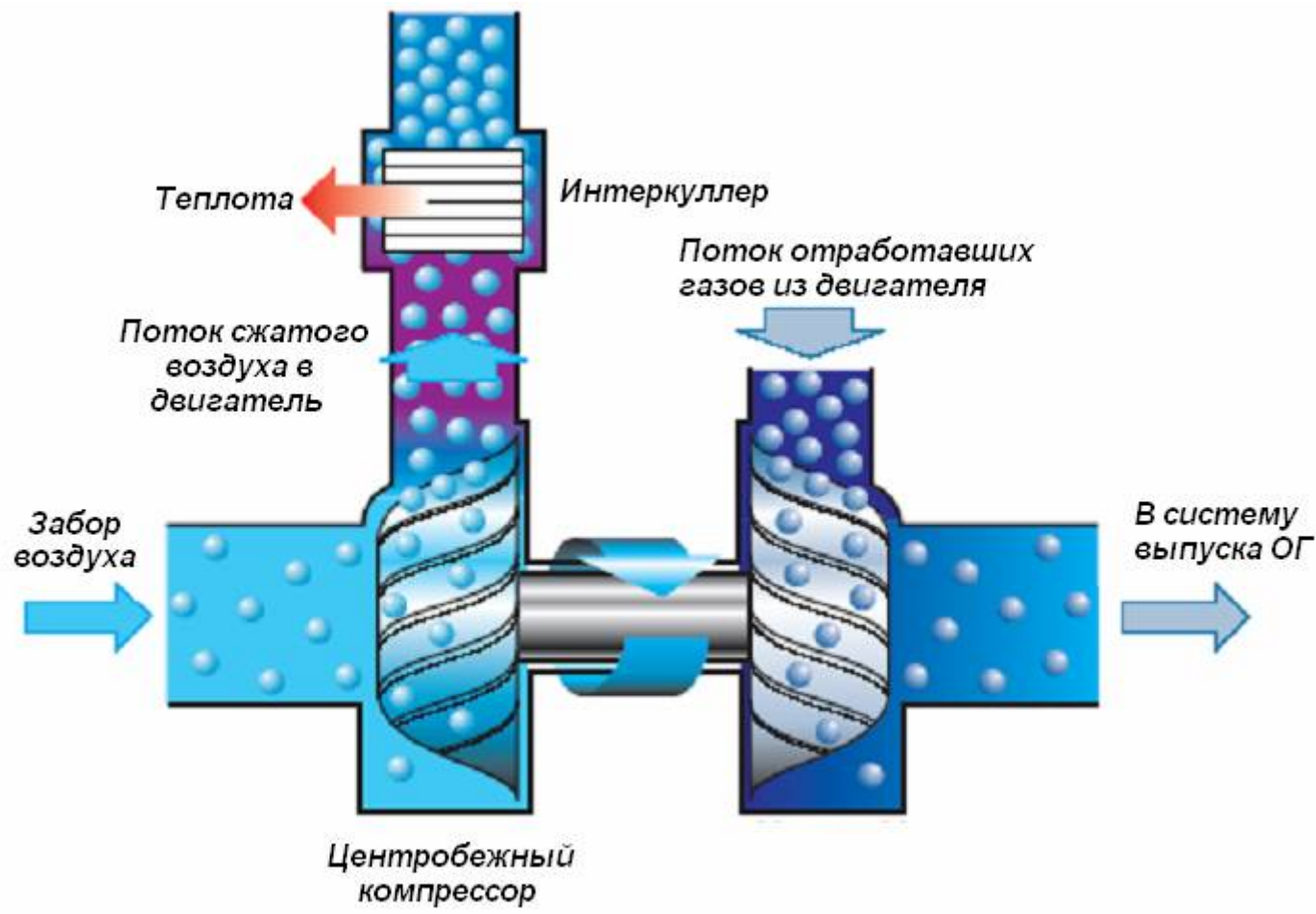


# Турбонаддув

Наддув дизельных и  
бензиновых двигателей

Турбонаддув - вид наддува, при котором воздух в цилиндры двигателя подается под давлением за счет использования энергии отработавших газов

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

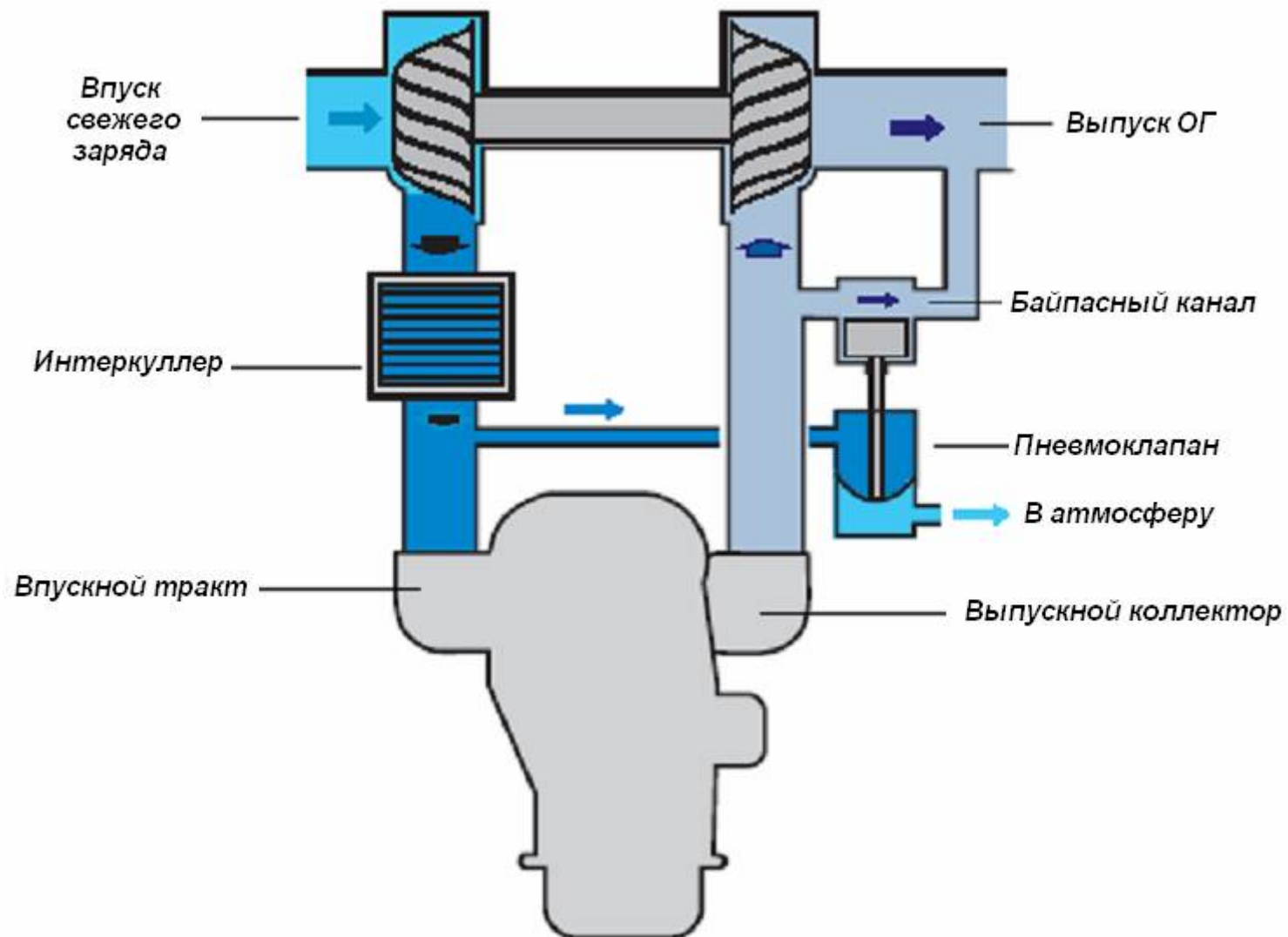


- Большинство элементов турбонаддува являются типовыми элементами впускной системы. Отличительной особенностью турбонаддува является наличие турбокомпрессора, интеркулера и новых конструктивных элементов управления.
- Турбокомпрессор (другое наименование – турбонагнетатель, газотурбинный нагнетатель) 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.

