

АКУСТО-МЕХАНИЧЕСКИЕ ГЕНЕРАТОРЫ ЗВУКА ДЛЯ СОЗДАНИЯ ЗВУКОВОГО ИМИДЖА ЛЕГКОВОГО АВТОМОБИЛЯ

© 2011 Р. Н. Старобинский, А. В. Краснов, А. А. Ковалева, Н. В. Вильч

Тольяттинский государственный университет

The technical devices for creating of sportive and informative sound in car passenger compartment are considered. It is shown that the controlled sound transmission from engine intake system into the salon is one of the most perspective ways of sportive and informative sound generation. The acoustical-mechanical devices (impressors), methods of their synthesis and development and are also considered.

Шум, комфорт, автомобиль, салон, система впуска, «импрессор», безопасность.

Введение

Одной из тенденций современного автомобилестроения легковых автомобилей высокого класса является создание в пассажирском пространстве автомобиля динамического звука, улучшающего восприятие водителем транспортного средства в потоке движения и повышающего за счёт этого безопасность вождения автомобиля. Покупатели, как правило, хотят видеть транспортные средства, характер шума которых соответствует типу транспортного средства и их персональному восприятию. Для многих клиентов «акустический имидж» и звуковой комфорт представляют принимаемый всерьез мотив покупки. Удовольствие от езды должно повышаться совершенствованием внутренней акустики транспортного средства, созданием специфического, неповторимого характера звука, типичного для выбираемой марки транспортного средства и удовлетворяющего личным ожиданиям клиентов.

Многочисленные попытки создать звуковую информацию о работе двигателя при помощи «искусственного звука», сила и спектр которого зависел бы от режима работы двигателя при помощи акустических динамиков, устанавливаемых в салоне и управляемых сложными вычислительными комплексами, были предприняты ведущими автомобильными фирмами Европы в 90-е годы. Они не увенчались успехом, т.к. и водитель и пассажиры воспринимали синтезированный звук как искусственный и психологически не воспринимали его как сигнал от двигателя, требующий мгновенной и незамедлительной реакции. Решение этой про-

блемы потребовало «доставки» естественных звуковых и вибрационных сигналов, идущих непосредственно от двигателя и его систем. В качестве источника полезного сигнала используются обычно звуковые колебания в патрубках систем газообмена двигателя [1 – 33, 39] и вибрация двигателя [1, 34-38].

В предлагаемом сообщении обсуждаются возможные пути генерации такого звука и устройства для их реализации и, в частности, акустомеханические генераторы спортивного информационного звука и системы передачи «моторного» информационного звука в пассажирское пространство автомобиля, улучшающие возможности непрерывного акустического мониторинга водителем режима работы двигателя. Исследованы характеристики импрессора с компенсирующими камерами и предложены методы совершенствования его характеристик на основе двухмассовой механической модели.

Принципы работы акустомеханических преобразователей.

Оценка целевых функций

Основной задачей преобразователя является преобразование исходных колебаний генерируемых «естественным» источником (колебаний давления воздуха и выхлопных газов или механических вибраций) в полезный звуковой или механический сигнал, преобразование и фильтрация этого сигнала и доставка его в салон к водителю и пассажирам или к внешнему слушателю, находящемуся вне пассажирского пространства (рис. 1). При этом уровень звука должен был подниматься пропорционально числу оборо-

тов, он должен быть свободен от резонансов, без тональных составляющих. Пример системы с акустомеханическим преобразователем, использующей колебания в системе всасывания воздуха в двигатель, представлен на рис. 1. Система включает источник колебаний (колебательные давления во впускном патрубке 1), собственно преобразователь „с“, акустические и акустомеханические фильтры (как отдельно расположенные (9-f), так и интегрированные в преобразователь), излучатель (f) и соединительные трубки (2, 7). Система (звуковая труба, импрессор) возбуждается колебаниями давления во впускной системе (в патрубке 1, p_a), преобразует их в акустомеханическом преобразователе (с) в звуковые колебания и по дополнительной воздушной трубке передаёт их или непосредственно в салон, или в воздушное пространство моторного отсека (в точку f), а оттуда уже в пассажирское пространство автомобиля, к уху слушателя (в точку «g»).

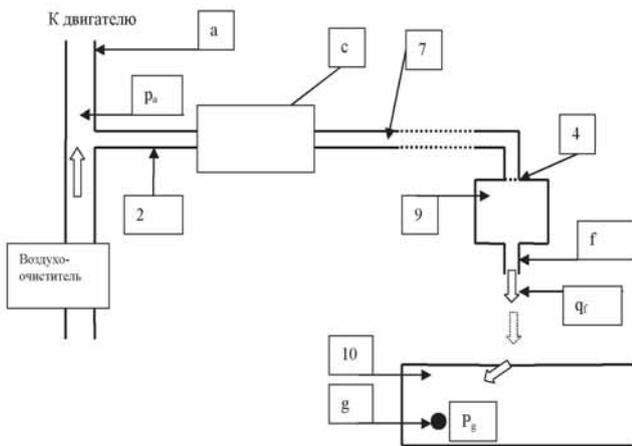


Рис. 1. Блок-схема «импрессора» - звуковой трубы: а – патрубков системы впуска, 2 – входной канал «импрессора», b, d – камеры «импрессора», с – акустомеханический преобразователь (в частности, подвижная мембрана), 7 – выходной канал «импрессора», 4 – сопротивление, 9 и f – камера и патрубок резонатора (акустического фильтра), 10 – салон, g – контрольная точка в салоне автомобиля

Звуковое давление в контрольной точке «g» (обычно у уха водителя или пассажира) определяется произведением переходной проводимости звуковой трубы (af) - Y_{fa} и переходного сопротивления участка (gf) - Z_{gf} , которое часто называют функцией Грина (G_{gf})

$$T_{ga} = \frac{p_g}{p_a} = \frac{p_g}{q_f} * \frac{q_f}{p_a} = Z_{gf} * Y_{fa} = G_{gf} * Y_{fa}, (1)$$

$$\text{где } Y_{fa} = \frac{q_f}{p_a} (2)$$

- переходная проводимость звуковой трубы (af),

$$G_{gf} = \frac{p_g}{q_f} (3)$$

- функция Грина.

