



Глава 25 ГАЗОТУРБИННЫЙ И МЕХАНИЧЕСКИЙ НАДДУВ

Изучение материалов главы 25 позволяет подготовиться к Студенческим сертификационным испытаниям в Технической области «*EP = Engine Performance* = Эксплуатационные качества двигателя», в предметной области (Профессиональные компетенции) «*D*» (Выполнение диагностики и устранение неисправностей систем топливоподачи, снабжения воздухом и удаления отработавших газов); в частности: решать профессиональную задачу: *EP-D-12*: Проверять работу системы управления турбокомпрессором/нагнетателем воздуха; производить необходимые действия по устранению выявленных неисправностей.



По завершении изучения и повторения пройденного материала читатель должен быть готовым:

- Объясните разницу между газотурбинным компрессором и механическим нагнетателем.
- Описать, как повышение уровня давления на впуске позволяет увеличить производительность двигателя.
- Описать процедуры технического обслуживания турбокомпрессоров и нагнетателей.

ПРЕДИСЛОВИЕ

ТРЕБОВАНИЯ К ПОТОКУ ВОЗДУХА

Двигатели без наддува, оснащенные дроссельными заслонками, используют атмосферное давление для проталкивания топливовоздушной смеси в камеру сгорания, в которой создается разрежение нисходящим ходом поршня. Затем смесь, поступившая в цилиндр двигателя, сжимается, улучшая условия воспламенения и распространения фронта пламени. Чем больше сжимается свежий заряд в цилиндре двигателя, тем выше выходная мощность двигателя, возникающая в результате сгорания топлива.

Четырехтактный бензиновый двигатель может втянуть в цилиндр двигателя столько воздуха, сколько позволят геометрические размеры цилиндра двигателя. В то же время, для полного сгорания топлива его количество, введенное в цилиндр двигателя, не должно превышать установленное топливовоздушное со-

отношение: на один килограмм топлива необходимо подавать 14,7 килограммом воздуха. Это значит, что выходная мощность двигателя напрямую зависит от того, сколько воздуха может употребить двигатель, иными словами, от параметров воздушного потока, поступающего в двигатель.

Конструкторы двигателей рассчитывают воздушный поток, поступающий в двигатель, с помощью трех факторов.

1. Рабочего объема двигателя
2. Частоты вращения коленчатого вала, которое обычно выражается в оборотах в минуту (мин^{-1})
3. Объемного коэффициента полезного действия (объемной эффективности)

ОБЪЕМНАЯ ЭФФЕКТИВНОСТЬ

Объемная эффективность (объемный КПД) – это мера того, насколько хорошо двигатель втягивает воздух. Иными словами, объемный КПД – это отношение фактического объема топливовоздушной смеси, поступающей в двигатель, к математически рассчитанному объему воздуха, который может поместиться в цилиндре двигателя.

Объемный КПД выражается в процентах.

Если воздух в цилиндр двигателя втягивать медленно, то цилиндр может быть заполнен до отказа. Процесс заполнения цилиндра займет некоторый промежуток времени, поскольку воздуху потребуются пройти через фильтр, преодолеть все изгибы русла впускного трубопровода, и просочиться через отверстие, сечение которого способен обеспечить впускной клапан, или два впускных клапана.

При работе двигателя время, отводимое на заполнение цилиндра свежим зарядом, ограничено, и это время тем меньше, чем выше скорость вращения коленчатого вала двигателя. На высокой скорости цилиндр двигателя может быть заполнен только на половину, то есть объемный коэффициент приблизительно равен 50%.

Среднестатистический бензиновый двигатель при его работе, ни при каких обстоятельствах не сможет достичь 100% объемной эффективности. Двигатели, использующие самые новейшие технологии, достигают объемной эффективности около 85%, а самые совершенные двигатели гоночных автомобилей достигли эффективности свыше 95%. Эти значения объемной эффективности применимы только для так называемых атмосферных (безнаддувных) двигателей, однако двигатели, оснащенные газотурбинным или механическим нагнетателем, легко преодолевают 100% барьер эффективности.

