

6. Варламов Д.О., Еременко В.Г. Устройство выравнивания напряжения на ячейках Li-Ion аккумуляторной батареи и его моделирование в программе P-Spice. / Материалы международной научно-технической конференции ААИ посвященная 145-летию МГТУ «МАМИ» «Автомобиле- и тракторостроение в России: приоритеты развития и подготовка кадров», МГТУ «МАМИ», 2011г.

### **Приближенный метод расчета шума впуска ДВС**

к.т.н. доц. Вахитов Ю.Р., к.т.н. доц. Загайко С.А.

Уфимский государственный авиационный технический университет (г. Уфа)  
8 (347) 273-05-53, [vakhitov51@mail.ru](mailto:vakhitov51@mail.ru), [zenit\\_sz@mail.ru](mailto:zenit_sz@mail.ru)

*Аннотация.* В статье рассматривается приближенный метод расчета шума впуска ДВС, основанный на зависимостях между уровнем шума и параметрами потока воздуха во впускном патрубке двигателя, которые получены численными расчетами. Приведены погрешности предложенного метода.

*Ключевые слова:* приближенный метод, шум впуска ДВС, уровень шума, впускной патрубок, численный расчет.

В работе [1] описан приближенный метод расчета шума выпуска ДВС, который позволяет по сравнению с численным расчетом в сотни раз ускорить получение результата. На его основе был разработан метод расчета шума впуска ДВС.

Метод основан на определении шума впуска как суммы отдельных составляющих, каждая из которых представляет собой шум потока, скорость которого изменяется по синусоидальному закону.

Исходными данными для расчета является зависимость скорости потока газа на входе в патрубок от времени, полученная расчетом в системе имитационного моделирования двигателя "Альбея" [2], разработанной на кафедре "Двигатели внутреннего сгорания" Уфимского государственного авиационного технического университета. Полученная зависимость пересчитывается в зависимость избыточной скорости газа относительного среднего значения скорости за цикл. Затем зависимость раскладывается в ряд Фурье и находятся амплитуды составляющих ряда и соответствующие им частоты.

Таким образом, исходный поток газа заменяется несколькими, в каждом из которых средняя скорость газа меньше во столько раз, сколько гармонических составляющих учитывается в расчете. В этом случае суммарный расход газа во всех потоках равен расходу газа в исходном потоке.

Для каждой гармонической составляющей скорости потока газа находится значение звукового давления и выбираются несколько максимальных значений. Анализ результатов расчетов показал, что с достаточной для практики погрешностью можно ограничиться четырьмя составляющими скорости. Звуковое давление, создаваемое исходным потоком газа, находится как сумма этих четырех источников звука.

Для того чтобы исключить численные расчеты программным модулем системы имитационного моделирования, предварительно был проведен расчет излучаемого звукового давления потоков, скорости которых меняются по синусоидальному закону. При этом рассчитывались различные сочетания параметров потока: начальный диаметр, средняя скорость, частота колебаний скорости газа, амплитуда колебаний скорости газа и средняя температура газа, характерные для потоков воздуха во впускном патрубке ДВС.

По результатам численных расчетов были построены зависимости звукового давления от различных параметров, проведен их анализ и получены аппроксимирующие зависимости, или коэффициенты, учитывающие влияние того или иного параметра.

Расчеты, проведенные с разными диаметрами впускного патрубка, показали, что звуковое давление прямо пропорционально площади впускного патрубка или квадрату его диаметра, и, таким образом, значение звукового давления, приведенное по диаметру, может определяться по формуле:

$$p_{0d} = p_0 \left( \frac{d}{d_0} \right)^2, \quad (1)$$

где:  $p_0$  – звуковое давление, соответствующее потоку газа диаметром  $d_0$ .

Максимальная погрешность зависимости составила 1,3 дБ.

Расчеты, проведенные с разными температурами газа струи, показали, что значение звукового давления, приведенное по температуре газа, может определяться по формуле:

$$p_T = p_{0d} \left( \frac{T_0}{T} \right)^t, \quad (2)$$

где:  $T_0$  – температура струи газа при известном звуковом давлении;  $T$  – температура газа в струе, при которой находится звуковое давление;  $t$  – эмпирический показатель степени, который, как показал анализ данных, может быть принят равным 0,1.

Анализ зависимостей звукового давления от скорости потока показал, что их характер зависит от средней скорости потока и частоты колебаний скорости. Для примера на рисунке 1 показана зависимость звукового давления от средней скорости при различных амплитудах колебаний скорости для частоты 25 Гц, а на рисунке 2 – зависимость звукового давления от частоты колебаний при скорости 50 м/с.

