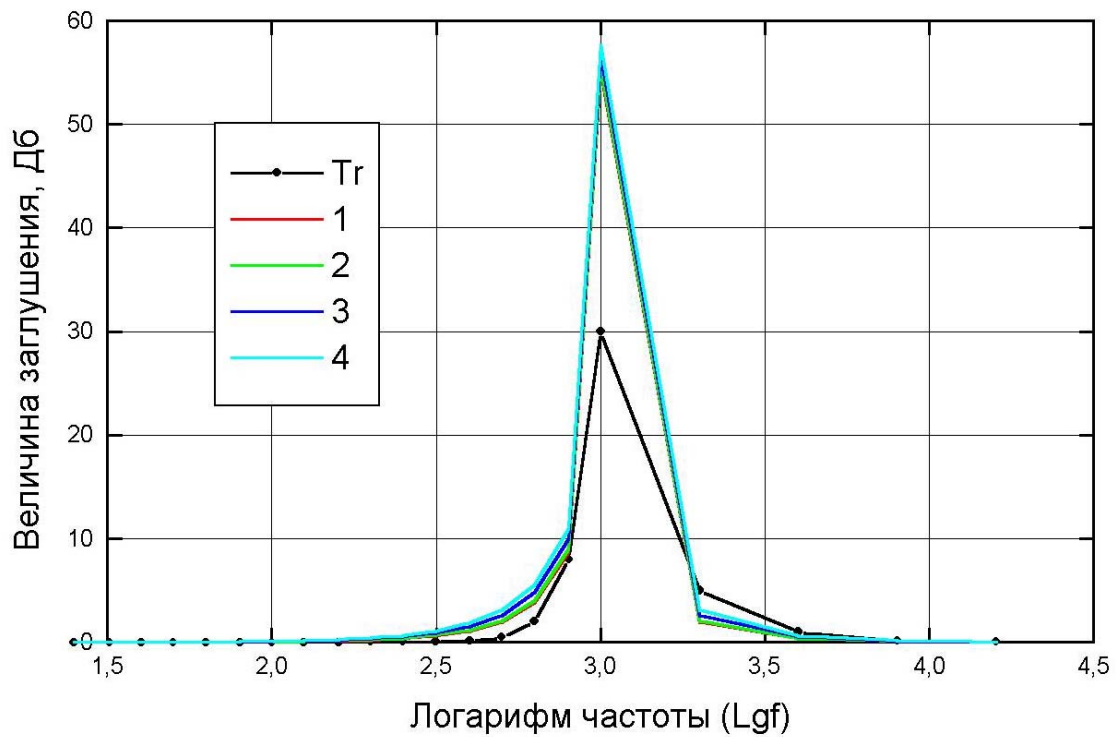


Рис. П5. Частотная характеристика резонансного реактивного глушителя по четырем оптимизированным вариантам. Tr – требуемый уровень глушения

