

1. Введение.

Это пособие, конечно, запоздало. Наверное, сами производители, устремляясь вперед, к новым свершениям и прибылям, уже не помнят, какие рыночные предпосылки легли в проектирование и реализацию системы принудительного нагнетания, известного как twin-turbo. Но всё-таки, надеюсь, что кому-то из владельцев Subaru Legacy это пособие сможет помочь в сервисном обслуживании, ремонте или просто понимании теоретических основ алгоритма управления турбонаддувом, реализованного по схеме twin-turbo компанией FHI в автомобилях Subaru.

В настоящем пособии будет подробно рассмотрен алгоритм управления принудительного нагнетания, реализованный в автомобилях Subaru Legacy 1998-2001 годов выпуска, его последующая модификация (жаргонное наименование «рестайл») с 2001 года выпуска и Subaru Legacy 1994-1997 годов выпуска. Дополнительно будет описана реализация принципа управления принудительного нагнетания в автомобилях Subaru Impreza и Subaru Forester.

Регулярно обращаясь к теме двухступенчатого наддува, реализованного в автомобилях Subaru, мне пришлось столкнуться с недостатком информации об упомянутом предмете, тем более на русском языке. Существует ряд отрывочных данных, многие из которых 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 ни было, я постарался собрать всё вместе, что смог найти в интернете, руководствах и прочем и объединить это с накопленным мною опытом и знаниями. В результате получилось настоящее пособие, которое я представляю на ваш суд.

Это пособие не будет основываться на хронологии эволюции систем турбонаддува, применяемых в автомобилях фирмой FHI. Подробно будет рассмотрен алгоритм twin-turbo Subaru Legacy 1998-2001 г.в. («дорестайл») и mono-turbo Subaru Forester (Impreza) и, как дополнения, остальные модификации алгоритмов.

2. «История» и «теория».

Собственно, нельзя не упомянуть в работе такого рода, имени Gottlieb Wilhelm Daimler, именно ему приписывается инженерная разработка устройства, повышающего мощность двигателя, именуемого механическим компрессором - приводимым в действие путём передачи крутящего момента от коленчатого вала. Также нельзя не упомянуть Alfred Buchi, которому не нравилась идея 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 своему устройству прост (и сложен в изготовлении) - 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 всасывание осуществляется из-за разности атмосферного давления и разрежения 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 турбонагнетатель можно представить на нижеприведённой схеме:

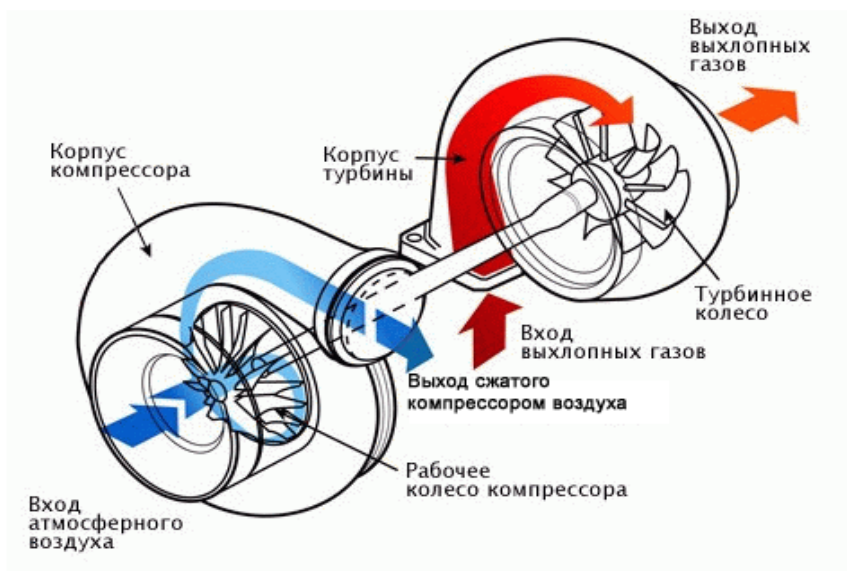
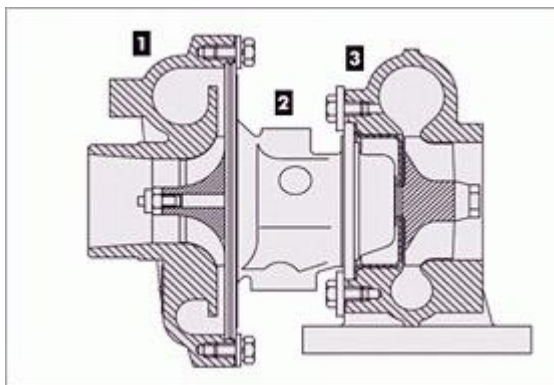


