

## ПРОЦЕССЫ И МАШИНЫ АГРОИНЖЕНЕРНЫХ СИСТЕМ (ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ)

УДК 629.026

### СИСТЕМЫ ТУРБОНАДУВА ДВИГАТЕЛЯ ВНУТРЕННЕГО СГОРАНИЯ С ДОПОЛНИТЕЛЬНЫМ ЭЛЕКТРОПРИВОДОМ

Н.Г. ФАТАЛИЕВ<sup>1</sup>, д-р тех. наук, профессор  
А.С. ДАДИЛОВ<sup>2</sup>, канд. тех. наук, доцент  
<sup>1</sup>ФГБОУ ВО «Дагестанский ГАУ им. М.М. Джамбулатова», г. Махачкала  
<sup>2</sup>МАДИ ГТУМФ, Махачкала

### SYSTEMS OF TURBOCHARGER OF INTERNAL COMBUSTION ENGINE WITH AN ADDITIONAL ELECTRIC DRIVE

N.G. FATALIEV<sup>1</sup>, Doctor of Engineering, Professor  
A.S. DADILOV<sup>2</sup>, Candidate of Engineering, Associate Professor  
<sup>1</sup>M.M. Dzhambulatov Dagestan State Agtation University, Makhachkala  
<sup>2</sup>Makhachkala Branch of Moscow State Automobile and Road Technical University, Makhachkala

**Аннотация:** В статье проводится анализ существующих систем наддува двигателей внутреннего сгорания (ДВС) и предлагаются способы их совершенствования.

Применяемые способы наддува для привода компрессора забирают часть крутящего момента с коленчатого вала или работают от давления выхлопных газов, или и то и другое.

Анализ существующих способов наддува показал, что вначале, на малых оборотах коленчатого вала, мощность двигателя практически не повышается.

Для быстрого повышения оборотов компрессора вначале запуска двигателя, когда обороты коленчатого вала незначительны, предлагается ротор компрессора соединить с электромотором, выполняющим функцию дополнительного привода.

Такой привод способствует снижению потерь крутящего момента на коленчатом валу; повышению КПД двигателя; развитию необходимой мощности двигателем на малых оборотах.

**Abstract:** The article analyzes the existing systems of internal combustion engine charging and ways of improving them. The applied methods of charging for compressor drivetake part of torque and are powered by exhaust pressure or both.

*The existing methods of charging show that at a low speed of the crankshaft engine power doesn't increase.*

*To increase compressor speed during engine start-up it's recommended to connect the rotor with the electric motor performing a function of an additional drive.*

*This drive reduces torque loss on the crankshaft, increases efficiency and boosts power at a low speed.*

**Ключевые слова:** Автомобиль, система наддува, коленчатый вал, электрический привод, крутящий момент, коэффициент полезного действия, мощность двигателя, «турбояма», «турбоподхват».

**Keywords:** Vehicle, turbocharging, crankshaft, electric drive, torque, efficiency, efficiency of engine power.

Турбонадув - вид наддува, при котором воздух в цилиндры двигателя подается под давлением за счет использования энергии отработавших газов [5].

В настоящее время турбонадув является наиболее эффективной системой повышения мощности двигателя без увеличения частоты вращения коленчатого вала и объема цилиндров. Помимо повышения мощности, турбонадув обеспечивает экономию топлива в расчете на единицу мощности и снижение токсичности отработавших газов за счет более полного сгорания топлива.

Система турбонадува применяется как на бензиновых, так и на дизельных двигателях. Вместе с тем, наиболее эффективен турбонадув на дизелях вследствие высокой степени сжатия двигателя и

относительно невысокой частоты вращения коленчатого вала. Сдерживающими факторами применения турбонадува на бензиновых двигателях являются возможность наступления детонации, которая связана с резким увеличением частоты вращения двигателя, а также высокая температура отработавших газов (1000°C против 600°C у дизелей) и соответствующий нагрев турбоагнетателя.

Большинство элементов турбонадува являются типовыми элементами впускной системы. Отличительной особенностью турбонадува является наличие турбокомпрессора (рис. 1), интеркулера и новых конструктивных элементов управления.

Турбокомпрессор (другое наименование –

турбонагнетатель, газотурбинный нагнетатель) является основным конструктивным элементом турбонаддува и обеспечивает повышение давления воздуха во впускной системе. Конструкция турбокомпрессора объединяет два колеса - турбинное и компрессорное, расположенные на валу ротора. Каждое из колес, а также вал с подшипниками помещены в отдельные корпуса.