- **Турбинное колесо** воспринимает энергию отработавших газов. Колесо вращается в корпусе специальной формы. Турбинное колесо и корпус турбины изготавливаются из жаропрочных материалов (сплавы, керамика).
- **Компрессорное колесо** всасывает воздух, сжимает и нагнетает его в цилиндры двигателя. Компрессорное колесо также вращается в специальном корпусе.

- Интеркулер предназначен для охлаждения сжатого воздуха. За счет охлаждения сжатого воздуха повышается его плотность и увеличивается давление. Интеркулер представляет собой радиатор воздушного или жидкостного типа .
- Основным элементом управления системы турбонаддува является регулятор давления наддува, который представляет собой перепускной клапан (вейстгейт, wastegate). Клапан ограничивает энергию отработавших 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.

# Снижение давления наддува подмесом через байпас



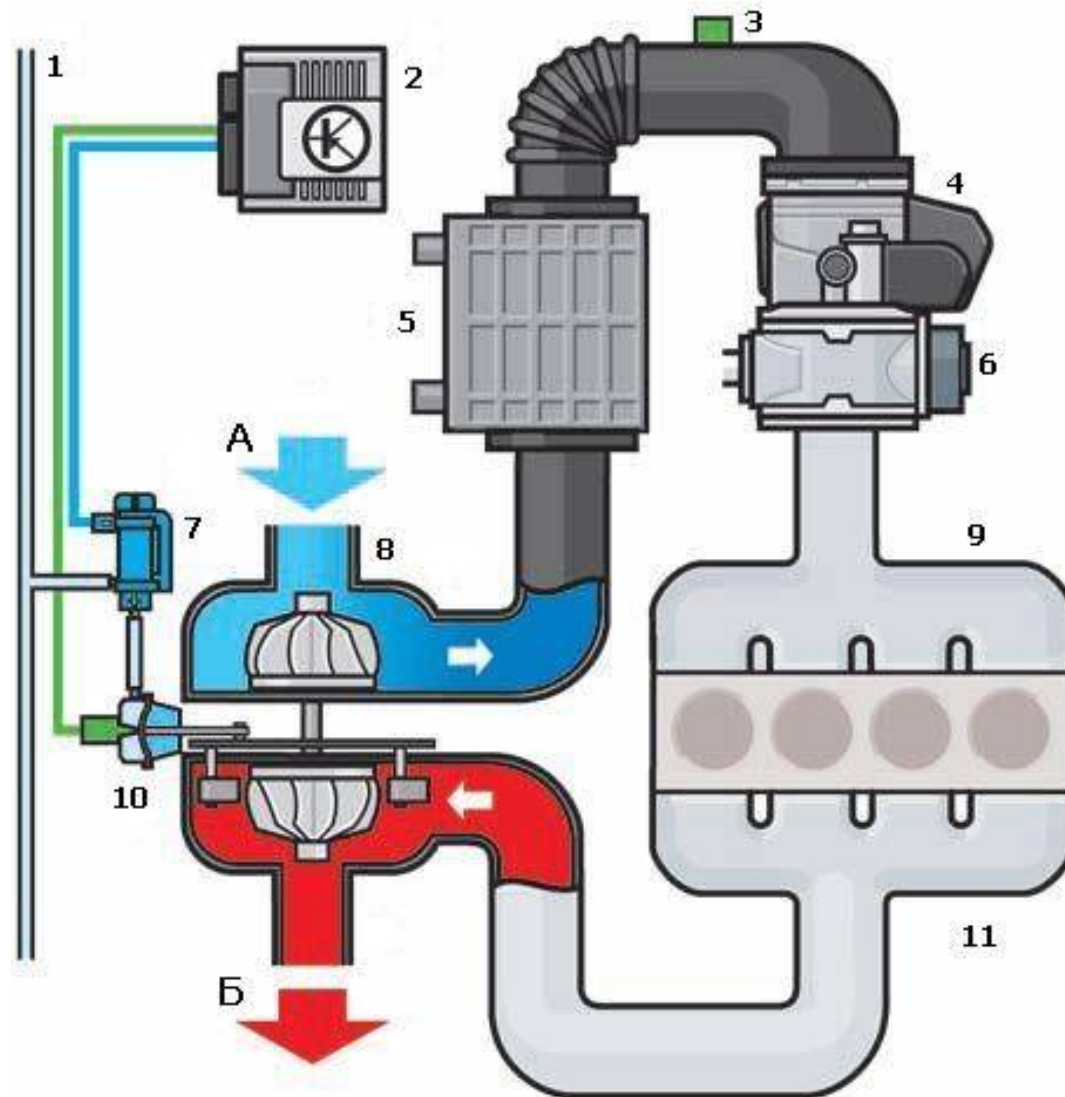
- В силу конструкции, турбонаддув имеет ряд негативных особенностей, среди которых с одной стороны задержка увеличения мощности двигателя при резком нажатии на педаль газа, т.н. «турбояма» (turbolag), с другой - резкое увеличение давления наддува после преодоления «турбоямы», т.н. «турбоподхват».
- «Турбояма» 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:
  - применение турбины с изменяемой геометрией;
  - использование двух последовательных или параллельных турбокомпрессоров ([twin-turbo](#) или bi-turbo);
  - комбинированный наддув.



