

ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ СВОЙСТВ МАТЕРИАЛА ПЛАСТИНЧАТОГО ЭЛЕМЕНТА НА ЕГО ВИБРАЦИОННЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ

Круглов К.М., Щербаков В.И..

*ГОУ ВПО Московский государственный технический университет «МАМИ», Москва
Москва, Россия (107023, г. Москва, ул. Б.Семёновская, д. 38) shar27k@gmail.com*

В статье предложен вариант модернизации корпусных деталей ДВС за счет применения новых материалов. Приведены результаты экспериментов по виброотклику элементов в виде пластин из пяти различных материалов с различными размерами и видами закрепления. Среди рассмотренных такие материалы, как: сталь 08, сэндвич панель, вибропоглощающие покрытия Виброфол 0,30 и СКЛГ-6020М и базальтопластик. Полученные в ходе экспериментов результаты подтверждены математически. Рассмотрено влияние вибропоглощающих покрытий, клеевых и композиционных материалов на вибрационные свойства пластин различных размеров и видов закреплений. Основное внимание автор уделил изменению частотного спектра колебаний пластин и коэффициенту затухания свободных колебаний системы. Дано обоснование характера изменения частотного спектра колебаний. Приведены сравнительные диаграммы коэффициентов затухания колебаний. Обосновано влияние скорости распространения волн в материале на виброзащитные свойства. Даны рекомендации по применению базальтопластика при конструировании корпусных деталей ДВС.

Ключевые слова: вибрационные свойства, вибропоглощающие материалы, виброзащита, коэффициент затухания колебаний, базальтопластик.

THE ASSESSMENT OF EFFECT OF THE MATERIAL PROPERTIES ON THE VIBRATORY PROPERTIES OF PLATE ELEMENTS

Kruglov K.M., Sherbakov V.I.

*Moscow state technical university, Moscow
Moscow, Russia (107023, Moscow, Bolshaya Semenowskaya street, 38) shar27k@gmail.com*

The results of experiments by vibratory response of plate elements of five different materials with different dimensions and boundary conditions are given. The are such materials as steel, sandwich panel, vibration-absorbing coatings Vibrofol 0,30 and SKLG-6020M and basalt. The results of experiment confirmed mathematically The effects of vibration-absorbing, adhesive and composite panels with different dimensions and boundary conditions on vibratory properties are considered. The major attention has given to the changing of frequency spectrum of vibrations and damping coefficient of the system. The justification of of the change of frequency spectrum of vibration is given. The comparatives diagrams of damping coefficient are given. The effect of the rate of wave propagation in the material on the vibration protection properties is justified. Recommendations for the use of basalt in the design of cover details of engine are given.

Key words: vibratory properties, vibration-absorbing materials, vibration protection, damping coefficient of frequency, basalt fiber plastic.

В последнее время в области машиностроения все больше возрастают экологические и санитарные требования. В частности, это касается требований по уровню шума автомобиля, прописанных в нормах ЕЭК ООН №51-02.

В автомобиле множество источников шума, но основным является его двигатель. Излучение звука вследствие вибрации наружных поверхностей корпусных деталей является одним из основных источников шума двигателя. Корпусные детали двигателя, а именно, масляный поддон, клапанные крышки и передняя крышка представляют собой тонкостенные оболочки. Каждая корпусная деталь двигателя вносит вклад в образование

структурного шума пропорционально площади своей поверхности. На рис. 1. показана диаграмма вклада различных поверхностей бензинового двигателя в образование структурного шума [4,5].