Задачами акустического проектирования собственно «импрессора» является синтез его переходной проводимости Y_{fa} (целевой функции), обеспечивающей генерацию необходимого «полезного» звука в салоне (p_g), или необходимой передачи T_{ga} . И необходимая передача T_{ga} , и функция Грина (Z_{gf}) определяющая передачу звука непосредственно в салон транспортного средства, обычно определяются экспериментально. Типичные зависимости модуля функций Грина от частоты для автомобилей «Мерседес» приведены на рис. 2.

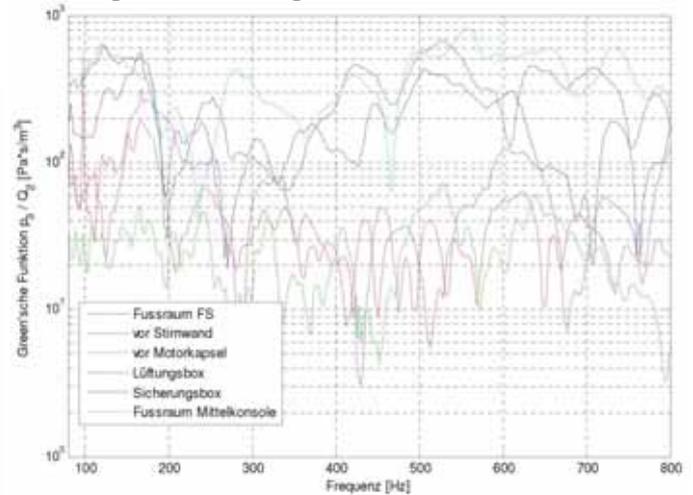


Рис. 2. Функции Грина по данным работы [16]

Целевая функция может быть определена из соотношения (2). Для её определения может быть также использован имитационный стенд [1, 15]. В наушники эксперта подаются в реальном времени сигналы, замеренные без импрессора (с заглушенной звуковой трубой) и сигнал от источника p_a , скорректированный посредством функций Грина и дополнительного регулируемого фильтра, характеристики которого (целевая функция Y_{fa}) подбираются вручную. Данные регулировок для наиболее «приятного» смешанного звука и принимаются в качестве целевой функции импрессора (звуковой трубы) при его проектировании. Таким образом,

непосредственное акустическое проектирование импрессора сводится к созданию акустической системы с заданной разрабочником автомобиля зависимостью переходной проводимости от частоты возбуждения.

На рис. 3 представлена типичная упрощённая аппроксимирующая зависимость модуля целевой функции от частоты [17]. Она имеет слабую передачу как на очень низких, так и на высоких частотах. В области частот основной гармоники требуемая передача обычно имеет широкую (порядка октавы) область с высокой передачей. Следует отметить, что целевая функция неоднозначна и в определённой мере субъективна. В период доводки она уточняется в зависимости от результатов акустических испытаний конструктивных реализаций. Кроме того, реальная конструкция имеет конечное число степеней свободы и поэтому синтезированные проводимости лишь аппроксимируют целевую функцию. Их соответствие «хорошему» субъективному восприятию проверяется как на имитационном стенде, так и на автомобиле. Важно отметить, что в процессе определения оценки «смешанного» звука на имитационном стенде используются временные сигналы, оцениваемые экспертом в реальном времени. Поэтому важны не только модули, но и фазы измеряемой (синтезируемой) передачи.

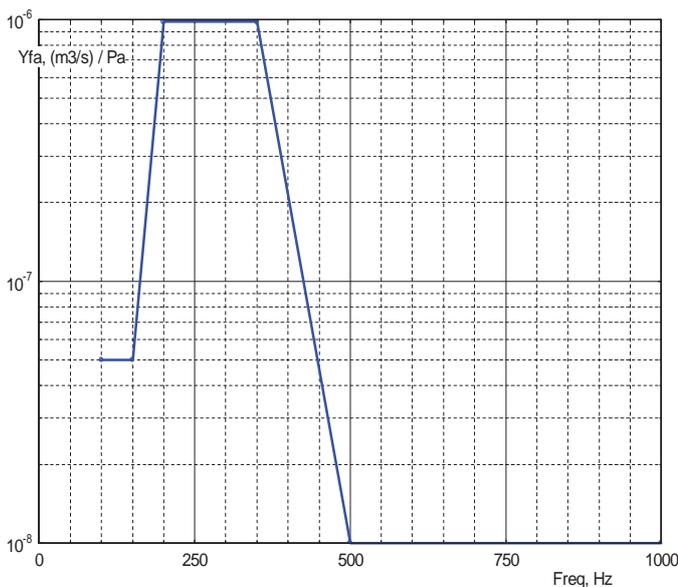


Рис. 3. Пример аппроксимированной целевой функции Y_{fa}

Представление передаточной функции импрессора через передачи механического и акустических блоков

В представленной на рис. 4 блок-схеме импрессор разбит на два акустических блока (a-k) и (m-f) и механический блок (k-m).