# Турбокомпрессоры с изменяемой геометрией

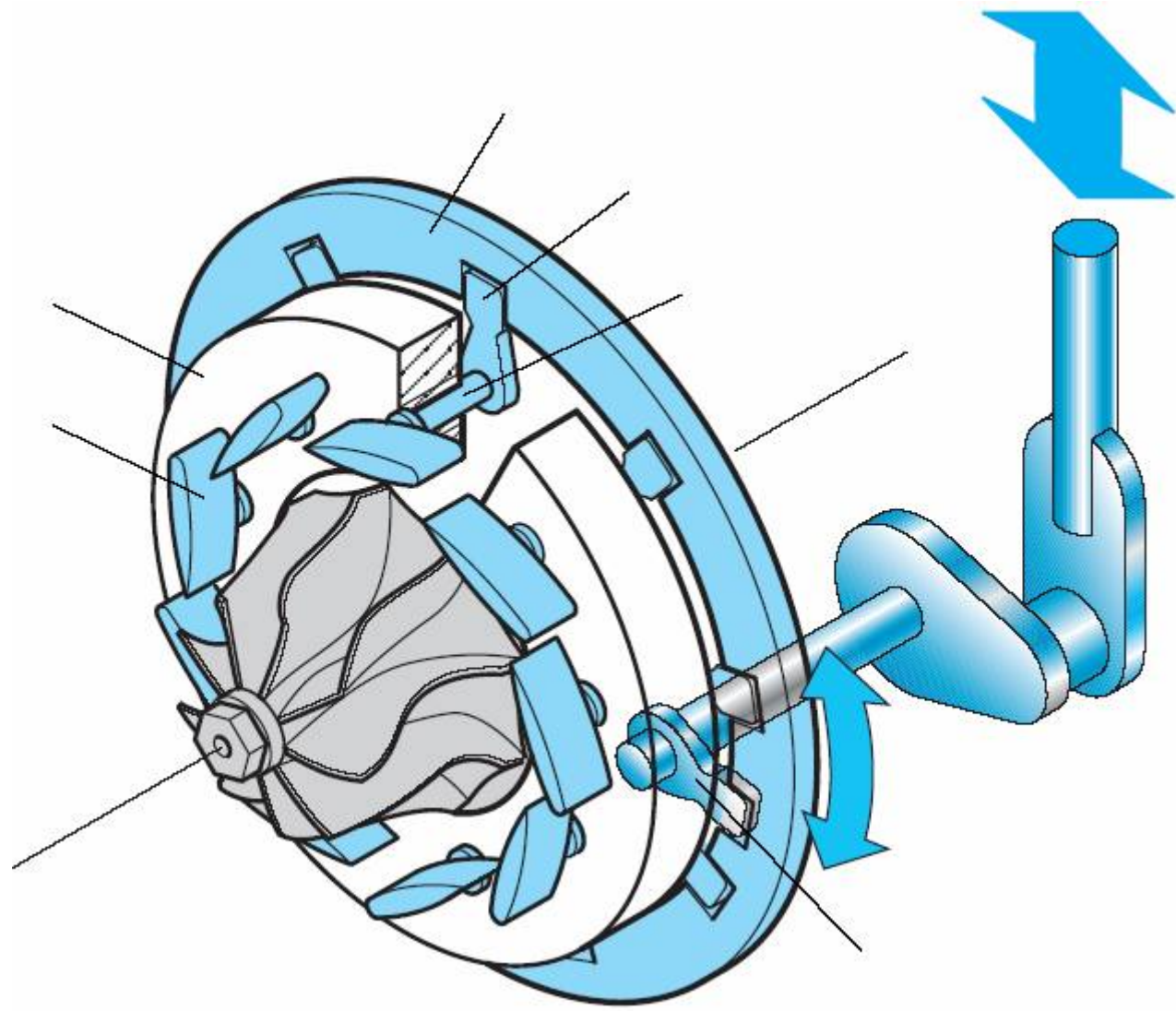
- Характеризуются возможностью изменения сечения на входе колеса турбины с целью оптимизации мощности турбины для заданной нагрузки.
- Необходимость изменения сечения обусловлена тем, что оптимальное сечение при низких оборотах существенно отличается от оптимального сечения при высоких оборотах. Если сечение классического турбокомпрессора слишком большое, то на *низких* оборотах эффективность турбокомпрессора будет низкой. Если сечение слишком маленькое, то эффективность будет низкой на *высоких* оборотах
- За счет возможности изменения сечения ТИГ улучшают отклик, повышают мощность и крутящий момент, снижают потребление топлива и количество вредных выбросов

# Схема турбонаддува двигателя TDI



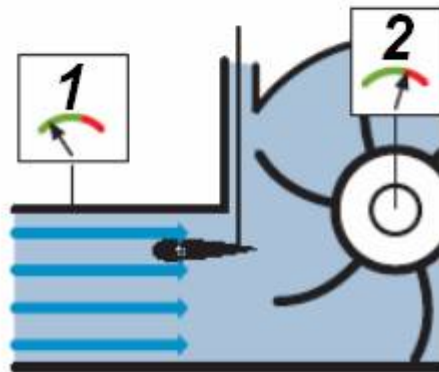
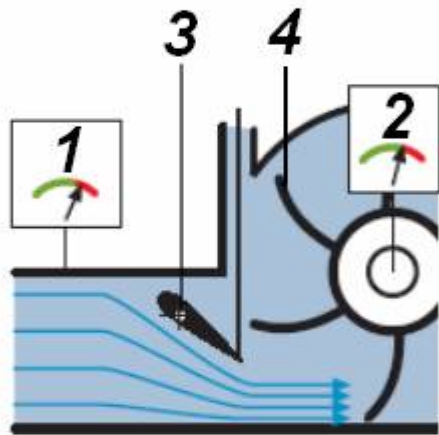
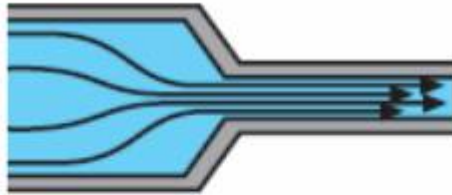
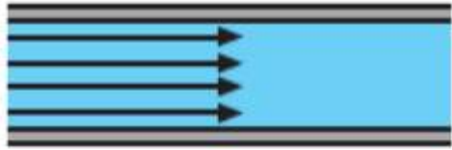
# Обозначения к схеме

- 1-вакуумная магистраль
- 2-блок управления двигателем
- 3-датчики давления наддува и температуры воздуха на впуске
- 4-блок управления воздушной заслонкой
- 5-интеркулер
- 6-клапан рециркуляции отработавших газов
- 7-клапан ограничения давления наддува
- 8-турбонагнетатель
- 9-впускной коллектор
- 10-вакуумный привод направляющих лопаток
- 11-выпускной коллектор
- **А** - воздух
- **Б** - отработавшие газы

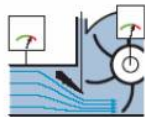
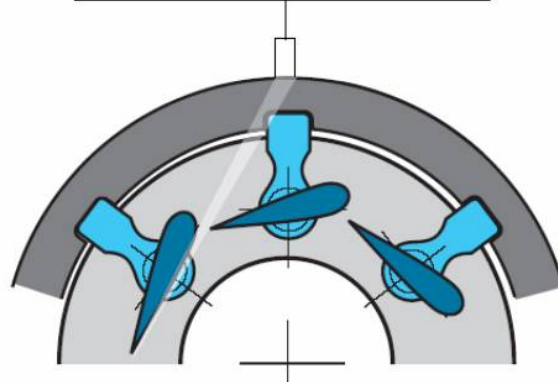


# Принцип работы турбокомпрессора с изменяемой геометрией

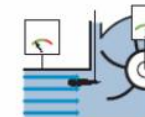
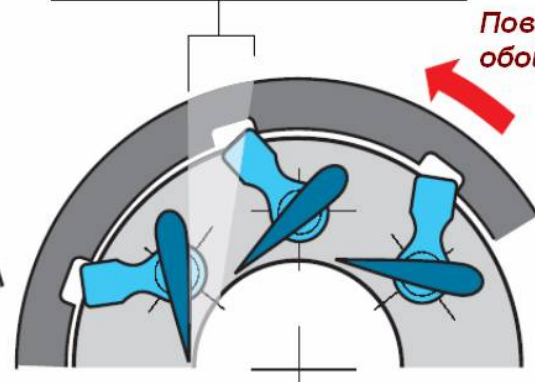
- **При низких оборотах двигателя** энергия отработавших газов невелика. Для эффективного ее использования направляющие лопатки находятся в закрытом положении, при котором площадь канала отработавших газов наименьшая. За счет малой площади сечения поток отработавших газов усиливается и заставляет турбину вращаться быстрее. Соответственно быстрее вращается компрессорное колесо, а производительность турбокомпрессора увеличивается.
- **При резком увеличении оборотов двигателя**, вследствие инерционности системы, энергии отработавших газов становится недостаточно. Поэтому для прохождения «турбоямы» лопатки поворачиваются с некоторой задержкой, чем достигается оптимальное давление наддува.
- **На высоких оборотах двигателя** энергия отработавших газов максимальная. Для предотвращения избыточного давления наддува лопатки поворачиваются на максимальный угол, обеспечивая наибольшую площадь поперечного сечения канала.
-



