

# Принцип функционирования 2х ступенчатого наддува Twin turbo (Subaru Legacy) (1999-2002 годов выпуска).

Регулярно обращаясь к теме двухступенчатого наддува, реализованного в автомобилях Субару, мне пришлось столкнуться с недостатком информации об упомянутом предмете, тем более на русском языке. Существует ряд отрывочных данных, которые не могут, естественно, претендовать на статус информационных. Более того, среди автолюбителей закрепился жаргон и неразбериха в названиях исполняемых механизмов обеспечения наддува, что очень затруднило перевод англоязычных информационно-справочных материалов. Как бы то не было, я собрал в кучу всё, что смог найти в Интернете и родил, то что родил. Любые адекватные критические замечания в адрес настоящих заметок, приветствуются.

Сразу хочется выразить благодарности форумчанам подраздела форума [Subaru](#) сайта [Drom.ru](#) *Владимиру mayday* за рецензию и наводку и *Александру Sasha\_A80* за помощь в адаптации англоязычных терминов.

## ОГЛАВЛЕНИЕ.

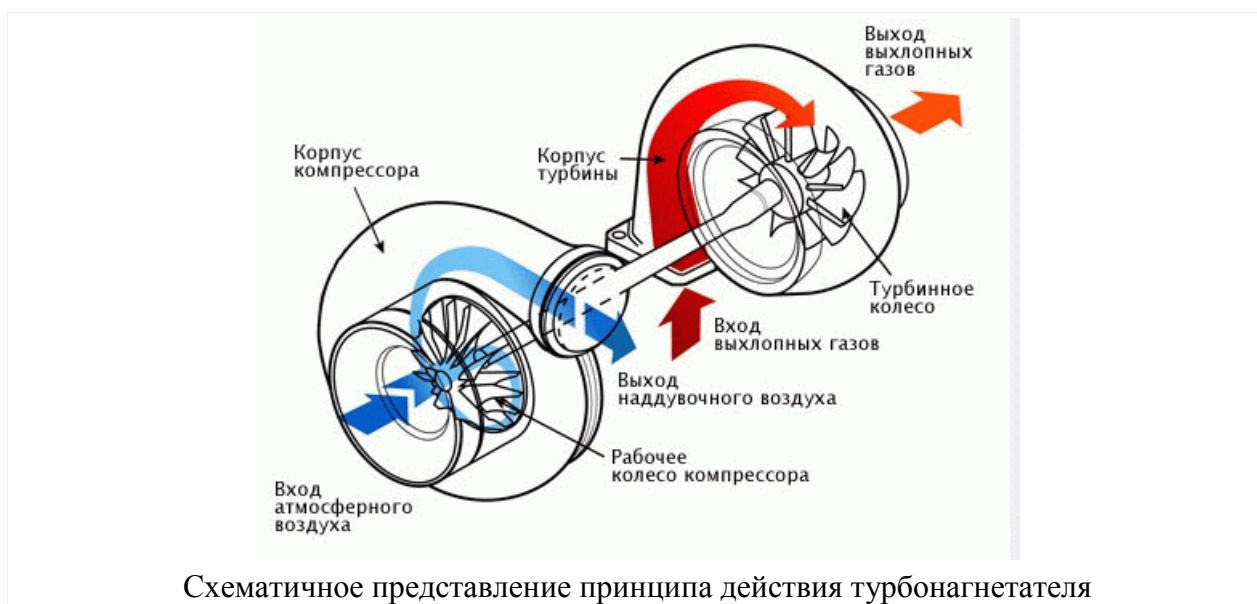
1. ВВЕДЕНИЕ.
2. ОБЩАЯ СТРУКТУРА (описание).
3. ИСПОЛНИТЕЛЬНЫЕ МЕХАНИЗМЫ (описание).
4. АЛГОРИТМЫ УПРАВЛЕНИЯ.
5. СМАЗКА И ОХЛАЖДЕНИЕ.
6. ПОДКЛЮЧЕНИЯ.
7. НЕМНОГО О TWIN TURBO 97 года и старше.
8. КОДЫ ОШИБОК, ПОИСК НЕИСПРАВНОСТЕЙ.

## 1. ВВЕДЕНИЕ.

Собственно, нельзя не упомянуть, в такого рода описательной работе, имени Herr Gottlieb Wilhelm Daimler, именно ему приписывается инженерная разработка устройства повышающая мощность двигателя, именуемого механическим компрессором - приводимым в действие путём передачи крутящего момента от коленчатого вала. Также нельзя не упомянуть Herr Alfred Büchi, которому жутко не нравилось отбирать на вращение компрессора (механического нагнетателя) энергию двигателя, и он построил нагнетатель, приводимый во вращение от энергии выхлопных газов - турбокомпрессор (турбонагнетатель). Особо следует отметить, что все эти новаторства осуществлялись на рубеже 19-20 веков.

Турбокомпрессор по сути прост, часть энергии выхлопных газов тратится на раскрутку рабочего колеса компрессора, что позволяет закачать в цилиндр больше воздуха (окислителя), чем это происходит в процессе всасывания воздуха в обычном атмосферном двигателе (где засасывание осуществляется из-за разности атмосферного давления и давления в цилиндре на такте всасывания). Мощность двигателя прямо зависит от количества сжигаемой топливно-воздушной смеси, преобразуемой в рабочее тело, при помощи турбонагнетателя мы получили очень весомую прибавку к мощности двигателя,

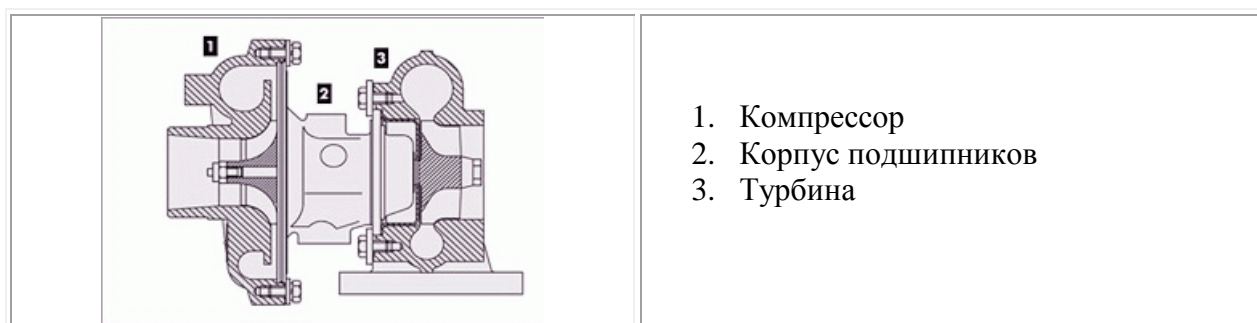
не изменяя объёма его цилиндров. Схематически турбоагнетатель можно представить на нижеприведённой схеме:



Схематичное представление принципа действия турбоагнетателя

Дополнительно хочется в настоящем эссе внести ясность в далее используемые определения и описание, так как в связи с некомпетентностью автомобильной прессы, распространение информации в Интернете с использованием жаргона, существует небольшая неразбериха с терминами.

Собственно устройство, использующее энергию выхлопных газов для сжатия воздуха и подачи его во впускной тракт, называется турбокомпрессор, турбоагнетатель, turbocharger. Турбина, компрессор - это составляющие узлы турбоагнетателя - турбиной называется та часть турбокомпрессора, которая получая на вход энергию выхлопных газов, воздействующих на турбинное колесо и преобразует эту энергию в энергию вращения, компрессор - та часть турбоагнетателя, которая получая через вал турбины энергию вращения, при помощи колеса компрессора преобразует полученную энергию в сжатие нагнетаемого воздуха. Таким образом, функционально турбокомпрессор разделён на три части: турбина, компрессор и корпус подшипников (в корпусе подшипников размещена подшипниковая система вала, обеспечивается подвод смазывающей и охлаждающей жидкости). Корпус подшипников часто называют картриджем турбины.



Далее, в настоящей статье, эти термины будут употребляться в значении, каком они изложены выше. Для увеличения эффективности наддува, в схему наддува в посткомпрессорный тракт включён промежуточный охладитель, представляющий собой радиатор. Так как плотность воздуха повышается с его охлаждением, то на единицу объёма наддуваемого в цилиндр воздуха, получаем большее количество кислорода,

окисляющего топлива, то есть увеличиваем количество поступающей топливовоздушной смеси без увеличения давления. Произведённые теоретиками и проверенные практиками расчёты показывают, что охлаждение сжатого воздуха на 30 градусов Цельсия даёт прибавку к мощности около 10 лошадиных сил.

## 2. ОБЩАЯ СТРУКТУРА(описание).

### 2.1 Общие положения.



The diagram illustrates the air intake and exhaust paths in a Twin Turbo engine. Atmospheric air (light blue) enters through the intake manifold (Впуск) and is compressed by the primary turbocharger (Первичный турбокомпрессор). The compressed air (dark blue) then passes through an intercooler (Промежуточный охладитель) to become cooled compressed air (cyan). This cooled air then enters the secondary turbocharger (Вторичный турбокомпрессор) before reaching the engine. Exhaust gases (orange) from the engine pass through the exhaust manifold (Выхлоп) and are used to drive the primary turbocharger.


Legend:

- Atmospheric air (light blue)
- Compressed air (dark blue)
- Cooled compressed air (after intercooler) (cyan)
- Exhaust gases (orange)

Labels in the diagram: Впуск, Промежуточный охладитель, Первичный турбокомпрессор, Выхлоп, Вторичный турбокомпрессор.

Появление двух ступенчатой системы Twin turbo было обусловлено тем, что эффективный наддув на малых оборотах получить затруднительно, если мы используем большой турбокомпрессор, с большими размерами лопастей турбинного и компрессорного колёс. На эффективную раскрутку такого турбокомпрессора энергии выхлопных газов на малых оборотах не хватает. Появляются явления, называемые турбоямой, турбологом, когда машина "не тянет" на низких оборотах. "Стрелять" такие системы будут от 3500-4000 оборотов в минуту, ниже увы. А при использовании маленьких колёс компрессора и турбины, можно практически избавиться от "турбоямы", но и прибавка к мощности не значительна.

