

УДК 621.43:534.6

Борис Сергеевич Васильев, канд. техн. наук., проф.,
МАДИ, Россия, 125319, Москва, Ленинградский пр., 64, madi-dm@list.ru

МЕТОДЫ СНИЖЕНИЯ ШУМА ДВИГАТЕЛЕЙ

Аннотация. В статье изложены методики исследования источников шума двигателей внутреннего сгорания и рассмотрены пути снижения шумового воздействия.

Ключевые слова: двигатель, шум, излучение, спектр.

Boris S. Vasilyev, Ph. D., professor,
MADI, 64, Leningradsky Prosp., Moscow, 125319, Russia, madi-dm@list.ru

METHODS FOR REDUCING ENGINE NOISE

Abstract. The article describes the research methodology of noise sources of internal combustion engines and discussed ways to reduce the noise impact.

Keywords: engine, noise, radiation, spectrum.

Введение

Увеличение количества транспортных средств, а также мощностных и скоростных показателей выпускаемых силовых установок является одной из основных причин постоянного роста шума в городах и поселках городского типа. Исследования, проведенные в городах по определению основных источников шума, показали, что значительная доля звукового фона приходится на транспортный шум. Основным источником транспортного шума городов является автомобильный транспорт.

Основная часть

Основное внимание исследователей в настоящее время направлено на глубокое понимание физических процессов, происходящих внутри

двигателя, которые приводят к излучению звуковой энергии.

Генерирование звуковой энергии в работающем ДВС связано с образованием и развитием колебательных процессов в его упругих системах, распространением волн по конструкции и последующим излучением энергии колебаний в воздушное пространство. Источниками шума при этом являются системы впуска и выпуска, система охлаждения, топливоподающая система, процесс сгорания и т.д. Интенсивный шум возникает при соударении деталей двигателя и трении в его подвижных сочленениях. Акустическую активность ДВС принято оценивать общими уровнями и спектрами звукового давления в точках пространства вокруг двигателя [1, 2, 3].

Источники совокупного акустического излучения можно разделить условно на источники аэродинамического и механического происхождения.

Шум аэродинамического происхождения является результатом колебания давления и скорости в газовых потоках и объемах, заключенных в системах впуска и выпуска. Сюда же относится шум, создаваемый вентилятором системы охлаждения.

Шум механического происхождения представляет собой излучение звуковой энергии наружной поверхностью двигателя. Акустическое излучение при этом возникает и при колебании двигателя как жесткого тела на упругой подвеске, и при распространении в конструкции упругих волн деформации. Сюда же следует отнести шум, излучаемый навесными агрегатами (рис. 1).

Так как двигатель внутреннего сгорания является сложным излучателем звуковой энергии и его излучение складывается из нескольких потоков звуковой энергии от различных источников, то задача уменьшения шума излучаемого ДВС в первую очередь заключается в отыскании наиболее громких источников. Распределение всех источников

по значимости производится на основе анализа, как правило, экспериментальных характеристик шума и в основном зависит от конструкции ДВС [1, 3].