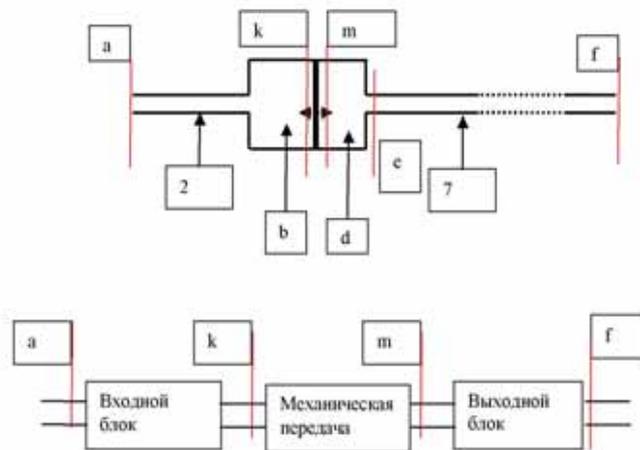


Рис. 4. Блок-схема передачи сигнала через импрессор

Входной блок опишем матрицей

$$i_a = Y_{aa} u_a + B_{ak}^{ii} i_k \quad (4)$$

$$u_k = B_{ka}^{uu} u_a + Z_{kk} i_k.$$

Здесь „ i “ и „ u “ – эквивалентные токи и напряжения в граничных сечениях входного блока.

Механический блок описан ниже матрицей проводимостей Y :

$$i_k = Y_{kk} u_k + Y_{km} u_m \quad (5)$$

$$i_m = Y_{mk} u_k + Y_{mm} u_m.$$

Выходной блок описан матрицей

$$u_m = Z_{mm} i_m + B_{mf}^{uu} u_f \quad (6)$$

$$i_f = B_{fm}^{ii} i_m + Y_{kf} u_f.$$

Уравнения (4 - 6) совместно с граничными условиями (7) в сечениях (a) и (f), например,

$$p_a = p_s ; \quad p_f = 0 \quad (7)$$

полностью определяют акустические и механические колебания во всех точках системы, в том числе и переходную проводимость Y_{fa} .

Ниже приводится метод преобразования уравнений и ищется именно аналитическое описание их решений именно для качественного анализа поведения системы и разработки путей синтеза и оптимизации конструкций. Для этого ниже использован метод направленных (сигнальных) графов [42]. Граф системы (3 - 6) представлен на рис. 5.

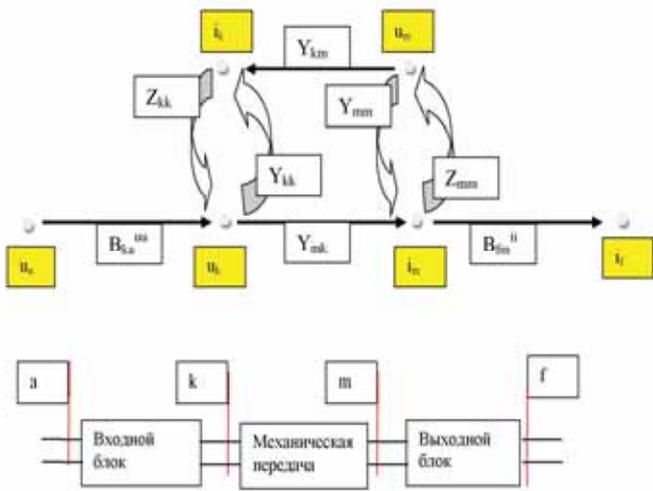


Рис. 5. Граф системы (3 – 6)

Согласно правилу Мейсона [42] передача этого графа определяется комбинацией прямых передач ветвей графа с учётом петель графа. При выбранной форме описания характеристик элементов реализуется лишь один прямой путь от точки (u_a) к точке (i_f). Передача этого пути описывается формулой

$$i_{f,direct} = B_{ka}^{uu} * Y_{mk} * B_{fm}^{ii} * u_a \quad (8)$$

Выражение (8) рассматривается ниже в качестве приближённого аналитического выражения для синтеза целевой функции Y_{fa} :

$$Y_{fa} = \sim B_{ka}^{uu} * Y_{mk} * B_{fm}^{ii} \quad (9)$$

Преимущество описания (9) – возможность поэлементного синтеза отдельных блоков импрессора. Конечно, возможность использования формулы (9) должна каждый раз контролироваться. В частности, для импрессора, уставленного непосредственно у трубы 1, без выходного паргубка, излучающего непосредственно в пространство моторного отсека

$$B_{ka}^{uu} = \sim 1 \text{ и } B_{fm}^{ii} = \sim 1$$

И, соответственно, передача Y_{fa} определяется только передачей механического блока, в который для конструкции на рис. 4 включается и упругость воздушных пружин (газовых объемов в полостях b и d)

$$Y_{fa} = Y_{mk} \quad (10)$$

Разложение передачи акустомеханического блока по полюсам передаточной функции

Для оценки потенциальных величин проводимостей механического блока "mk" и решения задач синтеза передачу

механического блока удобно разложить по собственным формам колебаний

$$Y_{mk} = \left(\frac{1}{j\omega M} \sum_{i=0}^{\infty} \frac{\omega^2}{\omega^2 - \omega_i^2} B_{si} B_{ia} \right) p_a \quad (11)$$

где ω_i^2 - собственные частоты;

M – суммарная масса подвижных элементов;

A_{si} и B_{ia} коэффициенты формы [43].

Как следует из разложения (11), с точки зрения расширения полосы пропускания желательнее использовать многомассовые системы с большим числом резонансов ω_i , «покрывающих» интересующие полосы актуальных частот. В частности, использовать двухмассовые механические системы взамен одномассовых.

На рис. 6 представлен один из вариантов конструктивного исполнения двухмассового импрессора, предназначенного для использования в двигателях с турбонаддувом [13]. Собственно акустомеханический преобразователь содержит корпус 17, разделённый неподвижной жёсткой воздухонепроницаемой перегородкой 13 на две акустически несообщающиеся области. Область высокого давления сообщается патрубком 2 с впускной трубой 1 и разделена подвижной перегородкой 8 на две части (3 и 4), сообщающиеся друг с другом через компенсирующий канал 12. Перегородка закреплена на пружинных уплотнителях 15. Колебания давления из впускной трубы 1 передаются в камеру 3, вызывают продольные колебания перегородки 8 и через шток 10 передаются далее на подвижную перегородку 9. Колебания перегородки 9 сжимают воздух в камере низкого (атмосферного) давления 6 и выталкивают его в воздушную трубку 7, откуда передаются далее к излучателю f. Компенсирующий канал 12 выравнивает статические в камерах 3 и 4 и предохраняет легкоподвижные элементы подвижного механического блока от повреждений силами давления [13]. В перегородку 13 установлено уплотнение 11, предотвращающее проникновение воздуха из камеры 4 в камеру 5. Кроме механической связи между перегородками (мембранами) в патенте [13] рассматривается также возможности использования гидравлической и электромагнитной связи. Двухмассовость в схеме на рис. 4 достигается введением податливого (пружинного) элемента в шток 10.

