

Приближенный метод расчета шума выпуска ДВС

к.т.н., доц. Вахитов Ю. Р., к.т.н., доц. Загайко С. А.
 Уфимский государственный авиационный технический университет (г. Уфа)
 zenit_sz@mail.ru

Ключевые слова: шум выпуска ДВС, численные методы расчета.

Расчет шума неустановившейся струи газа и, в частности, шума выпуска ДВС может проводиться различными методами, из которых численные методы имеют наименьшую погрешность. Один из этих методов, суть которого описана ниже, предложен в работе [1].

Исходными данными для расчета шума выпуска ДВС являются зависимости изменения от времени параметров выпускных газов на срезе выпускного патрубка: давления, плотности и температуры.

Расчет параметров газа на срезе выпускного патрубка может проводиться с помощью программно-технической интерактивной системы "Альбея" [2], предназначенной для моделирования рабочих процессов в двигателях внутреннего сгорания.

Затем проводится расчет звукового давления на заданном расстоянии от среза выходного патрубка численным моделированием течения газа в самой струе и вне струи.

Для моделирования процесса течения в окрестности среза трубопровода вводится двумерная сетка (рисунок 1).

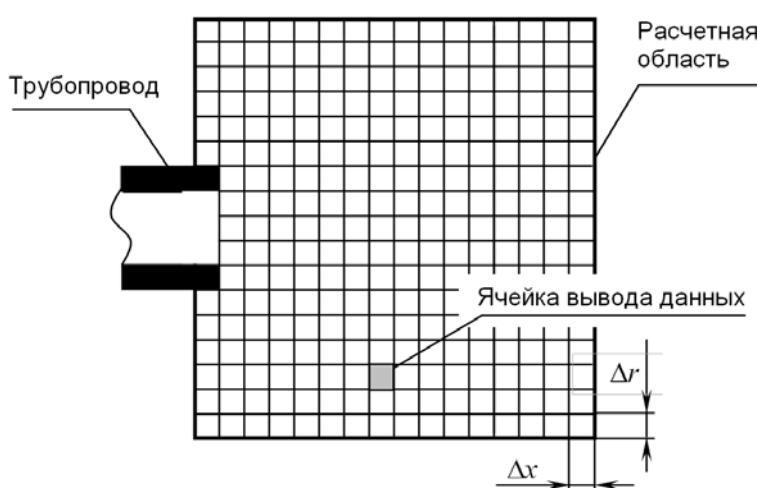


Рисунок 1 - Расчетная сетка течения газа в окрестности выпускного трубопровода

Течение рассчитывается по уравнениям сохранения газовой динамики в осесимметричной постановке.

$$\begin{cases} \frac{\partial(rc)}{\partial t} + \frac{\partial(rcu)}{\partial x} + \frac{\partial(rcv)}{\partial r} = 0 \\ \frac{\partial(rcu)}{\partial t} + \frac{\partial(rcu^2 + rp)}{\partial x} + \frac{\partial(rcvu)}{\partial r} = 0 \\ \frac{\partial(rcv)}{\partial t} + \frac{\partial(rcuv)}{\partial x} + \frac{\partial(rcv^2 + rp)}{\partial r} = p \\ \frac{\partial(rcE)}{\partial t} + \frac{\partial(rucE + rup)}{\partial x} + \frac{\partial(rvcE + rvp)}{\partial r} = 0 \end{cases}, \quad (1)$$

где: ρ – плотность; p – давление; E – удельная полная энергия; u и v – составляющие скорости по координатам x и r .

По пространству система дискретизируется для прямоугольных ячеек со сторонами Δx , Δt с помощью консервативной монотонной явной схемы типа Годунова повышенного порядка аппроксимации, в которой решение в ячейке реконструируется по пространственным координатам с применением кусочно-параболических распределений параметров в ячейке в обоих координатных направлениях [3]. Порядок аппроксимации примененного варианта разностной схемы по времени – третий.

В процессе расчета определяется зависимость изменения давления от времени в заданной точке пространства (ячейка вывода данных). По кривой изменения избыточного давления проводится расчет уровня звукового давления.

Для постоянного шума, например, в случае работы ДВС на установившемся режиме уровень шума рассчитывается по формуле:

$$L = 20 \log \left(\sqrt{\sum_{i=1}^n \frac{\Delta p_i^2}{n}} / p_0 \right), \quad (2)$$

где: $p_0 = 2 \cdot 10^{-5}$ Па – значение опорного звукового давления; p_i – i -е значение звукового давления в массиве; n – количество значений давления в массиве.

Однако численный расчет, несмотря на рост производительности ЭВМ, требует большого ресурса времени. Например, для определения уровня шума выпуска на неустановившемся режиме работы двигателя время расчета может составлять более 200 часов.