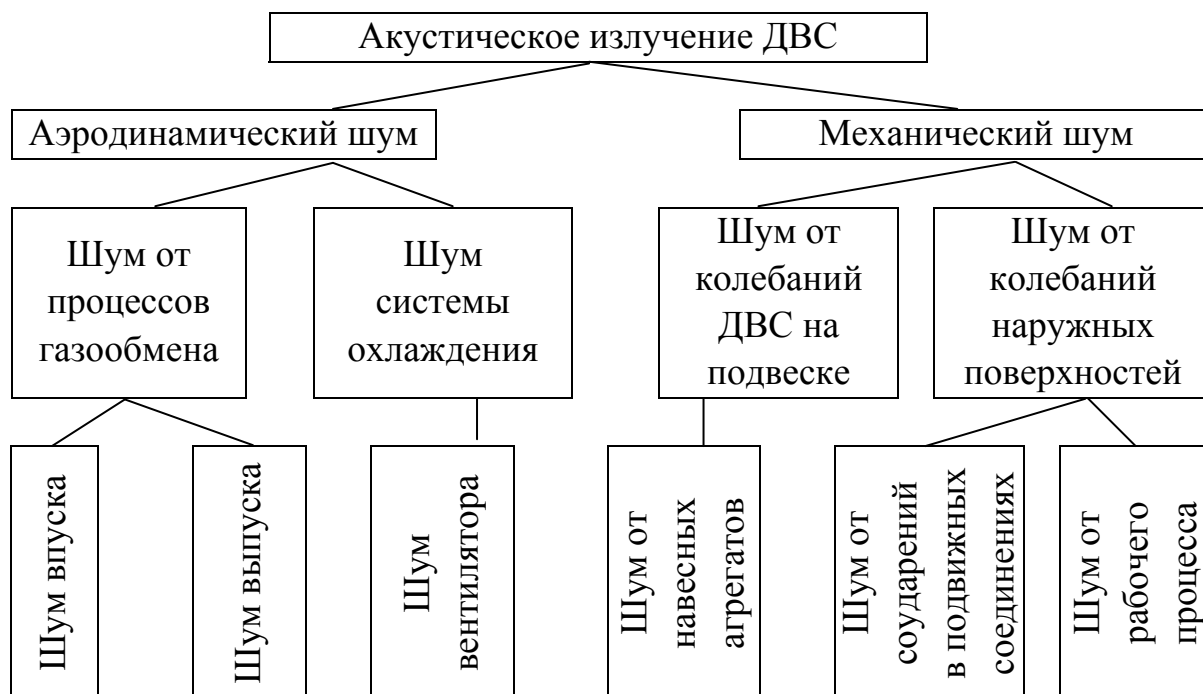


Рис. 1. Классификация источников шума поршневого двигателя внутреннего сгорания

В результате анализа данных, составленных по нескольким двигателям, можно сказать, что самую большую долю шума производит незаглушенная система газообмена (рис. 2).

В связи с этим в течение длительного времени исследователи занимались совершенствованием конструкций глушителей шума впуска и выпуска.

В результате этих работ удалось создать эффективные акустические глушители шума с довольно малым гидравлическим сопротивлением потоку, небольших размеров и объема, небольшой массы. Так, применение глушителей выпуска позволило снизить акустическое излучение от выхлопа со 110 до 94 дБ (ЯМЗ) и со 104 до 92 дБ (ЗИЛ). Для впускных систем достаточно эффективными шумозаглушающими

устройствами являются воздухоочистители. Они снижают шум от процесса наполнения соответственно со 122 до 108 дБ (ЯМЗ) и со 116 до 102 дБ (ЗИЛ) [6].

К источникам аэродинамического происхождения относится также вентилятор системы охлаждения. У двигателей с воздушным охлаждением вентилятор часто является ведущим источником шума всего силового агрегата.

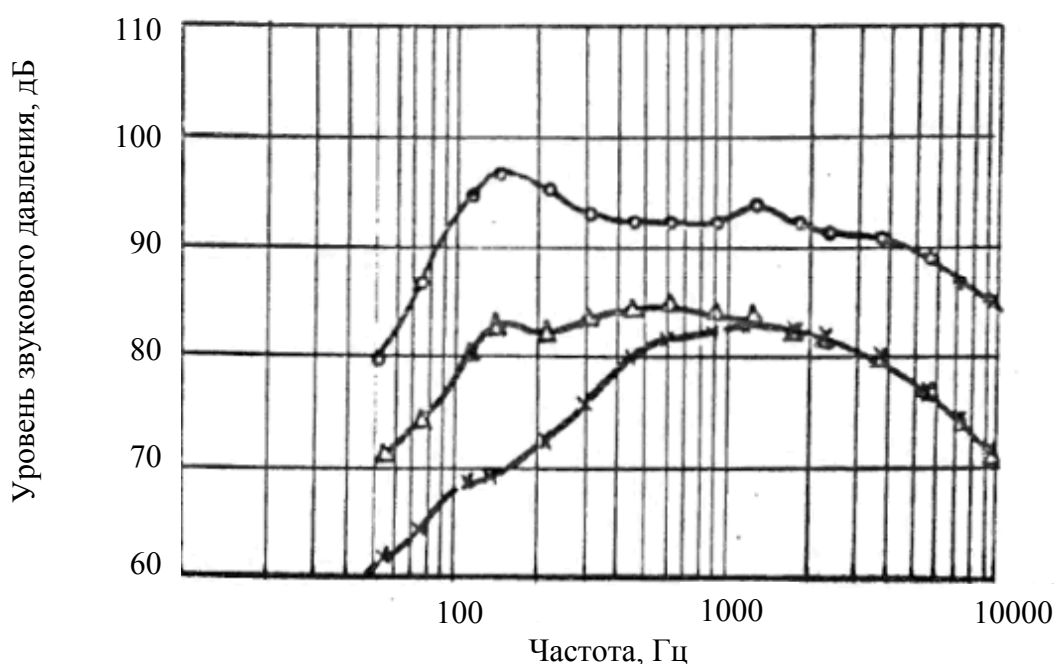


Рис. 2. Влияние шума впуска и выпуска на общее акустическое излучение ПВДС (по Прайду)

При рационально организованном заглушении шума впуска, выпуска и шума вентиляторов охлаждения доминирующим становится шум, излучаемый вибрирующими наружными поверхностями, возбуждаемыми силами давления газов в цилиндрах, при осуществлении процесса сгорания, ударами в подвижных соединениях и неуравновешенными силами инерции.