Основным элементом управления системы

турбонаддува является регулятор давления наддува, который представляет собой перепускной клапан.

Клапан ограничивает энергию отработавших газов, направляя их часть в обход турбинного колеса, тем самым обеспечивая оптимальное давление наддува. Клапан имеет пневматический или электрический привод. Срабатывание перепускного клапана производится на основании сигналов датчика давления наддува системой управления двигателем.

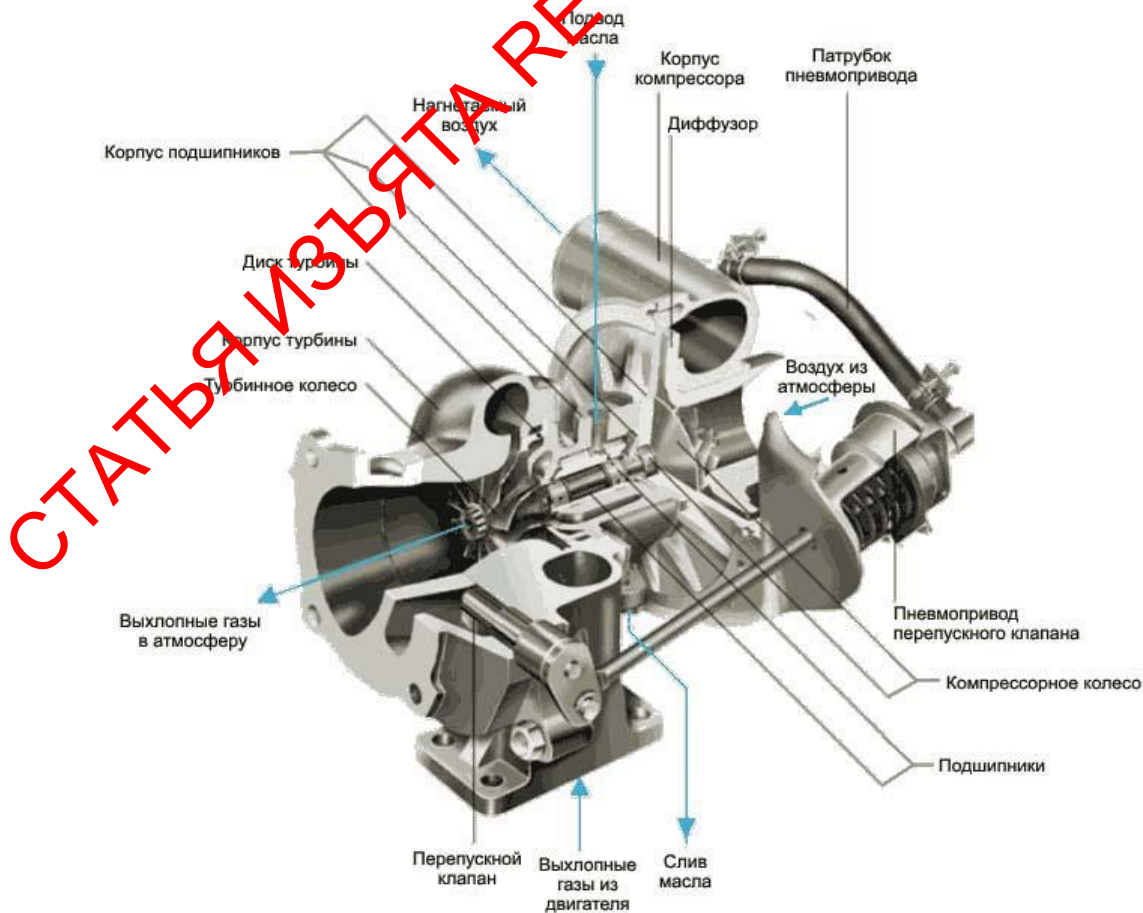


Рисунок 1 - Общий вид турбокомпрессора.

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 может стравливаться в атмосферу с помощью блуофф-клапана (blowoff) или перепускаться на вход компрессора с помощью байпас-клапана (bypass).

Работа системы турбонаддува основана на использовании энергии отработавших газов. Отработавшие газы вращают турбинное колесо, которое через вал ротора вращает компрессорное колесо. Компрессорное колесо сжимает воздух и нагнетает его в систему. Нагретый при сжатии воздух охлаждается в интеркулере и поступает в цилиндры

двигателя.

