

УДК 621.431.73

ИДЕНТИФИКАЦИЯ И МЕТОДИКА СНИЖЕНИЯ ПЕРИОДИЧЕСКИХ ШУМОВ АВТОМОБИЛЬНЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ ВНУТРЕННЕГО СГОРАНИЯ МЕТОДОМ АКТИВНОЙ КОМПЕНСАЦИИ

© 2009 А. В. Васильев, С. С. Андреев, И. В. Буцаев, В. В. Пимкин

Тольяттинский государственный университет

Обсуждаются проблемы использования систем активной компенсации шума автомобильных двигателей внутреннего сгорания. Приводятся методика и результаты анализа спектра шума двигателей внутреннего сгорания.

Автомобильный двигатель внутреннего сгорания; шум; снижение; метод; активная компенсация.

В связи с возрастанием требований к экологическим, потребительским и эксплуатационным характеристикам энергетических установок, в частности автомобильных двигателей внутреннего сгорания (ДВС), актуальной проблемой является снижение их шума и вибрации. Для снижения низкочастотного шума эффективным средством является использование систем активного гашения (САГ) шума. САГ в настоящее время широко используются для снижения низкочастотных акустических шумов. При этом эффективность метода зависит от широкого ряда факторов:

- частотного диапазона;
- пространственных условий (волновода, замкнутого объема, открытого пространства);
- алгоритма управления;
- количества и качества источников вторичного поля (громкоговорителей);
- количества и качества информации об исходном поле и др.

В основных схемах САГ для получения информации об исходном звуковом поле используются либо непосредственно акустические датчики (микрофоны), либо датчики, по своему сигналу позволяющие рассчитать основные составляющие исходного поля (акселерометры, тахометры).

Так, для поршневого автомобильного ДВС целесообразно использование датчика оборотов коленчатого вала. Основываясь на информации о частоте оборотов, можно рассчитать основные гармоники, генерируемые

двигателем. Недостатком является отсутствие информации о реальном звуковом поле, не позволяющее организовать адаптивную систему. Однако можно указать на следующие преимущества использования тахометра перед микрофоном:

- датчик в большинстве случаев уже имеется в автомобиле,
- отсутствие обратной волновой связи,
- помехозащищенность,
- значительно большая долговечность.

В данной работе рассматривается использование индукционного датчика оборотов коленчатого вала двигателя в качестве входного сигнала САГ шума автомобиля. Для выявления зависимости между частотой оборотов коленчатого вала и генерируемым шумом на базе автомобиля ВАЗ 2110 была собрана экспериментальная установка, схематично показанная на рис. 1. На рисунке показаны и обозначены буквами:

А) положение измерительного микрофона у патрубка впускной системы;

В) положение измерительного микрофона в центре салона на высоте положения головы пассажира;

С) положение измерительного микрофона у среза выхлопной трубы

Сбор данных с измерительного микрофона и датчика оборотов проводился с помощью внешнего модуля ЦАП/АЦП L-CARD E14-440 с цифровым сигнальным процессором. Модуль обладает USB интерфейсом и позволяет совместно с персональным компьютером (ПК) и штатным программным обес-