Рисунок №1

Дополнительно, хочется в настоящем пособии внести ясность в далее используемые определения и описания, 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, турбонагнетатель, turbocharger. Турбина, компрессор - это составляющие узлы турбонагнетателя (турбокомпрессора) - турбиной называется та часть турбонагнетателя, которая получая на вход энергию выхлопных газов, воздействующих на турбинное колесо, и преобразует эту энергию в энергию вращения. Компрессор - та часть турбонагнетателя, которая получая через вал турбины энергию

вращения, при помощи колеса компрессора преобразует полученную энергию в сжатие нагнетаемого воздуха. Таким образом, можно функционально «разделить» турбокомпрессор 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 турбонагнетателя. Схематично это можно представить следующим образом:



1. Компрессор
2. Корпус (картридж)
3. Турбина

Рисунок №2

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 топливо, то есть - увеличиваем количество 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. Таким образом – промежуточный охладитель встраивается во впускной тракт доминирующего большинства производимых автомобилей с турбонаддувом.

3. Автомобили Subaru с одним турбокомпрессором (mono turbo).

Основными представителями автомобилей, в которых наддув осуществляется одной турбиной, являются Forester и Impreza (выпускались также Subaru Legacy, в том числе, с жидкостным промежуточным охладителем - принцип их функционирования идентичен рассматриваемым в настоящем пункте).

Основная схема (есть и вспомогательная, рассмотренная далее) управления наддувом в этих автомобилях сравнительно проста. Воздух, сжимаемый турбокомпрессором, подаётся в промежуточный охладитель (intercooler) и далее во впускной коллектор. Управление наддувом осуществляется посредством элементов:

1. Клапан Wastegate («вейстгейт»).
2. Электромагнитный клапан, регулирующий величину давления, подводимого к клапану Wastegate.
3. Датчик абсолютного давления во впускном коллекторе.

Суть управления сводится к тому, чтобы, основываясь на данных, заложенные в программе ЭБУ, управлять давлением, подводимым к клапану Wastegate. Клапан Wastegate, в свою очередь, управляет потоком выхлопных газов, воздействующих на крыльчатку турбины, в зависимости от своего положения. Таким образом, основное назначение клапана Wastegate - 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 Wastegate позволяет контролировать количество выхлопных газов, вращающих крыльчатку турбины, путём их частичного перепуска в обход турбины в выхлопной тракт. Таким образом, предотвращается рост давления наддува по достижении расчётного максимального.

Схема управления клапаном Wastegate представлена на рисунке ниже:



Рисунок №3

Как видно из вышеприведённой схемы (рисунок №3), давление, создаваемое турбокомпрессором, через специальное отверстие(порт) подаётся на управляющий электромагнитный клапан, который переключаясь между двумя положениями, может направить подводимое к нему давление либо к клапану Wastegate, либо во впуск, на участке между воздушным фильтром и турбокомпрессором. Таким образом, блок управления двигателем (ЭБУ, ECU), может дозировать давление, подводимое к клапану Wastegate, вызывая его срабатывание. Наличие калиброванного отверстия в тракте управления гарантирует неизменность его площади сечения при различных условиях эксплуатации автомобиля.

