

## **Особенности акустического наддува автомобильных двигателей внутреннего сгорания с использованием активных генераторов звука**

Васильев А.В.  
Генеральный директор ООО «ИХиИЭ»  
г. Тольятти, Молодежный бульвар, 11-51

### **Аннотация**

Рассматриваются виды наддува автомобильных двигателей внутреннего сгорания. Предлагается акустический наддув с использованием активных генераторов звука. Описано разработанное устройство активного акустического наддува. Использование устройств активной генерации звука позволяет создать оптимальные условия для акустической интерференции и значительно повысить эффективность наполнения цилиндров двигателя.

**Ключевые слова:** акустический наддув, активный генератор звука, автомобильный двигатель

### ***Peculiarities of acoustic pressure charging of automobile internal combustion engines using active generators of sound***

Vasilyev A.V.  
Director general of "ICh and EE" LLC  
Russia, Togliatti, Molodezhny boulevard, 11-51

### **Abstract**

*The kinds of pressure charging of automobile internal combustion engines are considering. Acoustical pressure charging with using of active generator of sound is suggested. Device of active acoustical pressure charging is described. Using of devices of active acoustical pressure charging is allowing provide the optimal conditions for acoustical interference and to significantly increase efficiency of charging of cylinders of engine.*

**Key words:** *acoustical pressure charging, active generator of sound, automobile engine*

### **Введение**

Создание конкурентоспособных транспортных средств с улучшенными мощностными, экономическими, экологическими и потребительскими качествами является важной государственной задачей. Одним из путей ее достижения является использование устройств наддува автомобильных двигателей внутреннего сгорания (далее – ДВС). Среди достигаемых при этом преимуществ можно отметить повышение мощности и топливной экономичности двигателя, снижение токсичности отработавших газов и пр. При этом мощность повышается без существенного увеличения габаритных размеров и массы, [1, 3]. Развитие научно-технического прогресса открывает всё новые возможности использования наддува. Так, в работе [2] отмечается, что для бензиновых двигателей в 60-х годах наддув применялся для увеличения мощностных показателей бензиновых двигателей, в начале 70-х годов – как средство компенсации потерь мощности при снижении токсичности отработавших газов, а в последние годы наддув рассматривается как один из путей создания высокоэкономичного двигателя с малым рабочим объемом. Внедрение наддува при одновременном снижении рабочего объёма двигателя позволяет достичь той же отдачи двигателя с уменьшенным рабочим

объёмом при большем угле открытия дроссельной заслонки. При этом двигатель работает значительную часть времени в области режимов, соответствующих наименьшим удельным расходам топлива, а резерв мощности для разгона и форсированных режимов обеспечивается наддувом.

Таким образом, наддув автомобильных двигателей является эффективным средством повышения их мощности, экологичности, экономичности.

Следует отметить, что автомобильный ДВС является одним из основных источников шума автомобиля [1, 3, 6, 8-11]. Поэтому весьма актуальной является задача разработки устройств наддува, позволяющих при минимальной перенастройке компенсировать звук.

Настоящая статья посвящена особенностям акустического (волнового) наддува автомобильных двигателей.

### 1. Анализ видов наддува двигателей. Акустический наддув.

Мощность двигателя внутреннего сгорания можно определить следующим образом:

$$N_e = z V_h p_e n / C_1 = z F_n S p_e n / C_1 = z F_n c_m p_e / C_2 \quad (1)$$

где  $N_e$  – эффективная мощность, Вт;

$z$  – число цилиндров, шт.;

$V_h$  – рабочий объем цилиндра, м<sup>3</sup>;

$p_e$  – среднее эффективное давление, Па;

$n$  – частота вращения, с<sup>-1</sup>;

$S$  – ход поршня, м;

$F_n$  – площадь поршня, м<sup>2</sup>;

$c_m$  – средняя скорость поршня, м/с.

$C_1$  и  $C_2$  – константы, зависящие от тактности двигателя.