Система Twin turbo использует два небольших турбокомпрессора, пока обороты двигателя невелики, наддув обеспечивается только

<p>2х ступенчатая система Twin turbo состоит из первичного и вторичного турбокомпрессоров, промежуточного охладителя воздуха (Intercooler), клапана управления потоком выпускных(отработанных) газов (Exhaust gas supply control valve), преддроссельного клапана перепуска (Air bypass valve), разгрузочным клапаном давления наддува (Supercharged pressure relief valve), датчика разности давлений (Differential pressure sensor), блока э/магнитных клапанов (Solenoid box) и т. д.</p>	<p>небольшим первичным турбокомпрессором. С ростом оборотов двигателя, наддув обеспечивается обоими компрессорами - первичным и вторичным (что можно, <b>условно</b>, приравнять к наддуву, одним "большим" турбокомпрессором на высоких оборотах). Таким образом, достаточно эффективный наддув начинается уже с малых оборотов, и крутящий момент нарастает с меньшим провалом (турболагом) при переходе к высоким оборотам двигателя, в сравнении с системами наддува одним турбокомпрессором.</p>  <p>Используя эффективное управление переключением между режимами наддува одним компрессором и двумя, 2х ступенчатый наддув Twin turbo обеспечивает более гладкую переходную характеристику значения крутящего момента по оборотам.</p>
--	--

## 2.2 Турбокомпрессоры.

Турбина (колесо турбины, "горячая часть") заключена в легкосплавный, тонкостенный, жаропрочный литой корпус. Корпус компрессора("холодная часть") изготавливается из

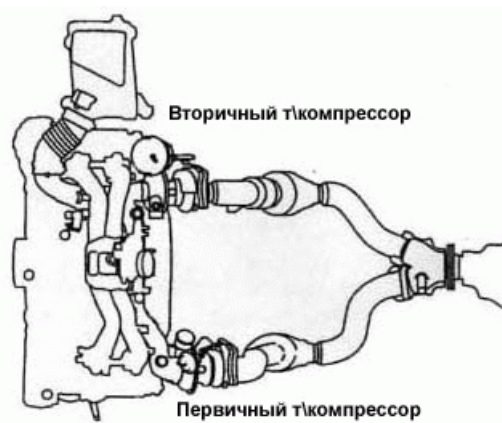
тонкостенного алюминиевого сплава. Вал турбокомпрессора расположен в плавающей подшипниковой системе (втулка с масляным клином со стороны вала).

Следует отметить в качестве справки, что предыдущие выпуски автомобилей Легаша оснащались вторичным турбокомпрессором, также оборудованным клапаном "Wastegate".

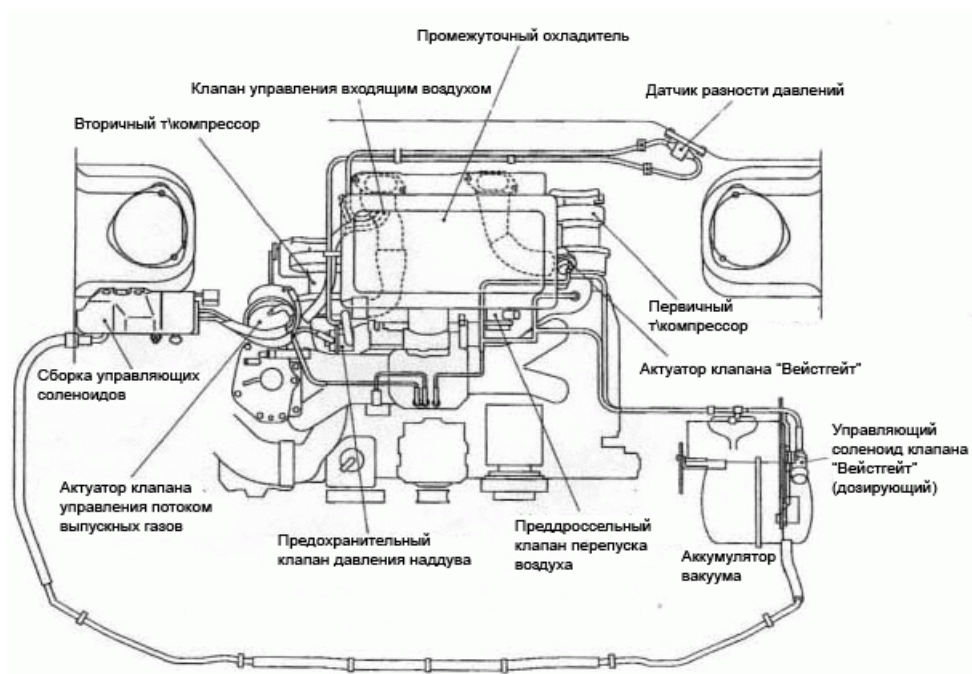
		
	<b>Первичный турбокомпрессор (Primary turbocharger)</b>	<b>Вторичный турбокомпрессор (Secondary turbocharger)</b>
Производитель	ИИ	ИИ
Тип	VF33	VF32
Число лопастей колеса компрессора	6 больших + 6 маленьких	10
Число лопастей колеса турбины	9	9
Диаметр ротора компрессора	47мм /35.4мм	52.5 мм / 36.6 мм
Диаметр ротора турбины	46.5мм / 35.4мм	46.5мм / 35.4мм
Максимальная скорость	190 000 об/мин	180 000 об/мин
Диафрагма "Вейстгейт"	17 мм	-
Давление срабатывания "Вейстгейт"	78 кПа	-
Точка эффективности	1900 об/мин при 760 мм рт. ст.(101,3 кПа)	
Коэффициент A/R	11	18

Турбокомпрессоры расположены следующим образом:





### 2.3. Расположение компонентов.



### 2.4. Сборка управляющих соленоидов.

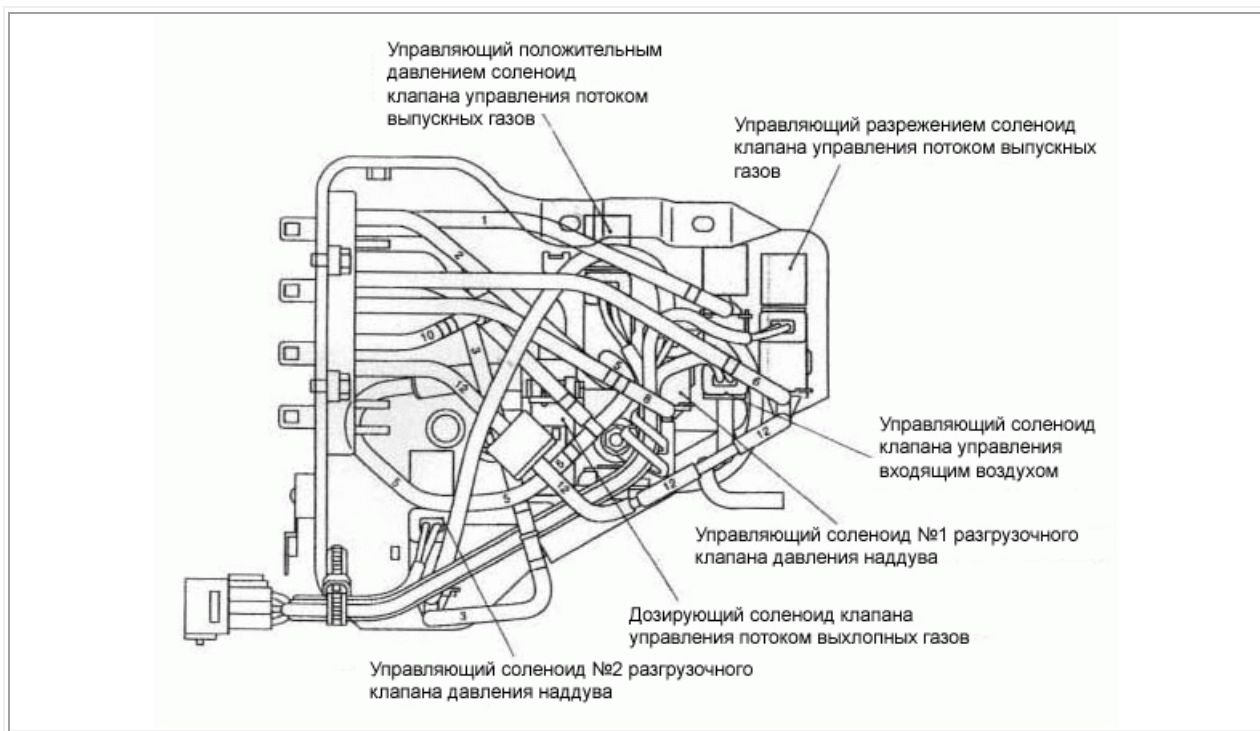
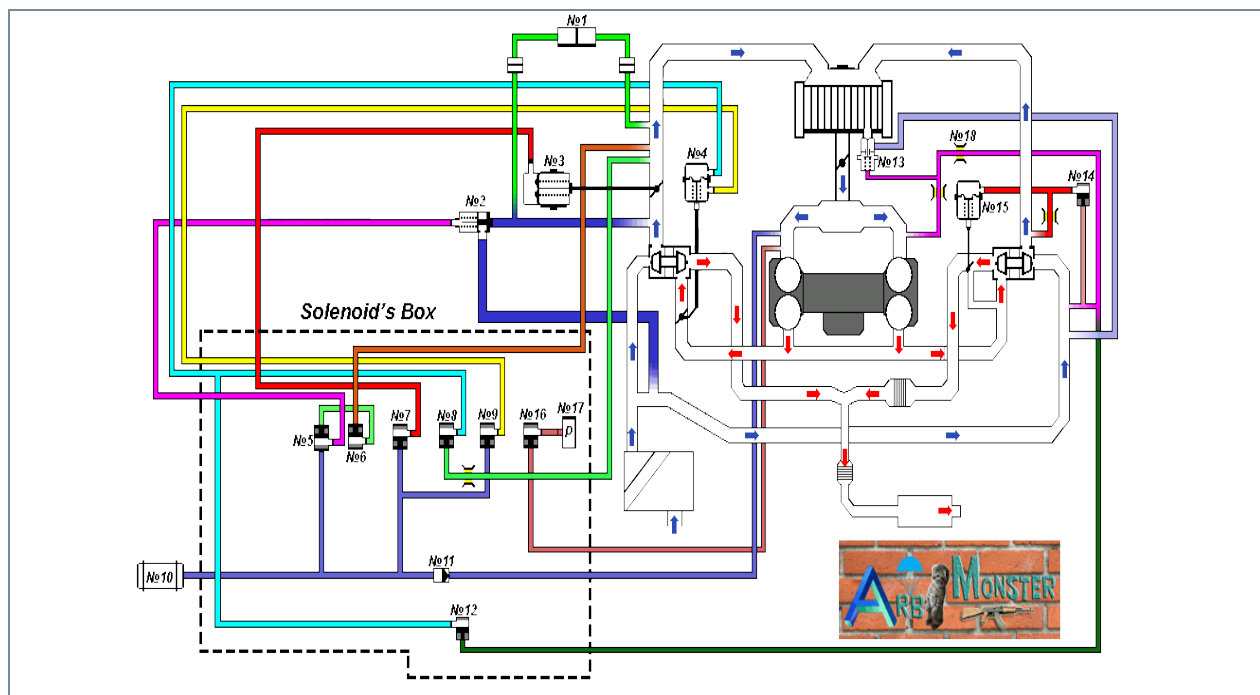


Схема разводки и подключений более подробно описана в главе 5.

## 2.5. Схема общая.



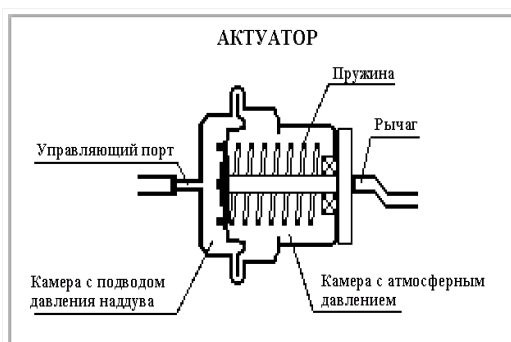
1. Differential pressure sensor (Датчик разности давлений).
2. Supercharged pressure relief valve (Перепускной (разгрузочный) клапан давления наддува).
3. Intake air control valve actuator (Привод клапана управления входящим воздухом).