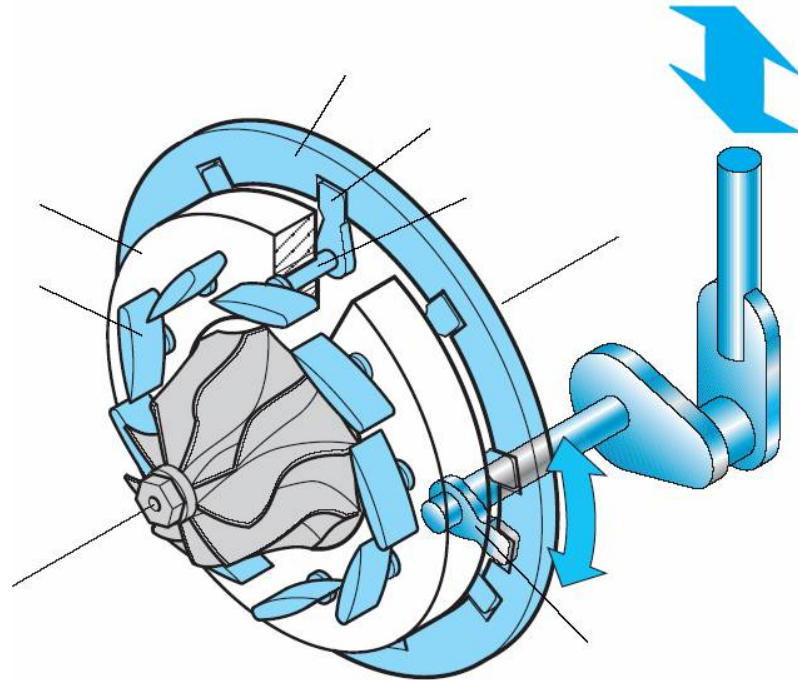
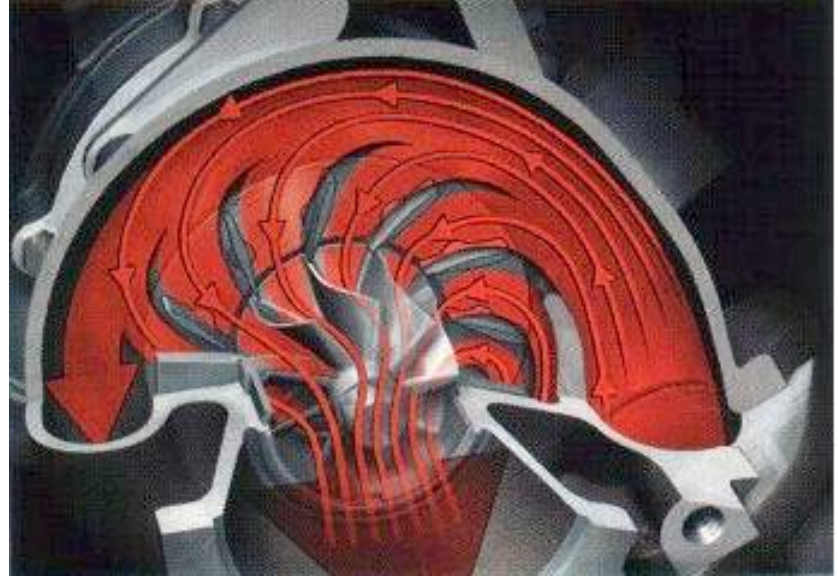
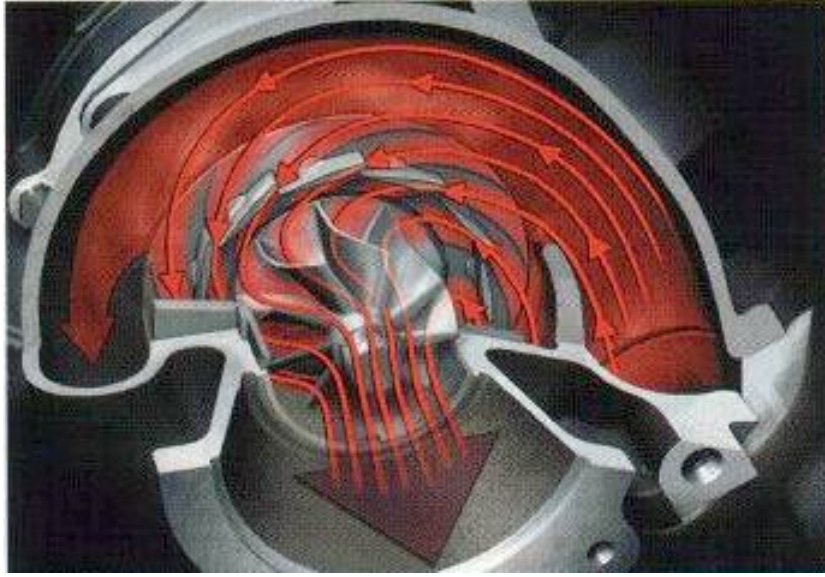
Горизонтальное положение  
обоймы направляющих лопаток  
=  
Малый профиль поперечного  
сечения входа ОГ



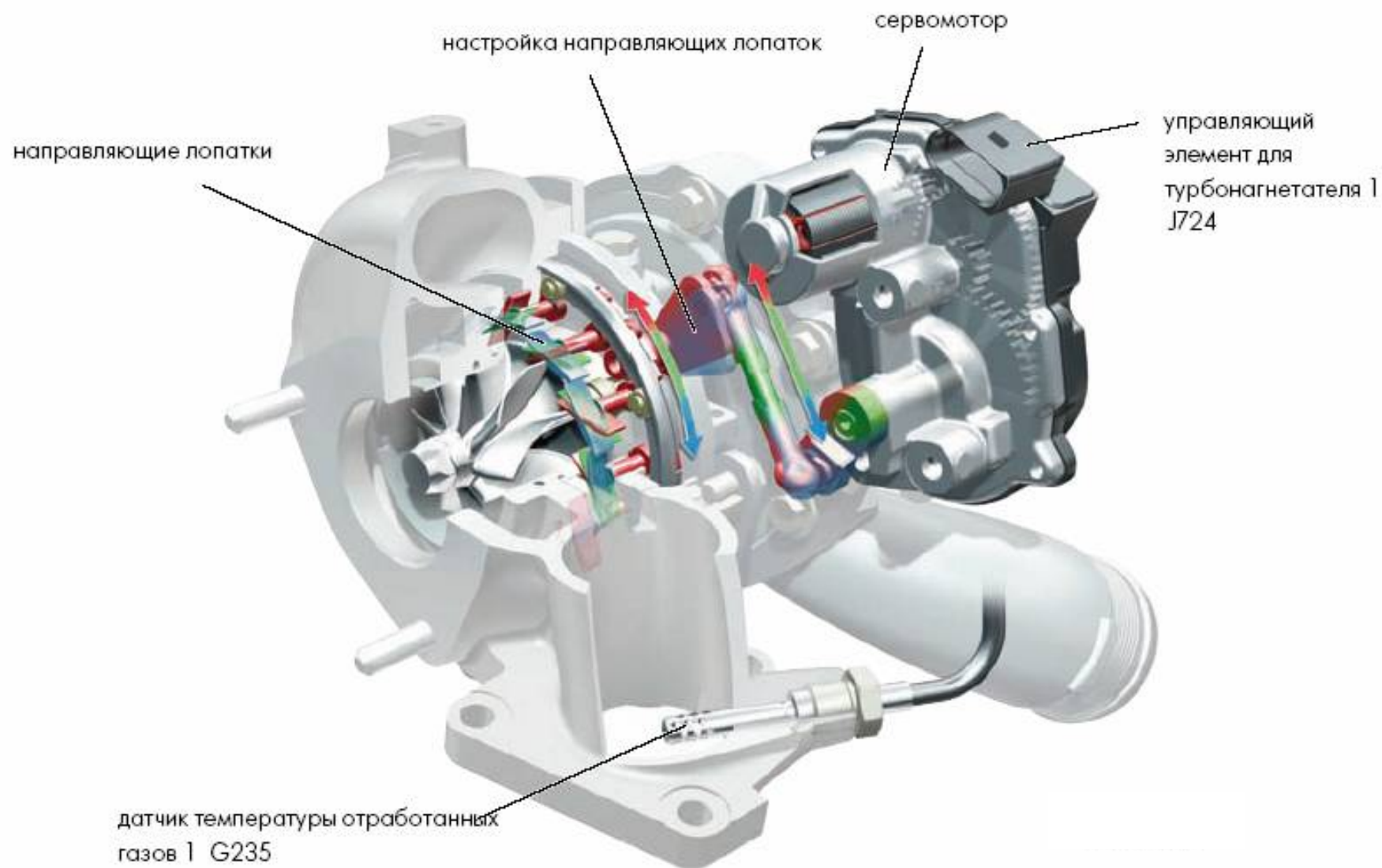
Наклонное положение  
обоймы направляющих лопаток  
=  
Большой профиль поперечного  
сечения входа ОГ







