

УДК 629.331

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ РАБОТЫ ДВИГАТЕЛЕЙ С ТУРБОНАДДУВОМ

Д.В. КУХАРЕВ, Е.В. КОШМАН

(Представлено: канд. техн. наук, доц. Т.В. ВИГЕРИНА)

Рассматриваются способы повышения эффективности работы двигателей внутреннего сгорания с турбонаддувом. Проведен анализ статистических данных по способам устранения проблем с турбоямой. Детально рассмотрены устройства и принцип действия каждого из способов, проанализирован сам принцип действия турбонаддува, выявлены его достоинства и недостатки.

В настоящее время турбонаддув является наиболее эффективной системой повышения мощности двигателя без увеличения частоты вращения коленчатого вала и объема цилиндров. Турбонаддув – вид наддува, при котором воздух в цилиндры двигателя подается под давлением за счет использования энергии отработавших газов. Помимо повышения мощности турбонаддув обеспечивает экономию топлива в расчете на единицу мощности и снижение токсичности отработавших газов за счет более полного сгорания топлива [1].

Система турбонаддува применяется как на бензиновых, так и на дизельных двигателях. Вместе с тем наиболее эффективен турбонаддув на дизелях вследствие высокой степени сжатия двигателя и относительно невысокой частоты вращения коленчатого вала. Сдерживающими факторами применения турбонаддува на бензиновых двигателях являются возможность наступления детонации, которая связана с резким увеличением частоты вращения двигателя, а также высокая температура отработавших газов (1000 °С по сравнению с дизельными двигателями 600 °С) и соответствующий нагрев турбонагнетателя.

Рассмотрим принцип работы турбонаддува (рис. 1). На одном валу расположены крыльчатка-нагнетатель и крыльчатка-турбина, каждая из которых вращается в своей улитке. Отработавшие газы из выпускного коллектора проходят через одну из улиток и вращают крыльчатку-турбину. Вращение посредством общего вала передается второй крыльчатке, которая повышает давление атмосферного воздуха, проходящего через вторую улитку. При небольших оборотах давление выхлопов становится малым. Так как турбина изготавливается из чугуна и имеет большой вес, поэтому на раскрутку крыльчатки уходит много времени. Степень сжатия в сравнении с атмосферными двигателями снижена. Следовательно, на малых оборотах возможен провал по мощности («турбояма») [2].

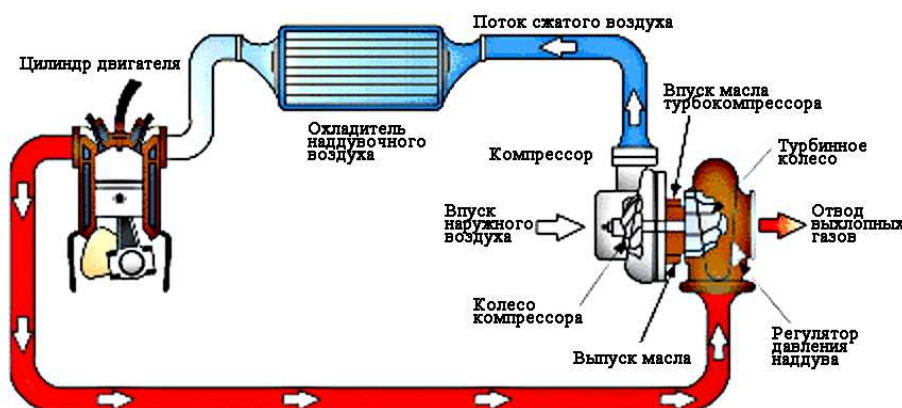


Рисунок 1. – Принцип работы турбонаддува

При высоких оборотах, когда турбина раскрутилась, чувствуется рывок. Однако возникает еще одна проблема – нагревание обеих крыльчаток. На впуске идет горячий воздух, а для оптимизирования рабочего процесса потребуется холодный. По этой причине необходимо специальное охлаждение наддувного воздуха с помощью интеркулера, то есть промежуточного охладителя. Наддувной воздух перед попаданием в цилиндры проходит через интеркулер.