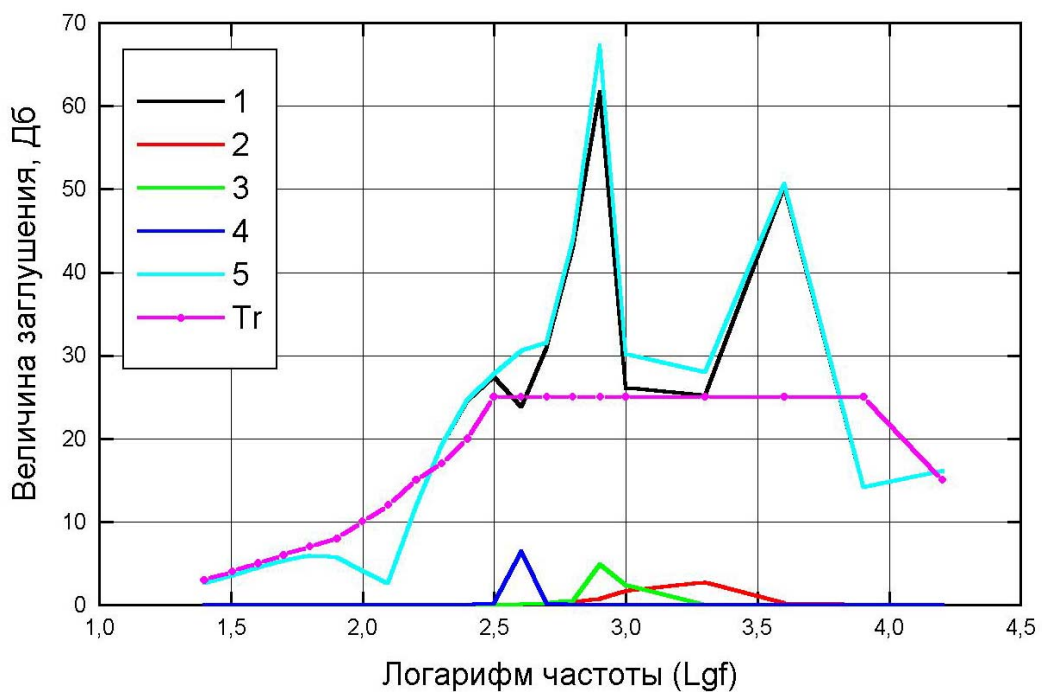


Рис. П6. Частотная характеристика комбинированного глушителя (5): Tr – требуемый уровень глушения, 1 – расширительный глушитель, 2, 3, 4 – резонансные глушители

9. Стратегия поиска оптимальной конструкции глушителя

При анализе расчетных данных следует иметь в виду, что программа – всего лишь инструмент для поиска оптимального результата. Поэтому стратегию поиска можно построить следующим образом.

На начальном этапе поиска, определившись с максимально возможными габаритами глушителя (что налагает определенные ограничения, поскольку в целом объем глушителя положительно влияет на степень глушения шума выпуска), область варьирования параметрами оптимизации следует выбрать с максимальным покрытием возможных геометрических размеров глушителя. На последующих этапах область варьирования необходимо сузить вблизи найденных оптимальных вариантов, и уменьшить шаг варьирования.

При выборе окончательного варианта отдельного глушителя следует руководствоваться данными протоколов расчета и построенных графиков. Частоты с “отрицательным” глушением должны быть закрыты резонансными секциями глушителя. После определения конструкции отдельных частей глушителя выполняется расчет для глушителя в сборе по программе Combiglu.exe.

10. Файловая структура программы Combiglu.exe

В программу Combiglu.exe исходные данные вводятся через файл исходных данных типа CGL00*.DAT, где * – номер стандартного номера файла (от 1 до 8). Имя исходного файла может быть любым другим, состоящим из 6-ти символов (не более) и имеющим расширение .DAT. Файл может быть отредактирован и записан при помощи любого текстового редактора.

После окончания работы программы на диск выгружаются два файла – CGL***.TXT – файл протокола, в имени которого *** – номер варианта расчета, определенный в файле исходных данных, и GGR***.DAT, содержащий информацию для построения графиков глушения шума в ASCII-кодировке.

11. Описание исходных данных, размещаемых в файлах типа CGL00*.DAT

Пример файла исходных данных к расчету комбинированного глушителя приведен ниже. В первом столбце – нумерация строк.

*Пример файла исходных данных к расчету
реактивного комбинированного глушителя
Реактивный двухкамерный глушитель + 3 резонансных*