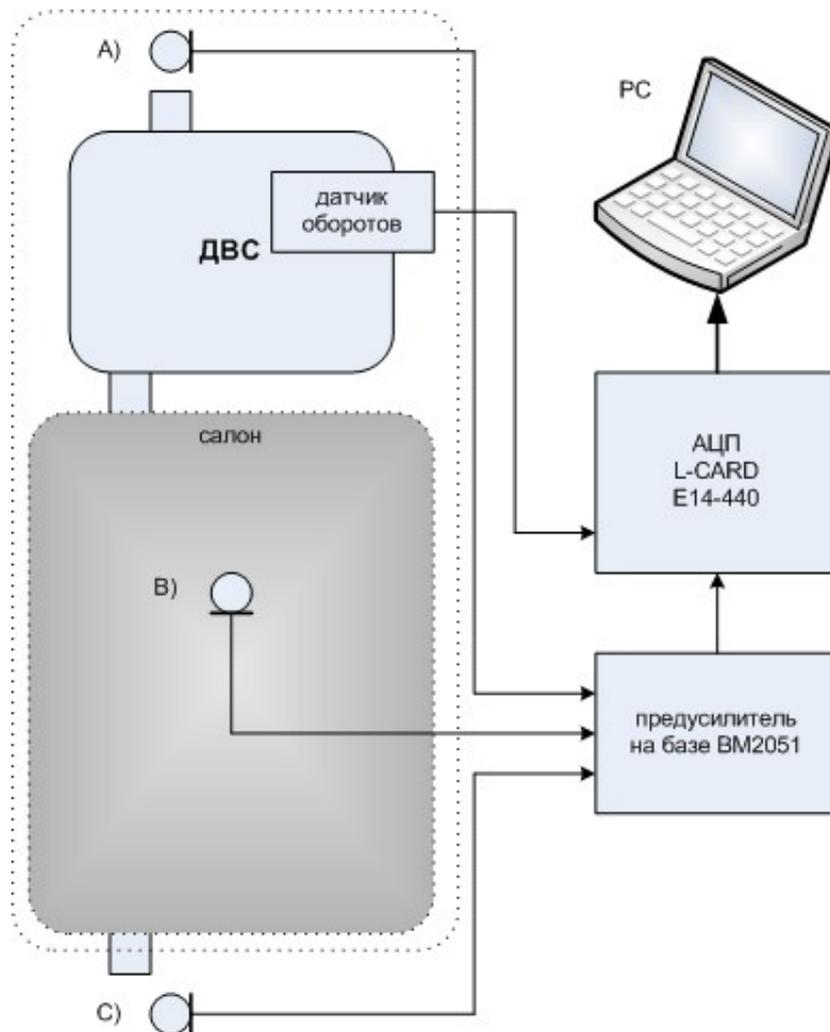


Рис. 1. Схема экспериментальной установки

печением (ПО) отображать и производить запись сигнала в реальном времени.

С частотой дискретизации по времени 100 кГц параллельно проводилась запись сигналов по двум каналам:

- с измерительного микрофона,
- с датчика оборотов.

В дальнейшем записанные сигналы обрабатывались и анализировались с помощью комплекса программ, разработанных в пакете Scilab. Пакет научных вычислений Scilab обладает достаточно широкой функциональностью и способен в некоторой степени заменить популярную систему Matlab®. Вместе с тем Scilab является бесплатным программным продуктом. Использование такого рода пакетов позволяет сэкономить время на реализации стандартной функциональности (вывод результатов, визуализация дан-

ных, общеизвестные алгоритмы вычислений).

На первом этапе проводилась предварительная обработка сигнала с датчика оборотов. На рисунке 2 показана временная характеристика сигнала, которая представляет собой последовательность стробов, генерируемых индукционным датчиком при полном обороте вала двигателя.

За признак строба было принято изменение уровня сигнала между двумя последующими отсчётами АЦП более чем на -3,5 В. Период обращения вала в момент возникновения строба рассчитывался как среднее арифметическое между временем от предыдущего строба и временем до возникновения следующего:

$$T_i = ((t_i - t_{i-1}) + (t_{i+1} - t_i)) / 2 = (t_{i+1} - t_{i-1}) / 2, \quad (1)$$