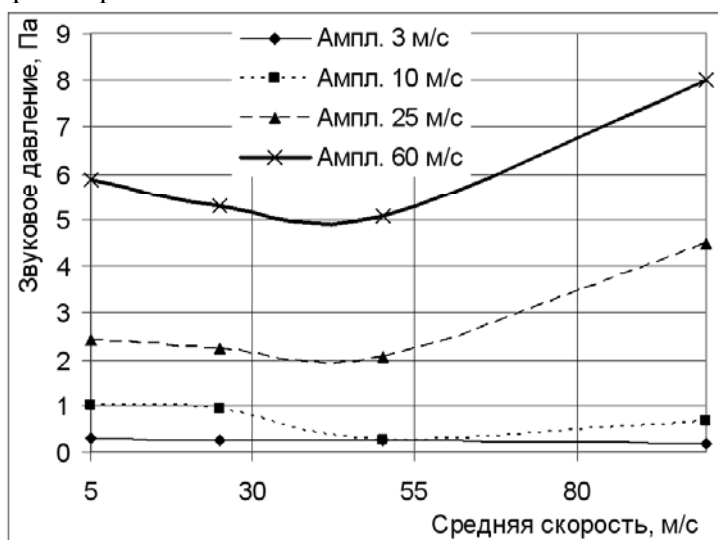


Рисунок 1 – Зависимость звукового давления от средней скорости при частоте колебаний 25 Гц

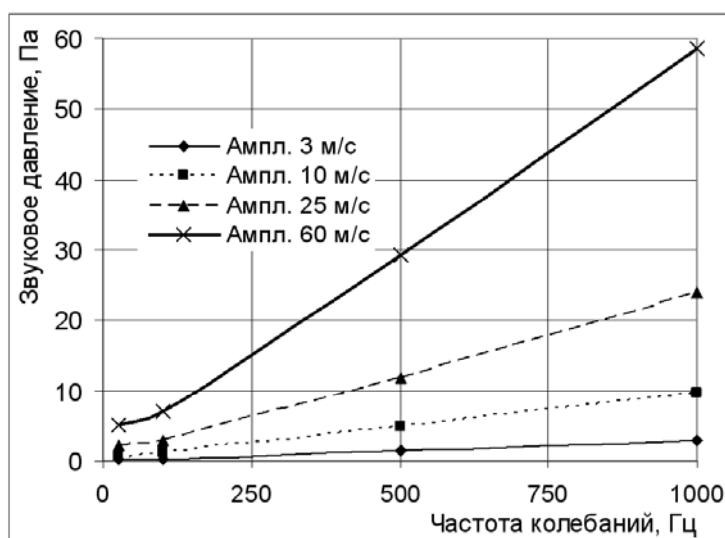


Рисунок 2 – Зависимость звукового давления от частоты колебаний при средней скорости газа 50 м/с

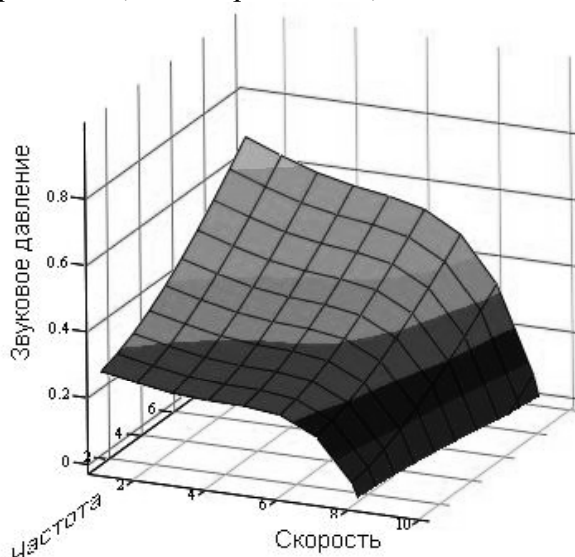
Полученные зависимости могут быть описаны рядом двумерных полиномиальных регрессий при постоянных амплитудах колебаний скорости. Аргументами функции в этом случае являются скорость потока и частота колебаний скорости.

На рисунке 3 показана поверхность двумерной регрессии при постоянной амплитуде колебаний скорости.

Уравнение регрессии, описывающее изменение звукового давления имеет вид (3):