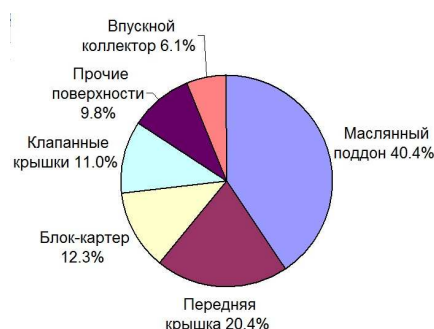
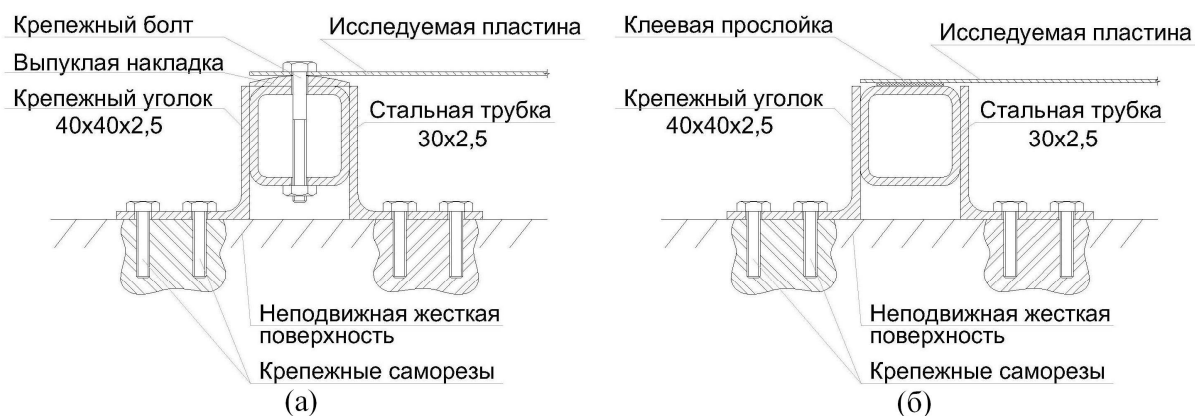


Рис. 1. Вклад поверхностей бензинового двигателя в образование структурного шума

Поставлена задача уменьшения шума двигателя за счет изменения конструкции его корпусных деталей. Для решения этой задачи Московским государственным техническим университетом «МАМИ» совместно с АМО «ЗИЛ» проведена серия экспериментов по выявлению влияния свойств материала на вибрационные свойства образцов в виде пластин. Испытания проводились для трех видов закрепления пластин: шарнирное закрепление по периметру, шарнирное закрепление по двум противоположным краям и жесткое защемление по двум противоположным краям. Исследовались пластины трех различных размеров. Все пластины имеют соотношения сторон 3:2 (675x450 мм, 450x300 мм и 300x200 мм). Испытательные образцы изготавливались из пяти различных материалов: сталь 08 толщиной 1 мм, сэндвич панель (сталь-клей-сталь) толщиной 1.2 мм, сталь 08 по ГОСТ 1050-88 толщиной 1 мм с вибропоглощающим покрытием Виброфол 0,30, сталь 08 толщиной 1 мм с вибропоглощающим покрытием СКЛГ-6020М и базальтопластик толщиной 3,4 мм.

Все испытания проводились в соответствии с разработанной программой-методикой вибрационных испытаний деталей автомобилей «ЗИЛ», изготовленных из новых перспективных материалов. В соответствии с этой методикой было спроектировано и изготовлено приспособление (рис. 2), позволяющее моделировать шарнирное и жесткое закрепление испытуемых образцов. Моделирование шарнирного закрепления осуществлялось по средствам болтового соединения и специальной выпуклой накладки. Жесткое защемление моделировалось клеевым соединением. Возбуждение системы производилось ударным импульсом с помощью специального молотка. В ходе эксперимента фиксировались график затухания ускорения свободных колебаний и

частотный спектр испытываемых пластин. По полученному графику вычислялся коэффициент затухания колебаний α .



**Рис. 2. Схема приспособления для закрепления образцов
а – шарнирное закрепление; б – жесткое защемление**

Анализ результатов испытаний (рис. 3) показывает, что для всех типов закреплений при уменьшении размеров пластины значения коэффициентов затухания колебаний увеличиваются. Таким образом, вибропоглощающие свойства улучшаются с уменьшением габаритов пластин.