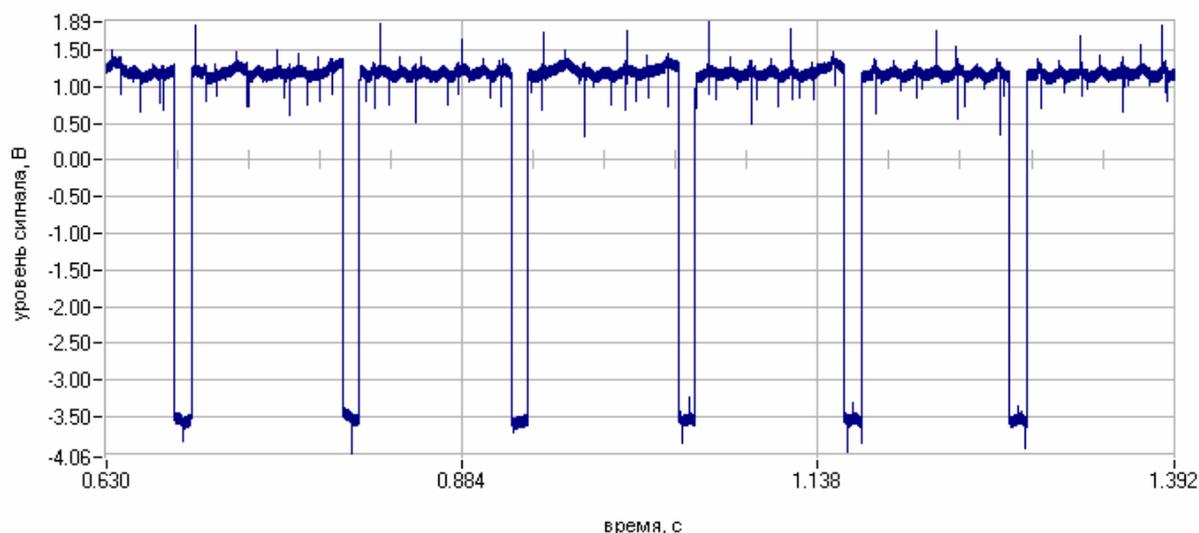


Рис. 2. Сигнал с датчика оборотов коленчатого вала

где t_{i-1} , t_i , t_{i+1} — соответственно время возникновения предыдущего, текущего и следующего стробов.

Таким образом, за частоту вращения вала двигателя в момент времени t_i принимаем

$$w_i = 1 / T_i. \quad (2)$$

Обработывая сигнал по данному алгоритму, разработанная программа вычисляет частоту вращения в момент возникновения стробов. Полученная информация сохраняется в специальный файл (.frq), представляющий собой массив из пар чисел (точек), содержащих частоту вращения (Гц) и момент времени от начала записи сигнала (с). Для вычисления частоты вращения вала в произвольный момент времени применялся метод сплайн-интерполяции.

Для анализа спектрального состава записанного шума была разработана специальная подпрограмма в пакете Scilab. Для визуализации данных были выбраны сонограммы как наиболее наглядный и простой способ графического представления спектрального состава звука. Разложение временного сигнала в спектр проводилось с помощью быстрого преобразования Фурье (FFT). Исходя из частоты дискретизации АЦП и интересующего диапазона частот (до 500 Гц), использовалось окно преобразования размером в 32768 отсчётов АЦП. Таким образом, частотное разрешение составило примерно 3 Гц.

Для повышения качества преобразования дополнительно применялось оконное преобразование Хамминга (Hamming).

На рисунке 3 показана сонограмма шума в центре салона при разгоне двигателя до 6000 об/мин в режиме холостого хода.

Шум имеет ярко выраженный тональный характер. Для анализа соответствия тонов были совмещены сонограмма и график зависимости частоты вращения коленчатого вала двигателя от времени. Расчётным способом также добавлены первые 15 гармоник основной частоты (рис. 4). Наиболее существенной является четвёртая гармоника, соответствующая частоте работы цилиндров. На рисунках 5 и 6 изображены соответственно сонограммы шума, записанного у среза выхлопной трубы и у среза впускного патрубка.

Полученные результаты дают основание использовать сигнал с датчика оборотов в качестве основного входного сигнала для системы активного комплексного снижения шума ДВС автомобиля (шума выпуска, шума впуска). Предлагаемая методика съёма и анализа сигналов позволяет перейти к вычислительному моделированию системы активной компенсации и исследованию и отработке алгоритмов с прямой связью (feedforward).

Авторы выражают благодарность Министерству образования и науки РФ и Федеральному агентству по инновациям и науке за поддержку работы в рамках конкурса ведущих научных школ РФ 2008 г.