При этом общий уровень шума двигателя зависит от интенсивности вибраций, излучающих шум поверхностей.

Причиной этих колебаний ДВС являются неуравновешенные силы инерции возвратно-поступательно движущихся и вращающихся масс и их моменты.

Так, уровень вибрации 4-тактного 4-цилиндрового рядного двигателя на подвеске определяется в основном неуравновешенными силами инерции 2-го порядка для вертикальной плоскости и опрокидывающим моментом от сил инерции 2-го порядка для поперечной плоскости.

Существенная доля акустической энергии, излучаемой ДВС, приходится на навесные агрегаты и зависит от конструкции агрегата, способа крепления его на двигателе, конструкции двигателя, а также от режима работы.

Навесные агрегаты вносят весьма значительную относительную долю в общий шум, создаваемый быстроходными дизелями. Так, при работе 4-цилиндрового дизеля жидкостного охлаждения на полной нагрузке шум, производимый топливным насосом, составляет почти 18% от общего шума (рис. 3) [5].

В высокочастотной области спектра акустического излучения основным источником шума является вибрирующая наружная поверхность, возбуждаемая силами давления газов, при осуществлении рабочего процесса в цилиндрах двигателя и ударами в подвижных его сочленениях. Соотношение между шумом, вызываемым рабочим процессом, и шумом от ударов в подвижных сочленениях механизмов и систем различных конструкций ДВС неодинаково. Для дизелей определяющим источником высокочастотного шума механического происхождения является рабочий процесс. По некоторым данным излучаемая акустическая мощность от процесса сгорания составляет 40...60% от общей (без учета шума выпуска) мощности. Для бензиновых двигателей рабочий процесс как источник высокочастотного

механического шума имеет второстепенное значение, что обусловлено меньшей динамичностью рабочего процесса.

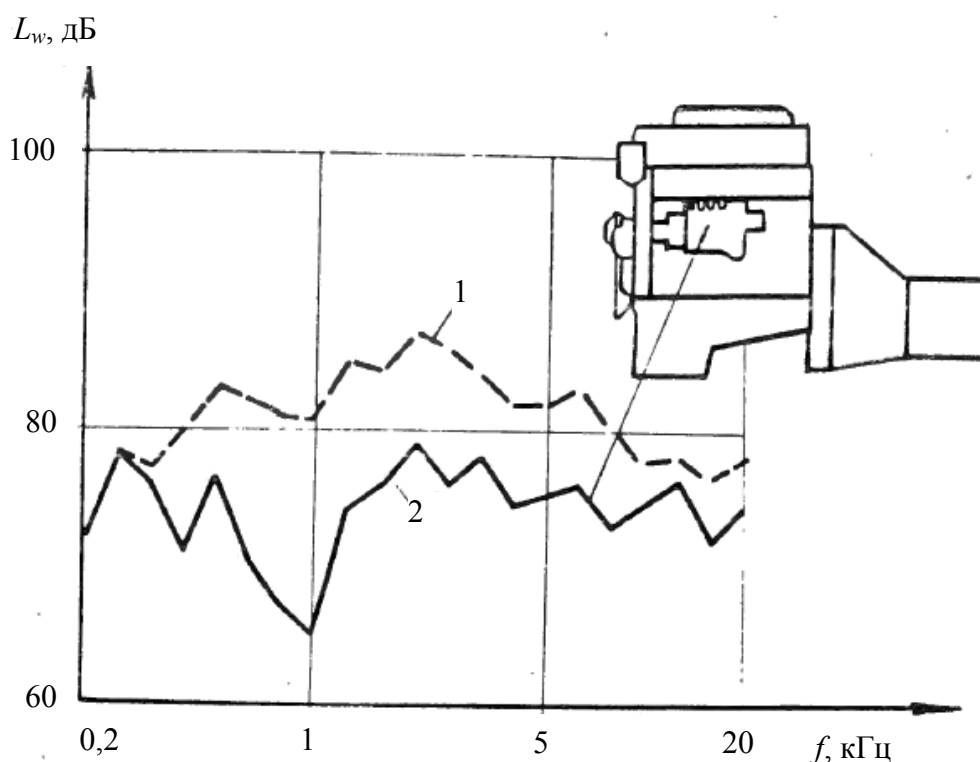


Рис. 3. Спектр шума, создаваемый топливным насосом 4-цилиндрового дизеля жидкостного охлаждения (по Тьену): 1 – общий уровень шума 95 дБ(А), 100%; 2 – шум, создаваемый топливным насосом 87,5 дБ(А), 18%