4. Exhaust gas supply control valve actuator (Привод клапана управления потоком выпускных газов).
5. Supercharged pressure relief valve solenoid №1 (Соленоид №1 перепускного (разгрузочного) клапана).
6. Supercharged pressure relief valve solenoid №2 (Соленоид №2 перепускного (разгрузочного) клапана).
7. Intake air control valve solenoid (Соленоид клапана управления входящим воздухом).
8. Exhaust gas control solenoid (positive pressure) (Соленоид управления потоком выпускных газов)
9. Exhaust gas control solenoid (negative pressure) (Соленоид управления потоком выпускных газов).
10. Vacuum tank (Аккумулятор вакуума).
11. Check valve (Контрольный клапан - "вакуумный диод").
12. Exhaust gas control duty solenoid (Дозирующий соленоид управления потоком выпускных газов).
13. Air bypass valve (Преддроссельный клапан перепуска воздуха).
14. Wastegate duty solenoid (Дозирующий соленоид управления клапаном "Вейстгейт").
15. Wastegate valve (Клапан "Вейстгейт").
16. Pressure switch valve (Клапан переключения линий измерения давления (на поздних моделях (~2002 г.) отсутствует)).
17. Manifold absolute pressure sensor (Датчик давления во впускном коллекторе (на поздних моделях расположен на БДЗ)).
18. Restrictor (jet) – жиклёр, 4 штуки.

### 3. ИСПОЛНИТЕЛЬНЫЕ МЕХАНИЗМЫ (описание).

#### 3.1. Клапан "Вейстгейт" (Wategate valve).

Назначение клапана "Вейстгейт" - это защита двигателя путём принудительного уменьшения давления наддува в случаях, когда турбокомпрессор(ы) обеспечивает избыточный наддув, выше установленных норм. Скорость вращения турбины пропорциональна оборотам двигателя, следовательно, с ростом числа оборотов возникает риск избыточного наддува, способного повредить механизмы двигателя. Управление клапаном "Вейстгейт" позволяет контролировать количество выпускных газов, вращающих турбину путём их частичного перепуска в обход турбины в выхлопной тракт. Таким образом, предотвращается рост давления наддува по достижении расчётного максимального.

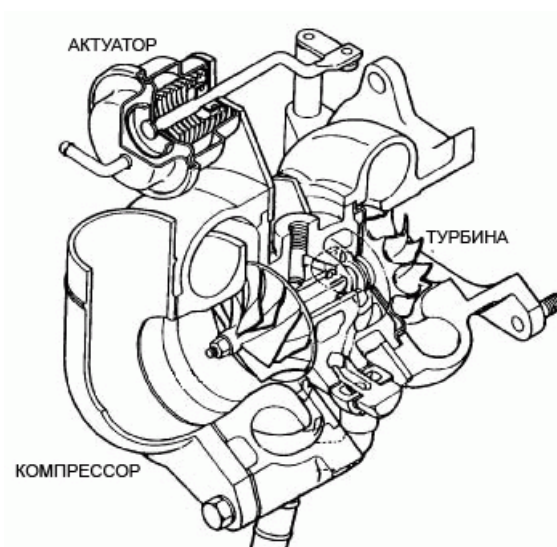


Клапан Wategate соединён рычагом с актуатором. Внутри актуатор разделён диафрагмой на две камеры. Одна камера сообщается с атмосферой, а ко второй камере подводится дозируемое ЭСУД (ECU) положительное давление наддува. Также в камеру с подводом атмосферного давления установлена пружина, осуществляющая дополнительное давление на диафрагму со стороны этой камеры (против положительного давления наддува, подводимого с



противоположной стороны диафрагмы). Открытие и закрытие клапана Wastegate определяется балансом сил, действующих на диафрагму актуатора. С одной стороны диафрагмы сумма сил пружины и атмосферного давления, с другой стороны, дозируемое ЭСУД посредством управляющего соленоида (Wastegate duty solenoid), положительное давление наддува. Таким образом можно задать порог критического наддува, по достижении которого, за счёт перепуска \части\ выхлопных газов в обход турбины, произойдет остановка роста давления наддува и\или его спад.

В случае, когда положительное давление, подводимое к камере актуатора, превысит сумму атмосферного давления и давления пружины с противоположной стороны диафрагмы, диафрагма сдвинется и через рычаг приведёт в действие клапан Wastegate, начнётся перепуск газов в обход турбины. Разность подводимых давлений воздействующих на диафрагму может поддерживаться постоянной (сжимая в той или иной степени пружину актуатора) столько, сколько нужно, путём дозирования подводимого к актуатору положительного давления, что удерживает клапан Wastegate в положении перепуска выхлопных газов. Система нормально работает для расчёта максимально допустимого давления наддува и в высокогорных районах с пониженным атмосферным давлением.



Клапан Wastegate установлен только на первичный турбокомпрессор.

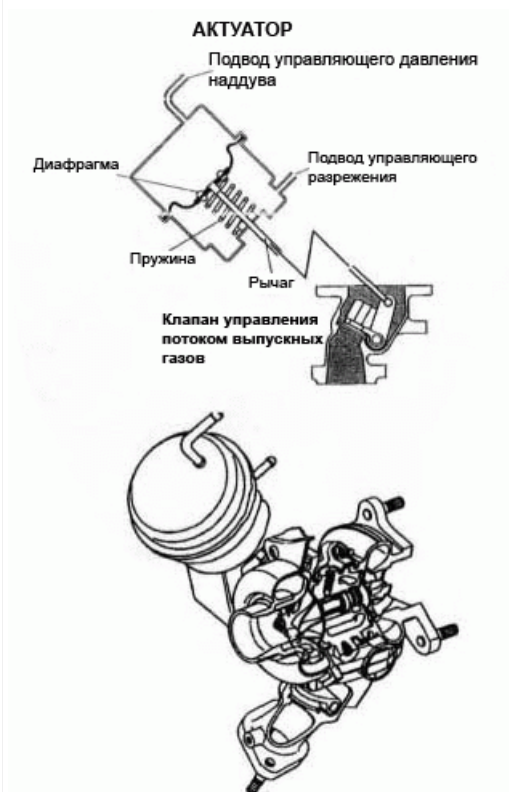
---

### 3.2. Клапан управления потоком выхлопных газов вторичного турбокомпрессора.

Назначение клапана управления потоком выхлопных газов (Exhaust gas supply control valve) это управление подводимыми к турбине вторичного т\компрессора выхлопными газами двигателя. Количество подводимых газов (иными словами угол открытия клапана) меняется, как будет рассказано далее, в соответствии с условиями текущего режима двигателя.

**В режиме работы только первичного т\компрессора** управляющий клапан закрыт, и вторичный т\компрессор обездвижен. Поступление воздуха обеспечивается только через тракт первичного т\компрессора.

**В подготовительном режиме работы**, когда условия работы двигателя приближаются к необходимости обеспечения наддува двумя т\компрессорами, ЭСУД осуществляет пропорциональное существующим условиям управление углом открытия клапана управления выхлопными газами, которые поступая к турбине в количестве, определенном углом открытия клапана, начинают её предварительное вращение.



**В режиме обеспечения наддува двумя т\компрессорами**, описываемый клапан полностью открыт и вторичный турбокомпрессор осуществляет полноценный наддув в паре с первичным турбокомпрессором.

Открытие и закрытие клапана управления потоком выпускных газов осуществляется при помощи актуатора вторичного т\компрессора соединенного с клапаном при помощи рычага. Актуатор состоит из двух камер, разделённых диафрагмой, одна камера оснащена входом положительного давления, вторая пружиной и входом разрежения (отрицательного давления). ЭСУД воздействует на каждую камеру путём подводимого дозированной положительного давления и недозированного разрежения, чем осуществляется открытие и закрытие клапана управления выхлопными газами или угол его открытия для дозированной их подачи ко вторичному т\компрессору.

#### **Н. В.:**

Подготовительный режим работы (предварительный запуск вторичного т\компрессора) необходим для условия более плавного перехода (гладкой характеристики) от режима наддува первичным т\компрессором к режиму наддува двумя т\компрессорами. Для обеспечения более гладкой характеристики наддува (с минимальным

провалом\лагом) вторичному т\компрессору необходимо начать вращение чуть раньше расчётного времени выхода на полный наддув, раскрутиться до необходимых оборотов, минимально возможно повлияв на вращение первичного т\компрессора и выйти на полный режим согласно расчётного времени определяемого ЭСУД по заложенным алгоритмам. Этот упреждающий запуск вторичного т\компрессора, без осуществления функций наддува называют *предварительным запуском вторичного т\компрессора*.

### 3.3. Перепускной (разгрузочный) клапан давления наддува (Supercharged pressure relief valve).

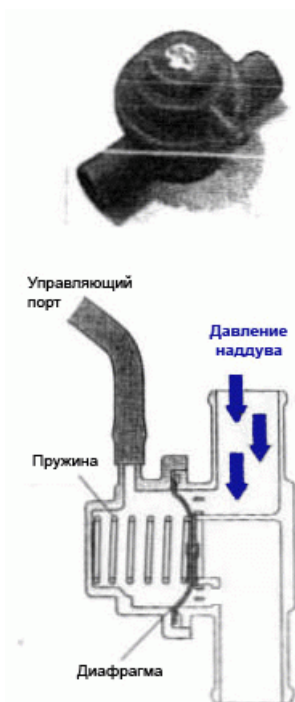
Назначение этого клапана - это перепуск наддутого вторичным т\компрессором воздуха на стадии предварительного вращения. Суть этого процесса - добиться более гладкой характеристики зависимости момента от частоты вращения при переходе с режима наддува одним т\компрессором к режиму наддува двумя т\компрессорами.

Разгрузочный клапан представляет собой камеру с подводом управляющего давления с диафрагмой и пружиной. Пружина удерживает разгрузочный клапан в закрытом состоянии. Когда вторичный т\компрессор начинает предварительное вращение, генерируемое им давление наддува начинает давить на диафрагму против давления, создаваемого сопротивлением пружины. По мере увеличения роста давления наддува в фазе предварительного вращения наступает момент, когда это давление наддува превосходит значение давления пружины на диафрагму, диафрагма смещается и клапан открывается, чем обеспечивается сброс наработанного давления.

По установлении режима наддува обоими т\компрессорами, давление наддува подводится к камере клапана и складываясь с давлением пружины, закрывает клапан, тем самым перепуск давления наддува генерируемого вторичным т\компрессором прекращается.

#### **Н. В.:**

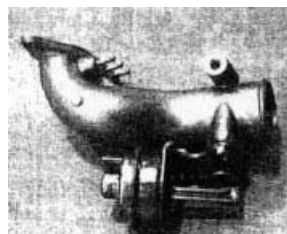
В режиме предварительного вращения по причине закрытого состояния клапана управления входящим воздухом (Intake air control valve), весь воздух, нагнетаемый вторичным т\компрессором не поступает в промежуточный охладитель, а перепускается во впускной тракт, до компрессоров.