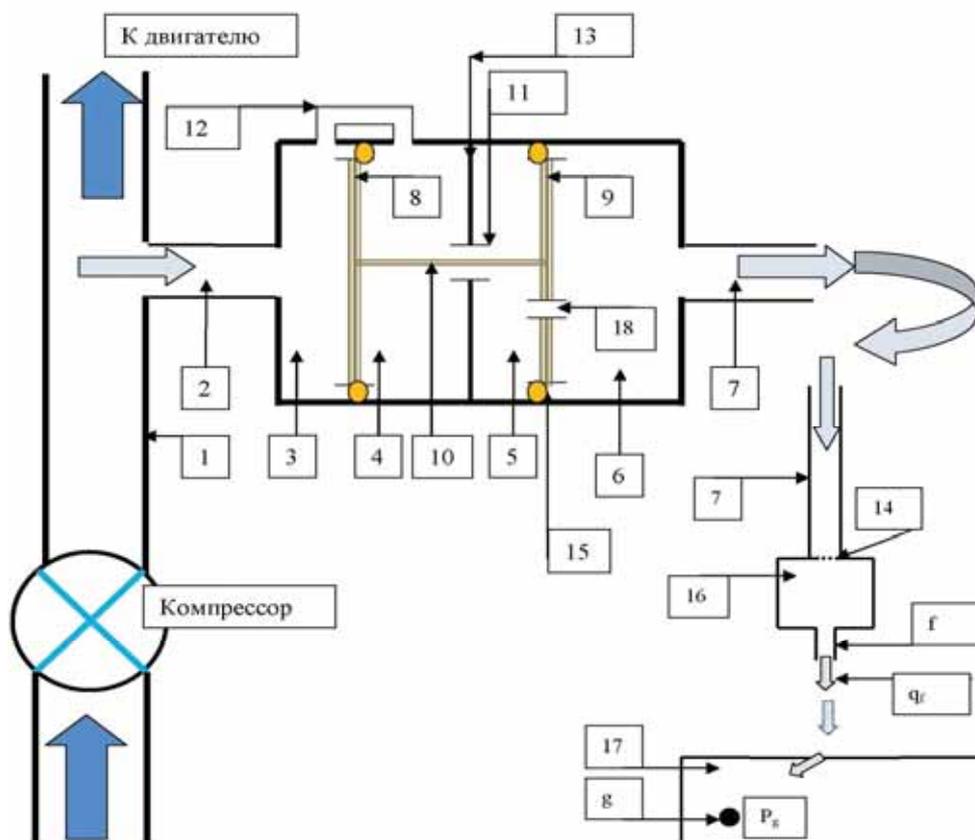


Рис. 6. Принципиальная схема «импрессора» с разгруженной мембраной по патенту [13] (вариант): 1 – входной канал; 2, 3 – камеры входного (нагруженного) блока; 4, 5 – камеры выходного контура; 6 – выходной канал; 7 – дросселирующий канал; 8, 9 – колеблющиеся поршневые мембраны; 10 – шток, 11 – подвижное уплотнение, 12 – разделительная перегородка между воздушными блоками

Акустомеханическая модель импрессора

Акустомеханическая модель импрессора без конечного резонатора представлена на рис. 7. Кроме пружин подвески подвижных перегородок Spring_8 и Spring_9 в модель включена промежуточная пружина Spring_10, инсталлированная в шток 10. Воздушные акустические элементы описаны как акустические n-порты (2n-полюсники). Подробное описание их моделей, применительно к системам впуска и выпуска и к глушителям, и соответствующие таблицы можно найти, например, в работе [44].

Синтез механического блока на основе симметричной двухмассовой механической модели

Ниже для синтеза механического блока в качестве базовой модели используется модель симметричной механической двухмассовой системы, представленная на рис. 8. Колебания симметричной системы характеризуются двумя собственными формами, относительные смещения масс в ко-

торых представлены на рис. 8. При равных массах и жёсткостях - $M_8 = M_9$ и $K_8 = K_9$, первая собственная форма колебаний системы соответствует асимметричным колебаниям с массами движущимися в одну сторону (рис. 8,а) и, например, для правой части системы соответствует колебаниям в схеме (рис. 8,б). Собственная частота первой формы определяется выражением

$$\omega_1^2 = \frac{K_8}{M_8} \quad (12)$$

Пружина K_{10} на колебания первой (низшей) формы не влияет, т.к. при перемещении масс она не деформируется.