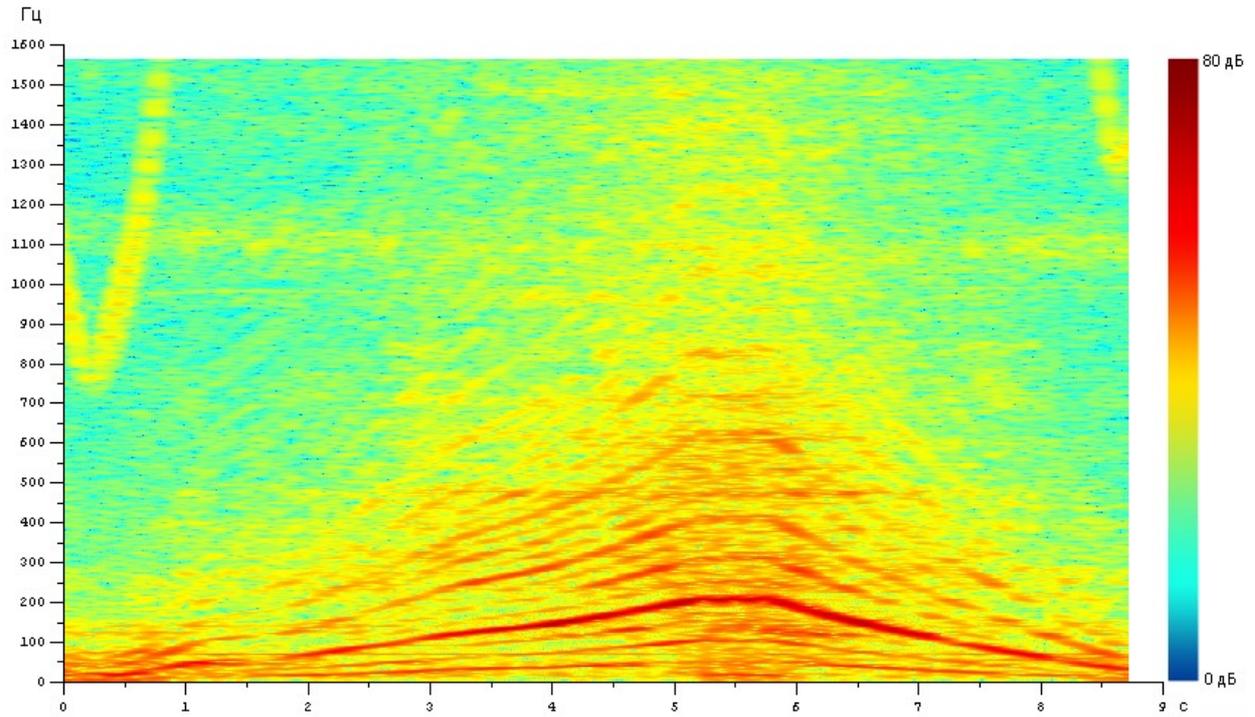


Рис. 3. Сонограмма шума в центре салона при разгоне двигателя до 6000 об/мин в режиме холостого хода