Системы наддува можно классифицировать по:

- виду привода нагнетателя;
- конструкции нагнетателя;
- типу связи между агрегатом наддува и двигателем;
- принципу действия двигателя.

Можно выделить следующие основные типы устройств наддува:

- турбокомпрессор традиционной конструкции;
- объемный нагнетатель с механическим приводом;
- система волнового (акустического) наддува и др.

В настоящее время турбокомпрессор является наиболее распространённым агрегатом наддува серийно выпускаемых автомобильных двигателей. Вместе с тем, он обладает рядом недостатков: высокие механические и тепловые нагрузки, дополнительная масса и др.

Альтернативой является использование устройств динамического (акустического, волнового) наддува, для которых повышение плотности свежего заряда, подаваемого в цилиндры двигателя, и, следовательно, повышение наполнения цилиндра достигается путем подбора конструктивных параметров газоздушного тракта и возникающих при этом волновых явлений пульсации рабочего тела в системе впуска и выпуска). Если, например, задать впускному патрубку такие параметры (в основном длину и площадь проходного сечения), чтобы перед закрытием впускного клапана около него была волна сжатия (к концу процесса впуска (в период дозарядки) в трубопроводе у впускного клапана давление выше атмосферного), то масса поступающего в цилиндр заряда увеличивается [3]. Начальный импульс давления из

цилиндра при выпуске (волна разрежения при впуске) отражается от открытого конца трубопровода волной противоположного знака, которая при своевременном приходе обратно к клапану перед его закрытием вызывает дозарядку цилиндра на впуске (которая тем больше, чем выше давление) или отсос остаточных газов из камеры сгорания - при выпуске. Это способствует увеличению коэффициента свежего заряда в цилиндре, а следовательно, и коэффициента наполнения. Эффективное использование волновых явлений достигается при оптимальной длине и поперечном сечении трубопроводов, фазы газораспределения и время-сечения впускных и выпускных органов. Оптимальная длина трубопровода определяется своевременным приходом волны сжатия или разрежения перед закрытием клапана соответственно для впускной и выпускной систем. Своевременный приход волны зависит от соотношения скорости ее распространения, длины трубопровода, длительности открытия клапана. Совместное влияние этих факторов на приход волны учитывается критерием Струхала [4].

Проведённый автором анализ литературы и патентный поиск для устройств волнового наддува показывает, что эффективность традиционного акустического наддува определяется, главным образом, рациональным подбором параметров впускной системы. По сравнению с агрегатным наддувом достигается ряд преимуществ:

- не требуется дополнительных устройств (компрессоров, турбин) для осуществления наддува;
- относительно дешёвые затраты на динамический наддув (по сути, все затраты сводятся на изменение геометрических характеристик впускного патрубка);
- при акустическом наддуве общее увеличение массы несущественно;
- практически отсутствуют проблемы с компоновкой и др.

Наибольшее распространение получили системы с индивидуальными для каждого цилиндра впускными трубами, обеспечивающими получение максимального эффекта наддува в широком диапазоне скоростей. При этом эффективность наддува выражается в дозарядке цилиндра в результате повышенных давлений и скоростей потока воздуха перед открытым клапаном. При правильном выборе геометрических параметров систем газообмена в отдельных случаях с помощью динамического наддува становится возможным увеличить эффективную мощность двигателя на 15...25%. Например, впускная система (Luftansaugeinrichtung für einen Verbrennungsmotor), заявка [12], содержит корпус с главной и дополнительной впускными трубами разной длины. На входе в дополнительную трубу установлена поворотная заслонка. Система образует настраиваемый резонатор, снижающий уровень шума на впуске. В зависимости от частоты вращения степень открытия заслонки изменяется, в результате чего изменяется длина волн в резонаторе, сближаясь с длиной волн, возбуждаемых на впуске. В результате интерференции волн исключается возникновение резонанса. Патент «Адаптивная система управления инерционным наддувом (Adaptive manifold tuning)» [13] описывает следующее конструктивное решение. На участке впускной трубы между дроссельной заслонкой и впускным коллектором подсоединена боковая дополнительная камера, выполняющая функции резонатора Гельмгольца. Проходное сечение горловины, соединяющей камеру с впускной трубой, регулируется посредством подвижного вытеснителя, приводимого исполнительным механизмом, управляемым электронной системой регулирования в зависимости от скоростного режима ДВС, а при необходимости и от других параметров условий его работы. Ряд конструкций систем акустического наддува ДВС был запатентован учёными Алтайского политехнического института им. И.И. Ползунова. Система резонансного наддува по авторскому свидетельству СССР № SU 1599568 A1 (1990 г., авторы Д.В.