Вторая собственная форма соответствует движению масс навстречу друг другу (рис. 8,с) и соответствует колебаниям в системе (рис. 8,д). Собственная частота второй формы определяется выражением

$$\omega_2^2 = \frac{K_8 + 2K_{10}}{M_8} \quad (13)$$

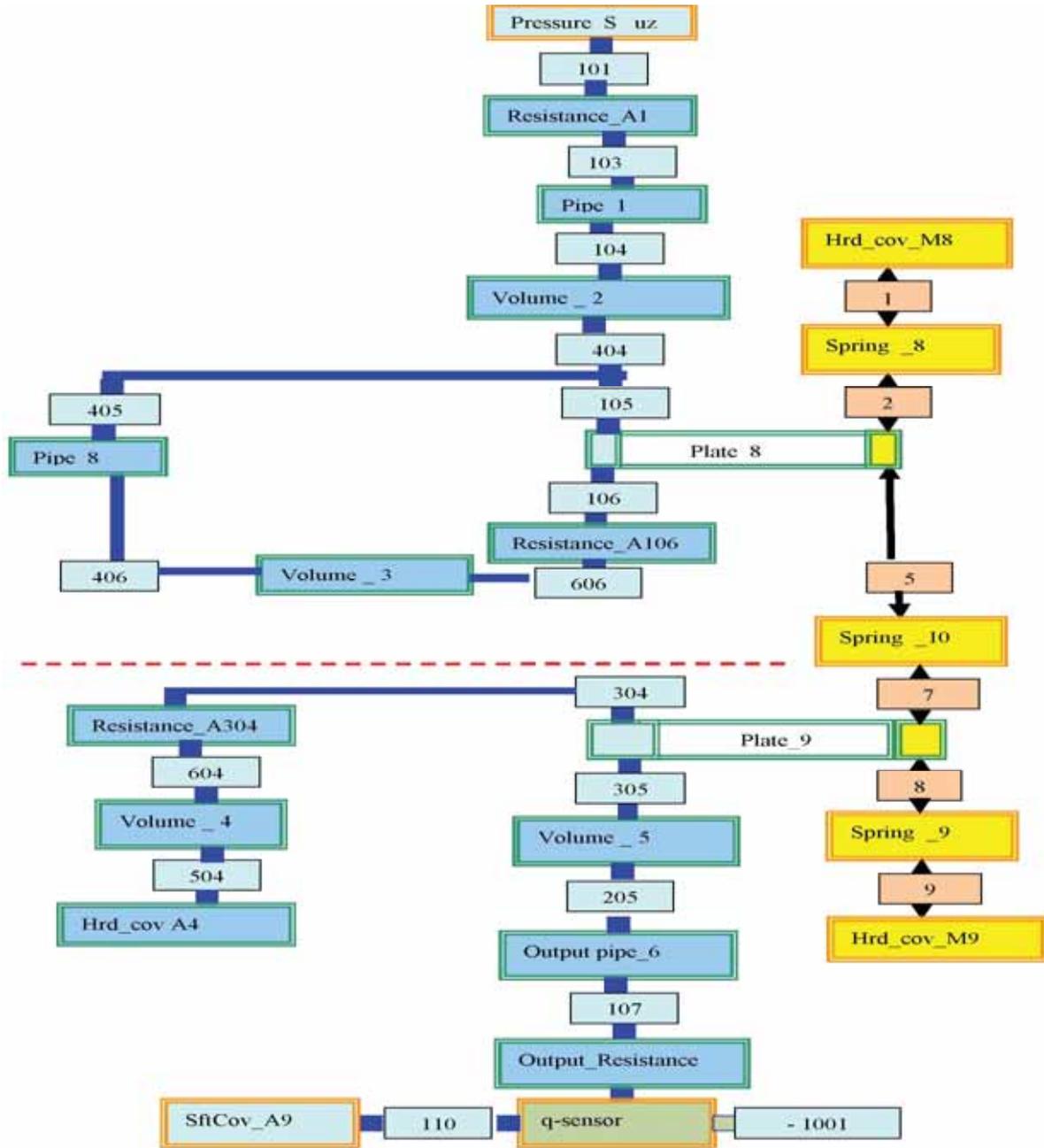


Рис. 7. Акустомеханическая модель импрессора

Для синтеза импрессора можно как вариант, выбрать для планируемой ширины полосы пропускания в 1 октаву

$$M_8 = M_9 \quad (14)$$

$$K_8 = K_9 = M_8 \omega_{цмн}^2 \quad (15)$$

$$K_{10} = 0.5 * K_8 \quad (16)$$

Для более узкой полосы с центральной частотой $f_{цмн}$ и шириной B октав

$$f_{цмн} = \sqrt{f_{1,гран} * f_{2,гран}} \quad (17)$$

$$\frac{f_{2,гран}}{f_{1,гран}} = 2^B \quad (18)$$

принимаем

$$f_1 = f_{цмн} 2^{-B/4}$$

$$\text{и } f_2 = f_{цмн} 2^{B/4} \left(\frac{f_2}{f_1} = 2^{B/2} \right), \quad (19)$$

откуда при заданной массе мембраны M_2 имеем для остальных механических величин

$$K_8 = K_9 = M_8 \omega_1^2 = M_8 \omega_{цмн}^2 2^{-B/2}, \quad (20)$$

$$K_{10} = 0,5(M_8 \omega_2^2 - K_8) = 0,5 M_8 (\omega_2^2 - \omega_1^2) = \\ = M_8 \omega_{цмн}^2 0,5(2^{B/2} - 2^{-B/2}). \quad (21)$$

На рис. 9 характеристики механического блока двухмассового импрессора сравнены с характеристиками идентичного одномассового (в случае жёсткого штока). Двухмассовая система имеет и более широ-

кую полосу усиления (передачи) и более крутые спады частотной характеристики как на низких, так и на высоких частотах.