Многие современные автомобили уже в заводской комплектации оснащены газотурбинным или механическим нагнетателем для увеличения эффективной мощности двигателя.

Смотри рисунки 25-1 и 25-2.



Рисунок 25-1: Механический нагнетатель V-образного двигателя автомобиля Ford; источник: Pearson Education, Inc.



Рисунок 25-2: Газотурбинный нагнетатель на двигателе, применяемом на автомобилях Toyota/Lexus; источник: Pearson Education, Inc.

ПРИНУДИТЕЛЬНАЯ ПОДАЧА ВОЗДУХА (НАДДУВ)

НАЗНАЧЕНИЕ И ПРИНЦИП ДЕЙСТВИЯ

Количество тепловой энергии, выделяемой горячей топливоздушной смесью, во многом зависит от плотности заряда. Плотность заряда – это термин, который используется для характеристики количества топливоздушной смеси, поставляемой в цилиндры.

Плотность вещества – это масса данного вещества, которая способна поместиться в заданном объеме. В отношении плотности газа можно перефразировать это так: Плотность газа – это количества молекул газа, находящихся в замкнутом, единичном объеме.

Смотри рисунок 25-3

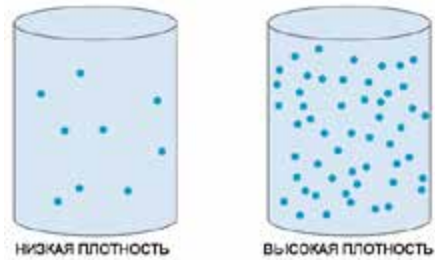


Рисунок 25-3: Чем больше топливоздушной смеси смогли поместить в объем цилиндра автомобильного двигателя, тем больше плотность топливоздушного заряда; источник: Pearson Education, Inc.

Чем больше плотность топливоздушного заряда, помещенного в цилиндр, тем больше тепловой энергии может произвести свежий заряд при его сгорании, и тем большую мощность двигателя можно получить от использования уплотненного заряда.

Двигатель, который использует атмосферное давление для вдавливания свежего заряда, принято называть атмосферным (безнаддувным) двигателем.

Лучшим способом увеличения плотности воздуха, как составной части свежего заряда, является применение воздушных насосов разных типов, таких как турбокомпрессор или нагнетатель.

Когда воздух нагнетается в цилиндр, в нем создается увеличенное давление воздуха. Процесс принудительной подачи сжатого воздуха в цилиндры двигателя путем создания избыточного давления во впускном коллекторе, назван наддувом.

Давление наддува обычно выражается в следующих единицах измерения:

- Паскаль [Па], или [Pa] – системная единица измерения давления, равная усилию в 1 ньютон, прилагаемому к площадке 1 квадратный метр, [Н/м²]
- Мега Паскаль [Мпа], или [MPa] – кратная системная единица измерения давления, равная 1 ньютону, поделенному на 1 квадратный миллиметр, или миллион ньютон, поделенный на один квадратный метр, [МН/м²] или [Н/мм²]
- Бар [бар], или [bar] – внесистемная единица измерения давления, числена равная 10000 паскалей, [1бар = 10⁵Па]
- Техническая атмосфера [ат], или[at] – внесистем-

- ная единица, численно равная 98066,5 Па
- Физическая атмосфера [атм], или [atm] – внесистемная единица, численно равная 101325 Па
- *PSI* [*Pounds per square inch* = фунт на квадратный дюйм] – внесистемная единица давления, применяемая в странах Америки, Австралии, Великобритании, Индии и ряда других стран. $1\text{ psi} = 6894,76\text{ Па}$.

При сжатии воздуха (наддуве) происходит его уплотнение (повышается его плотность), в результате сжатия увеличивается температура сжимаемого воздуха, кроме того, активное движение молекул газа вызывает увеличение давления, которое в физике описывается, как суммарная сила удара молекул газа о стенки сосуда.

Повышение температуры газа вызывает рост его давления, но если газ, находящийся в замкнутом объеме, охладить, давление снизится, но плотность газа не уменьшится, поскольку количество молекул газа в этом замкнутом объеме не изменится. Если же газ находится в открытом пространстве, то с увеличением его температуры происходит снижение плотности газа (количества молекул газа в единичном открытом объеме), а при снижении температуры плотность газа увеличивается.