Общим недостатком проводимых ранее исследований по снижению шума ДВС являлось то, что количественно не выявлялись связи между действующими силами, виброакустическими свойствами конструкции и звуковым излучением, вследствие чего возникали трудности при выборе рациональных путей снижения шума дизелей. В настоящее время наметились пути и методы решения задачи снижения шума ДВС. Среди них наибольший интерес представляет расчетно-экспериментальный метод исследования акустического излучения дизелей, основанный на использовании математического аппарата спектрального метода, базирующегося на принципах интегрального преобразования Фурье [7].

Согласно спектральному методу все колебательные характеристики задаются функциями частоты (рис. 4). Силовое воздействие описывается амплитудными спектрами – $S_F(\omega)$. При этом спектр силового фактора представляет собой набор синусоидальных составляющих, частоты, амплитуды и фазы которых определяются длительностью и формой силового воздействия.

Колебательные свойства конструкции механической системы задаются комплексной частотной характеристикой $K_Z(\omega, x, y, z)$, которая задается совокупностью реакций колебательной системы на единичные синусоидальные воздействия.

Колебательная скорость поверхности излучателя шума при использовании спектрального метода описывается спектром $S_Z(\omega)$, который представляет собой результат перемножения $S_F(\omega)$ и $K_Z(\omega, x, y, z)$. При этом акустическая мощность представляет собой результат сочетания колебательной скорости $S_Z(\omega)$ с полным акустическим сопротивлением $R(\omega)$.

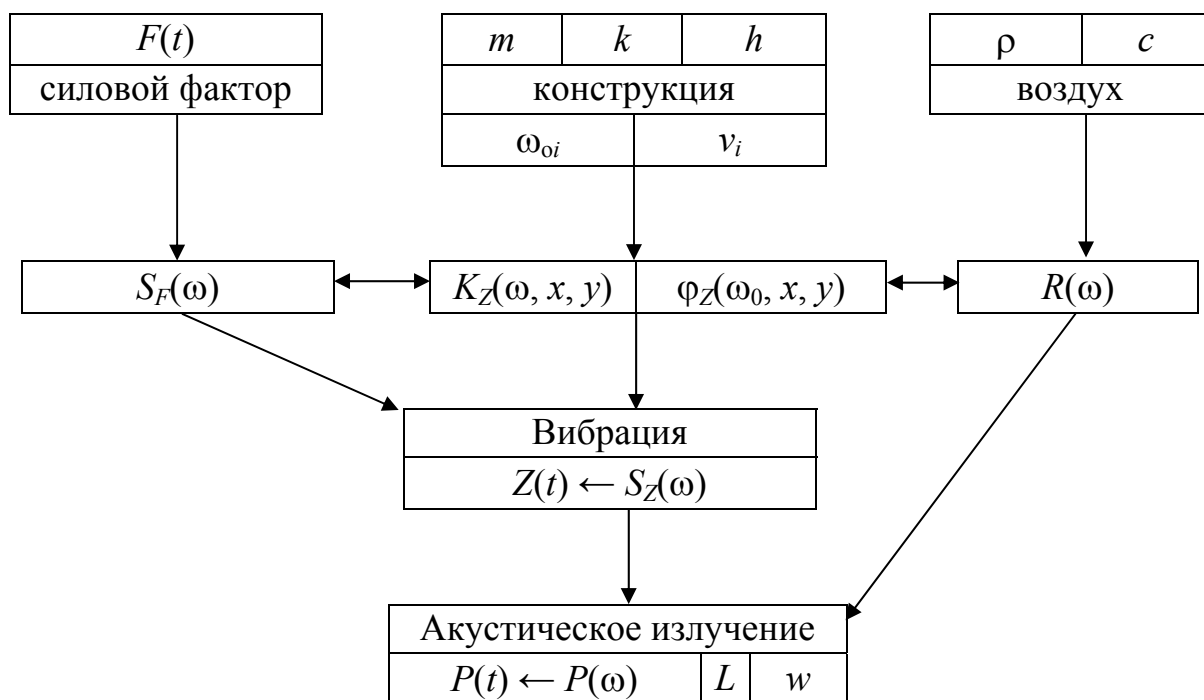


Рис. 4. Схема исследования механического шума поршневых ДВС

Использование спектрального метода, который является наиболее общим при изучении образования шума в двигателях, позволяет проводить экспериментально-аналитические исследования связей между силами, развивающимися при работе двигателя, его конструкцией и акустическим излучением и находить их оптимальные сочетания, обеспечивающие минимальное акустическое излучение, а также анализировать способность конструкции и ее деталей совершать колебательное движение и излучать звуковую энергию.