1	Дизель АДГР2-630/1500
2	*** Вариант 001 ***
3	1 ! Тип расчетной схемы
4	3 ! Количество резонансных глушителей
5	6 ! Количество цилиндров в двигателе
6	0.21 ! Диаметр цилиндра [м]
7	0.21 ! Ход поршня [м]
8	1500 ! Частота вращения коленчатого вала двигателя [об/мин]
9	860. ! Мощность двигателя [кВт]
10	1.520 ! Расход воздуха через двигатель [кг/с]
11	0.230 ! Удельный расход топлива [кг/кВт*час]
12	720. ! Температура отработавших газов [К]
13	250.0 ! Внутренний диаметр выпускной трубы [мм]
14	1.5 ! Толщина стенок глушителя и резонансной трубы [мм]
15	0 ! РЕАКТИВНЫЙ ДВУХКАМЕРНЫЙ ГЛУШИТЕЛЬ
16	700.0 ! Диаметр глушителя [мм]
17	882.0 ! Длина глушителя [мм]
18	0.4112 ! Относительная длина второй камеры (1 - длина первой камеры)
19	0.650 ! Относительная длина трубки (1 - длина второй камеры)
20	1 ! РЕЗОНАНСНЫЙ ГЛУШИТЕЛЬ 1
21	700.0 ! Диаметр глушителя [мм]
22	68.0 ! Длина глушителя [мм]
23	500.0 ! Внутренний диаметр резонансной трубы [мм]
24	10.0 ! Диаметр отверстий [мм]
25	20.0 ! Шаг между отверстиями [мм]
26	200 ! Количество отверстий в резонансной камере

27	2	!	РЕЗОНАНСНЫЙ ГЛУШИТЕЛЬ 2									
28	700.0	!	Диаметр глушителя [мм]									
29	50.0	!	Длина глушителя [мм]									
30	500.0	!	Внутренний диаметр резонансной трубы [мм]									
31	10.0	!	Диаметр отверстий [мм]									
32	20.0	!	Шаг между отверстиями [мм]									
33	50	!	Количество отверстий в резонансной камере									
34	3	!	РЕЗОНАНСНЫЙ ГЛУШИТЕЛЬ 3									
35	700.0	!	Диаметр глушителя [мм]									
36	50.0	!	Длина глушителя [мм]									
37	500.0	!	Внутренний диаметр резонансной трубы [мм]									
38	10.0	!	Диаметр отверстий [мм]									
39	20.0	!	Шаг между отверстиями [мм]									
40	10	!	Количество отверстий в резонансной камере									
41	21	!	Количество расчетных частот (максимум - 99)									
42	25	32	40	50	63	80	100	125	160	200		
43	250	315	400	500	630	800	1000	2000	4000	8000		
44	16000	!	Расчетные частоты [Гц]									
45	3.0	4.0	5.0	6.0	7.0	8.0	10.0	12.0	15.0	17.0		
46	20.0	25.0	25.0	25.0	25.0	25.0	25.0	25.0	25.0	25.0		
47	15.0	!	Требуемое ослабление уровня шума в каждой полосе [Дб]									

В связи с очевидностью представленных в файле исходных данных, дополнительные пояснения, по всей видимости, не требуются.

12. Сообщения программы

При запуске программы появляется запрос на ввод номера файла исходных данных. После ввода номера (желательно стандартного), программа считывает файл исходных данных и выполняет расчет. При нормальной работе программа сообщений на экран не выводит и автоматически завершает работу после выгрузки протокола и графического файла.

При обнаружении ошибки в файле исходных данных (обычно это ошибки ввода по формату), программа выводит соответствующее сообщение и останавливается.

При остановке программы по процедурным ошибкам, на экран выводятся стандартные сообщения используемого языка программирования – Microsoft Fortran Power Station 1.0.

13. Описание расчетных данных, выводимых в файл протокола типа CGL***.TXT

Ниже приведен файл протокола расчета для комбинированного глушителя для исходных данных, рассмотренных в п. 11.

*Пример файла протокола расчета
комбинированного глушителя*

РАСЧЕТ КОМБИНИРОВАННОГО ГЛУШИТЕЛЯ ШУМА СИСТЕМЫ ВЫПУСКА ОГ ДВИГАТЕЛЯ

Реактивный двухкамерный глушитель + 3 резонансных

Дизель АДГР2-630/1500 *** Вариант 001 ***

Скорость вращения коленчатого вала	1500 [об/мин]
Расход топлива на режиме	197.80 [кг/час]
Расход ОГ на режиме	5669.80 [кг/час]
Коэффициент избытка воздуха	1.937
Температура отработавших газов	720.0 [K]
Скорость звука в потоке о/газов	539.34 [м/с]
Максимальный диаметр глушителя	.700 [м]
Общая длина глушителя	1.050 [м]