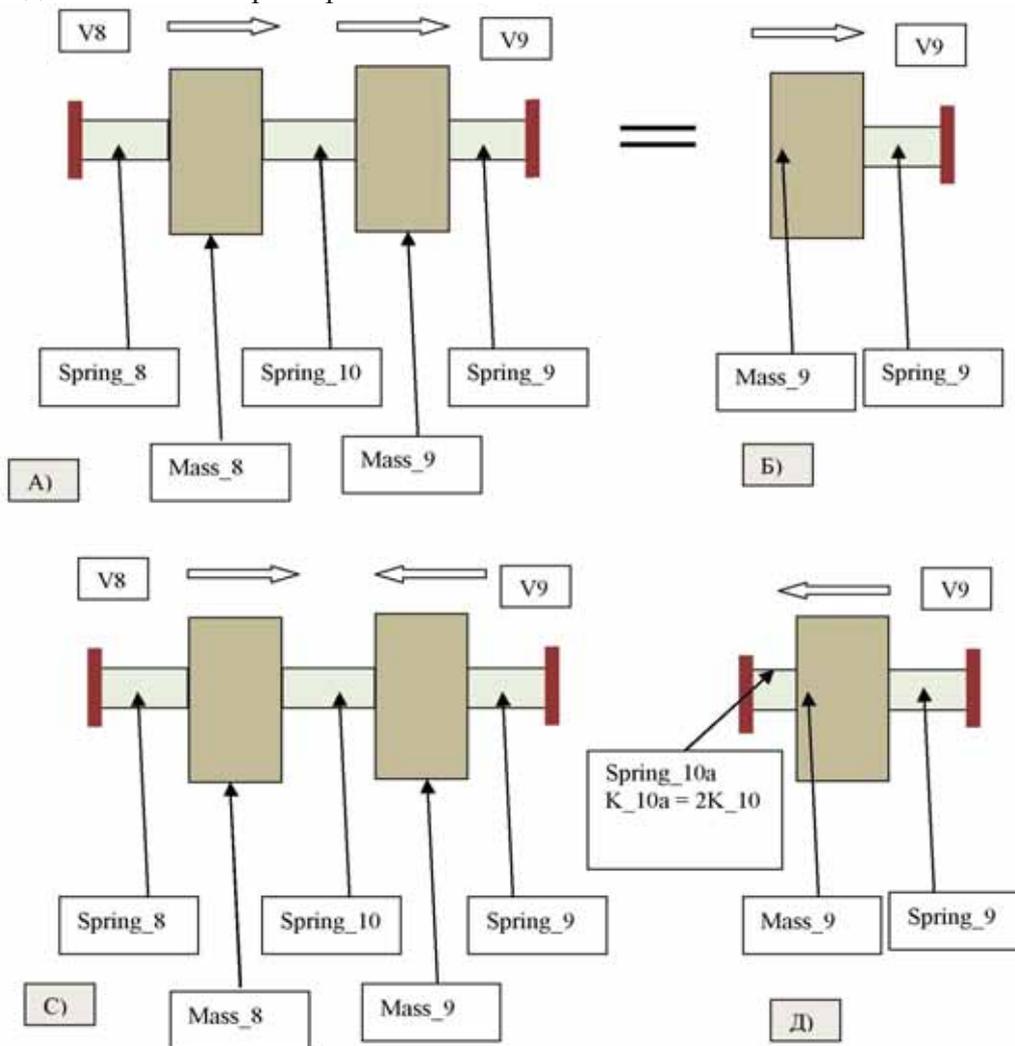


Рис. 8. Собственные формы колебаний в симметричной двухмассовой колебательной системе

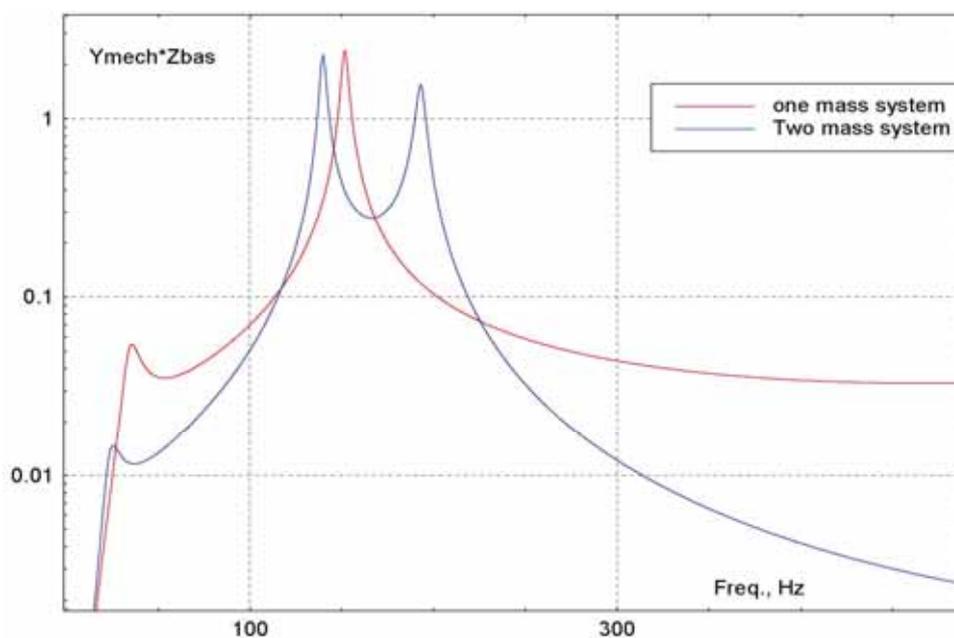


Рис. 9. Сравнительные передачи механического блока одно- и двухмассового импрессоров

Выводы

1. Исследовано описание передачи звука импрессора через характеристики собственных форм колебаний акустомеханической системы, содержащей как акустические, так и механические элементы.

2. Предложен метод и алгоритм синтеза передаточной проводимости импрессора по полюсам его передаточной функции.

3. Предложено представление передаточной функции импрессора через передачи механического и акустического блоков по отдельности.

4. Предложен метод и алгоритм синтез импрессоров на основе симметричной двух-массовой механической модели.

5. Показано, что увеличение числа масс в механическом блоке импрессора позволяет расширить полосу частот его эффективной работы.

Результаты работы могут быть востребованы предприятиями, научно-исследовательскими учреждениями, научно-образовательными центрами, занимающимися разработкой и производством автотранспортных средств с минимальным вредным шумовым воздействием на окружающую среду и на пассажиров, а так же разработчиками легковых автомобилей класса люкс с повышенными требованиями к звуковому комфорту и безопасности их эксплуатации.