Если принять демпфирующие свойства стального листа толщиной 1 мм за базовые значения, то по отношению к ним значения коэффициентов затухания опытных материалов составят следующие величины:

- у сэндвич панели в 1,2–1,8 раза лучше;
- у стального листа с вибропоглощающим покрытием Виброфол 0,30 в 1,7–9,3 раза лучше;
- у стального листа с вибропоглощающим покрытием СКЛГ-6020М в 1,4–6,8 раза лучше;
- у базальтопластика толщиной 3,4 мм в 1,6–8,5 раза лучше.

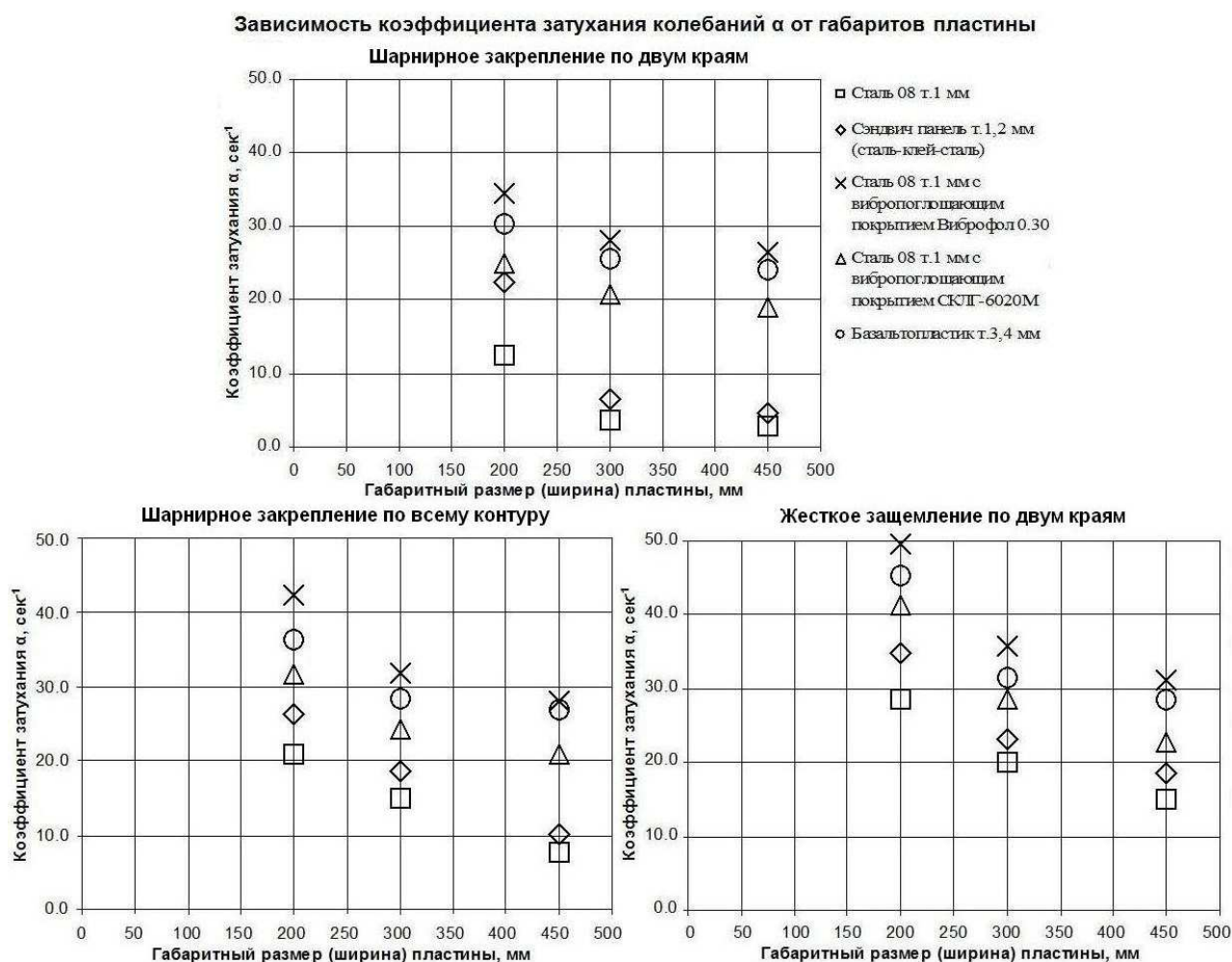


Рис. 3. Зависимость коэффициента затухания колебаний α от свойств материала и габаритов пластины