Заключение

В соответствии с вышеизложенным задача исследования шума механического происхождения и от процесса сгорания сводится к определению спектральных характеристик силового воздействия, частотных характеристик и сопротивлений излучения возбуждаемых конструкций двигателей.

Список литературы

1. Галевко В.В., Гриб В.В., Шатров М.Г. Виброакустический контроль технического состояния ДВС и агрегатов автомобиля / под ред. К.В. Фролова // Ориентированные фундаментальные исследования – федеральные целевые программы наукоемких производств: сб. науч. трудов и инженерных разработок. М.: Эксподизайн, 2007.
2. Галевко В.В., Щепкин А.И., Фесина М.И. Направления снижения шума от автомобильного транспорта в Европейской Экономической Комиссии // II Всероссийская научно-практическая конференция с международным участием «Защита населения от повышенного шумового воздействия» 17–19 марта 2009 г. Санкт-Петербург. С. 200–206.
3. ГОСТ 14846-81. Двигатели автомобильные. Методы стендовых испытаний. М., 2003. 41 с.

4. Иванов Н.И. Инженерная акустика. Теория и практика борьбы с шумом: учебник. М.: Университетская книга; Логос, 2008. 424 с.
5. Двигатели внутреннего сгорания: учебник для вузов: В 3 кн. / В.Н. Луканин, И.В. Алексеев, М.Г. Шатров [и др.]; под ред. В.Н. Луканина. М.: Высшая школа, 1995.
6. Луканин В.Н. Шум автотракторных двигателей внутреннего сгорания. М.: Машиностроение, 1971. 271 с.
7. Руссинковский В.С. Разработка метода расчёта вибрации и структурного шума корпусных деталей автомобильных дизелей: дис. ... канд. техн. наук. М., 2005.

References

1. Galevko V.V., Grib V.V., Shatrov M.G. *Vibroakusticheskij kontrol' tekhnicheskogo sostoyaniya DVS i agregatov avtomobilya* (Vibroacoustic condition monitoring of internal combustion engines and vehicle) Orientirovannye fundamental'nye issledovaniya – federal'nye celevye programmy naukoemkih proizvodstv: sbornik nauch. trudov i inzhenernyh razrabotok, Moscow, Ehkspodizajn, 2007.
2. Galevko V.V., Shchepkin A.I., Fesina M.I. *Napravleniya snizheniya shuma ot avtomobil'nogo transporta v Evropejskoj EHkonomicheskoy Komissii* (Directions to reduce noise from road transport in the Economic Commission for Europe) II Vserossiyskaya nauchno-prakticheskaya konferenciya s mezhdunarodnym uchastiem «Zashchita naseleniya ot povyshennogo шумового воздействия» 17–19 marta 2009 g. – Sankt-Peterburg, pp. 200–206.
3. GOST 14846-81. Dvigateli avtomobil'nye. Metody stendovyh ispytaniy, Moscow, 2003, 41 p.
4. Ivanov N.I. *Inzhenernaya akustika. Teoriya i praktika bor'by s шумом*: учебник (Engineering acoustics. Theory and practice of noise control), Moscow, Universitetskaya kniga, Logos, 2008, 424 p.

5. Lukanin V.N., Alekseev I.V., Shatrov M.G. *Dvigateli vnutrennego sgoraniya: uchebnik dlya vuzov: v 3 kn.* (Internal combustion engines), Moscow, Vysshaya shkola, 1995.

6. Lukanin V.N. *Shum avtotraktornyh dvigatelej vnutrennego sgoraniya* (Noise of automotive internal combustion engines), Moscow, Mashinostroenie, 1971, 271 p.

7. Russinkovskij V.S. *Razrabotka metoda raschyota vibracii i strukturnogo shuma korpusnyh detalej avtomobil'nyh dizelej* (Development of a calculation method of vibration and noise structural body parts for automotive diesel engines), candidate's dissertation, Moscow, 2005.