ПРИНУДИТЕЛЬНОЕ ВВЕДЕНИЕ СВЕЖЕГО ЗАРЯДА

Принудительное введение свежего заряда, в просторечье – наддув – это процесс подачи сжатого воздуха на вход в двигатель внутреннего сгорания. В системах наддува используют воздушный насос, который позволяет плотнее упаковать топливоздушный заряд в цилиндры двигателя.

Поскольку плотность топливоздушного заряда становится больше, происходит следующее:

- Масса топливоздушного заряда становится большей
- Мощность двигателя увеличивается, поскольку она напрямую связана с массой воздушно-топливного заряда, потребляемой в течение заданного периода времени.
- Нагнетаемый под давлением во впускную систему воздух поступает через её отводы и сужения на большей скорости, чем это происходит в двигателе под нормальным атмосферным давлением.

Это дополнительное давление позволяет доставить в

цилиндр двигателя большее количества воздуха, пока впускной клапан цилиндра остается открытым. За счет увеличения количества поступившего в цилиндр воздуха можно добавить в свежий заряд большее количество топлива, не меняя топливоздушного соотношения горючей смеси. Чем большей плотностью обладает топливоздушный заряд, поступающий в двигатель через впускные клапаны, тем большая тепловая энергия выделится при сгорании топлива.

В дополнение к повышенной мощности, полученной в результате сгорания топлива, существует и несколько других преимуществ наддува двигателя; приведем примеры этих преимуществ:

- Наддув увеличивает плотность топливоздушного заряда, и обеспечивает более высокое давление сжатия в случае, когда требуется высокая мощность, но позволяет двигателю работать на более низких давлениях, когда дополнительная мощность не требуется.
- Сжатый воздух выталкивает оставшиеся выхлопных газов из камеры сгорания в период перекрытия впускных и выпускных клапанов. (Перекрытие – это когда оба клапана: и впускной и выпускной, частично открыты, когда поршень находится вблизи верхней мертвой точки (ВМТ) в конце такта выпуска и начале такта впуска.)
- Принудительный поток воздуха и большой отвод горячих выхлопных газов позволяет снизить температуру головки цилиндров, поршней, и клапанов, и помогает продлить срок службы двигателя.

Нагнетатель или турбокомпрессор создает давление воздуха, превышающее атмосферное давление. Давление выше уровня атмосферного давления, или давление наддува, может быть измерено так же, как и атмосферное давление.

Атмосферное давление снижается с увеличением высоты поездки, но давление наддува остается на требуемом уровне.

Рассмотрим следующие условия поездки:

У автомобильного двигателя, находящийся на уровне моря, нагнетатель обеспечивает избыточное давление во впускном коллекторе 83000 Па (83 кПа или 12 *psi*). Водитель совершает путешествие, связанное с подъемом в горы. Поднявшись на высоту 2500 метров над уровнем моря, у его турбированного автомобиля избыточное давления во впускном коллекторе останется неизменным, хотя атмосферное давление на этой высоте снизится с 101523 Па до 73157 Па, при этом плотность окружающего воздуха снизится с 1,2217 кг/м³ до 0,9567 кг/м³.

Если бы водитель совершал эту поездку на автомобиле, оснащенном не турбированным – атмосферным двигателем, то его мощность на высоте 2500 метров над уровнем моря снизилась бы почти на 22%, в то время как мощность двигателя, оснащенного наддувом, останется на уровне 100%.

Смотри рисунок 25-4.