Давыденко и Л.В. Нечаев) [14] предназначена для повышения эффективности резонансных эффектов для снижения насосных потерь двигателя. Впускная система для волнового наддува ДВС по авторскому свидетельству СССР №SU 1615409 А 1 (1990 г., авторы Д.В. Давыденко и Л.В. Нечаев) [15] позволяет повысить эффективность системы впуска. Впускная система содержит два основных настроенных впускных трубопровода, которые могут быть прямыми или изогнутыми.

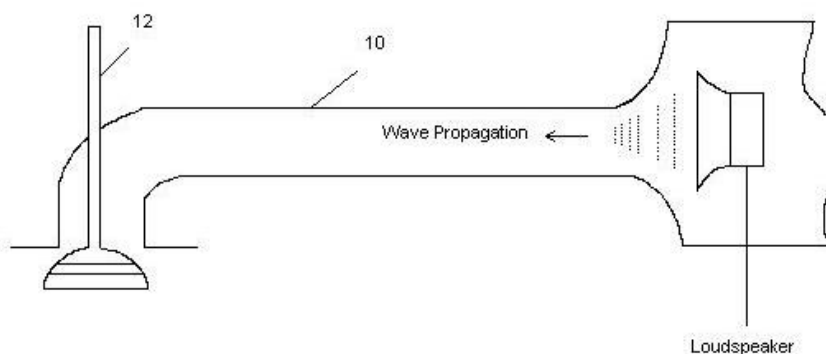
## 2. Подходы к акустическому наддуву ДВС с использованием активных генераторов звука

На основе проведенного анализа имеющихся конструктивных решений автором был сделан вывод, что традиционный (пассивный) акустический наддув имеет ряд принципиальных недостатков: ограниченность возможности изменения размеров воздухозаборных и подводящих патрубков, недостаточная эффективность наддува, ограниченная возможность адаптивных изменений и др.

Последние достижения в развитии микроэлектроники позволяют открыть кардинально новые возможности практического использования принципа динамического наддува. Принципиально новым является осуществление акустического наддува с использованием активных звуковых сигналов, создаваемых специальными блоками генерации звука (**активный акустический наддув**). Впервые использование дополнительного источника звука для осуществления волнового наддува было предложено в патенте GB № 2203488, МКИ F 02 В 29/00, F 01N 1/06, 7/00, опубликованном 19.10.1988, бюл. №42 [5], где в системе коллектора предусмотрен тракт, в котором расположен источник звука или волн сжатия с внешним управлением, возбуждаемый в определенный момент перед закрыванием соответствующего клапана двигателя, так что импульс давления от источника достигает клапана в момент закрывания последнего в каждом цикле двигателя (см. рис. 1). Источник может представлять собой громкоговоритель или резервуар с электроклапаном, или же нормально открытую заслонку в тракте, мгновенно закрываемую для генерирования импульса давления.

Однако предложенное в вышеуказанном патенте техническое решение оказалось недостаточно акустически корректным и малоэффективным ввиду следующих соображений:

- использование дополнительного тракта, в котором расположен источник звука или волн сжатия, делает конструкцию системы усложнённой и увеличивает общую массу двигателя;
- не предусмотрен механизм обеспечения максимального эффекта сжатия газозооушной смеси в момент поступления во впускной клапан при различных режимах работы двигателя, что делает акустический наддув недостаточно эффективным в условиях реальной эксплуатации двигателя;
- не описан механизм генерации активного акустического излучения в условиях воздействия факторов рабочей и внешней среды;
- в предлагаемом устройстве речь идёт только о настройке впускного коллектора ДВС, а создание разрежения вблизи выпускного клапана в конце процесса выпуска в момент перекрытия клапанов, и, таким образом, улучшение процесса удаления отработавших газов, не предусмотрено.