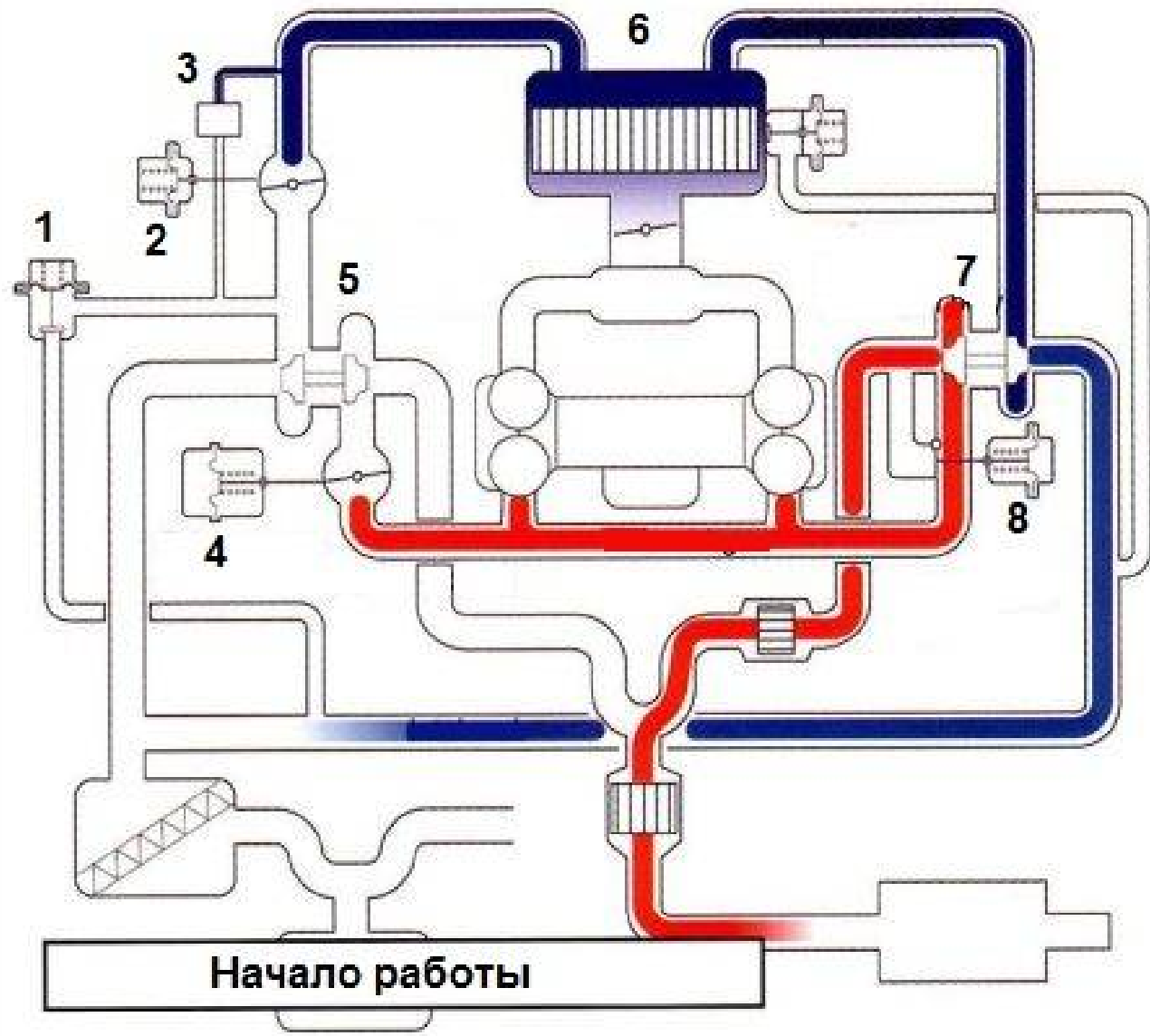
# Регулятор наддувочного воздуха





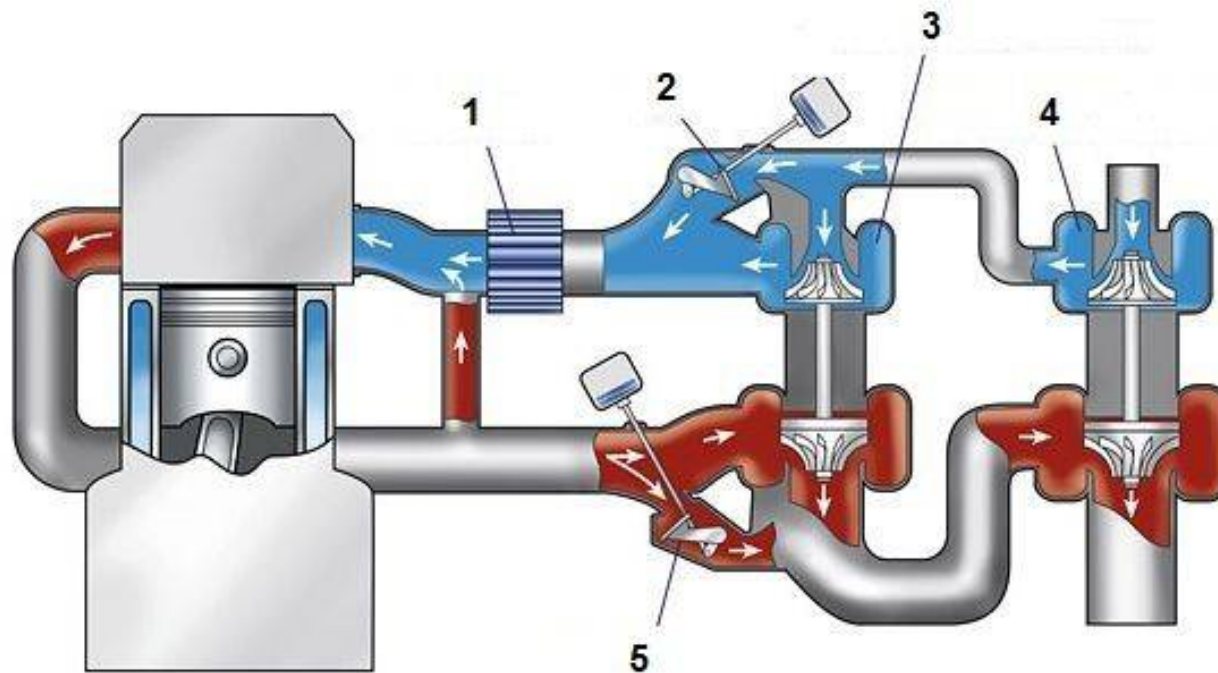
# Система с двумя турбокомпрессорами

- Параллельная схема 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. Некоторые производители идут еще дальше и устанавливают три последовательных турбокомпрессора - triple-turbo (BMW) и даже четыре турбокомпрессора - quad-turbo (Bugatti).



- Система последовательного Twin Turbo включает два соизмеримых по характеристикам турбокомпрессора. Первый турбокомпрессор работает постоянно, второй включается в работу при определенных режимах работы двигателя (частота оборотов, нагрузка).
- 
- Переход между режимами обеспечивает электронная система управления, которая регулирует поток отработавших газов ко второму турбокомпрессору с помощью специального клапана. При полном открытии клапана управления подачей отработавших газов оба турбокомпрессора работают параллельно, поэтому правильно систему называть последовательно-параллельная. Сжатый воздух от двух турбокомпрессоров подается в общий впускной коллектор и распределяется по цилиндрам.