Научно-исследовательская работа выполнена в рамках реализации федеральной целевой программы «Научные и научно-образовательные кадры инновационной России» на 2009-2013 гг.

Библиографический список

1. Hofmann, M. Konzept zur gezielten Beeinflussung des Geräusch-charakters von Fahrzeugen [Text] / M. Hofmann, R. Helber // Fortschritte der Akustik, DAGA - Hamburg - 2001, -2 p.

2. Vorrichtung zur Geräuschgestaltung bei einem Kraftfahrzeug [Text]: patent DE10042012 B2 / R. Helber, M. Hofmann, H. Müller, R. Starobinski; publ. 19.08.2004.

3. Sonic coupling between an intake tract or engine compartment and the interior of a motor vehicle [Text]: patent US2008135330 / Dr. Anton Wolf; publ. 12.06.2008.

4. Schallübertragungsvorrichtung für ein Kraftfahrzeug [Text]: patent DE10114397 A1 / R. Hoffmann, K. Brodesser, U. Lindner; publ. 26.09.2002.

5. Sound transmission device for a motor vehicle [Text]: patent US6600408 / N. Walter, M. Helget, T. Gokeler, H. Hoffmann, U. Lindne; publ. 29.06.2003.

6. Schallwandler für ein Kraftfahrzeug [Text]: patent EP1365120 / A. Enderich, L. Fröhlich; publ. 15.05.2003.

7. Vehicle Intake Sound Introducing Apparatus [Text]: patent EP 1870592 A2 / D. Ochi, N. Yamamoto, H. Matsouka; publ. 19.06.2007.

8. Vorrichtung zur Geräuschgestaltung bei einem Kraftfahrzeug [Text]: patent DE10223871 A1 / M. Hofmann, R. Starobinski; publ. 11.12.2003.

9. Sound generator with structurally and acoustically coupled sound radiation panel and method for manufacturing the same [Text]: patent US2009057054 A1/ J. D. Kostun, M. D. Hellie, C. E. Shaw, A. C. Arruda, M. J. Styles; publ. 05.03. 2009.

10. Intake device of Internal Combustion Engine [Text]: patent US7448353 / M. Shinada, Y. Saito; publ. 11.11.2008.

11. Sound increase apparatus [Text]: patent EP1736349 A1 / Hiroyuki, A. Hiromichi, S. Akira, S. Masashi, S. Yuta; publ. 16.05.2006

12. Sound-Engineering an aufgeladen Motoren [Text] / A. Enderich, K. Brodesser, L. Fröhlich [et al.] // 26. Int. Wiener Motorensymposium 2005, Österreich, pp.280-297.

13. Vorrichtung zur Geräuschgestaltung bei einem Kraftfahrzeug [Text]: patent DE10212257 B4 / M. Hofmann, R. Starobinski, H. Striebel; publ. 26.08.2004.

14. Device for establishing noise in a motor vehicle [Text]: patent US7188703 B2/ M. Hofmann, R. Starobinski; publ. 13.03.2007.

15. Hofmann, M. Konzept zur gezielten Beeinflussung des Geräuschcharakters von Kraftfahrzeugen [Text] / M. Hofmann // Dissertation, Technischen Universität Darmstadt - 2003, - 140 p.

16. Schallwandlerkopf und diesen umfassenden Schallwandler, insbesondere für ein Kraftfahrzeug [Text]: patent DE10149169 C1 / A. Wolf, J. Hoffmann Josef, R. Stichter; publ. 12.12.2002.

17. Vorrichtung zur Übertragung von Brennkraftmaschinengeräuschen [Text]: patent

EP1306829 A2 / H. Maurer, M. Alex, E. Vogel; publ. 25.10.2002.

18. Vorrichtung zur Geräuschgestaltung bei einem Kraftfahrzeug [Text]: patent DE102008009531 A1 / M. Alex, M. Hofmann, R. Starobinski; publ. 20.08.2009.

19. Vorrichtung zur Geräuschgestaltung bei einem Kraftfahrzeug [Text]: patent DE102008009526 A1 / M. Alex, M. Hofmann, R. Starobinski; publ. 20.08.2009.

20. Vorrichtung zur Geräuschgestaltung bei einem Kraftfahrzeug [Text]: patent DE102008009527 A1 / M. Alex, M. Hofmann, R. Starobinski; publ. 20.08.2009.

21. Vorrichtung zur Geräuschgestaltung bei einem Kraftfahrzeug [Text]: patent DE102008009528 A1 / M. Alex, M. Hofmann, R. Starobinski; publ. 20.08.2009.

22. Vorrichtung zur Geräuschgestaltung bei einem Kraftfahrzeug [Text]: patent DE102008009530 A1 / M. Alex, M. Hofmann, R. Starobinski; publ. 20.08.2009.

23. Vorrichtung zur Geräuschgestaltung bei einem Kraftfahrzeug [Text]: patent DE102008009534 A1 / M. Alex, M. Hofmann, R. Starobinski; publ. 20.08.2009.

24. Intake air noise adjuster [Text]: patent US2009025672 A1 / T. Akimoto, I. Fukumoto, M. Shinada, T. Kawano; publ. 29.01.2009.

25. Vorrichtung zur Geräuschgestaltung bei einem Kraftfahrzeug [Text]: patent EP1507682 B1 / M. Hofmann, R. Starobinski; publ. 11.12.2003.

26. Air filter for an internal combustion engine [Text]: patent US2004011011 A1 / C. Eberhard, J. Winkel; publ. 22.01.2004.

27. Vorrichtung zur Geräuschgestaltung bei einem Kraftfahrzeug [Text]: patent DE10357017 A1 / M. Hofmann, R. Starobinski; publ. 30.06.2005.