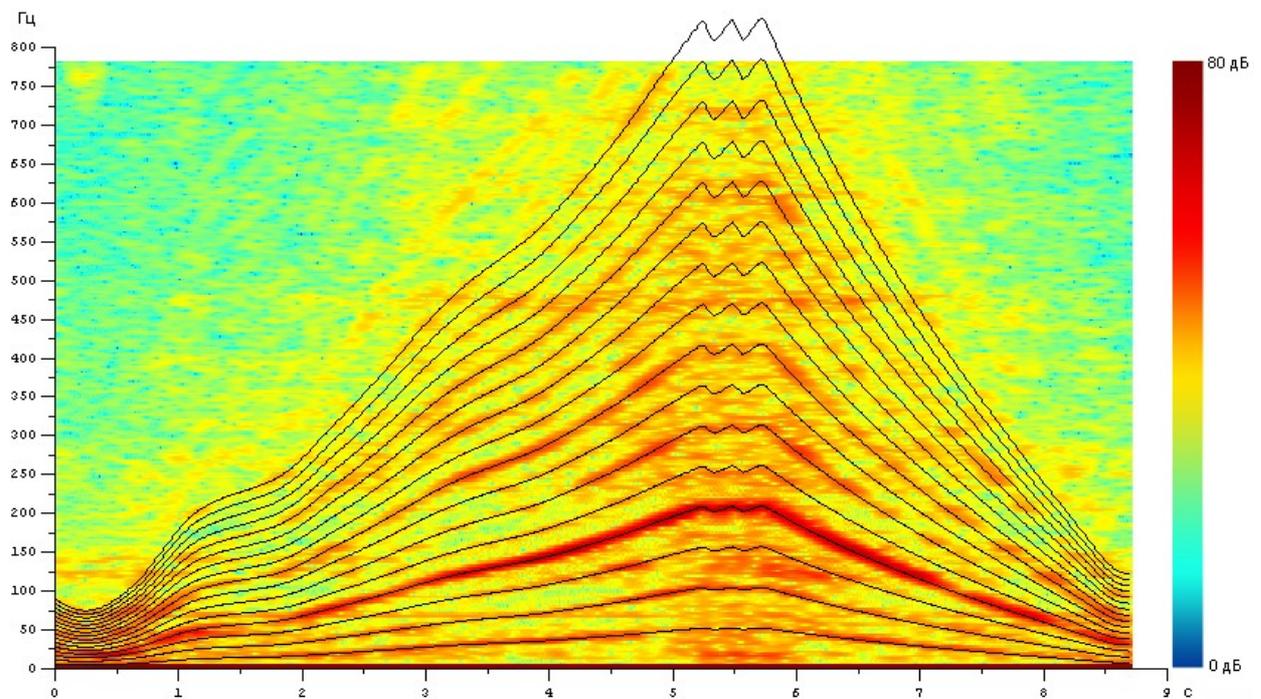


Рис. 4. Сонограмма шума в салоне, совмещенная с частотой вращения коленчатого вала