а – жестко защемленной по двум противоположным краям; **б** – шарнирно опертой по двум противоположным краям; **в** – шарнирно опертой по контуру

На рис. 4 представлены типичные частотные спектры свободных колебаний шарнирно закрепленных по контуру пластин размерами 450x300 мм для трех различных материалов: стали толщиной 1 мм, стали толщиной 1 мм с вибропоглощающим покрытием Виброфол 0,30 и базальтопластика толщиной 3,4 мм.

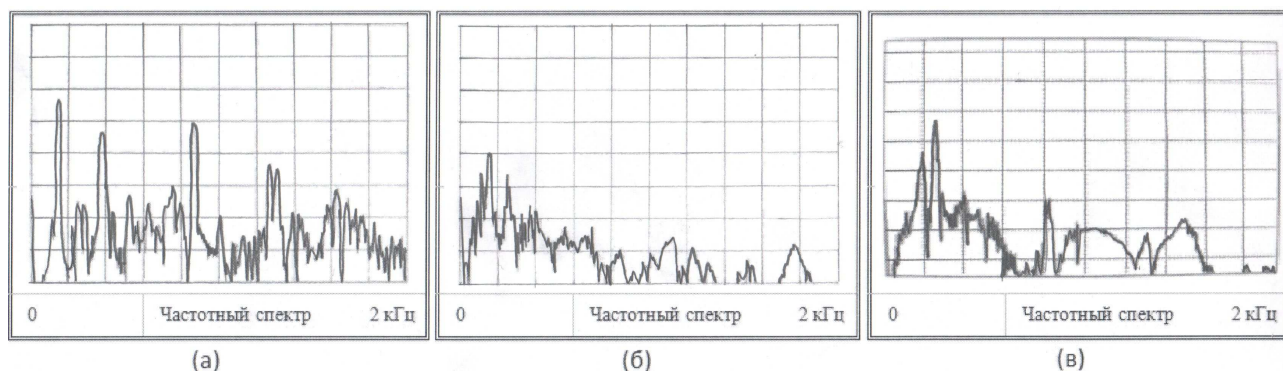


Рис. 4. Частотный спектр свободных колебаний шарнирно закрепленных по контуру пластин размерами 450x300 мм

а – стальная пластина т. 1 мм; **б** – стальная пластина т. 1 мм с вибропоглощающим покрытием Виброфол 0,30; **в** – пластина из базальтопластика т. 3,4 мм

Из полученных частотных спектров колебаний можно заключить, что при замене материала пластин изменение частотного спектра можно описать двумя тезисами: частотный спектр растягивается или сужается, а более высокие частоты спектра имеют большие или меньшие амплитудные значения.

В результате расширения частотного спектра увеличиваются значения собственных частот, и происходит его сглаживание (рис. 5, б). В наиболее чувствительном слуховом диапазоне, от 500 до 2000 Гц, уменьшается количество резких пиков, что положительно сказывается на виброзащитных свойствах пластины.

Для обоснования эффекта растяжения-сжатия частотного спектра при смене материала пластины запишем выражение для собственной частоты колебаний пластины [1, 2, 3]:

$$\omega_i = f(i)C \sqrt{\frac{Eh^2}{12\rho(1-\mu^2)}}, \quad (1)$$

где $f(i)$ – коэффициент зависящий от номера собственной частоты; C – коэффициент зависящий от геометрии и граничных условий пластины; E – модуль упругости; h – толщина пластины; ρ – плотность материала; μ – коэффициент Пуассона.

Из выражения (1) следует, что значения собственных частот для пластин с одинаковыми размерами в плане и с одинаковыми граничными условиями, но изготовленных из различных материалов зависят от физико-механических характеристик этих материалов и толщины пластин.