### 3.4 Клапан управления впускным воздухом (Intake air control valve).



Клапан управления впускным воздухом может иметь два состояния - полностью открытое или полностью закрытое. Эти состояния определяют, поступает ли надутый вторичным т\компрессором воздух в промежуточный охладитель или сбрасывается. Управление клапаном происходит посредством рычага актуатора клапана. Клапан находится в закрытом состоянии во время пуска двигателя, в режиме наддува первичным т\компрессором и в режиме предварительного запуска вторичного т\компрессора. Закрытое состояние клапана обеспечивается подводом разрежения к камере клапана, в которой находится пружина, под действием разрежения диафрагма начинает двигаться, сжимая пружину и, увлекая привод клапана, закрывает его.



В режиме обеспечения наддува двумя турбокомпрессорами, к камере клапана перестаёт подаваться разрежение, в связи с чем пружина начинает перемещать диафрагму привода клапана, открывая его. Таким образом, открываясь, клапан обеспечивает подачу сжатого вторичным турбокомпрессором воздуха в промежуточный охладитель.

### 3.5. Предроссельный клапан перепуска воздуха (Air bypass valve).



Назначение этого клапана - это предотвращения шумовых и иных эффектов (зачастую резонансного свойства) возникающих в процессе резкого закрытия дроссельной заслонки. Быстрое нарастание давление наддува на участке впускного тракта между компрессором и дроссельной заслонкой, таким образом, вместе с давлением выхлопных газов на крыльчатку турбины, оказывает вредное воздействие на импеллер компрессора, стенки промежуточного охладителя, что сопровождается шумовым эффектом. Для предотвращения последствий резкого нарастания давления, преддроссельный клапан перепуска воздуха, пропускает часть наддутого воздуха из промежуточного охладителя в предкомпрессорную часть впускного тракта. В закрытом состоянии клапан удерживается диафрагмой, на которую воздействует пружина. Камера клапана оборудована подводом разрежения. Условия для открытия возникают, когда к клапану подводится разрежение во впускном коллекторе, образованное за счёт резкого закрытия дроссельной заслонки, которое воздействуя на диафрагму сжимает пружину, что приводит к открытию клапана и перепуску части сжатого воздуха из промежуточного охладителя.

### 3.6. Датчик разности давлений (Differential pressure sensor).

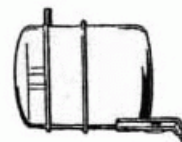
Как ясно из названия, этот датчик измеряет разность между давлением наддува, генерируемым первичным турбокомпрессором и давлением наддува, генерируемым вторичном турбокомпрессором. Датчик содержит полупроводниковый элемент, который преобразует значение разности давлений в напряжение, согласно зависимости. ЭСУД, получая сигнал от датчика разности давлений, осуществляет согласование исполнения алгоритмов переключения режима наддува одним турбокомпрессором в режим наддува двумя турбокомпрессорами и обратно (с учётом режима упреждающего запуска вторичного турбокомпрессора).





### 3.7. Аккумулятор вакуума (Vacuum tank).

Аккумулятор вакуума хранит разрежение (относительное отрицательное давление) для оперирования некоторыми исполнительными механизмами, участвующими в реализации алгоритмов наддува. Воздух в аккумуляторе откачивается через контрольный клапан (Check valve) в то время, когда во впускном тракте наличествует разрежение, соответственно, разрежение устанавливается в аккумуляторе. Когда давление во впускном коллекторе возрастает и превышает давление в аккумуляторе, контрольный клапан закрывается (можно говорить о нём как о "вакуумной диоде"), сохраняя необходимое разрежение в аккумуляторе. Разрежение в аккумуляторе используется для как управляющее давление для актуатора клапана управления выпускными газами 2го турбокомпрессора, перепускного (разгрузочного) клапана наддува и клапана управления впускным воздухом.



## 4. АЛГОРИТМЫ УПРАВЛЕНИЯ.

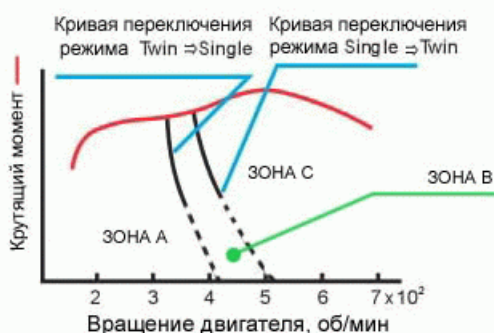
### 4.1. Общий упрощённый алгоритм работы Twin turbo.

Двух ступенчатая система наддува, оборудованная двумя т\компрессорами, на низких оборотах двигателя использует только первичный т\компрессор, что уменьшает возможность провала (лага) в сравнении с режимом наддува двумя т\компрессорами в сравнении с системами наддува, оборудованными одним большим т\компрессором. По мере роста оборотов двигателя, алгоритм управления наддувом активирует вторичный т\компрессор, включая его в систему наддува, чем повышает его (наддува) эффективность. Контрольной точкой такой системы является переключение с режима обеспечения наддува одной турбиной к режиму обеспечения наддува двумя турбинами, и обратно.

#### Режим наддува первичным т\компрессором (Single range).

В этом режиме наддув обеспечивается только первичным (Primary turbocharger) т\компрессором. Управление давлением наддува осуществляется посредством управляющего актуатором соленоида (Wastegate duty solenoid). Алгоритм работы управляющего соленоида заложен в ЭСУД. ЭСУД, руководствуясь полученными с различных датчиков показаниями, определяет состояние системы наддува и

#### Single ↔ Twin режимы переключения



( график зависимости  $M(n)$  )

Далее по тексту: ЗОНА А - низкие обороты двигателя, ЗОНА В - средние обороты двигателя, ЗОНА С - высокие обороты двигателя

#### Режим наддува двумя т\компрессорами (Twin range).

В этом режиме наддув обеспечивается двумя т\компрессорами. Контроль за давлением наддува осуществляется посредством управления клапаном "Вейстгейт".  
Этому режиму соответствует на

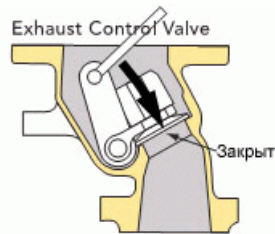
<p>на основании этих показаний открывает и закрывает клапан "Вейстгейт", тем самым ограничивая давление наддува.</p> <p>Этому режиму соответствует на приведённом графике область, обозначенная "ЗОНА А" и "ЗОНА В".</p>		<p>приведённом графике область, обозначенная "ЗОНА С".</p>
--	--	--

<p><b>Режим предварительного запуска вторичного т\компрессора (Preparatory rotation).</b></p> <p>Когда множество контрольных значений системы наддува (обороты двигателя, давление во впускном коллекторе, угол открытия дроссельной заслонки и пр.) удовлетворяют необходимым условиям, клапан управления выхлопными газами вторичного т\компрессора приоткрывается и вторичный т\компрессор начинает вращаться.</p> <p>В этом режиме контроль за давлением наддува осуществляется контролем клапана управления потоком выхлопных газов вторичного т\компрессора (Управление клапаном "Вейстгейт" для контроля давления наддува останавливается).</p> <p>Этому режиму соответствует на приведённом графике область, обозначенная "ЗОНА В" лежащая в границах переключения Single-&gt;Twin и Twin-&gt;Single.</p>	<p><b>Переход к режиму наддува обоими т\компрессорами.</b></p> <p>Когда достигнуты все необходимые условия для переключения в режим обеспечения наддува двумя т\компрессорами, перепускной клапан давления наддува (Supercharging pressure relief valve), закрывается, а клапан управления потоком выпускных газов открывается - эти два события вызывают рост давления наддува, производимого вторичным турбокомпрессором. Датчик разности давлений, по мере достижения давлением наддува, генерируемым вторичным т\компрессором давления наддува от первичного т\компрессора, посылает сигнал ЭСУД. ЭСУД получив информацию о равенстве давлений наддува первичного и вторичного компрессоров, открывает клапан управления впускным воздухом (Intake air valve). Таким образом в промежуточный охладитель нагнетается воздух обоими турбокомпрессорами.</p> <p>Этому моменту (открытие Intake air valve) соответствует кривая переключения Single-&gt;Twin на приведённом графике.</p>
---	--

#### 4.2. Переключения между режимами.

## Режим наддува первичным т\компрессором - Single range (низкие обороты двигателя).

На низких оборотах двигателя клапан управления выхлопными газами вторичного т\компрессора (Exhaust gas supply control valve) закрыт:



Выхлопные газы поступают только к первичному т\компрессору, приводя его во вращение. Нагнетание воздуха осуществляется только первичным т\компрессором.

Регулировка давления наддува осуществляется клапаном "Вейстгейт", который управляется определённой формой сигналами, подводимыми к соленоиду управления актуатора (Wastegate duty solenoid). Управляющий соленоид, дозируя давление наддува, подводимое к камере актуатора, управляет, по сигналам с ЭСУД, углом открытия клапана "Вейстгейт" перепуская часть выхлопных газов в обход турбины.

Смотри схему справа->

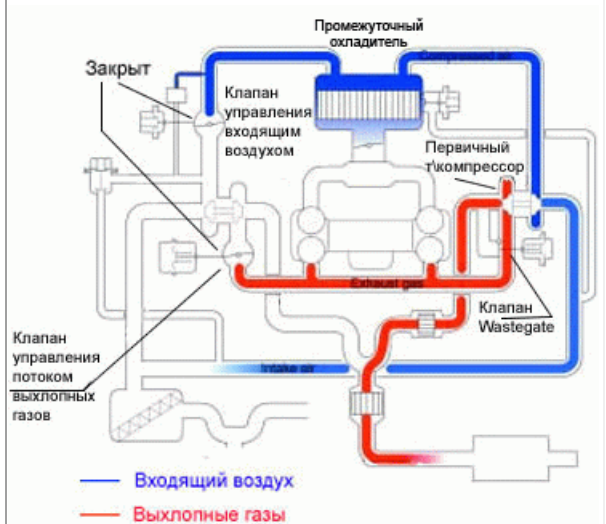


Схема "Single"

## Режим предварительного запуска (preparatory rotation) вторичного т\компрессора (средние обороты двигателя).

По мере роста оборотов двигателя и достижения необходимых условий, ЭСУД посредством управляющих соленоидов приоткрывает клапан управления потоком выпускных газов, подводя их к вторичному т\компрессору и заставляя его вращаться. Всё производимое на этой стадии давление наддува сбрасывается через перепускной клапан наддува (Supercharged pressure relief valve), который также открыт по команде ЭСУД.