Управление давлением, подводимым к клапану Wastegate, осуществляется при помощи широтно-импульсной модуляции (ШИМ). Меняя значения коэффициента заполнения (в англ. Duty cycle) управляющего сигнала, подводимого к электромагнитному клапану, можно регулировать давление на исполнительный механизм клапана Wastegate. Такое регулирование обусловлено различными режимами движения автомобиля, от которых зависят характеристики работы турбокомпрессора. Таким образом, дозируя усилие на пружине клапана Wastegate ЭБУ двигателем может прекратить подачу избыточного давления. Принцип широтно-импульсной модуляции рассмотрен на рисунке ниже:

Пример широтно-импульсной модуляции, управляющей соленоидом клапана Wastegate (частота 5 Гц)

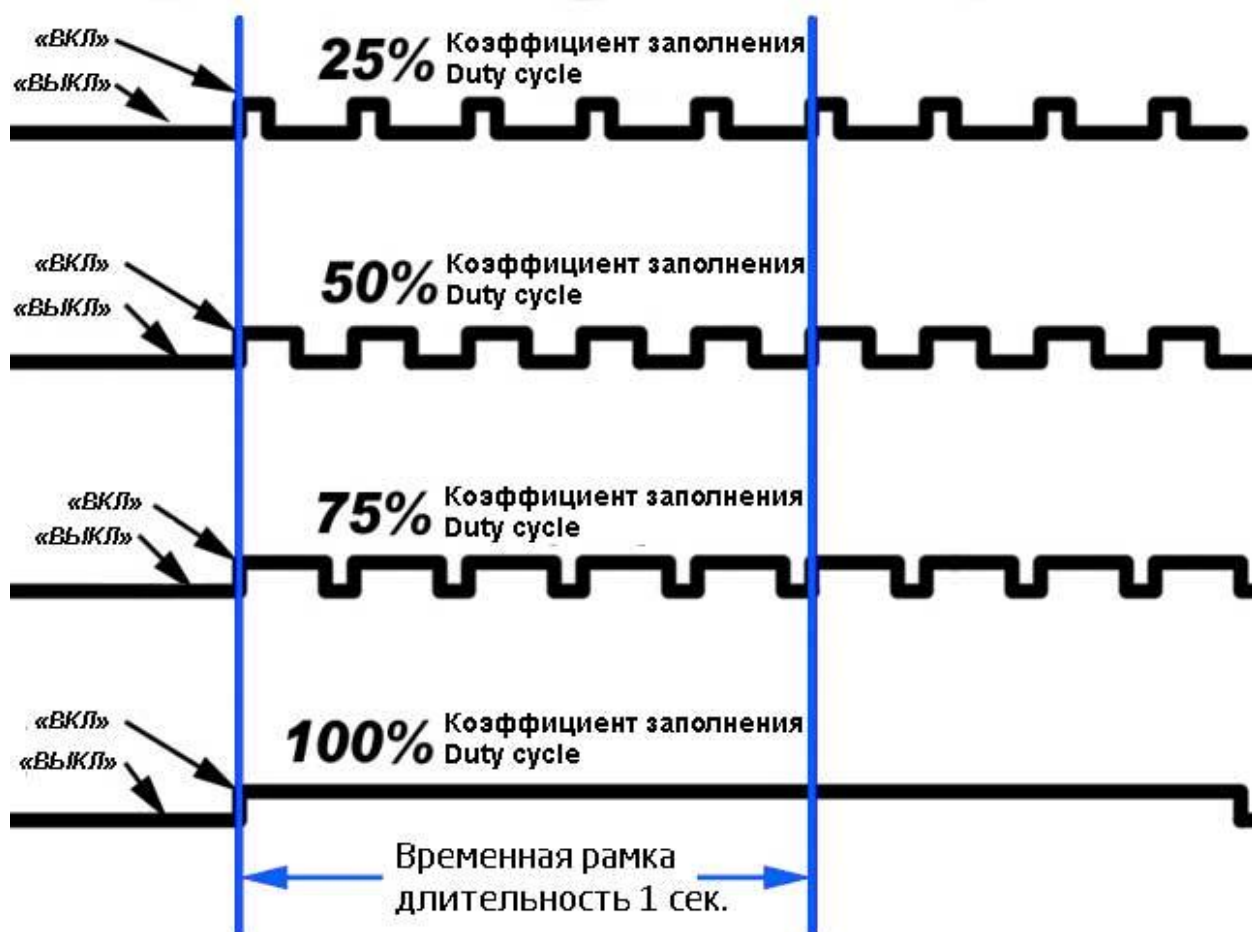


Рисунок №5.