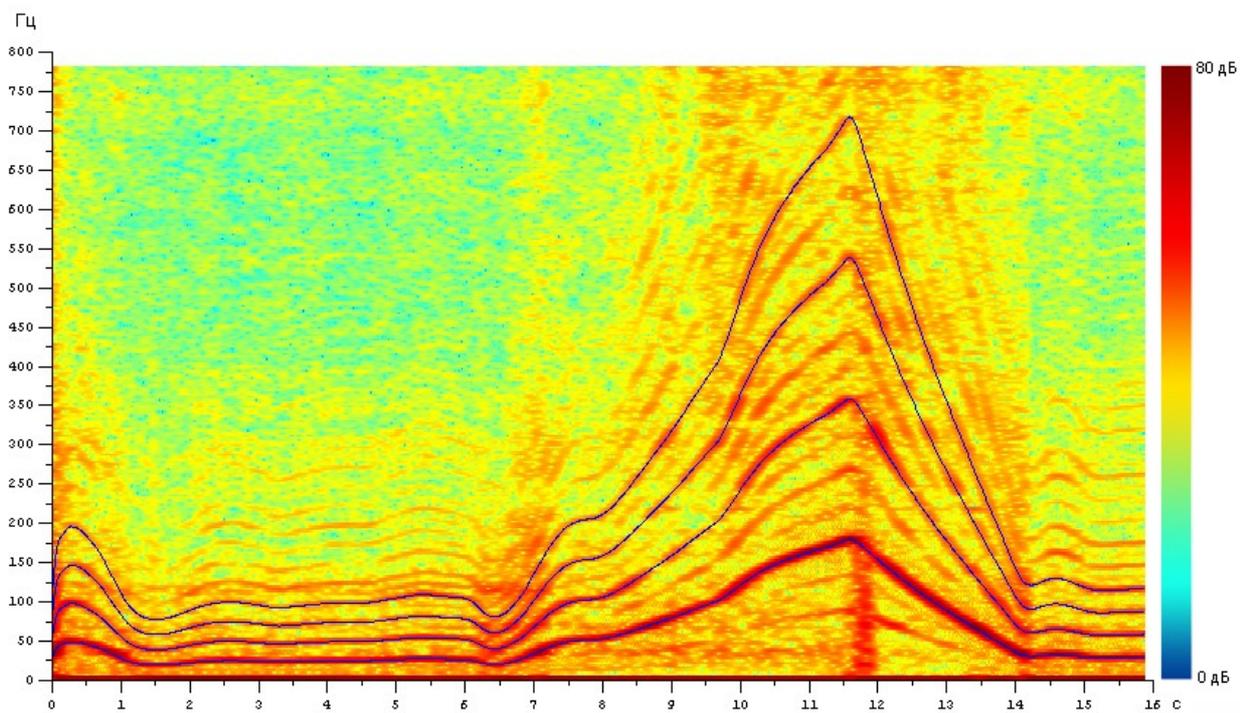


Рис. 5. Сонограмма шума у среза выхлопной трубы

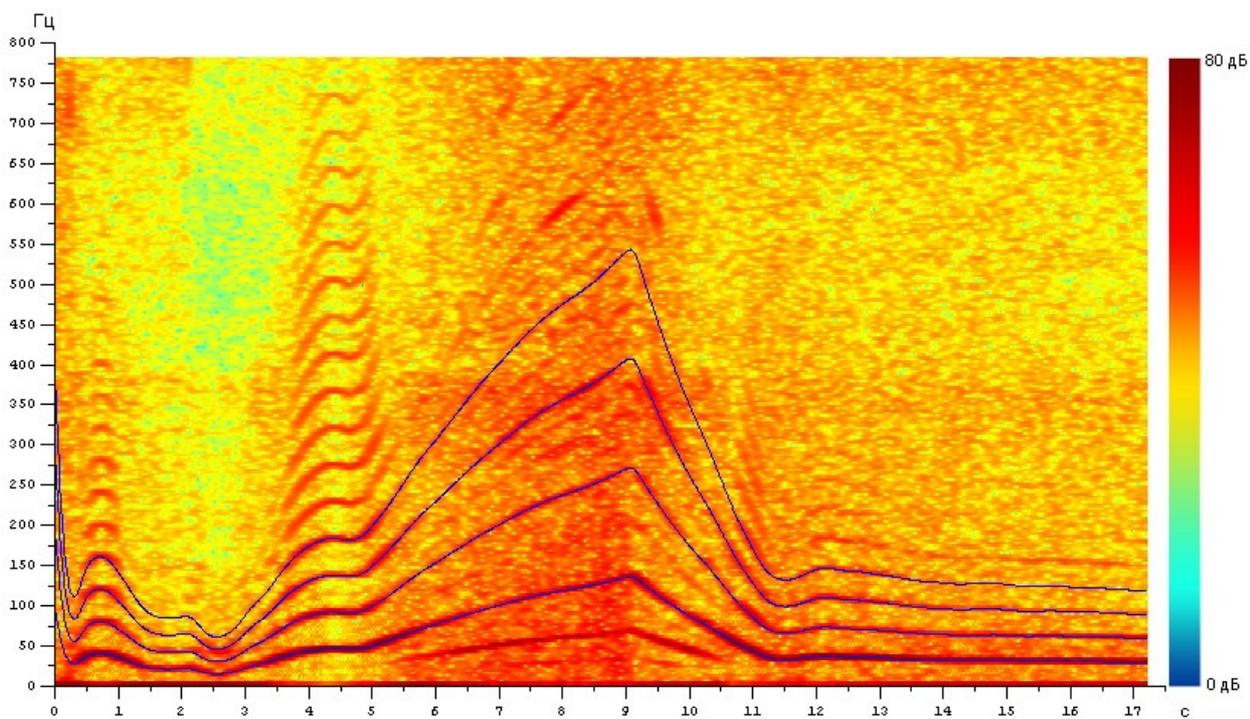


Рис. 6. Сонограмма шума у среза впускного патрубка

Библиографический список

1. Владиславлев А. С., Козобков А. А., Малышев В. А., Мессерман А. С., Писаревский В. М. Трубопроводы поршневых компрессорных машин. - М.: Машиностроение, 1972. - 288 с.