28. Schallwandler für Abgaspulsationen [Text]: patent EP1138887 A2 / A. Wolf; publ. 29.03.2001.

29. Vorrichtung zur Geräuschgestaltung bei einem Kraftfahrzeug [Text]: patent US6932189 B2 / R. Helber, M. Hofmann, R. Starobinski; publ. 23.08.2005.

30. Simulating Odd Fire V-10 Exhaust Noise for Sound Quality Evaluation [Text] / P. Hetherington, W. Hill, F. Pan [et al.] // SAE Technical Papers Series, 1999 - 01-1652.

31. Vorrichtung zur Geräuschgestaltung bei einem Kraftfahrzeug [Text]: patent US7377359

B2 / M. Hofmann, S. Rossa, R. Starobinski; publ. 27.05.2008.

32. Mehrflutige Abgasanlage mit Übersprechstrecke [Text]: patent DE102007007946 A1 / M. Hofmann, R. Starobinski; publ. 04.09.2008.

33. Vorrichtung zur Geräuschgestaltung bei einem Kraftfahrzeug [Text]: patent DE102008009533 A1 / M. Alex, M. Hofmann, R. Starobinski; publ. 20.08.2009.

34. Vorrichtung zur Lagerung einer Brennkraftmaschine [Text]: patent DE102004043334 A1 / M. Hofmann, R. Starobinski, J. Troge; publ. 09.03.2006.

35. Vorrichtung zur Lagerung einer Brennkraftmaschine [Text]: patent DE102005025577 A1 / M. Hofmann, R. Starobinski, J. Troge; publ. 07.12.2006.

36. Motorlager [Text]: patent DE 102006003882 A1 / M. Hofmann, R. Starobinski, J. Troge; publ. 02.08.2007.

37. Motorlager mit hydraulischer Dämpfung [Text]: patent DE102006058110 A1 / M. Hofmann, R. Starobinski, J. Troge; publ. 12.06.2008.

38. Troge, J. Erarbeitung von Konzepten zur gezielten akustischen Abstimmung eines Motorlagers [Text] / Jan Troge // Diplomarbeit, Technische Universität Dresden – 2004.

39. Fuchmann, B. Grundsatzuntersuchungen zum Sportsound durch Abgaskrümmers- und Vorrohranpassung [Text] / Bernd Fuchmann, Patrik Garcia // MTZ Motortechnische Zeitschrift 62 (2001). 5. - P. 356 – 366.

40. Küppers, Th. Untersuchungen zur Beeinflussung und Anpassung des Übertragungsverhaltens einer Impressor-Luftschallbrücke bei Schaltsaugrohrmotoren [Text] / Th. Küppers // Master Thesis, Institut für Kraftfahrzeuge RWTH Aachen, Aachen, Oktober 2008. - P.103.

41. Müller, H. Experimentelle und analytische Auslegung einer Luftschallbrücke zur Geräuschgestaltung im Fahrzeug / H. Müller // Diplomarbeit, DaimlerChrysler AG, Technische Universität Darmstadt, Stuttgart, April 2000. – 129p.

42. Бессонов, Л.А. Линейные электрические цепи [Текст] / Л.А. Бессонов // – М.: Высшая школа, 1968. - 256 с.

43. Старобинский, Р.Н. Теория и синтез глушителей для впускных и выпускных систем двигателей внутреннего сгорания [Текст] / Р.Н. Старобинский // Дис. ... д-ра техн. на-

ук. - Тольятти, 1982. - 333 с.

44. Старобинский, Р.Н. Глушители шума [Текст] // Техническая акустика транспорт-

ных машин: справ. Гл. 10 / под ред. д-ра техн. наук, проф. Н.И. Иванова – СПб.: Политехника, 1992. – С. 194-265.

ACOUSTICAL-MECHANICAL SOUND GENERATORS FOR CREATING AN ACOUSTICAL IMPRESSION OF A CAR

© 2011 R. N. Starobinski, A. V. Krasnov, A. A. Kovaleva, N. V. Vilch

Togliatti State University

The technical devices for creating of sportive and informative sound in car passenger compartment are considered. It is shown that the controlled sound transmission from engine intake system into the salon is one of the most perspective ways of sportive and informative sound generation. The acoustical-mechanical devices (impressors), methods of their synthesis and development and are also considered.

Noise, comfort, car, passenger compartment, intake system, exhaust system, «impressor», safety.

Информация об авторах

Старобинский Рудольф Натанович, доктор технических наук, профессор, научный консультант «Prof. R.Starobinski. Silencers. Consulting and engineering», Гамбург, Германия. E-mail: Rudolf.Starobinski@freenet.de. Область научных интересов: внутренняя акустика машин.

Краснов Александр Валентинович, кандидат технических наук, доцент Тольяттинского государственного университета. Область научных интересов: внутренняя акустика машин.

Ковалева Анна Александровна, аспирант кафедры управления промышленной и экологической безопасностью Тольяттинского государственного университета. E-mail: A.Kovaleva@tltsu.ru. Область научных интересов: внутренняя акустика машин.

Вильч Надежда Валерьевна, студентка Тольяттинского государственного университета. E-mail: navi2004@yandex.ru. Область научных интересов: внутренняя акустика машин.

Starobinski Rudolf Natanovich, Doctor of technical sciences, professor, the director Consulting-büro «Prof. R.Starobinski. Silencers. Consulting and engineering», Hamburg, Germany. E-mail: Rudolf.Starobinski@freenet.de. Area of research: the internal speakers machines.

Krasnov Alexander Valentinovich, Candidate of technical Sciences, Associate Professor of Togliatti State University. Area of Research: the internal speakers machines.

Kovaleva Anna Alexandrovna, graduate department management of industrial and environmental safety of Togliatti State University. E-mail: [A. Kovaleva @ tltsu.ru](mailto:A.Kovaleva@tltsu.ru). Area of Research: the internal speakers machines.

Vilch Nadezhda Valerievna, a student of Togliatti State University. E-mail: navi2004@yandex.ru. Area of Research: the internal speakers machines.