С целью сокращения времени проектирования на стадии технического предложения был разработан приближенный метод расчета шума выпуска ДВС, основанный на заранее полученных зависимостях между уровнем звукового давления и параметрами струи газа в выходном патрубке глушителя, который позволяет ускорить получение результата в сотни раз.

Метод основан на определении шума выпуска как суммы отдельных составляющих, каждая из которых представляет собой шум струи, скорость которой изменяются по синусоидальному закону. Причем синусоидальные составляющие скорости представляют члены ряда Фурье, сумма которых дает кривую изменения скорости в выпускном патрубке. Поскольку спектр газодинамического шума состоит, как правило, из нескольких наиболее сильных гармонических составляющих, то можно предположить, что и для расчета по указанному методу достаточно нескольких гармонических составляющих скорости.

Для проверки данной гипотезы были проведены расчеты по следующей методике.

Исходными данными для расчета является зависимость скорости потока газа на срезе выходного патрубка глушителя от времени u_i , рассчитанная в системе "Альбея". Полученная зависимость пересчитывается в зависимость избыточной скорости газа относительно среднего значения скорости за цикл по формуле

$$u_i = u_t - u_{\text{ср}}; \quad u_{\text{ср}} = \frac{\sum u_i}{n}, \quad (3)$$

где: u_i – i -е значение скорости в массиве данных; n – количество данных в массиве.

Затем зависимость раскладывается в ряд Фурье, и находятся максимальные амплитуды составляющих ряда и соответствующие им частоты. При этом средняя скорость каждой составляющей принимается равной

$$u_{\text{ср}j} = \frac{u_{\text{ср}}}{j}, \quad (4)$$

где: j – количество гармонических составляющих в расчете.

Таким образом, исходная струя газа заменяется несколькими струями, в каждой из которых средняя скорость газа меньше во столько раз, сколько гармонических составляющих учитывается в расчете. В этом случае суммарный расход газа во всех струях равен расходу

газа в исходной струе.

Для каждой струи газа, скорость которой меняется по синусоиде, находится значение звукового давления численным методом, описанным выше, и рассчитывается звуковое давление, создаваемое струей, как сумма звуковых давлений каждой составляющей.

При этом возможны два варианта расчета.

В первом варианте изменение скорости газа задается с учетом фазового сдвига каждой составляющей спектра. После проведения расчета звукового давления каждой составляющей искомое звуковое давление находится как сумма кривых звукового давления с учетом фазового сдвига.

На рисунках 2 и 3 показаны расчетные звуковые давления, полученные численным расчетом для исходной струи и по нескольким наиболее сильным составляющим в спектре скорости газа.

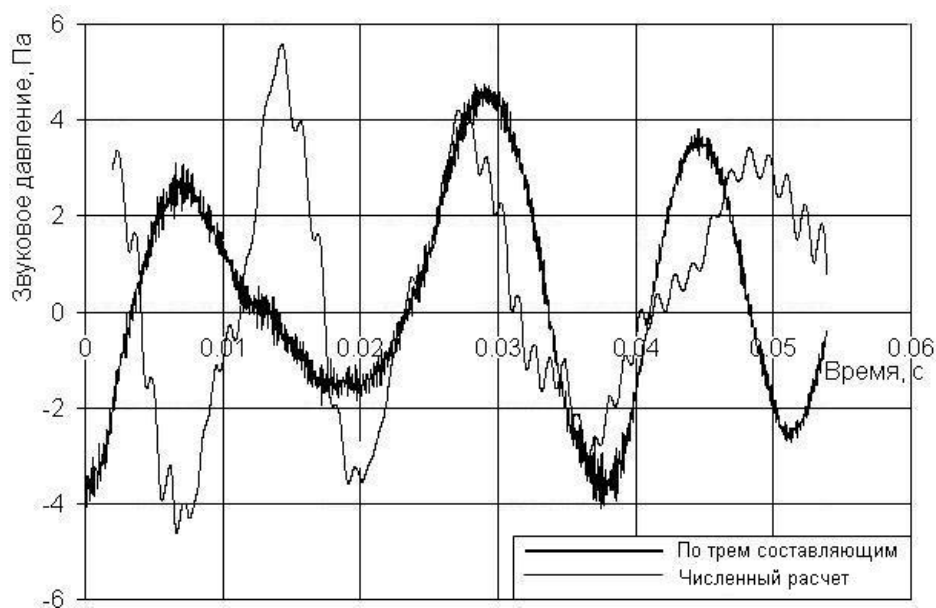


Рисунок 2 - Изменения звукового давления, полученные численным расчетом и расчетом по трем составляющим