# Двухступенчатый турбонаддув



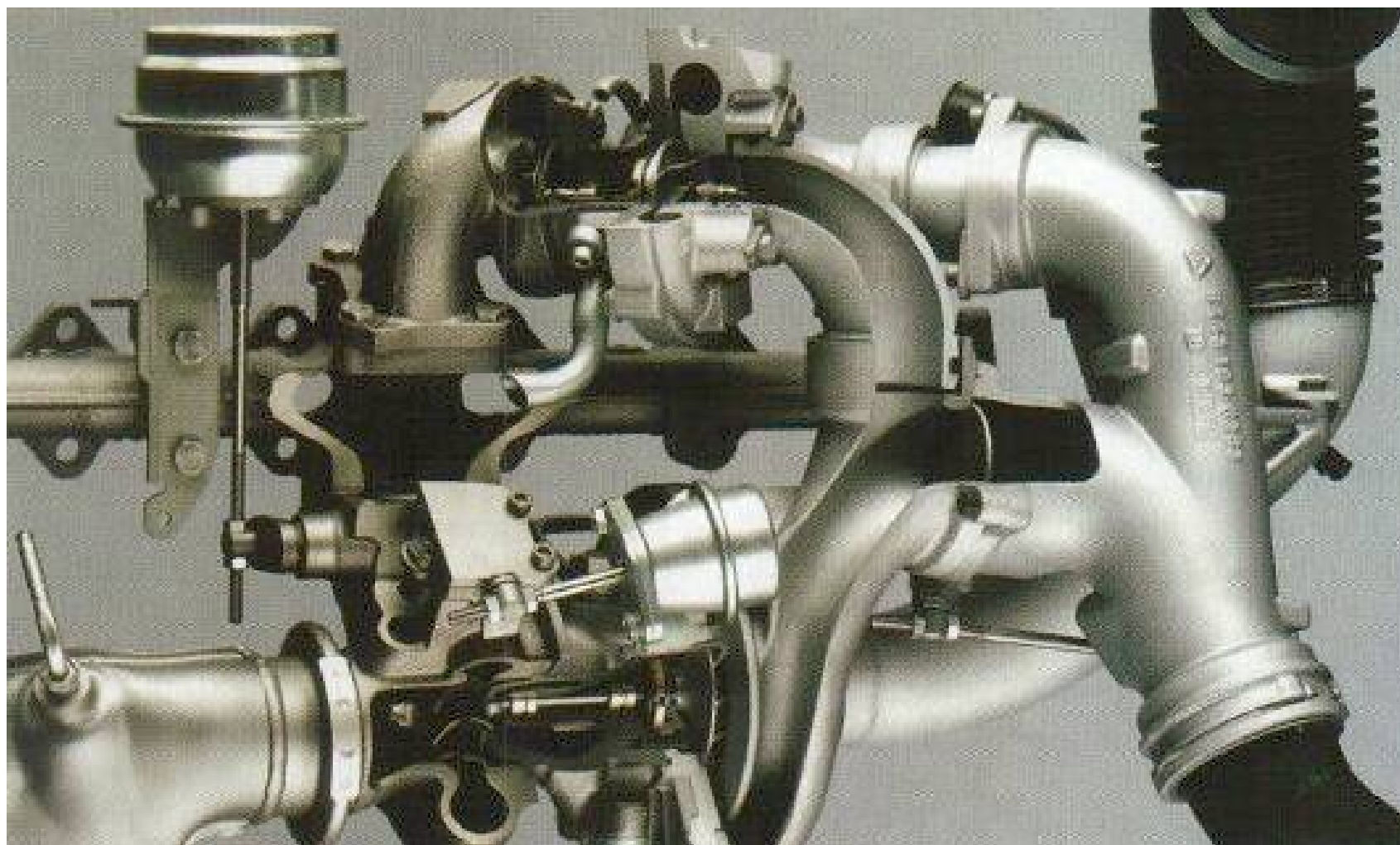
- 1 - охладитель наддувочного воздуха;
- 2 - перепускной клапан наддува (bypass);
- 3 - турбокомпрессор ступени высокого давления;
- 4 - турбокомпрессор ступени низкого давления;
- 5 - перепускной клапан отработавших газов (wastegate)

# Принцип работы системы

- Система двухступенчатого турбонаддува состоит из двух турбокомпрессоров разного размера, установленных последовательно в выпускном и впускном (воздушном) трактах. В системе используется клапанное регулирование потока отработавших газов и нагнетаемого воздуха.
- При низких оборотах двигателя перепускной клапан отработавших газов закрыт. Отработавшие газы проходят через малый турбокомпрессор (имеет минимальную инерцию и максимальную отдачу) и далее через большой турбокомпрессор. Давление отработавших газов невелико. Поэтому большая турбина почти не вращается. На впуске перепускной клапан наддува закрыт. Воздух проходит последовательно через большой (первая ступень) и малый (вторая ступень) компрессоры.

- С ростом оборотов осуществляется совместная работа турбокомпрессоров. Перепускной клапан отработавших газов постепенно открывается. Часть отработавших газов идет непосредственно через большую турбину, которая раскручивается все более интенсивно. На впуске большой компрессор сжимает воздух с определенным давлением, но оно недостаточно большое. Поэтому далее сжатый воздух поступает в малый компрессор, где происходит дальнейшее повышение давления. Перепускной клапан наддува при этом по-прежнему закрыт.
- При полной нагрузке перепускной клапан отработавших газов открыт полностью. Газы практически полностью проходят через большую турбину, раскручивая ее до максимальной частоты. Малая турбина останавливается. На впуске большой компрессор обеспечивает максимальное давление наддува. Малый компрессор, наоборот, создает препятствие для воздуха, поэтому в определенный момент открывается перепускной клапан наддува и сжатый воздух поступает напрямую к двигателю.