Основным элементом управления системы турбонаддува является регулятор давления наддува, который представляет собой перепускной клапан – вестгейт. Клапан ограничивает энергию отработав-

ших газов, направляя их часть в обход турбинного колеса, тем самым обеспечивает оптимальное давление наддува. Клапан имеет пневматический или электрический привод. Срабатывание перепускного клапана производится на основании сигналов датчика давления наддува системой управления двигателем. В воздушном тракте высокого давления (после компрессора) может устанавливаться предохранительный клапан. Он защищает системы от скачка давления воздуха, который может произойти при резком закрытии дроссельной заслонки. Избыточное давление возможно стравливать в атмосферу с помощью блуофф-клапана или перепускать на вход компрессора с помощью байпас-клапана.

Основные плюсы турбонаддува – повышение коэффициента полезного действия и экономичности двигателя автомобиля. Причина этого в том, что система приводится в действие за счет энергии отработавших газов, не отнимая мощность у мотора. Турбонаддув обеспечивает более полное сгорание горючего, что улучшает экологичность. Кроме того, наддув понижает температуру камеры сгорания, что приводит к уменьшению образования оксида азота.

К недостаткам турбонаддува можно отнести необходимость аккуратного обращения, так как масло к подшипникам компрессора подается под давлением, пока работает двигатель автомобиля. После поездки, когда мотор горячий, стоит только выключить зажигание, и масло подаваться перестанет. Чтобы избежать поломки, необходимо дать мотору поработать некоторое время на холостых оборотах, и только потом заглушить. Некоторые автомобили оснащаются турботаймером, который берет эту заботу на себя.

Обратная сторона повышения мощности мотора при сохранении общих характеристик, то есть форсирования, – интенсивный износ узлов, как следствие, снижение ресурса силовой установки. Кроме того, турбины требуют применения специальных сортов моторных масел и строгого соблюдения рекомендуемых изготовителем сроков обслуживания. Еще более требователен воздушный фильтр.

Недостаток системы турбонаддува – чувствительность к износу поршневой группы. Возрастание давления картерных газов ощутимо снижает ресурс турбины. При продолжительной работе в таких условиях наступает «масляное голодание» и поломка турбокомпрессора. Причем повреждение этого агрегата вполне может привести к выходу из строя всего двигателя.

Другие значительные минусы – это ограниченный диапазон эффективной работы турбокомпрессора и турбояма (замедленный отклик турбины на нажатие педали газа). Система турбонаддува эффективно работает в довольно узком диапазоне частоты вращения коленчатого вала, который зависит от размеров турбины. Этот дефект называют турбоямой. Чем больше размеры и масса турбокомпрессора, тем дольше будет раскручиваться турбина. Эффективность работы турбины сильно зависит от оборотов двигателя. На малых оборотах количество выхлопных газов совсем небольшое, а их скорость и давление также малы [3; 4].

Основной недостаток турбин это наличие турбоямы. Существует несколько способов решения данной проблемы:

- применение турбины с изменяемой геометрией;
- использование двух последовательных или параллельных турбокомпрессоров (twin-turbo или bi-turbo);
- комбинированный наддув;
- использование присадок в топливо (например, EnviroTabs).

Поэтому целью данной работы являлись описание способов устранения турбоямы и анализ статистических данных, который в процентном соотношении позволил оценить степень использования способа для устранения существующей проблемы.

В работе проведен статистический анализ способов устранения турбоям (рис. 2).