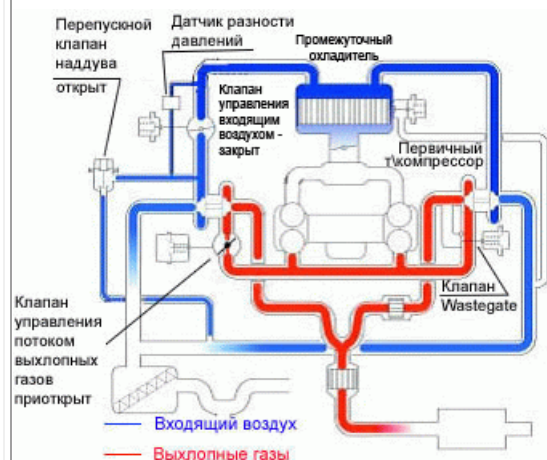
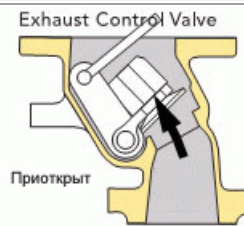


Схема "Preparatory rotation"



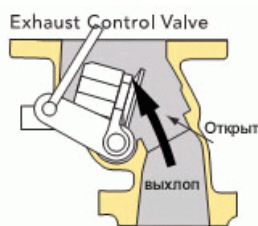
Этот подготовительный режим предварительного запуска необходим для обеспечения более гладкого перехода к режиму обеспечения наддува двумя т\компрессорами, то есть, тем самым обеспечивается плавное включение вторичного т\компрессора в схему наддува.

В описываемом режиме контроль давления наддува переходит от клапана "Вейстгейт" к клапану управления потоком выпускных газов (Exhaust gas supply control valve).

Смотри схему справа ->

**Выход в режим обеспечения наддува двумя т\компрессорами (завершения режима подготовительного вращения вторичного т\компрессора).**

Когда обороты и нагрузка двигателя достигают необходимых условий, ЭСУД полностью открывает клапан управления потоком выпускных газов (Exhaust gas supply control valve) и,



одновременно, закрывает перепускной (разгрузочный) клапан наддува (Pressure relief valve), начинается рост, генерируемого вторичным т\компрессором давления наддува на участке компрессор-клапан управления входным воздухом (Intake air control valve). Датчик разности давлений по значению давления в промежуточном охладителе и давления генерируемое вторичным т\компрессором, выдаёт сигнал для ЭСУД. Как только значения давлений генерируемые обоими т\компрессорами приблизительно

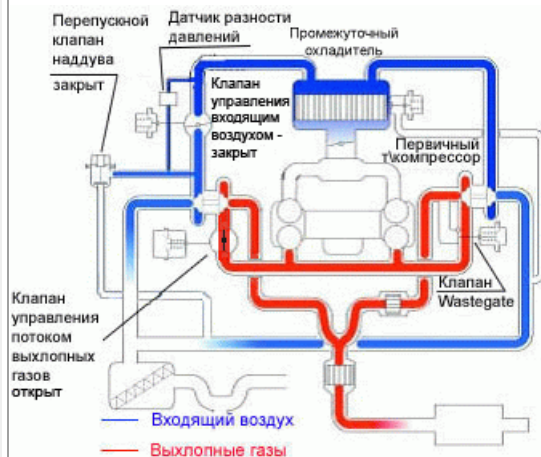


Схема "Preparatory rotation. Final phase".

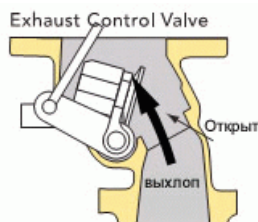
сравниваются, клапан управления входным воздухом откроется и наддув будет обеспечиваться обоими турбокомпрессорами (следует отметить, что равенство давлений основное, но не единственное условие перехода к режиму обеспечения наддува двумя турбокомпрессорами).

Смотри схему справа->

### Режим наддува обоими турбокомпрессорами - Twin range (высокие обороты двигателя).

Этот режим можно описать состояниями управляющих наддувом клапанов:

- Клапан управления потоком выхлопных газов - открыт полностью
- Перепускной (разгрузочный) клапан наддува - закрыт
- Клапан управления входящим воздухом - открыт полностью



Таким образом, как видно из приведённой справа схемы, наддув осуществляется обоими компрессорами одновременно.

Контроль давления наддува осуществляется при помощи клапана "Вейстгейт"

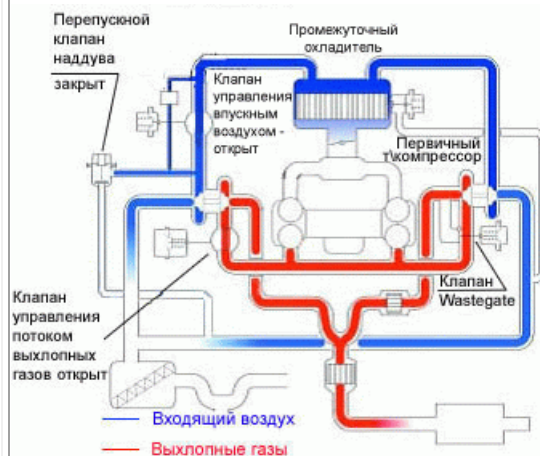


Схема "Twin"

### Переход из режима наддува обоими турбокомпрессорами в режим наддува только первичным турбокомпрессором.

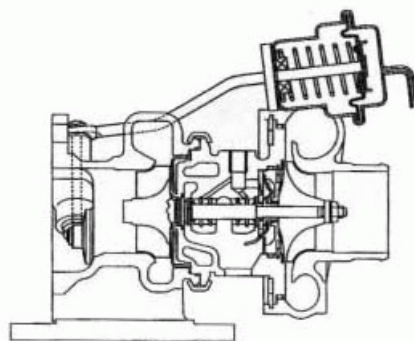
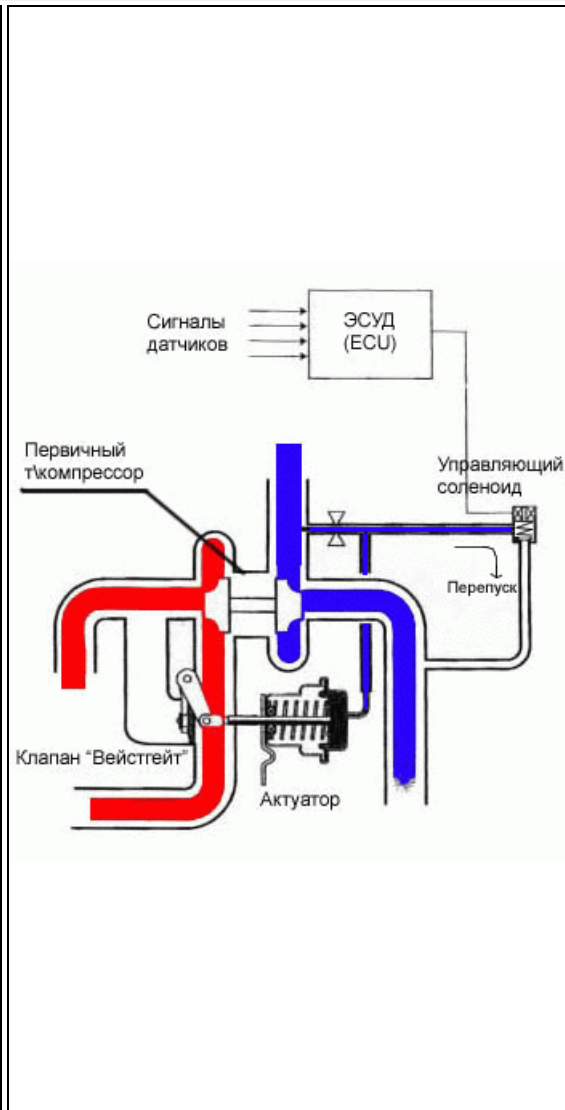
Когда в режиме обеспечения наддува двумя турбокомпрессора обороты двигателя падают, ниже необходимых, снижается нагрузка или возникают иные условия, клапан управления входящим воздухом и клапан управления потоком выпускных газов закрываются, вторичный турбокомпрессор останавливается и наддув продолжает обеспечиваться только первичным турбокомпрессором. Смотри схему "Single".

### 4.3. Принцип управления клапаном "Вейстгейт" (Wastegate valve).



Когда, под воздействием каких-либо причин, давление наддува, генерируемое турбокомпрессором(-ами) превышает допустимое значение, ЭСУД, постоянно контролирующая состояние наддува, начинает, посредством изменения состояния соленоида управления наддувом (Wastegate duty solenoid), подавать положительное давление наддува в ту часть актуатора, где это давление, воздействуя на диафрагму актуатора, приводит в движение рычаг управления клапаном "Вейстгейт", открывая его. Открытый клапан перепускает часть выхлопных газов в обход турбин(ы), что замедляет вращение турбокомпрессор(ов) и уменьшает генерируемое им(и) давление наддува. В штатном режиме, соленоид пребывает в открытом состоянии и та небольшая часть сжатого воздуха, что поступает в управляющий канал (через калиброванное отверстие) сбрасывается в впускной тракт, до улитки компрессора, а пружина актуатора удерживает клапан в закрытом состоянии.

**Н. В.** В режиме подготовительного запуска вторичного турбокомпрессора управление давлением наддува посредством клапана "Вейстгейт" останавливается, контролировать наддув начинает клапан управления потоком выпускных газов вторичного турбокомпрессора (Exhaust gas supply control valve).



#### 4.4. Принцип управления клапаном управления потоком выпускных газов (Exhaust gas supply control valve).

Состояние клапана управления потоком выпускных газов определяется состоянием трёх соленоидов:

- дозирующий управляющий соленоид (Exhaust gas control duty solenoid), дозирует подводимое к актуатору давление наддува, в зависимости от скважности управляющего им сигнала.

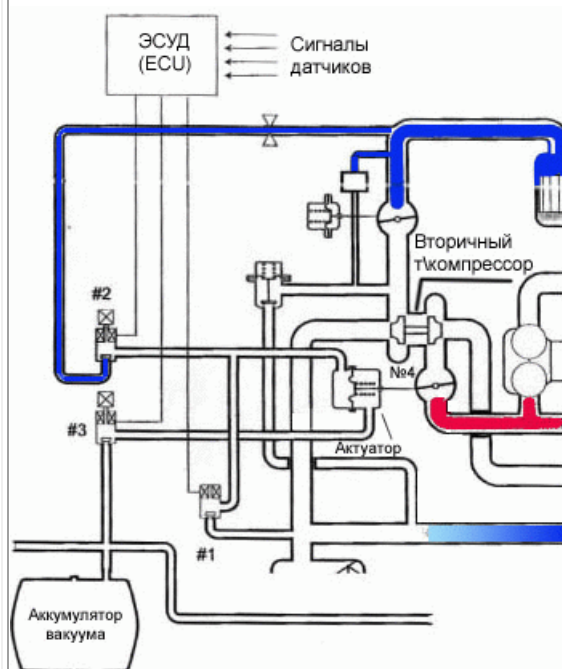
- соленоид управляющий подводом наддува (Exhaust gas control solenoid (positive pressure)), имеет состояние "открыт" или "закрыт"
- соленоид управляющий подводом разрежения (Exhaust gas control solenoid (negative pressure)), имеет состояние "открыт" или "закрыт"

Все соленоиды неактивны, в режиме наддува первичным т\компрессором, клапаны управления потоком выхлопных газов и управления входящим воздухом, находятся в закрытом состоянии, вторичный турбокомпрессор из схемы наддува исключён.