## Ступенчатое включение турбин



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

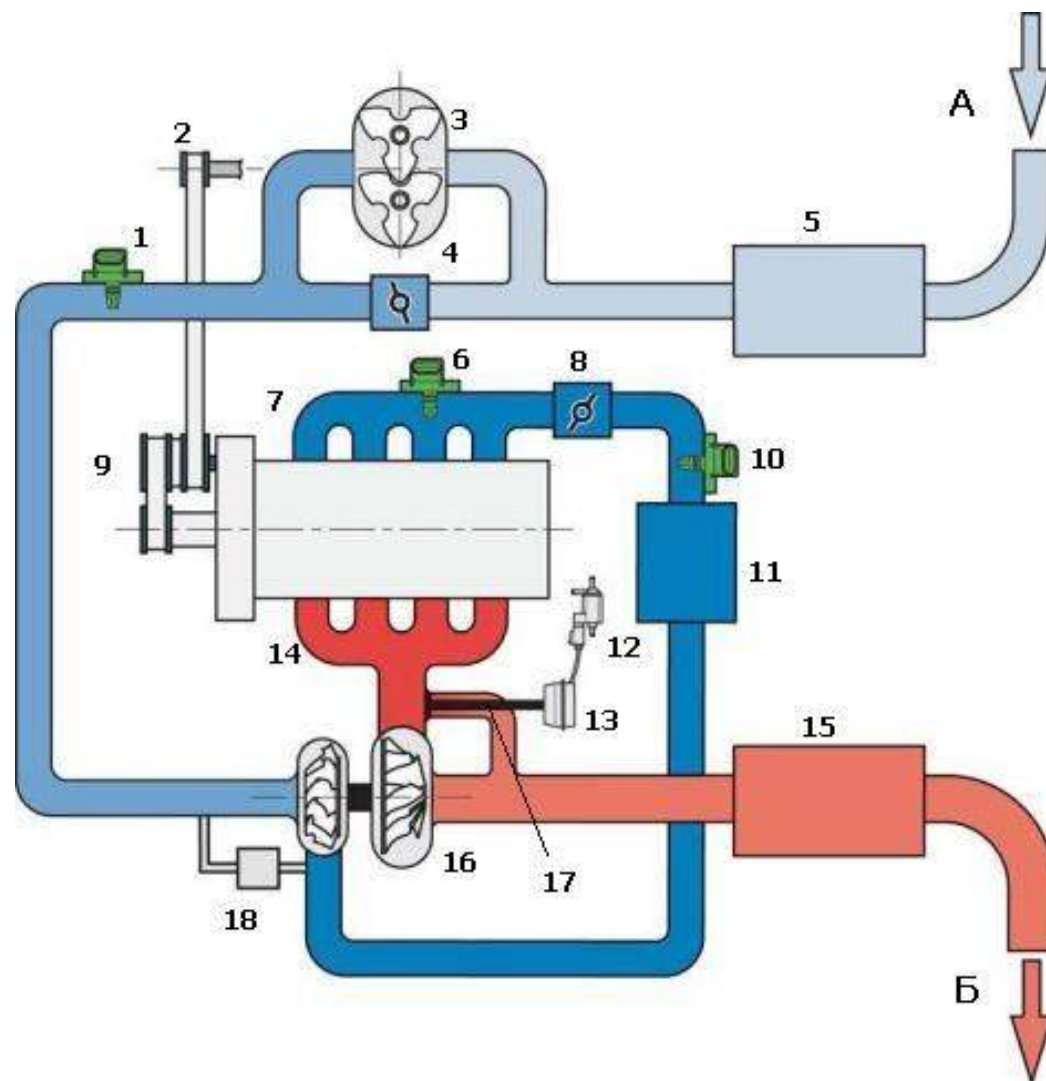


- В конструкции двигателя используется механический нагнетатель типа Roots. Он представляет собой два ротора определенной формы, помещенных в корпус. Роторы вращаются в противоположные стороны, чем достигается всасывание воздуха с одной стороны, сжатие и нагнетание – с другой. Механический нагнетатель имеет ременной привод от коленчатого вала. Привод активизируется с помощью магнитной муфты. Для регулировки давления наддува параллельно компрессору установлена регулировочная заслонка.

# Винтовой приводной компрессор



# Схема двойного наддува двигателя TSI



# Обозначения к схеме

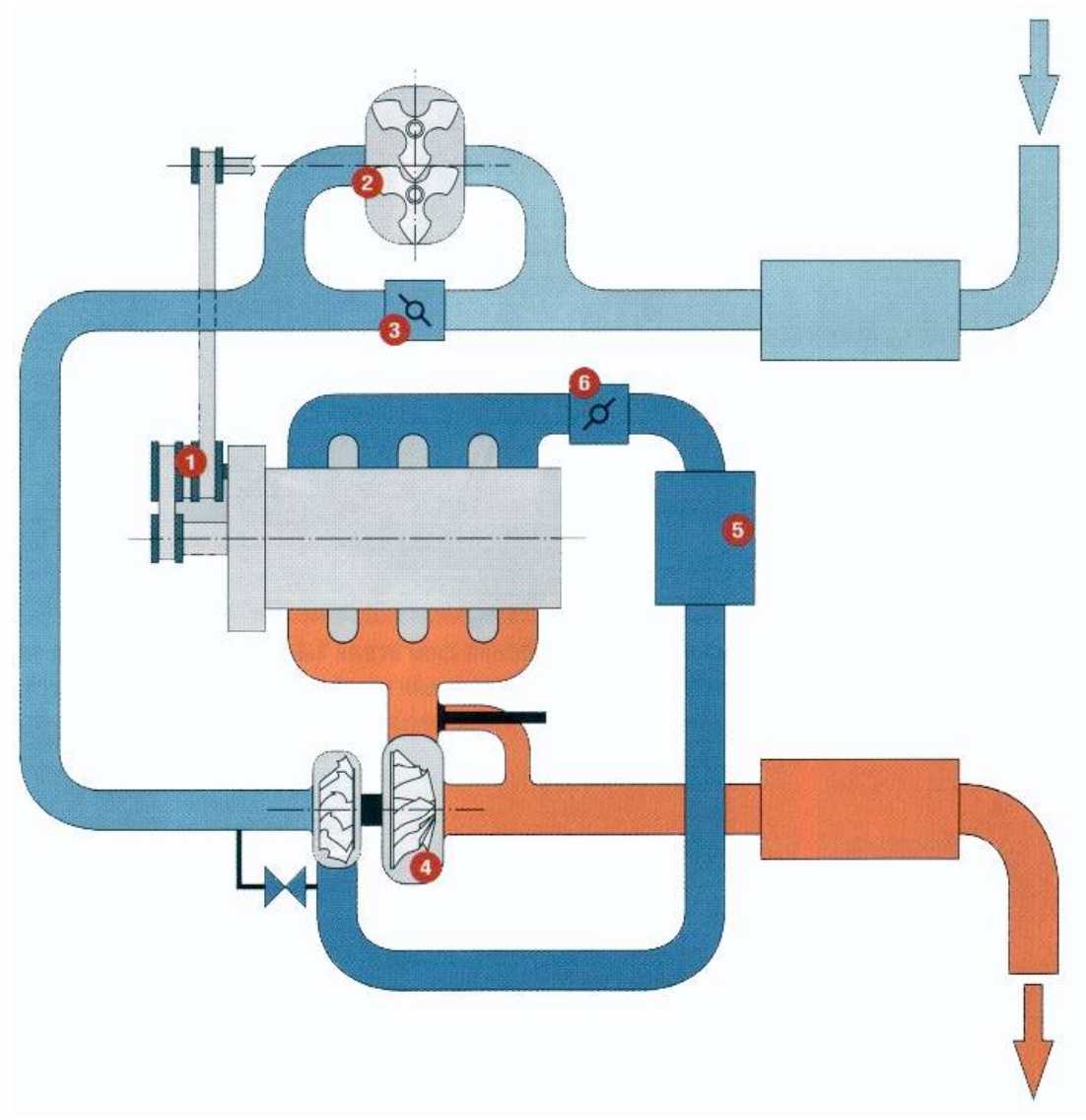
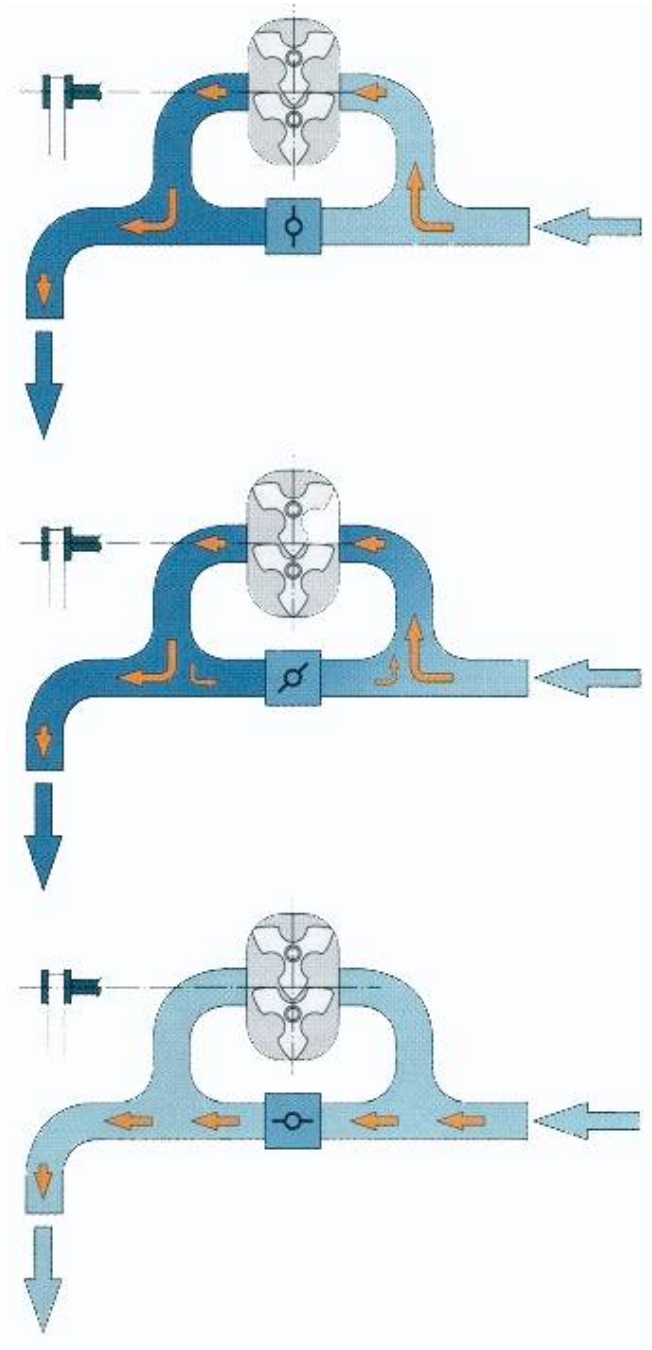
- 1-датчик давления во впускном трубопроводе с датчиком температуры воздуха
- 2-привод компрессора
- 3-[механический нагнетатель](#)
- 4-регулирующая заслонка
- 5-воздушный фильтр
- 6-[датчик давления во впускном коллекторе](#) с датчиком температуры воздуха
- 7-впускной коллектор
- 8-[дрессельная заслонка](#)
- 9-магнитная муфта
- 10-датчик давления наддува с датчиком температуры воздуха
- 11-[интеркулер](#)
- 12-клапан ограничения давления наддува
- 13-вакуумный привод
- 14-выпускной коллектор
- 15-[каталитический нейтрализатор](#)
- 16-[турбокомпрессор](#)
- 17-перепускной клапан
- 18-клапан рециркуляции турбокомпрессора
- **А** - воздух
- **Б** - отработавшие газы