*Рис.1.* Система волнового наддува с использованием источника звука или волн сжатия с внешним управлением (патент фирмы «Ford» GB №2203488, 1988 [5])

В работе [6] был введен термин «активный наддув» (активный акустический наддув), при котором акустический наддув осуществляется с использованием активных излучателей звука (требующих дополнительной энергии). Использование устройств активной генерации звука позволяет создать оптимальные условия для акустической интерференции и резко повысить эффективность наполнения. К достоинствам систем активного наддува относится также их многофункциональность, например, возможность их перенастройки в режим работы активных компенсаторов шума системы впуска двигателя. По принципу формирования повышения давления при впуске (за счёт колебательных явлений во впускном трубопроводе) активный наддув можно рассматривать как разновидность динамического (акустического) наддува. Вместе с тем, активный наддув обладает рядом специфических свойств: необходимость использования специальных блоков генерации активного звука и системы управления и контроля, необходимость дополнительной энергии, величина которой должна быть достаточной для обеспечения эффективного наддува и пр. Это позволяет рассматривать активный наддув как отдельный, самостоятельный вид наддува.

### **3. Устройство активного акустического наддува автомобильных ДВС**

В настоящей статье предлагается разработанное автором устройство активного акустического наддува, основанное на использовании компактных маловесных активных излучателей звука, вмонтированных во впускной трубопровод, и электронного блока управления, позволяющих создавать акустическое излучение с необходимыми для достижения максимальной эффективности наддува характеристиками звукового давления. Сущность конструкции заключается в том, что двигатель внутреннего сгорания имеет устройство для акустического (волнового) наддува двигателя внутреннего сгорания, содержащее впускной трубопровод и подводящие к цилиндрам патрубки, излучатель звука или волн сжатия с внешним управлением, при этом по меньшей мере один излучатель звука вмонтирован во впускной трубопровод, связан с электронным блоком управления и излучает звук в пространство впускного трубопровода с возможностью обеспечения достижения максимального эффекта усиления давления потока газа при поступлении заряда газозоудшной смеси в цилиндр двигателя при впуске либо разрежения вблизи выпускного клапана в конце процесса выпуска в момент перекрытия клапанов, при этом необходимые для достижения вышеуказанного эффекта амплитудно-частотные

характеристики излучателя звука вырабатываются электронным блоком управления и подаются на излучатель в заданный момент времени.

Характеристики активных звуковых сигналов предварительно настроены исходя из геометрических характеристик систем газообмена двигателя внутреннего сгорания, например, размеров внутреннего диаметра и длины впускного трубопровода и подводящих патрубков, а также с учетом разновидности впускной системы. Количество и расположение источника (источников) звука определяется для данной конкретной системы впуска экспериментально, с учетом обеспечения максимального эффекта наддува. Источник звука может быть выполнен в виде громкоговорителя.

На рис.2 представлена общая схема системы впуска двигателя внутреннего сгорания, содержащей устройство активного акустического наддува. На рис. 3 показано возможное расположение устройства активного акустического наддува во впускном трубопроводе. На рис.4 показан эффект усиления давления газовой смеси при наполнении в результате интерференции волн давления воздушного потока и звукового давления, создаваемым устройством активного акустического наддува.

Устройство акустического наддува двигателя внутреннего сгорания (рис. 2) содержит впускной трубопровод 1, патрубки 2-5, подводящие к клапанам 6 цилиндров 7. Во впускной трубопровод 1 вмонтирован по меньшей мере один излучатель звука (громкоговоритель) 8, связанный с электронным блоком управления 9 и излучающий звук в пространство впускного трубопровода. В канале головки цилиндра перед впускным клапаном 6 может быть установлен дополнительный клапан 10, положение которого фиксируется датчиком 11, связанным с электронным блоком управления.