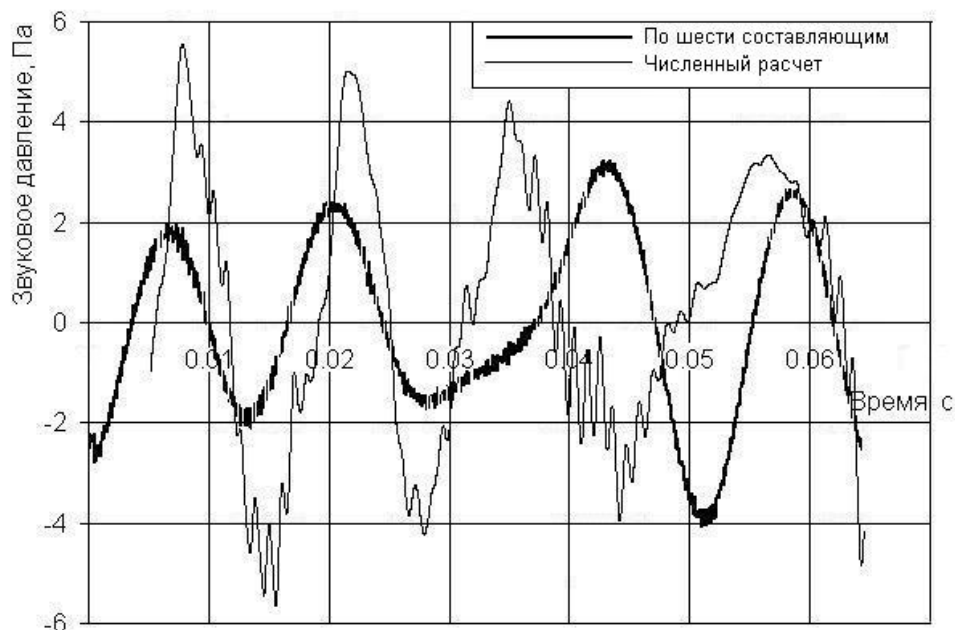


Рисунок 3 - Изменения звукового давления, полученные численным расчетом и расчетом по шести составляющим

Значения уровня шума представлены в табл. 1.

Таблица 1

Значения уровня шума, полученные различными методами

численный	по 3 синусоидам	по 6 синусоидам
104,9	101,3	99,3

Как видно из таблицы 1, расчет по трем составляющим дает меньшую погрешность. Это обусловлено тем, что при увеличении количества гармонических составляющих средняя скорость газа уменьшается пропорционально количеству составляющих, что приводит к уменьшению уровня звукового давления.

Во втором варианте расчета фазовый сдвиг каждой составляющей спектра скорости газа не учитывается, и суммирование рассчитанных значений звукового давления каждой составляющей проводится без учета фазового сдвига, т.е.

$$p = \sqrt{\sum p_j^2}, \quad (5)$$

где: p_j – звуковое давление j -й составляющей спектра.

Значения уровня шума, найденные по второму варианту, представлены в таблице 2.

Таблица 2.

Значения уровня шума по второму варианту, полученные различными методами

численный	по 3 синусоидам	по 6 синусоидам
104,9	101,2	99,2

Вывод

Сравнение обоих вариантов показывает, что их погрешности отличаются незначительно, но второй вариант менее трудоемкий. Таким образом, шум струи газа, характерной для выхлопа ДВС, может определяться суммированием звуковых давлений от трех составляющих скорости струи газа без учета фазового сдвига.

Литература

1. Вахитов Ю.Р., Черноусов А.А., Морозов К.Г. Моделирование акустических характеристик нестационарной струи газа // Сб. Вестник Самарского государственного аэрокосмического университета. Проблемы и перспективы развития двигателестроения. Вып. 3. Часть I, Самара, 1999. С. 4 - 8.
2. Система имитационного моделирования "Альбея" (ядро). Руководство пользователя. Руководство программиста: Учебное пособие / В.Г. Горбачев, С.А. Загайко, Н.В. Рудая, Б.П. Рудой и др.; Уфимск. госуд. авиац. техн. ун-т. Уфа. 1995. – 112 с.
3. Иванов М.Я., Крупа В.Г., Нигматуллин Р.З. Неявная схема С.К. Годунова повышенной точности для интегрирования уравнений Навье-Стокса. // Вычисл. матем. и матем. физ. – 1989. – Т. 29. – № 6. – С. 888–901.

Исследование влияния распределения потоков мощности на тяговые возможности автотранспортных систем

Вьюхин А.В., к.т.н. доц. Баженов Е.Е., к.т.н. доц. Буйначев С.К.
Уральский государственный технический университет – УПИ
st194@yandex.ru, car-ustu@yandex.ru

Ключевые слова: тяговая динамика колесных автотранспортных средств, рациональное распределение потоков мощности в трансмиссии, численные методы расчета.

На тяговые свойства автотранспортных систем (АТС) оказывает влияние большое число факторов. Многие из них определяются конструкцией АТС и поддаются настройке или управлению. Для повышения заданных эксплуатационных свойств АТС необходимо выявить