Как известно, количество топлива, которое может сгореть в цилиндрах двигателя, жестко связано с объемом воздуха, засасываемого мотором внутрь [6]. Соотношение топливо/воздух для эффективной работы двигателя составляет 1:14,7. При установке турбонаддува примерно на 30% - 80% увеличивается давление и количество воздуха, подаваемое в цилиндры двигателя.

Эквивалентно количеству нагнетенного воздуха увеличивается количество подаваемого топлива. Это позволяет сжигать в единицу времени большее количество топливно-воздушной смеси, за счет чего и происходит повышение КПД, его мощность и крутящий момент до 50%. Повышение мощности двигателя пропорционально давлению, создаваемому

турбиной. Расход бензина (топлива) сокращается до 25%, а окружающая среда меньше загрязняется.

Несмотря на то, что газотурбинный наддув не имеет жесткой связи с коленчатым валом двигателя, эффективность работы системы во многом зависит от числа его оборотов.

На малых оборотах количество выхлопных газов, их скорость и давление совсем малые. Поэтому турбина раскручивается до совсем небольших оборотов, и компрессор дополнительного воздуха в цилиндры почти не подаёт. В результате этого примерно до 3000 мин<sup>-1</sup> двигателя не тянут. Эффективность турбокомпрессора наблюдается при достижении частоты вращения коленчатого вала около 4000 мин<sup>-1</sup> и более. Следовательно, чем выше частота вращения коленчатого вала двигателя, тем выше энергия отработавших газов, быстрее вращается вал турбины, больше сжатого воздуха подаёт компрессор в цилиндры двигателя. Кроме того, чем больше размеры и масса турбокомпрессора, тем дольше будет раскручиваться турбина, не поспевая за резко нажатой педалью акселератора.

Следует отметить, что существуют довольно серьёзные проблемы с турбонаддувом [7]. Одна из них – это детонация. Она происходит за счёт повышения давления горючей смеси в цилиндрах двигателя. За ней следует вторая проблема – это октановое число (бензина), т. е. качество бензина. В третьих, при турбонаддуве повышается температура работы двигателя. Поэтому нужно предусматривать дополнительную систему охлаждения.

Также минусом газотурбинного нагнетателя является слабая приспособленность к установке на карбюраторные двигатели. При возникновении избыточного давления воздуха топливно-воздушная смесь обедняется из-за недостаточного количества топлива. В инжекторных системах этой проблемы нет, так как система питания, заметив избыток воздуха, закачивает дополнительное количество топлива.

В силу конструкции, турбонаддув имеет ряд негативных особенностей, среди которых с одной стороны - задержка повышения мощности двигателя при резком нажатии на педаль газа, когда образуется так называемая «турбояма» (turbolag), с другой - резкое увеличение давления наддува после прекращения «турбоямы», так называемый «турбоподхват».

«Турбояма» обусловлена инерционностью системы (для повышения давления наддува при резком нажатии на педаль газа требуется определенное время), которая приводит к несоответствию между потребной мощностью и производительностью компрессора. Существует несколько способов решения данной проблемы:

1. применение турбины с изменяемой геометрией;
2. использование двух последовательных или параллельных турбокомпрессоров;
3. комбинированный наддув.

Турбина с изменяемой геометрией (VNT – турбина) обеспечивает оптимизацию потока отработавших газов за счет изменения площади входного канала. Турбины с изменяемой геометрией нашли широкое применение в турбонаддуве дизельных двигателей от Volkswagen и др.

Система с двумя параллельными турбокомпрессорами применяется в основном на мощных V-образных двигателях (по одному на каждый ряд цилиндров). Принцип работы системы основан на том, что две маленькие турбины обладают меньшей инерцией, чем одна большая.

При установке на двигатель двух последовательных турбин максимальная производительность системы достигается за счет использования разных турбокомпрессоров на разных оборотах двигателя [4]. Некоторые производители идут еще дальше и устанавливают три последовательных турбокомпрессора - triple-turbo (BMW) и даже четыре турбокомпрессора - quad-turbo (Bugatti).

Комбинированный наддув (twincharger) объединяет механический и турбонаддув. Механический устанавливается перед турбонаддувом. На низких оборотах коленчатого вала двигателя сжатие воздуха обеспечивает механический нагнетатель. С ростом оборотов это подхватывает турбокомпрессор, а механический нагнетатель отключается. Примером такой системы является двойной наддув двигателя TSI от Volkswagen.