Для инициации режима подготовительного вращения вторичного т\компрессора, ЭСУД переключает соленоид подводящий давление наддува (№2 на схеме "Exhaust control system") в положение "включено", обеспечивая подвод положительного давления (генерируемого первичным т\компрессором) к актуатору клапана управления потоком выпускных газов. Одновременно с этим, ЭСУД, подавая управляющее напряжение на дозирующий соленоид (№1 на схеме), дозирует подвод давления наддува к актуатору, путём перепуска части подводимого к актуатору управляющего давления во впускной коллектор в предкомпрессорную часть. Таким образом, ЭСУД имеет механизм, который позволяет ему дозировать усилие воздействия на диафрагму актуатора, против силы пружины, действующей в сторону противоположную подводимому давлению, иными словами, через рычаг актуатора, управлять углом открытия клапана управления потоком выхлопных газов.

Таким образом, дозирование давления наддува, подводимого к камере актуатора, преобразуется в поступательное движения рычага-привода клапана (определяя угол открытия клапана), то есть определяется параметром - скважность управляющего соленоидом №1 сигнала. Количество выхлопных газов, регулируемое по вышеописанному алгоритму определяет скорость вращения вторичного т\компрессора.

В момент переключения в режим обеспечения наддува двумя т\компрессорами, управляющий дозирующий соленоид (№1 на схеме), переводится в положение "выключено", одновременно ЭСУД переводит управляющий соленоид (№3) подводящий разрежение в положение "включено". Такой режим



- №1 Управляющий соленоид клапана (дозировующий)
- №2 Управляющий соленоид клапана (подводящий давление наддува)
- №3 Управляющий соленоид клапана (подводящий разрежение)
- №4 Клапан управления потоком выхлопных газов

Схема "Exhaust control system"

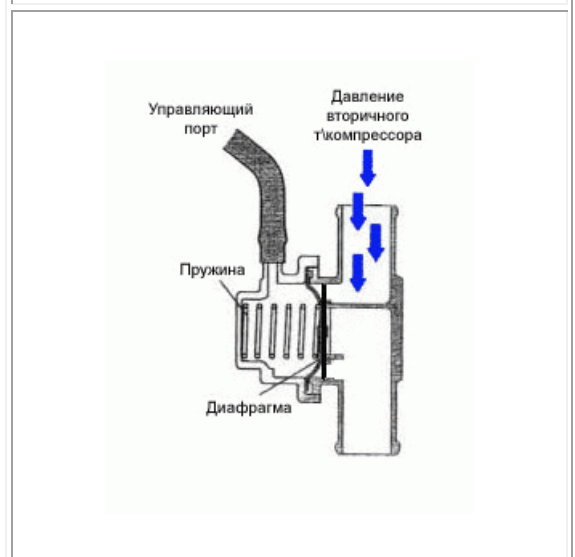
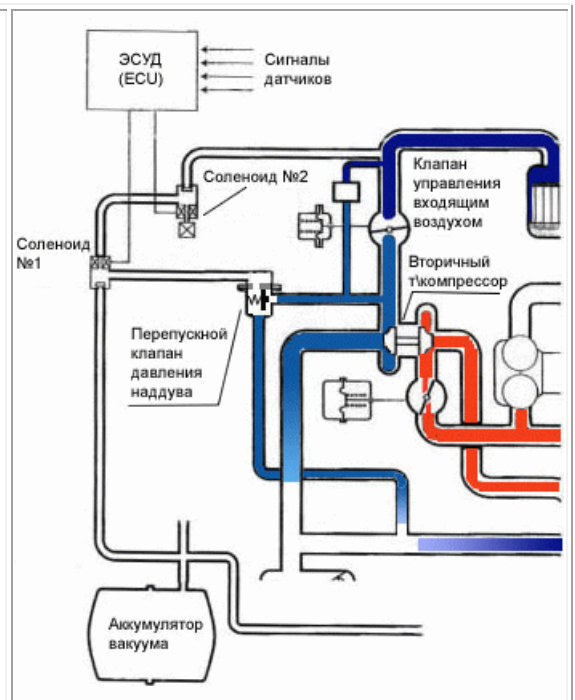
обеспечивает подведение к актуатору разрежения из аккумулятора вакуума с одной стороны и давления наддува с другой. Таким образом, под действием подводимых управляющих давлений, пружина зажимается максимально возможно, в следствие чего, клапан управления потоком выпускных газов открывается полностью.

#### 4.5 Управление перепускным (разгрузочным) клапаном наддува (Supercharged pressure relief valve).

Основная функция этого клапана - сброс давления наддува, генерируемого вторичным т\компрессором в режиме предварительного вращения этого т\компрессора. Рост давления наддува давит на подпружиненную запирающую диафрагму, по достижении определённого давления, пружина сжимается, клапан открывается сбрасывая часть сжатого вторичным т\компрессором воздуха во впускной коллектор в предкомпрессорную часть. Таким образом на стадии предварительного запуска вторичного т\компрессора, осуществляется поддержка давления наддува, генерируемого этим компрессором на почти постоянном уровне.

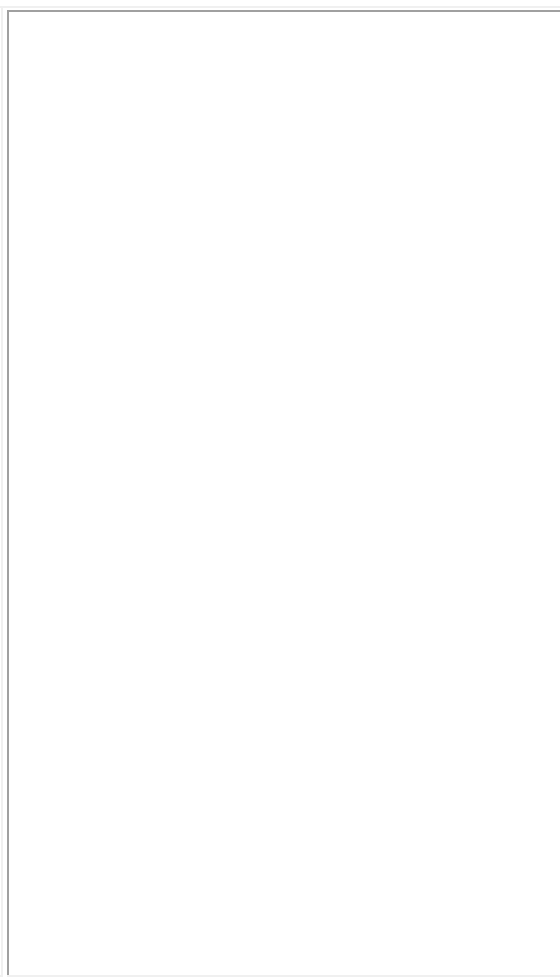
В момент перехода с режима предварительного запуска вторичного т\компрессора к режиму обеспечения наддува двумя т\компрессорами ЭСУД (по информации от датчика разности давлений) открывает управляющий разгрузочным клапаном соленоид №2, осуществляя подвод давления наддува к разгрузочному клапану из промежуточного охладителя, это давление (подаваемое через управляющие соленоиды №№1,2), складываясь с давлением пружины запирает клапан, и давление, генерируемое вторичным т\компрессором начинает возрастать. Как только давление генерируемое вторичным т\компрессором сравняется с давлением, генерируемым первичным т\компрессором, по сигналу с датчика разности давлений ЭСУД откроет клапан управления входящим воздухом (Intake air control valve) и включит вторичный т\компрессор в схему наддува.

Как правило, срабатывание перепускного (разгрузочного) клапана наддува, регулируется ЭСУД лишь посредством управляющего



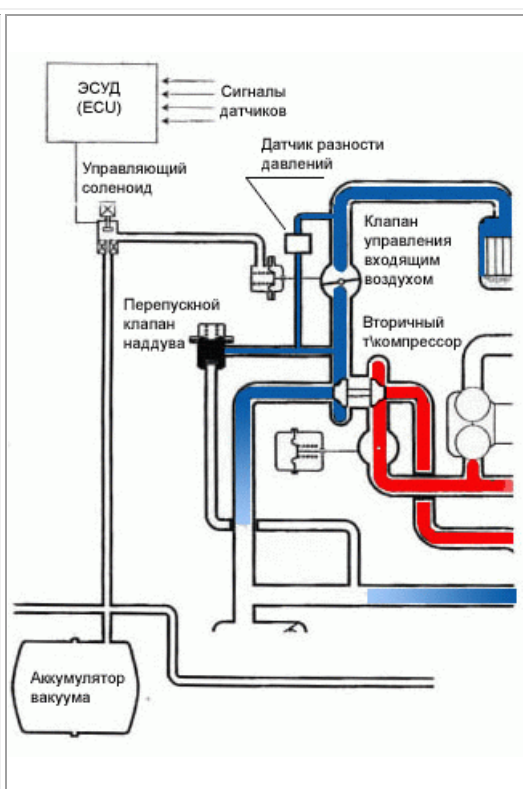
соленоида №2, изменяющего свое состояние на "открыт" и "закрыт", а управляющий соленоид №1 находится в "открытом" состоянии, подводя давление наддува к камере клапана.

Однако, существует ряд условий, когда управляющий разгрузочным клапаном соленоид №1 включается в алгоритм обеспечения наддува. Соленоид №1 играет предохранительную роль в режиме обеспечения наддува двумя т\компрессорами. Так, например, при использовании низкооктанового бензина, ЭСУД получив данные с датчика детонации о наличии взрывного горения смеси в режиме обеспечения наддува двумя т\компрессорами, переключает управляющий соленоид №1 в состояние "закрыт" (отсекает подвод давления наддува и подводит разрежение из аккумулятора вакуума), открывает разгрузочный клапан, вследствие чего давление наддува, генерируемое вторичным т\компрессором понижается (частично истекая в предкомпрессорный тракт впускного коллектора), снижая риск повреждения механизмов двигателя.



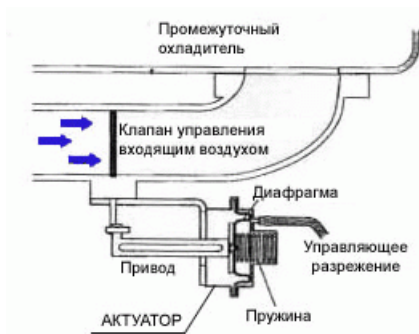
#### 4.6. Контроль клапана управления входящим воздухом (Intake air control valve).