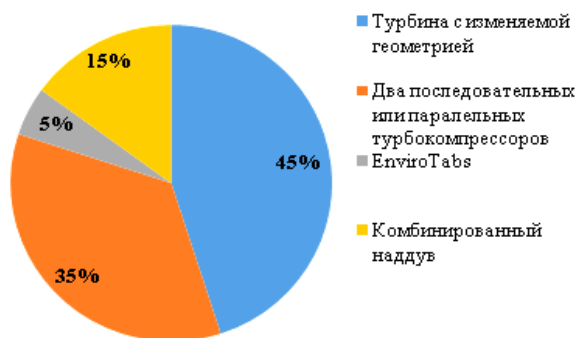
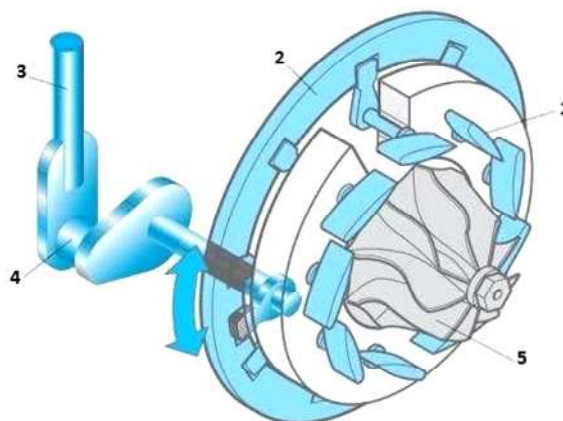


Рисунок 2. – Процент использования в автомобильной индустрии

Наиболее часто для решения проблемы используют турбину с изменяемой геометрией (рис. 3) (VNT – турбина), обеспечивающей оптимизацию потока отработавших газов за счет изменения площади входного канала.



1 – направляющие лопатки; 2 – кольцо; 3 – рычаг;
4 – тяга вакуумного привода; 5 – турбинное колесо

Рисунок 3. – Турбина с изменяемой геометрией

Принцип работы турбокомпрессора с изменяемой геометрией состоит в изменении сечения на входе колеса турбины с целью оптимизировать мощность турбины для заданной нагрузки. При низких оборотах двигателя и поток отработанных газов является небольшим, и он раскручивает турбину недостаточно сильно для резкого ускорения. В этот момент по сигналу блока управления направляющие лопатки смещаются и уменьшают расстояние между собой. Несмотря на то, что объем отработанных газов не увеличился, ему теперь приходится проходить через узкий коридор, что заставляет отработанные газы двигаться быстрее. В результате обороты турбины возрастают, и увеличивается давление наддува. Таким образом удастся увеличить скорость вращения турбины без резкого увеличения объема отработанных газов. Турбины с изменяемой геометрией нашли широкое применение в турбонаддуве дизельных двигателей, в частности турбонаддув двигателя TDI от Volkswagen.

Система с двумя параллельными турбокомпрессорами применяется в основном на мощных V-образных двигателях (по одному на каждый ряд цилиндров) и составляет ~ 35%. Параллельная система Twin Turbo работает одновременно и параллельно друг другу, и включает в себя два одинаковых турбокомпрессора. Параллельная работа происходит из-за ровного деления потока сгоревших газов между турбокомпрессорами. Из каждого компрессора выходит сжатый воздух и поступает в общий впускной коллектор, и затем распределяется по цилиндрам. Из-за параллельной схемы турбонаддува эффективность системы основывается на том, что две маленькие турбины имеют меньшую инерционность, чем одна большая турбина. Турбокомпрессоры работают на всех оборотах двигателях, обеспечивая быстрое повышение наддува. Каждая турбина установлена на своём выпускном коллекторе.

При установке на двигатель двух последовательных турбин максимальная производительность системы достигается за счет использования разных турбокомпрессоров на разных оборотах двигателя. В системе последовательного TwinTurbo постоянно работает первый турбокомпрессор, а второй начинает работать в определенном порядке работы двигателя (повышенная частота оборотов, нагрузка). Последовательный турбокомпрессор включает два одинаковых по характеристикам турбокомпрессора. Электронная система управления обеспечивает переход между режимами и регулирует поток сгоревших газов ко второму турбокомпрессору за счёт специального клапана. Некоторые производители идут еще дальше и устанавливают три последовательных турбокомпрессора triple-turbo (BMW) и даже четыре турбокомпрессора – quad-turbo (Bugatti).