Двухкамерный реактивный глушитель

Диаметр расширительной камеры	.700 [м]
Длина глушителя	.882 [м]
Длина 1-ой расширительной камеры	.625 [м]
Длина 2-ой расширительной камеры	.257 [м]
Длина соединительной трубки	.167 [м]
Коэффициент расширения M	7.84

N	Fpсч	k*Lk	k*Lk1	k*Lk2	k*Ltr	DeltaL
1	25.	.257	.182	.075	.049	2.59
2	32.	.329	.233	.096	.062	3.53
3	40.	.411	.291	.120	.078	4.45
4	50.	.514	.364	.150	.097	5.30
5	63.	.647	.459	.189	.123	5.89
6	80.	.822	.582	.240	.156	5.73
7	100.	1.028	.728	.299	.195	4.04
8	125.	1.284	.910	.374	.243	2.61
9	160.	1.644	1.165	.479	.311	11.94

10	200.	2.055	1.456	.599	.389	19.31
11	250.	2.569	1.820	.748	.487	24.54
12	315.	3.237	2.294	.943	.613	27.43
13	400.	4.110	2.912	1.198	.778	23.86
14	500.	5.138	3.641	1.497	.973	30.93
15	630.	6.473	4.587	1.886	1.226	43.03
16	800.	8.220	5.825	2.395	1.557	61.66
17	1000.	10.275	7.281	2.994	1.946	26.16
18	2000.	20.550	14.562	5.988	3.892	25.14
19	4000.	41.100	29.124	11.976	7.784	50.38
20	8000.	82.201	58.249	23.952	15.569	14.13
21	16000.	164.402	116.498	47.904	31.138	16.13

Резонансный глушитель 1

Диаметр резонансной камеры	.700 [м]
Длина резонансной камеры	.068 [м]
Коэффициент расширения M	1.96
Резонансная частота	1490.40 [Гц]
Длина резонансной волны	.36 [м]

N	Fрсч	Fотн	k*Lk	DeltaL
1	25.	.0168	.020	.00
2	32.	.0215	.025	.00
3	40.	.0268	.032	.00
4	50.	.0335	.040	.00
5	63.	.0423	.050	.00
6	80.	.0537	.063	.00
7	100.	.0671	.079	.01
8	125.	.0839	.099	.01
9	160.	.1074	.127	.02
10	200.	.1342	.158	.03
11	250.	.1677	.198	.04
12	315.	.2114	.250	.07
13	400.	.2684	.317	.11
14	500.	.3355	.396	.19
15	630.	.4227	.499	.35
16	800.	.5368	.634	.71
17	1000.	.6710	.792	1.66
18	2000.	1.3419	1.584	2.74
19	4000.	2.6838	3.169	.25
20	8000.	5.3677	6.337	.05
21	16000.	10.7353	12.675	.01

Резонансный глушитель 2

Диаметр резонансной камеры	.700 [м]
Длина резонансной камеры	.050 [м]
Коэффициент расширения М	1.96
Резонансная частота	869.05 [Гц]
Длина резонансной волны	.62 [м]

N	Frсч	Fотн	k*Lk	DeltaL
1	25.	.0288	.015	.00
2	32.	.0368	.019	.00
3	40.	.0460	.023	.00
4	50.	.0575	.029	.00
5	63.	.0725	.037	.00
6	80.	.0921	.047	.00
7	100.	.1151	.058	.00
8	125.	.1438	.073	.01
9	160.	.1841	.093	.01
10	200.	.2301	.116	.01
11	250.	.2877	.146	.02
12	315.	.3625	.183	.04
13	400.	.4603	.233	.08
14	500.	.5753	.291	.18
15	630.	.7249	.367	.55
16	800.	.9205	.466	4.90
17	1000.	1.1507	.582	2.37
18	2000.	2.3014	1.165	.07
19	4000.	4.6027	2.330	.01
20	8000.	9.2055	4.660	.00
21	16000.	18.4110	9.320	.00