Суть принципа работы клапана Wastegate такова - клапан Wastegate соединён рычагом с актуатором. Внутри актуатор разделён диафрагмой на две камеры. В одной камере давление, равное текущему атмосферному, а ко второй камере подводится дозируемое ЭБУ (ECU) положительное давление наддува. Также в камеру с атмосферным давлением 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 ЭБУ посредством управляющего электромагнитного клапана (Wastegate duty solenoid valve), положительное давление наддува. Схема актуатора представлена на рисунке №6.

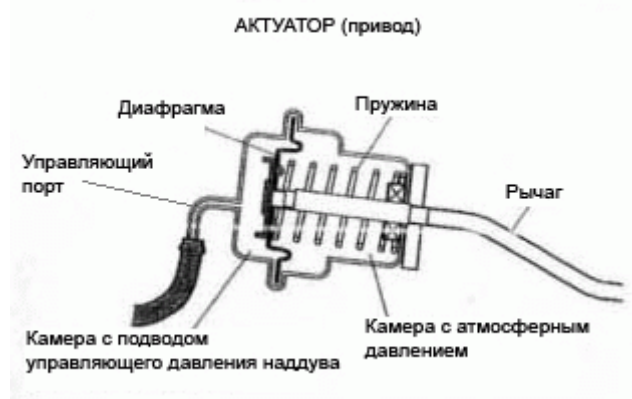


Рисунок №6.

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. Таким образом, можно задать порог критического значения давления, создаваемого турбокомпрессором, по достижении которого, за счёт перепуска части выхлопных газов в обход турбины, произойдет остановка роста давления наддува и/или его спад. Система нормально работает для расчёта максимально допустимого давления наддува, в том числе и в высокогорных районах с пониженным атмосферным давлением.

Для обеспечения контроля значения давления, создаваемого турбокомпрессором, используется датчик измерения абсолютного давления (MAP sensor) во впускном коллекторе. Согласно показаниям этого датчика, ЭБУ управляет электромагнитным клапаном, дозирующим подводимое к актуатору клапана Wastegate давление. Также этот датчик может измерить текущее атмосферное давление, так как его измерительная часть через переключающийся электромагнитный клапан может быть соединена с атмосферой, это необходимо для расчёта давления, подводимого к актуатору в высокогорных районах с пониженным атмосферным давлением.

Дополнительной системой контроля положительного давления является клапан Air bypass valve («байпас»). Функциональное назначение этого клапана – предотвращение избыточных нагрузок на крыльчатку компрессора и предотвращение шумовых эффектов (зачастую

резонансного свойства) при резком закрытии дроссельной заслонки. Быстрое нарастание давления наддува на участке впускного тракта между компрессором и дроссельной заслонкой, вместе с давлением выхлопных газов на крыльчатку турбины, оказывает вредное воздействие на крыльчатку компрессора и стенки промежуточного охладителя, что дополнительно 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. Устройство Air bypass valve схематично представлено на рисунке №7.

Air bypass valve

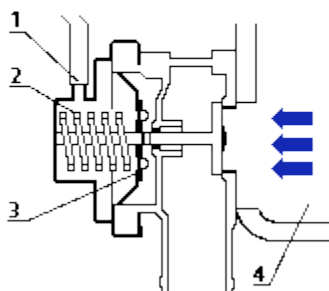


Рисунок №7

1	Порт управления
2	Пружина
3	Диафрагма
4	Промежуточный охладитель

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.

Схема подключения на автомобиле вышеописанной системы управления наддувом представлена на рисунке №8.

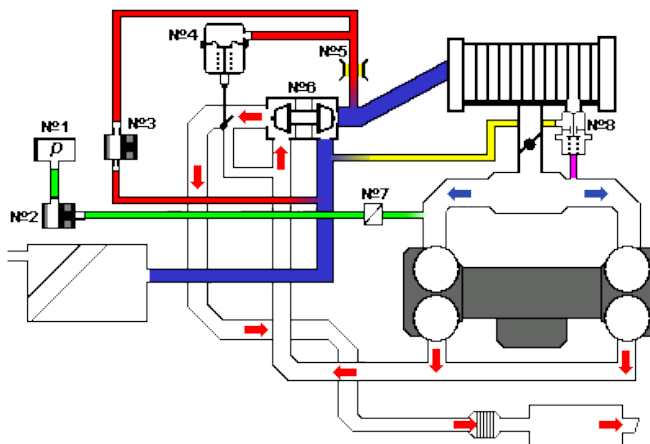


Рисунок №8.