Комбинированный наддув (twincharger) (рис. 4) объединяет механический и турбонаддув. Механический нагнетатель приводится ремнем от коленвала и устанавливается перед турбиной. Он работает на низких оборотах двигателя и позволяет реализовать потенциал мотора практически с холостых оборотов. Когда тахометр преодолевает отметку в 2000 оборотов, к работе подключается турбина и вплоть до 3500 они работают вместе. При дальнейшем повышении оборотов электромагнитная муфта отключает компрессор, а специальная заслонка пускает воздух в обход механического нагнетателя. Таким образом, на высоких оборотах работает только турбина. Примером такой системы является двойной наддув двигателя TSI от Volkswagen.

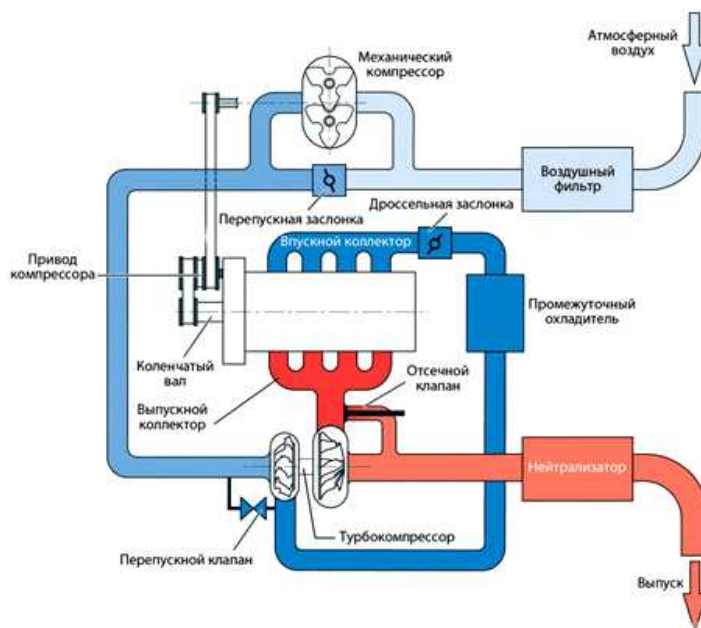


Рисунок 4. – Комбинированный наддув

EnviroTabs содержит целый комплекс веществ и элементов, которые при сгорании выделяют дополнительный кислород. Этот кислород позволяет догорать топливу в камере сгорания и, следовательно, частично или полностью решает проблему турбоямы. Снижает температуру горения высоко кипящих углеводородов, иначе говоря, верхние температурные пределы (с 650...700 до 220...230 °С). Помимо того, что она помогает работать теплонагруженным узлам в оптимальном режиме, но это и снижает температуру отводящихся газов, а следовательно снижает температуру и в самих турбинах [5].

Закключение. Использование двигателей с турбонаддувом позволяет повысить мощности и обеспечивает экономию топлива в расчете на единицу мощности, а также снижение токсичности отработавших газов за счет более полного сгорания топлива. Одна из проблем, возникающих при использовании таких двигателей, – турбояма. Наиболее простым и распространенным способом решения этой проблемы, как показали проведенные исследования, является использование турбины с изменяемой геометрией, вторым по частоте применения является установка двух последовательных или параллельных турбокомпрессоров. Наименьшее распространение получили комбинированный наддув и добавления в топливо Enviro Tabs. На данный момент турбонаддув является эффективным способом повышения мощности двигателя, а поиск путей по устранению недостатков данного способа подтверждает перспективность его использования.

ЛИТЕРАТУРА

1. Турбокомпрессоры для наддува дизелей. Справочное пособие / Б.П. Байков и [др.]. – Л. : Машиностроение, 1975. – 200 с.
2. Двигатели внутреннего сгорания: Системы поршневых и комбинированных двигателей / Д.Н. Вырубов и [др.]. – М. : Машиностроение, 1985. – 456 с.
3. Как работает турбонаддув [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://auto-wiki.ru/kak-rabotaet-turbonadduv>. – Дата доступа: 10.09.2016.
4. Системы современного автомобиля [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://systemsauto.ru/vpusk/tdi.html>. – Дата доступа: 10.09.2016.
5. Катализатор горения ENVIROTABS [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.envirotabs.com.ua>. – Дата доступа: 10.09.2016.