Устройство работает следующим образом. В начале такта впуска поток газовой смеси проходит по впускному трубопроводу 1 и через впускной клапан 6 поступает в цилиндр 7 двигателя внутреннего сгорания. При этом давление и скорость потока изменяются по времени и длине трубопровода. В заданный момент времени излучатель звука (громкоговоритель) 8 излучает звук в пространство впускного трубопровода с необходимыми для достижения максимального эффекта усиления давления потока газа при поступлении заряда газовой смеси в цилиндр двигателя при впуске либо разрежения вблизи выпускного клапана в конце процесса выпуска в момент перекрытия клапанов путем интерференции волн давления основного воздушного потока, поступающего в систему впуска, и звукового давления, создаваемого устройством акустического наддува, амплитудно-частотными характеристиками, которые вырабатываются электронным блоком управления 9 и подаются на излучатель в заданный момент времени. В результате за счет интерференции волн давления основного воздушного потока, поступающего в систему впуска, и звукового давления, создаваемого устройством акустического наддува, достигается эффект усиления давления потока газа при поступлении заряда газовой смеси в цилиндр двигателя.

При другом конструктивном исполнении устройства активного акустического наддува в начале такта впуска дополнительный клапан 10 только приоткрывается, вследствие чего в цилиндре возникает значительное разрежение. Затем этот клапан открывается полностью, а излучатели активного звука 8 создают дополнительное акустическое излучение с необходимыми параметрами. Газодинамический поток с большой скоростью и звуковым давлением устремляется в цилиндр, где тормозится, обеспечивая акустический наддув. Работой дополнительного клапана управляет электронный блок 9, оптимизирующий момент полного открытия клапана и учитывающий угол открытия дроссельной заслонки двигателя  $\alpha$ . Дополнительно может быть установлен датчик частоты работы двигателя.

Устройство формирования активных звуковых сигналов может быть предварительно настроено исходя из геометрических характеристик систем газообмена ДВС, например, размеров внутреннего диаметра и длины патрубков. Учитываются также различные разновидности впускных систем:

1. С разветвленными патрубками для одного впускного канала или для объединенных каналов смежных цилиндров;
2. С индивидуальными для каждого цилиндра короткими патрубками, присоединенными к общему ресиверу;
3. С индивидуальными трубами, объединенными в общем ресивере;
4. С разветвленными патрубками, объединяющими отдельные трубы разной длины, в которых процессы впуска сдвинуты на равные интервалы и др.

Эффективная работа устройства достигается при оптимальном количестве и расположении источника (источников) звука, оптимальной длине и поперечном сечении трубопроводов, фазы газораспределения и время-сечения впускных и выпускных клапанов. Оптимальная длина трубопровода определяется своевременным приходом волны сжатия или разрежения перед закрытием клапана соответственно для впускной и выпускной систем. Своевременный приход волны зависит от соотношения скорости ее распространения, длины трубопровода, длительности открытия клапана. В результате повышается эффективность наддува, увеличиваются мощностные показатели двигателя, а также снижается токсичность отработавших газов. Кроме того, при минимальной перенастройке предлагаемое устройство может использоваться в качестве глушителя шума впуска двигателя. На устройство получен патент РФ [7].