Условные обозначения:

1	Датчик абсолютного давления во впускном коллекторе (MAP sensor)
2	Э/магнитный клапан переключения условий измерения MAP
3	Э/м клапан дозирования давления, подводимого на актуатор клапана Wastegate
4	Клапан Wastegate и его актуатор
5	Калиброванное отверстие («жиклер», jet, restrictor)
6	Турбокомпрессор
7	Фильтр датчика абсолютного давления
8	Air bypass valve (клапан «байпас»)

На рисунке №9 указано подключения пневмоуправления, рисунок подписан, очевидно, его создателем – **zver** (спасибо).

zver

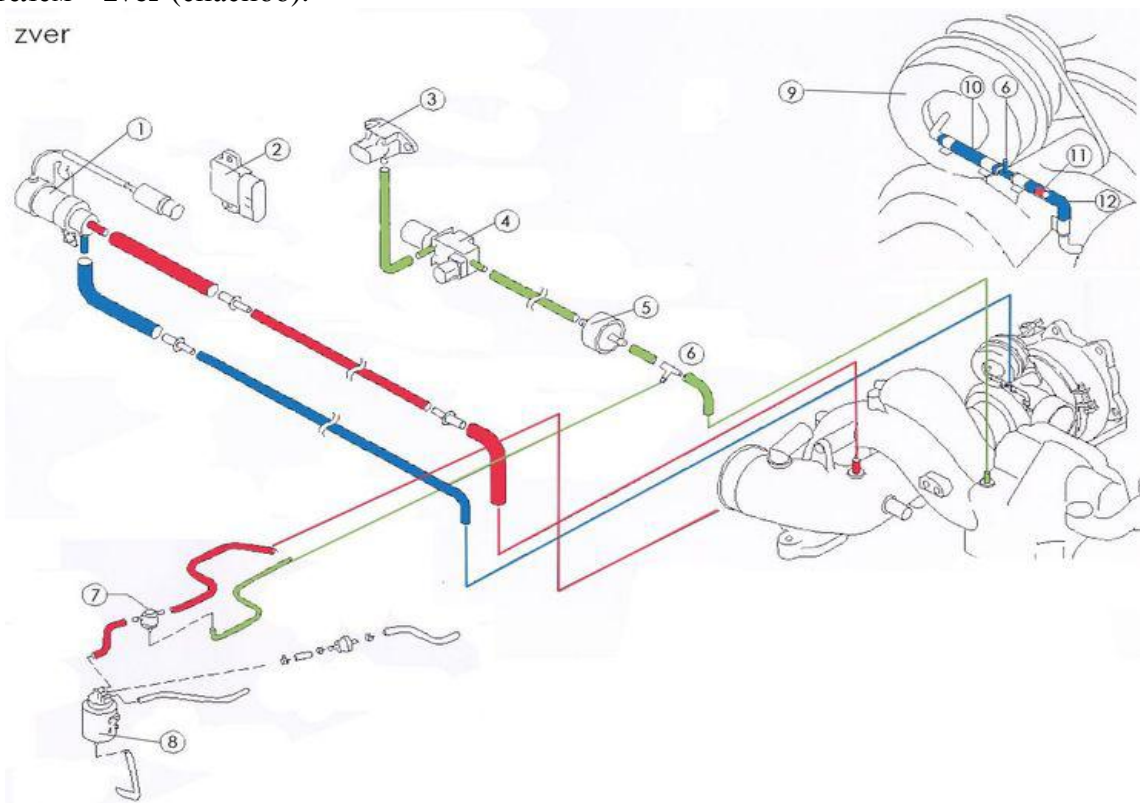


Рисунок 9

Условные обозначения на рисунке 9:

1. Э/м клапан дозирования давления, подводимого на актуатор клапана Wastegate.
2. Igniter (коммутатор) – на первых моделях.
3. Датчик абсолютного давления во впускном коллекторе (MAP sensor).
4. Клапан Wastegate и его актуатор.
5. Фильтр.
6. T-junction, тройник.
7. Капан адсорбера.
8. Адсорбер.
9. Актуатор клапана WasteGate.
10. Трубка
11. Restrictor – «жиклёр»
12. Трубка.