Резонансный глушитель 3

Диаметр резонансной камеры	.700 [м]
Длина резонансной камеры	.050 [м]
Коэффициент расширения М	1.96
Резонансная частота	388.65 [Гц]
Длина резонансной волны	1.39 [м]

N	Frсч	Fотн	k*Lk	DeltaL
1	25.	.0643	.015	.00
2	32.	.0823	.019	.00
3	40.	.1029	.023	.00
4	50.	.1287	.029	.00

5	63.	.1621	.037	.00
6	80.	.2058	.047	.00
7	100.	.2573	.058	.00
8	125.	.3216	.073	.01
9	160.	.4117	.093	.01
10	200.	.5146	.116	.02
11	250.	.6433	.146	.06
12	315.	.8105	.183	.27
13	400.	1.0292	.233	6.50
14	500.	1.2865	.291	.19
15	630.	1.6210	.367	.05
16	800.	2.0584	.466	.02
17	1000.	2.5730	.582	.01
18	2000.	5.1460	1.165	.00
19	4000.	10.2920	2.330	.00
20	8000.	20.5841	4.660	.00
21	16000.	41.1682	9.320	.00

Таблица эффектов глушения

N	Frсч	DL2	DL3_1	DL3_2	DL3_3	DeltaL
1	25.	2.592	.000	.000	.000	2.592
2	32.	3.531	.001	.000	.000	3.532
3	40.	4.446	.001	.001	.001	4.448
4	50.	5.298	.002	.001	.001	5.301
5	63.	5.889	.002	.001	.001	5.894
6	80.	5.728	.004	.002	.002	5.736
7	100.	4.035	.006	.003	.004	4.049
8	125.	2.606	.010	.005	.006	2.627
9	160.	11.939	.016	.009	.012	11.977
10	200.	19.313	.025	.015	.024	19.377
11	250.	24.539	.040	.024	.060	24.664
12	315.	27.429	.066	.043	.270	27.809
13	400.	23.859	.112	.084	6.502	30.558
14	500.	30.931	.190	.181	.189	31.490
15	630.	43.029	.346	.547	.049	43.971
16	800.	61.657	.711	4.904	.020	67.292
17	1000.	26.163	1.661	2.368	.010	30.203
18	2000.	25.143	2.738	.071	.002	27.954
19	4000.	50.384	.247	.013	.000	50.644
20	8000.	14.132	.050	.003	.000	14.185
21	16000.	16.134	.012	.001	.000	16.147

Все обозначения в приведенном файле аналогичны обозначениям в протоколах программы Glusitel.exe. Состав графического файла CGR***.DAT в целом аналогичен файлам GGL***.DAT.

На рис. Пб приведена частотная характеристика комбинированного глушителя и его отдельных составляющих. В качестве примера использован один из вышеприведенных вариантов расчетов отражательного двухкамерного глушителя и трех резонансных, настроенных на средние частоты исследуемого диапазона.

14. Анализ расчетных данных. Выводы

При анализе расчетных данных руководствуются последним столбцом таблицы эффектов глушения комбинированного глушителя и графиком, рис. Пб. В частности, по приведенному примеру можно сказать, что в имеющихся габаритах не удалось полностью добиться требуемых эффектов глушения. И только в среднем и верхнем диапазоне частот характеристику глушителя можно считать удовлетворительной.

Решением данной проблемы может быть последовательная установка дополнительного глушителя отражательного типа, компенсирующего отмеченные недостатки в диапазоне низких частот. Однако, в этом случае возможно существенное увеличение противодействия на выпуске. Более предпочтительным является расширение настроек резонансного глушителя, а именно на частоты нижнего диапазона. Также возможна установка дополнительного глушителя активного типа, но при этом надо понимать, что его ресурс ограничен и с течением времени противодействие на выпуске может значительно увеличиться.

Представленный здесь расчет следует считать предварительным. Дальнейшую доводку конструкции глушителя всегда производят после изготовления опытной партии на специальных стендах с имитацией различных режимов работы двигателя (в том числе по винтовой, нагрузочной и частичным характеристикам).