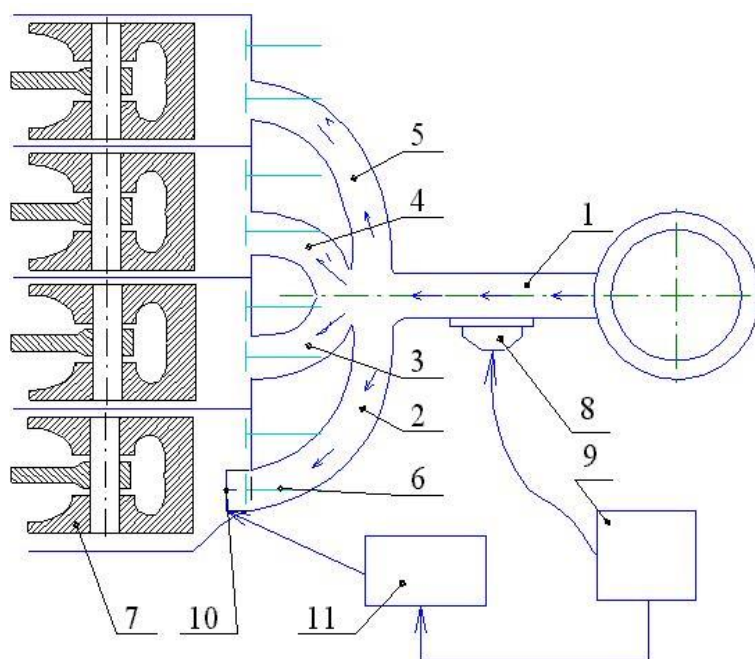


Рис. 2. Система впуска автомобильного двигателя, содержащая устройство активного наддува





### Список литературы

1. Луканин В.Н., Алексеев И.В., Шатров М.Г. и др. Двигатели внутреннего сгорания. Учебник для вузов. В 3 кн. Под ред. Луканина В.Н. М.: "Высшая школа", 1995.
2. Морозов К.А. Имеют ли будущее бензиновые двигатели с наддувом? В сб. научных трудов МАДИ (ТУ) "Двигатели внутреннего сгорания: проблемы, перспективы развития", М., 2000, стр. 253-257.
3. Автомобильные двигатели. Учебник для вузов под ред. М.С. Ховаха. М.: "Высшая школа", 1977.
4. Березин С.Р. Исследование динамического наддува четырехтактных двигателей внутреннего сгорания. Автореферат диссертации на соиск. уч. ст. к. т. н. Москва, 1980.
5. Manifold Tuning for Internal Combustion Engines. Ford Motor Company (Incorporated in United Kingdom). Патент GB № 2203488, МКИ F 02 В 29/00, F 01N 1/06, 7/00, опубл. 19.10.1988, бюл. №42.
6. Васильев А.В. Акустика автомобильных двигателей внутреннего сгорания: учеб. пособие для студентов вузов/А.В. Васильев. - Тольятти: Тольяттинский государственный университет, 2005. -284 с.
7. Васильев А.В. Устройство для акустического наддува двигателя внутреннего сгорания: патент на изобретение RUS 2241128 26.03.2002.
8. Васильев А.В. Снижение шума транспортных потоков в условиях современного города. Экология и промышленность России. 2004. № 6. С. 37-41.
9. Васильев А.В. Мониторинг акустического загрязнения территории Самарской области. В сборнике: Защита населения от повышенного шумового воздействия. Сборник докладов II Всероссийской научно-практической конференции с международным участием. Под редакцией Иванова Н.И. 2014. С. 148-159.
10. Иванов Н.И., Никифоров А.С. Основы виброакустики: Учебник для вузов – СПб.: Политехника, 2000. – 482 с.: ил.
11. Vasilyev A.V., Luzzi S. Recent approaches to road traffic noise monitoring. В сборнике: 8th European Conference on Noise Control 2009, EURONOISE 2009 – Proceedings of the Institute of Acoustics 2009.
12. Spanbauer P., Alex M, Filterwerk Mann & Mummen GmbH, Заявка №19811051.0, Германия, заявл. 13.03.98, опубл. 16.09.99.
13. Реферативный журнал «Шум», реферат 7.39.96.П 34., 1996 г.
14. Д.В. Давыденко, Л.В. Нечаев. Авторское свидетельство СССР №SU 1599568 A1, 1990 г.
15. Д.В. Давыденко, Л.В. Нечаев. Авторское свидетельство СССР №SU 1615409 A1, 1990 г.