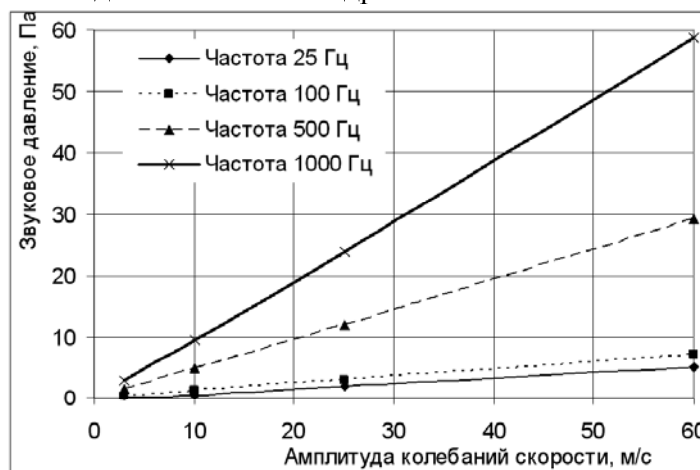
$$p = a_1 u^4 - a_2 u^3 + a_3 u^2 + a_4 u + a_5 - a_6 u^3 f + a_6 u^2 f + a_7 u f - a_8 f - a_9 f^2 u^2 - a_{10} f^2 u + a_{11} f^2 + a_{12} f^3 - a_{13} f^4 + a_{14} f^3 u \quad (3)$$

где:  $a_i$  – коэффициенты уравнения;  $u$  – скорость газа;  $f$  – частота колебаний скорости.



**Рисунок 3 – Поверхность двумерной регрессии при амплитуде колебаний скорости газа 3 м/с**

Проведенные расчеты также показали, что звуковое давление можно считать прямо пропорциональным амплитуде колебаний скорости потока газа на входе во впускной патрубок (рисунок 4). Поэтому для интерполяции звукового давления от амплитуды колебаний может использоваться метод наименьших квадратов.



**Рисунок 4 – Зависимость звукового давления от амплитуды колебаний скорости при средней скорости потока 50 м/с**

Уравнение искомой прямой может быть записано в виде (4):

$$p_i = a \cdot x_i + b, \quad (4)$$

где:  $p_i$  – звуковое давление, соответствующее определенной амплитуде колебаний;

$x_i$  – амплитуды колебаний скорости;

$a$  и  $b$  – коэффициенты, значения которых определяются по уравнениям (5):

$$a = \frac{n \sum_1^n x_i p_i - \sum_1^n x_i \sum_1^n p_i}{n \sum_1^n x_i^2 - \left( \sum_1^n x_i \right)^2}, \quad b = \frac{\sum_1^n x_i^2 \sum_1^n p_i - \sum_1^n x_i \sum_1^n x_i p_i}{n \sum_1^n x_i^2 - \left( \sum_1^n x_i \right)^2}. \quad (5)$$

Звуковое давление и уровень звукового давления, создаваемые потоком газа на впуске ДВС, находятся как сумма нескольких источников (потоков газа с гармонически меняющимися скоростями):

$$p = \sqrt{\sum_{i=1}^4 p_i^2}, \quad (6)$$

$$L = 20 \cdot \lg(p / 0,00002). \quad (7)$$

Уровень звука потока каждой составляющей находится аналогично, но с учетом поправок по частотному приведению  $A$ :

$$L_{A_i} = L_i + \Delta L_i, \quad (8)$$

где:  $L_i$  – уровень звука  $i$ -ой составляющей спектра;

$\Delta L_i$  – стандартные поправки частотного приведения  $A$ .

Уровень звука, создаваемый потоком воздуха на впуске ДВС, находится так же, как сумма нескольких источников:

$$L_A = 10 \cdot \lg \left( \sum_{i=1}^4 10^{0,1 \cdot L_i} \right). \quad (9)$$

Описанные зависимости позволили составить алгоритм расчета уровня газодинамического шума впуска и разработать программный модуль для системы имитационного моделирования "Альбея". Сравнение результатов расчета показало, что погрешность предложенного метода по сравнению с численным расчетом не превысила 6 дБ при существенном сокращении времени расчета.

### Литература

1. Вахитов Ю.Р., Загайко С.А. Приближенный метод расчета шума выпуска ДВС // Известия МГТУ "МАМИ", № 1(9), 2010.
2. Горбачев В.Г. Система имитационного моделирования «Альбея» (ядро). Руководство пользователя. Руководство программиста / В.Г. Горбачев, С.А. Загайко, Н.В. Рудая, Б.П. Рудой, С.Б. Щербаков. – Уфа: Изд. Уфимск. гос. авиац. техн. ун-та, 1995. – 112 с.

### **Методика выбора рационального сочетания материалов для сэндвич-панелей кузова автобуса**

Воронков О.В., к.т.н. проф. Песков В.И.,

Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева

+7-920-027-87-04, +7-964-834-89-72

*Аннотация.* В статье приведены основные принципы и формулы, позволяющие на ранних этапах проектирования оценить рациональность применения того или иного материала в конструкции несущего основания или крыши автобусного кузова, выполненных в виде трехслойной панели (сэндвич-панели) с «ребристым» средним слоем. При этом учитываются весовые и механические характеристики материала, а также наличие стандартного ряда толщин листов из данного материала.

*Ключевые слова:* сэндвич-панели, проектирование основания или крыши кузова автобуса.