Рассмотрим случай для пластин из стального листа толщиной 1 мм и пластины из базальтопластика толщиной 3.4 мм.

Выражение для определения значений собственных частот пластин из стали (2):

$$\omega_{cm,i} = f(i)C \sqrt{\frac{E_{cm}h^2}{12\rho_{cm}(1-\mu_{cm}^2)}} = C \sqrt{\frac{210000 \text{ МПа} \cdot 1^2 \text{ мм}^2}{12 \cdot 7850 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3} (1-0,24^2)}} = 1,54 \frac{\text{м}^2}{\text{с}} \cdot C. \quad (2)$$

Выражение для определения значений собственных частот пластин из базальтопластика (3):

$$\omega_{\phi n,i} = f(i)C \sqrt{\frac{E_{\phi n}h^2}{12\rho_{\phi n}(1-\mu_{\phi n}^2)}} = C \sqrt{\frac{17000 \text{ МПа} \cdot 3,4^2 \text{ мм}^2}{12 \cdot 1600 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3} (1-0,28^2)}} = 3,33 \frac{\text{м}^2}{\text{с}} \cdot C. \quad (3)$$

Таким образом, значения собственных частот для пластин из базальтопластика в

$$\frac{\omega_{\phi n,i}}{\omega_{cm,i}} = \frac{3,33}{1,54} = 2,16 \text{ раз выше, чем у стальных пластин. Следовательно, частотный спектр у}$$

пластины из базальтопластика должен быть более гладким, что подтверждается экспериментом.

Эффект уменьшения амплитудных значений у более высоких частот спектра можно описать некой функцией вибропоглощения $\zeta(\omega)$ (рис. 5). Функция вибропоглощения $\zeta(\omega)$ у таких материалов, как базальтопластик и сталь с вибропоглощающими покрытиями, затухает быстрее, и, как следствие, высокие частоты имеют более низкие значения амплитуд. Уменьшение амплитуд для частот в слуховом диапазоне положительно сказывается на виброзащитных свойствах пластины. По результатам эксперимента, для пластин размерами 300x200 мм из стали с вибропоглощающим покрытием или базальтопластика частотный спектр со значениями выше 1,5кГц отсутствует.