Необходимо отметить, что турбина с изменяемой геометрией площади

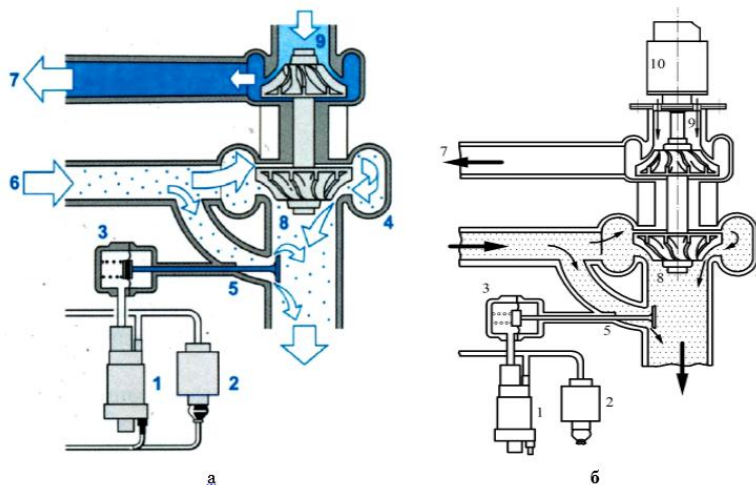


Рисунок 2 - Схема турбокомпрессора: а) до и б) после усовершенствования:

- 1 — электропневматический преобразователь давления наддува; 2 — вакуумный насос; 3 — исполнительный механизм перепускного клапана; 4 — корпус турбины; 5 — перепускной клапан; 6 — канал подачи ОГ к турбине; 7 — канал подачи сжатого воздуха во впускной тракт дизеля; 8 — колесо турбины; 9 — колесо компрессора; 10 — электромотор.

входного канала не даёт существенного повышения КПД двигателя, а установка двух последовательных турбин или объединение механической с турбонаддувом приводит к увеличению размеров и габаритов двигателя.

В связи с этим авторы предлагают вал компрессорного колеса 9 соединить с электромотором 10, работающим от генератора двигателя (рис. 2 - б).

Электромотор должен запускаться одновременно с двигателем и помочь компрессору быстро набрать обороты до 3000 ... 4000 мин<sup>-1</sup>, пока частота вращения коленчатого вала незначительна. При этом так называемая, «турбояма» практически не

будет ощутима, двигатель быстро достигнет необходимых оборотов и мощности. При достижении оборотов коленчатого вала 4000 мин<sup>-1</sup> и более работа электромотора отключается с помощью датчиков и блока управления.

#### Выводы.

Предлагаемый привод вала газотурбины с помощью электромотора позволит:

- повысить КПД газотурбины и двигателя в целом;
- увеличить мощность двигателя на малых оборотах коленчатого вала;
- улучшить приёмистость двигателя.

#### Список литературы

1. ГОСТ Р41.83-2004 (Правила ЕЭК ООН № 83) Единообразные предписания, касающиеся сертификации транспортных средств в отношении выбросов вредных веществ в зависимости от топлива, необходимого для двигателей [Текст]. Введен в действие 09.03.2004 г. постановлением № 126-ст. Издание официальное. - Москва. ИПК Издательство стандартов, 2004.
2. Системы управления дизельными двигателями. Пер. с нем. 1-е русское изд. [Текст]. — М.:ЗАО «КЖИ «За рулем», 2004.-480 с.
3. Dr. FrankSchmitt, Dipl.-Ing. Hans-Peter Schmalzl, Dipl.-Ing. Patrick Descamps Neue Erkenntnisse bei der Entwicklung von Aufladesystemen for Pkw-Motoren. Feb.2003. [Электронный ресурс]. — Режим доступа к статье <http://www.turbos.bwauto.com/service/default.aspx?doctype=12>.
4. Хоеркер, F.; Pfluger, F.; Jaisle, J. W.; Munz, S. Moderne Aufladekonzepte fur PKW Dieselmotoren 7. Aufladetechnische Konferenz, Dresden, 28. — 29. September 2000. [Электронный ресурс]. — Режим доступа к статье <http://www.turbos.bwauto.com/service/default.aspx?doctype=12>.
5. <https://ru.wikipedia.org/wiki/Турбонаддув>.
6. [systemsauto.ru/vpusk/turbo.htm](http://systemsauto.ru/vpusk/turbo.htm).
7. [samuraev.ru/useful/turbo.php](http://samuraev.ru/useful/turbo.php)
8. [auto-likbez.net/pages/view/76.html](http://auto-likbez.net/pages/view/76.html).
9. <http://autotuni.ru/tehniceskii-tiuning/1432-kak-rabotaet-turbonadduv-dvigatelya.html>.