# Принцип работы двойного наддува двигателя TSI

- В зависимости от частоты вращения коленчатого вала двигателя (нагрузки) различают следующие режимы работы системы двойного наддува:
- безнаддувный режим (до 1000 об/мин);
- работа механического нагнетателя (1000-2400 об/мин);
- совместная работа нагнетателя и турбокомпрессора (2400-3500 об/мин);
- работа турбокомпрессора (свыше 3500 об/мин).

- На холостых оборотах двигатель работает в безнаддувном режиме. Механический нагнетатель выключен, регулирующая заслонка открыта. Энергия отработавших газов невелика, турбокомпрессор не создает давления наддува.
- С ростом числа оборотов, включается механический нагнетатель и закрывается регулирующая заслонка. Давление наддува, в основном, создает механический нагнетатель (0,17 МПа). Турбокомпрессор обеспечивает небольшое дополнительное сжатие воздуха.

# Комбинированный наддув

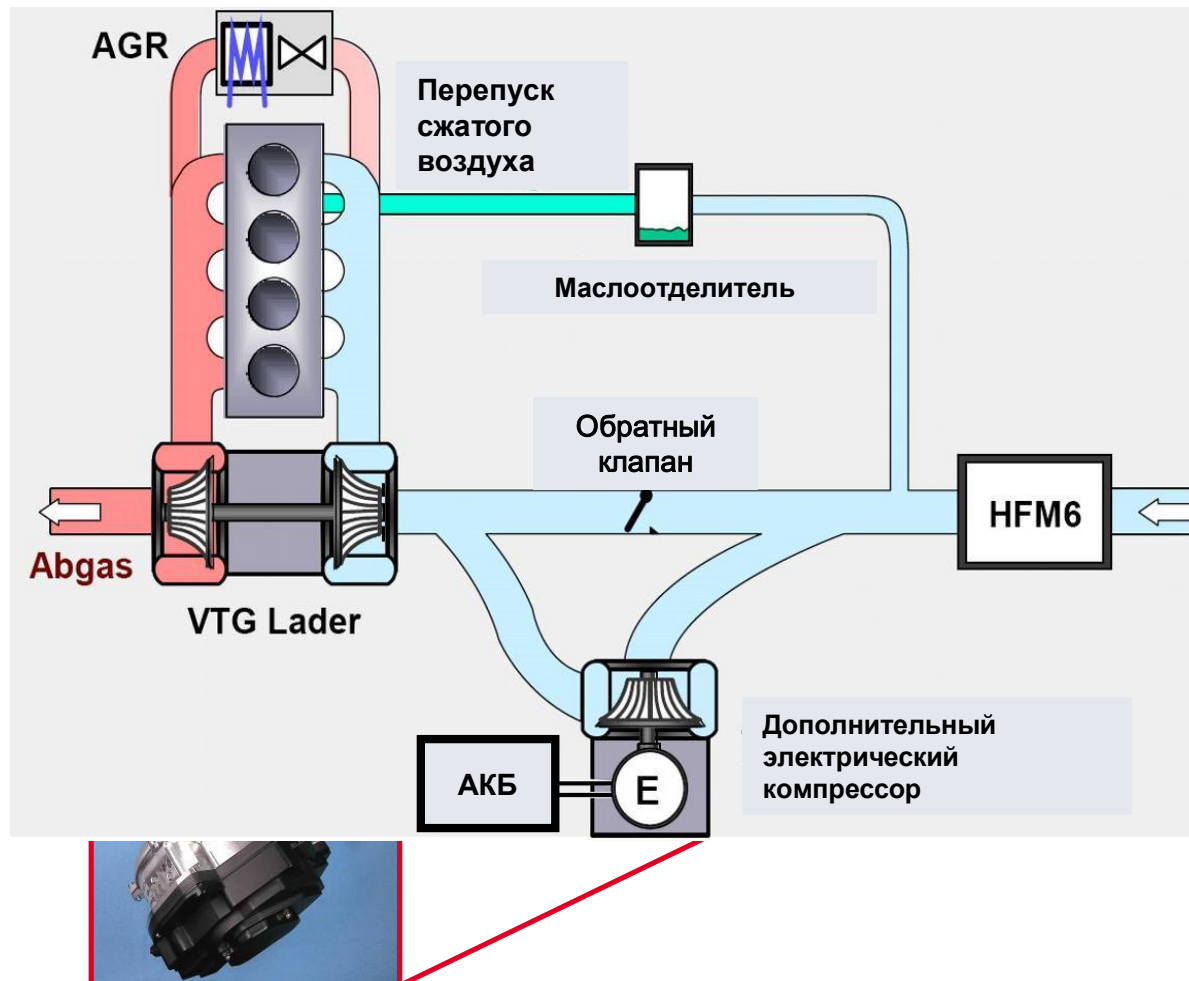




- При частоте вращения коленчатого вала двигателя в пределах 2400-3500 об/мин давление наддува создает турбокомпрессор. Механический нагнетатель подключается при необходимости, например, при резком ускорении (резком открытии дроссельной заслонки). Давление наддува может достигать 0,25 МПа.
- Далее работа системы осуществляется только за счет турбокомпрессора. Механический нагнетатель выключен. Регулирующая заслонка открыта. Для предотвращения детонации с ростом числа оборотов давление наддува несколько падает. При частоте вращения 5500 об/мин оно составляет порядка 0,18 МПа.



# Увеличение выходных показателей за счет применения системы (SC-E)



Увеличение крутящего момента на 45% при 800 - 2000  $\text{min}^{-1}$   
Частота вращения до 60.000  $\text{min}^{-1}$   
Разгон за 350 мс

Компенсирует недостачу сжатого воздуха на низких оборотах двигателя