2. Васильев А. В. Снижение низкочастотного шума и вибрации в газоведах энергетических установок с использованием метода активной компенсации. - СПб.: Изд-во Политехн. ун-та, 2004. - 294 с.

3. Лепендин Л. Ф. Акустика: Учеб. пособие для втузов. - М.: Высш. школа, 1978. - 448 с.

4. Kidner M. R. F. Active Noise Control: A review in the context of the 'cube of difficulty'. Acoustics Vibration & Control Group, Dept. Mechanical Engineering, University of Adelaide, Australia, 2006.

5. Manikandan S. Literature survey of active noise control systems, Academic Open Internet Journal, volume 17, 2006.

References

1. Vladislavlev A. S., Kozobkov A. A., Malyshev V. A., Messerman A. S., Pisarevsky V. M. Ducts of reciprocating compressor machines. – Moscow: Mashinostroyeniye, 1972. – 288 pp.

2. Vasilyev A. V. Reduction of low-frequency noise and vibration in gas ducts of power installations using the method of active compensation. – Saint Petersburg: Publishing House of the Polytechnical University, 2004. – 294 pp.

3. Lependin L. F. Acoustics: Teaching aid for higher technical educational institutions. – Moscow: Vysshaya Shkola, 1978. – 448 pp.

4. Kidner M. R. F. Active Noise Control: A review in the context of the 'cube of difficulty'. Acoustics Vibration & Control Group, Dept. Mechanical Engineering, University of Adelaide, Australia, 2006.

5. MANIKANDAN S. LITERATURE SURVEY OF ACTIVE NOISE CONTROL SYSTEMS, Academic Open Internet Journal, volume 17, 2006

IDENTIFICATION AND PROCEDURE OF REDUCING PERIODIC NOISE OF INTERNAL COMBUSTION CAR ENGINES USING THE ACTIVE COMPENSATION METHOD

© 2009 A. V. Vasilyev, S. S. Andreyev, I. V. Butsayev, V. V. Pimkin

Togliatti State University

Problems of using systems of active compensation of noise in internal combustion car engines are discussed. The procedure and the results of internal combustion engine noise spectrum analysis are given.

Internal combustion car engine, noise, reduction, method, active compensation.

Информация об авторах

Васильев Андрей Витальевич, доктор технических наук, профессор, директор института химии и инженерной экологии Тольяттинского государственного университета, e-mail: avassil@infopac.ru. Область научных интересов: автомобильный двигатель внутреннего сгорания.

Андреев Сергей Сергеевич, аспирант Тольяттинского государственного университета, e-mail: avassil@infopac.ru. Область научных интересов: автомобильный двигатель внутреннего сгорания.

Буцаев Илья Валерьевич, аспирант Тольяттинского государственного университета, e-mail: avassil@infopac.ru. Область научных интересов: автомобильный двигатель внутреннего сгорания.

Пимкин Владимир Владимирович, аспирант Тольяттинского государственного университета, e-mail: avassil@infopac.ru. Область научных интересов: автомобильный двигатель внутреннего сгорания.

Vasilyev Andrey Vitalyevitch, doctor of technical sciences, professor, director of Chemistry and Engineering Ecology Institute of Togliatti State University, e-mail: avassil@infopac.ru. Area of research: internal combustion car engine.

Andreyev Sergey Sergeyeitch, post-graduate student of Togliatti State University, e-mail: avassil@infopac.ru. Area of research: internal combustion car engine.

Butsayev Ilya Valeryevitch, post-graduate student of Togliatti State University, e-mail: avassil@infopac.ru. Area of research: internal combustion car engine.

Pimkin Vladimir Vladimirovitch, post-graduate student of Togliatti State University, e-mail: avassil@infopac.ru. Area of research: internal combustion car engine.