При переходе из режима подготовительного вращения вторичного т\компрессора к режиму обеспечения наддува двумя т\компрессорами, давление наддува, генерируемое вторичным т\компрессором растёт, так как ЭСУД полностью открывает клапан управления потоком выхлопных газов и закрывает перепускной(предохранительный клапан наддува). Как только давления с разных сторон заслонки клапана приблизительно сравняются, ЭСУД получит информацию с датчика разности давлений и переключит управляющий соленоид в положение "закрыто", тем самым отсекая подвод управляющего разрежения(это разрежение, воздействуя на диафрагму клапана управления входящим воздухом, удерживает клапан в закрытом положении во всех режимах, кроме наддува двумя т\компрессорами). Так как разрежение, более не подводится, пружина разжимается и через привод актуатора открывает клапан управления входящим воздухом. Таким образом наддув начинает обеспечиваться обоими





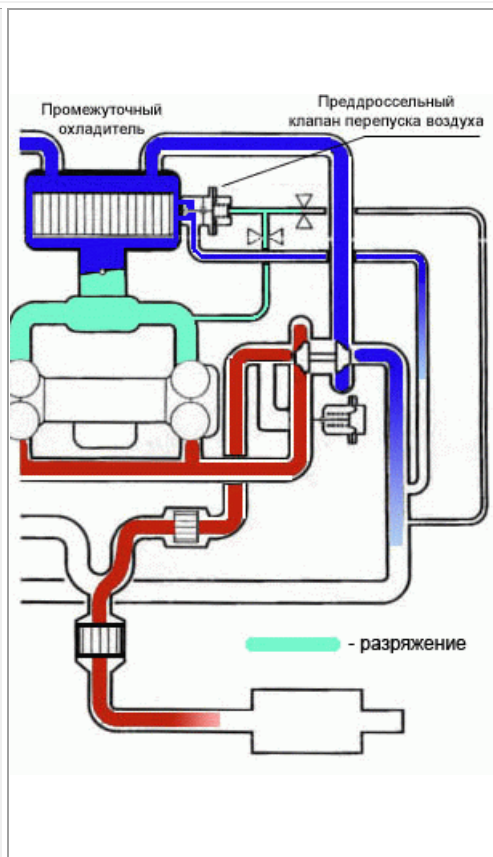
т\компрессорами.



Следует отметить, что существуют условия, не рассматриваемые здесь, когда по данным состояния системы питания ЭСУД, посредством управляющего соленоида, открывает клапан управления входящим воздухом.

#### 4.7. Управление преддрессельным клапаном перепуска воздуха (Air by-pass valve).

В отличие от всех остальных клапанов (управляющих системой наддува), управляемых исполнительными соленоидами, преддрессельный клапан перепуска управляется только в соответствии и посредством приложения к нему результатов изменения давления во впускном коллекторе. Когда дроссельная заслонка закрывается, в коллекторе быстро нарастает разрежение, а во впускном тракте на участке дроссельная заслонка - компрессор(ы) резко растёт, если не предотвратить это состояние, возможно (хоть и маловероятно) повреждение впускного тракта и т\компрессора. Однако, установившееся разрежение во впускном коллекторе, подводится к камере перепускного клапана, и воздействуя на диафрагму, сжимает пружину, открывая клапан. Клапан, открывшись, перепускает часть сжатого в промежуточном охладителе воздуха в предкомпрессорную часть впускного тракта. Тем самым, давление в преддрессельном пространстве удерживается или понижается таким образом, чтобы предотвратить резонансные шумы и нежелательные воздействия деструктивного характера на элементы системы впуска.







## 5. СМАЗКА И ОХЛАЖДЕНИЕ.

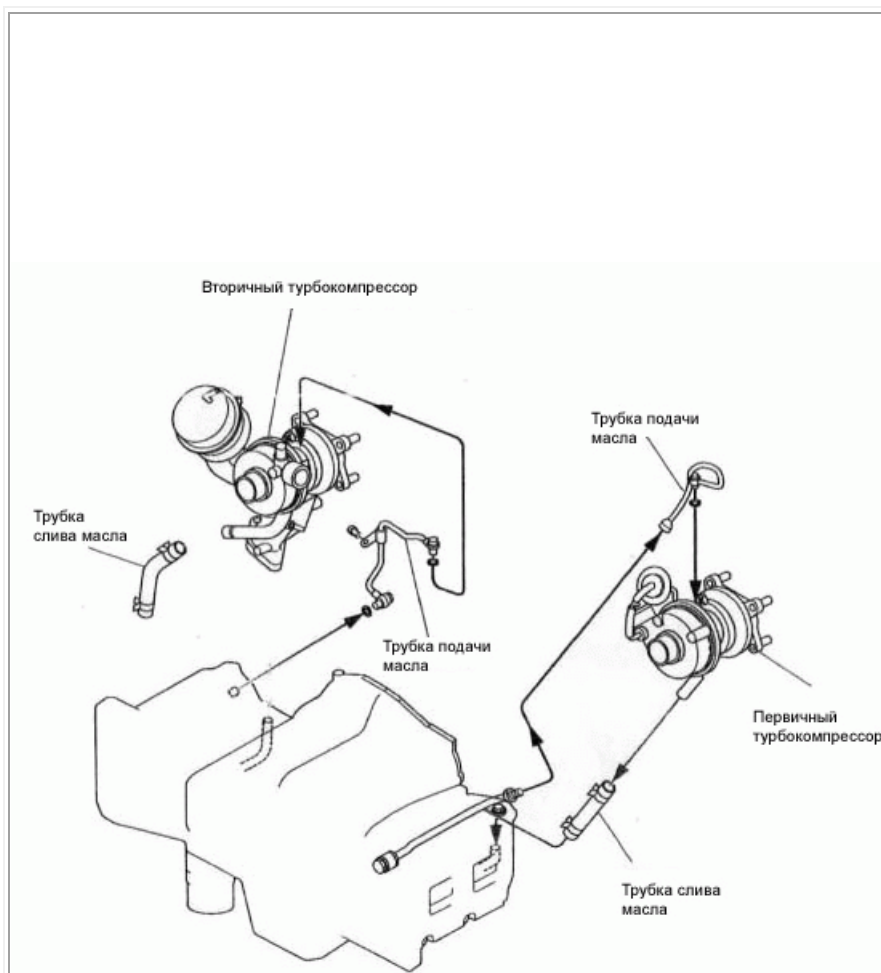


Схема "Подача смазки"

В связи с тем, что турбонагнетатель работает в очень жёстких условиях его узлы и агрегаты необходимо смазывать и охлаждать. Так скорость вращения порой может достигать 160 000 об/мин, а температура выхлопных газов, раскручивающих колесо турбины, до 800-1000 градусов Цельсия. Как видно на приведённых схемах, система смазки и система охлаждения осуществляются от соответствующих систем двигателя. Вал компрессора вращается в подшипниках скольжения - бронзовых втулках. Через каналы в корпусе подшипников (смотри схему "Каналы" и схему "Потоки") масло поступает на участок между валом и подшипником и на участок между подшипником и корпусом, образуя так называемую плавающую подшипниковую систему - floating bearing system. Для уплотнения, с двух сторон т\компрессора устанавливаются маслоотражательные прокладки. С двух сторон устанавливаются также уплотнительные кольца. При наличии большой выработки вала т\компрессора,

начинаются биения вала, которые разбивают систему маслосадержания и масло начинает поступать во впускной или выпускной тракт.

Следует отметить, что масло также наряду с охлаждающей жидкостью, так же несёт в себе функцию охлаждения. Также немаловажным является тот факт, что остановка двигателя в условиях когда  $t_{\text{компрессор}}$  сильно раскручен, происходит масляное голодание, так как масляный насос уже не работает и масло не поступает в подшипники, а вал по инерции продолжает вращаться уже на "сухую", что приводит к износу как втулок подшипников так и вала. Учитывая что обороты могут измеряться сотнями тысяч, малейший дисбаланс вала, вызванный в том числе и выработкой из-за масляного голодания, приводит к выводу  $t_{\text{компрессора}}$  из строя.

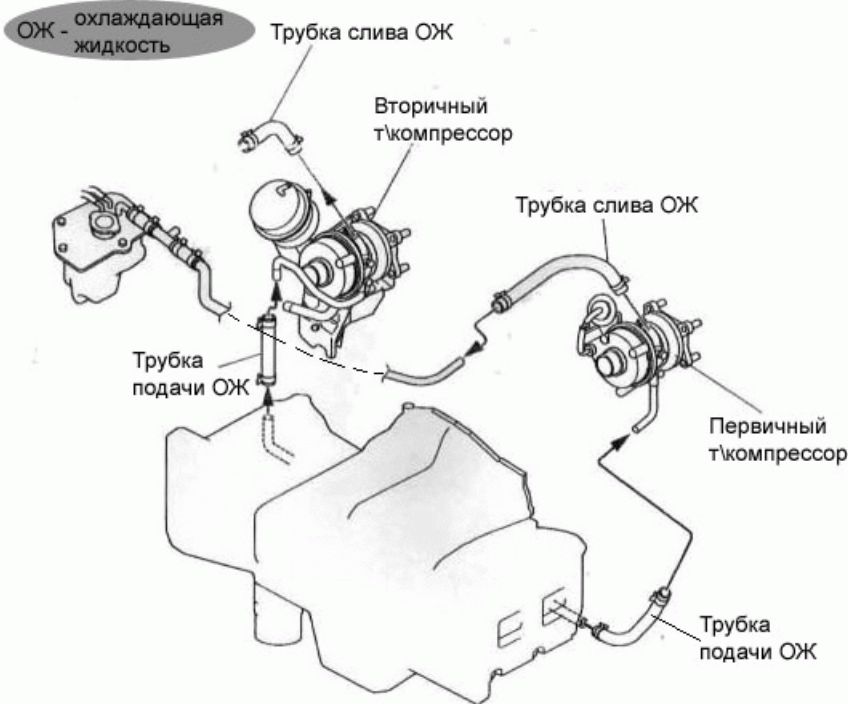


Схема "Подача охлаждающей жидкости"

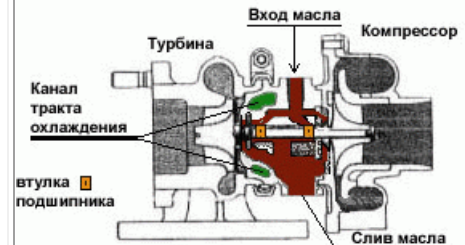
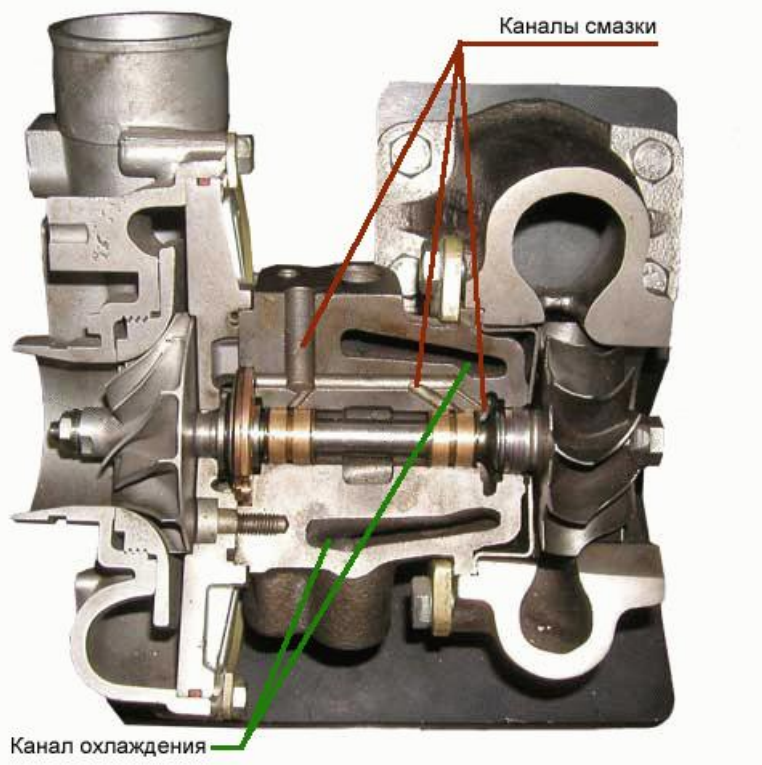