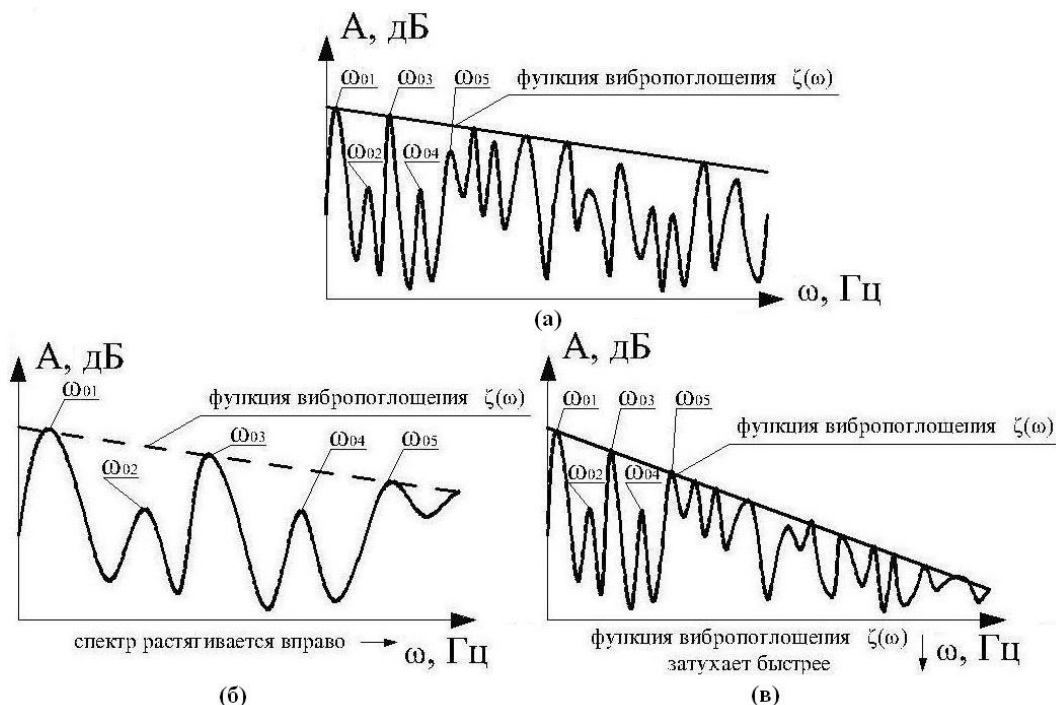


Рис. 5. Изменение частотного спектра свободных колебаний при увеличении жесткости пластины
 а – исходный спектр; б – спектр растянутый вправо; в – спектр с быстро затухающей функцией вибропоглощения

В заключении сравним скорость распространения звуковых волн в стали и чугуне с базальтопластиком (4):

$$v_{ст} = \sqrt{\frac{E_{ст}}{\rho_{ст}}} = \sqrt{\frac{210000 \text{ МПа}}{7850 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}}} = 5173 \frac{\text{м}}{\text{с}}; v_{бн} = \sqrt{\frac{E_{бн}}{\rho_{бн}}} = \sqrt{\frac{17000 \text{ МПа}}{1600 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}}} = 3260 \frac{\text{м}}{\text{с}}. \quad (4)$$

Скорость распространения звуковых волн в стали и чугуне в 1,59 раз выше, чем в базальтопластике.

Выводы

Все рассмотренные альтернативные материалы имеют более высокие вибропоглощающие свойства по сравнению с серийным материалом сталью 08 т. 1 мм.

Наилучшие вибропоглощающие свойства демонстрируют изделия с нанесенными специализированными вибропоглощающими алюминиево-битумно-полимерными покрытиями (Виброфол 0,30). Примерно на 5–10 % коэффициент условного затухания ниже у композиционных материалов, таких как базальтопластик и стеклопластик. Применение этих материалов наиболее оправдано.

Для базальтопластика и стального листа с вибропоглощающими покрытиями частотный спектр колебаний пластины растягивается, а более высокие частоты спектра имеют заметно меньшие амплитудные значения, что положительно сказывается на виброзащитных свойствах.

Скорость распространения звуковых волн в стали и чугуне выше в 1,59 раз выше, чем в базальтопластике.

Рекомендации

В конструкциях деталей автомобиля, подверженных вибрациям и являющихся источниками структурного шума, рекомендуется применение альтернативных конструкционных материалов независимо от размеров и условий закрепления детали.

Скорость распространения звуковых волн в базальтопластике заметно отличается от стали и чугуна, поэтому его рекомендуется применять в качестве корпусных деталей двигателя. Вибрации на корпусные детали двигателя передаются с блок-картера, изготовленного из чугуна и из-за различия в скоростях распространения звуковых волн у чугуна и базальтопластика на границе двух материалов будет происходить эффект частичного гашения колебаний.

Список литературы

1. Артоболевский И.И., Бобровницкий Ю.И., Генкин М.Д. Введение в акустическую динамику машин. – М.: Наука, 1979. – 296 с.
2. Бидерман В.Л. Теория механических колебаний. – М.: Высшая школа, 1980. – 408 с., ил.
3. Рандалл Р.Б. Частотный анализ, Брюль и Кьер. – Дания, Глоструп: К. Ларсен и сын, 1989 г., 389 с.
4. Руссинковский В.С. Разработка метода расчета вибрации и структурного шума корпусных деталей автомобильных дизелей: дис... канд. техн. наук. – М., 2005. – 182 с.
5. Яковенко А.Л. Разработка методики и инструментальных средств для прогнозирования структурного шума двигателя внутреннего сгорания: дис... канд. техн. наук. – М., 2009. – 144 с.

Рецензенты:

Гусев А.С., д.т.н., профессор, Московский государственный технический университет им Н.Э. Баумана, г. Москва.

Торопеев А.К., д.т.н., профессор, генеральный директор ООО «Славянский мир», Московская область, д. Мамыри.