Схема "Потоки"



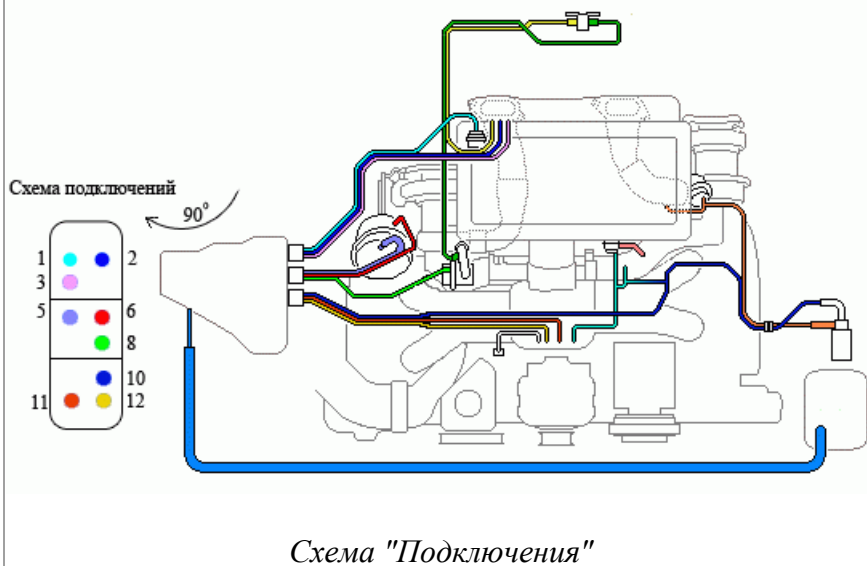
*Схема "Каналы"*

**Все масляные уплотнения - динамического типа. то есть работают на принципе разности давлений:**

- Разница в диаметрах оси из-за действия центробежных сил образует разность давлений, что затрудняет просачивание масла к турбине.
- Со стороны турбины уплотнительные кольца расположены в выточках (как в корпусе оси так и на самой оси). Этот же принцип установки колец применен и со стороны компрессора. Уплотнительные кольца являются элементом, играющим главную роль в обеспечении герметичности. Кроме того, они передают тепло с оси на корпус.
- Уплотнительное кольцо вращается с той же скоростью, что и ось. Благодаря имеющимся в нем трем отверстиям создается противодействие маслу.
- Внутренняя форма корпуса оси на уровне кольца герметичности весьма своеобразна с целью предотвращения просачивания масла к компрессору.
- Давление в компрессоре и турбине вытесняет масло в корпус оси.

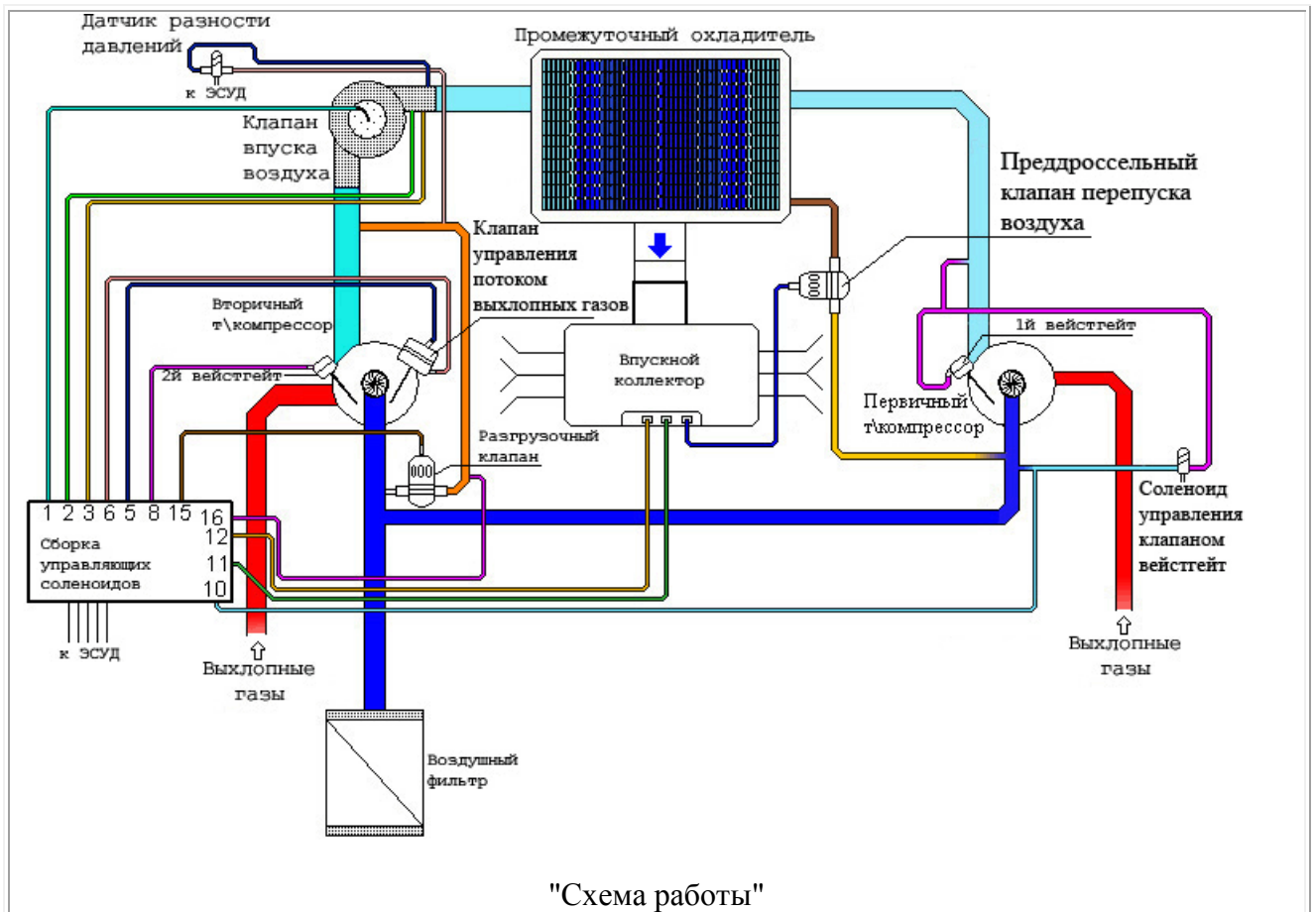
## 6. ПОДКЛЮЧЕНИЯ.

Подключения подвода управляющих давлений\разрежений представлены на схеме "Подключения". Сборка управляющих клапанов имеет 12 штуцеров, однако управляющими портами является только 9. Оригинальная нумерация портов сохранена как на сборке соленоидов на автомобиле.

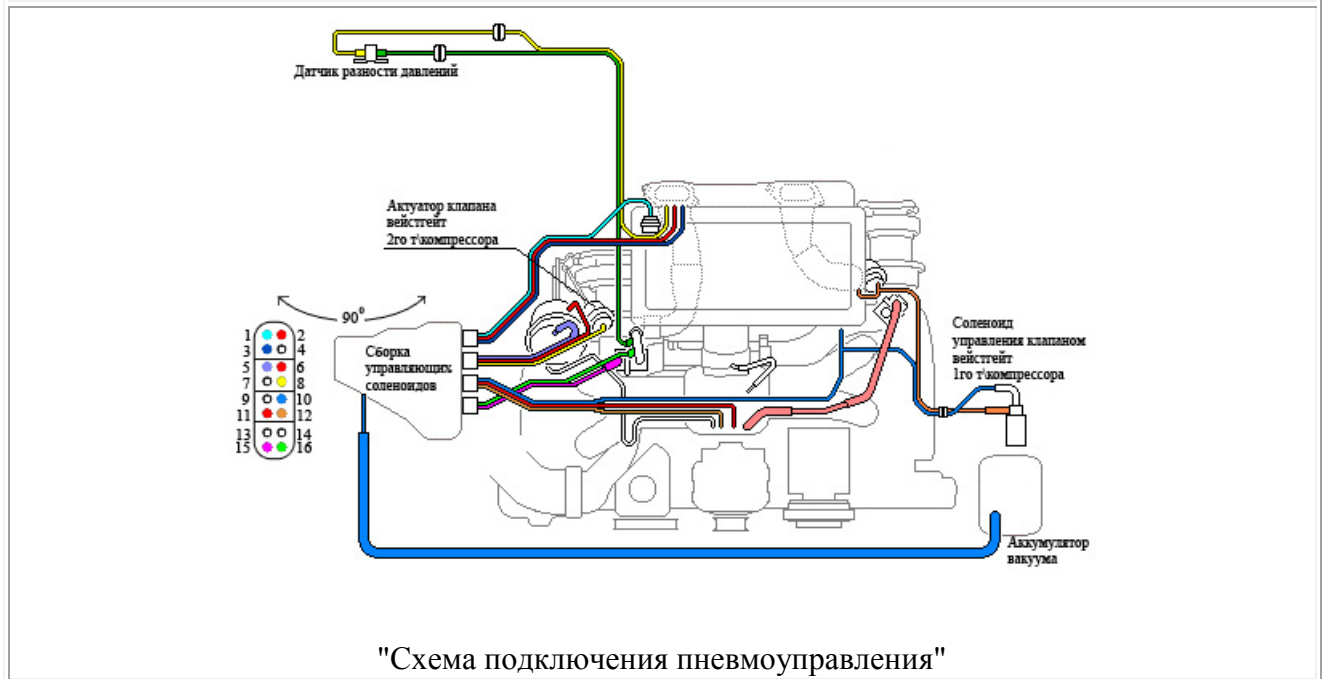


## 7. НЕМНОГО О TWIN TURBO 97 года и старше.

В качестве отступления, кратко опишу алгоритмы twin-turbo на автомобилях Subaru Legacy выпуска 1997 и старше. Отличительной особенностью этих моделей является наличие клапана "Вейстгейт" на вторичном турбокомпрессоре. Таким образом, скорость вращения вторичного турбокомпрессора задаётся клапаном управления потоком выпускных газов, а контроль избыточного наддува на стадии подготовительного вращения (и, возможно, на стадии обеспечения наддува обоими турбокомпрессорами) клапаном "Вейстгейт" вторичного турбокомпрессора. Клапан "Вейстгейт" вторичного турбокомпрессора управляется по аналогии с клапаном "Вейстгейт" первичного турбокомпрессора - к актуатору "Вейстгейт" подводится дозируемое управляющим соленоидом давление наддув, которое по достижении значения расчётного давления открывает клапан. Управляющий соленоид соединяет актуатор клапана "Вейстгейт" вторичного турбокомпрессора с точкой отбора давления наддува через пневмоподключения на штуцерах 8 и 16 сборки управляющих соленоидов, смотри схему ниже. Остальные алгоритмы реализации схемы twin-turbo, в целом, не отличаются от вышеописанных.



"Схема работы"



"Схема подключения пневмоуправления"

## 8. КОДЫ ОШИБОК, ПОИСК НЕИСПРАВНОСТЕЙ.