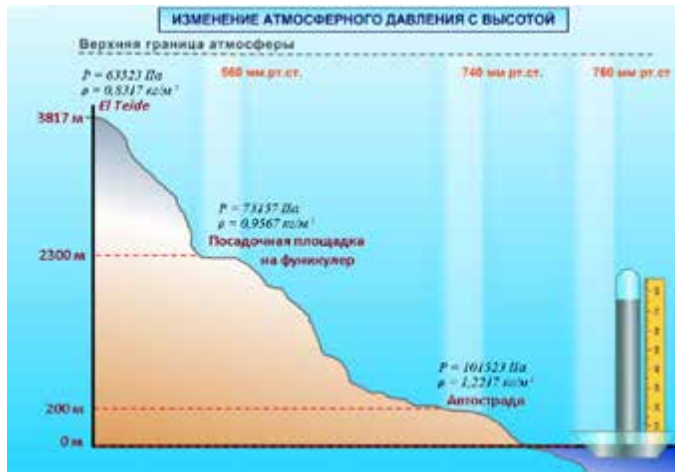


Рисунок 25-4: Поездка по серпантину от автострасы с высоты 200 метров над уровнем моря на высоту 2,3 километра длится 17 километров, но на высоте посадочной площадки мощность атмосферного двигателя снижается на 22%.

НАДУВ И СТЕПЕНЬ СЖАТИЯ

Надув увеличивает количество воздуха, входящего в цилиндр на такте впуска. Этот дополнительный воздух является причиной увеличения эффективной степени сжатия в сравнении с геометрической степенью сжатия, которая определяется математическим расчетом.

Таблица 25-1: Эффективная степень сжатия в сравнении с давлением наддува

ЭФФЕКТИВНАЯ СТЕПЕНЬ СЖАТИЯ ПРИ РАЗЛИЧНЫХ УРОВНЯХ НАДУВА										
СТЕПЕНЬ СЖАТИЯ	ИЗБЫТОЧНОЕ ДАВЛЕНИЕ НА ВЫХОДЕ ИЗ КОМПРЕССОРА (psi/бар)									
	2/ 0,14	3/ 0,21	6/ 0,41	8/ 0,55	10/ 0,69	12/ 0,83	14/ 0,97	16/ 1,10	18/ 1,24	20/ 1,38
6,5	7,4	8,3	9,2	10	10,9	11,8	12,7	13,6	14,5	15,3
7	8	8,9	9,2	10,8	11,8	12,7	13,6	14,5	15,3	16,2
7,5	8,5	9,5	10,6	11,6	12,6	13,6	14,6	15,7	16,7	17,8
8	9,1	10,2	11,3	12,4	13,4	14,5	15,6	16,7	17,8	18,9
8,5	9,7	10,8	12	13,1	14,3	15,4	16,6	17,8	18,9	19,8
9	10,2	11,4	12,7	13,9	15,1	16,3	17,6	18,8	20	21,2
9,5	10,8	12,1	13,4	14,7	16	17,3	18,5	19,8	21,1	22,4
10	11,4	12,7	14,1	15,4	16,8	18,2	19,5	20,9	22,2	23,6

Чем выше давление наддува, тем больше степень сжатия. Это означает, что любые двигатели, которые используют нагнетатель или турбокомпрессор, в конструкцию двигателя должны быть внесены следующие изменения:

- Следует применять кованные поршни, способные выдержать повышенное давление сгорания
- Устанавливают более прочные, чем у обычного двигателя, шатуны
- Применяют масляные распылители (форсунки), которые направляют поток масла к нижней части поршня, тем самым контролируя температуру поршня
- Применяют более низкое значение геометрической степени сжатия, в сравнении с атмосферным двигателем.

Смотри таблицу 25-1.

МЕХАНИЧЕСКИЙ НАГНЕТАТЕЛЬ

ПРЕДИСЛОВИЕ

Механический нагнетатель – приводимый в действие двигателем воздушный насос, который поставляет более чем нормальное количество воздуха во впускной коллектор, и повышает крутящий момент двигателя и его мощность. Механический нагнетатель дает мгновенный прирост мощности без каких-либо задержек. Вместе с тем, механический нагнетатель, поскольку он приводится в действие двигателем, требует отбора мощности от коленчатого вала двигателя, поэтому не столь эффективны, как турбокомпрессор. Механический нагнетатель – это воздушный насос, рабочие органы которого приводятся в движение двигателем. Шестерни, валы, цепи или ремни могут

использоваться в качестве передаточных звеньев для приведения в движение колес или валов компрессора. Это означает, что воздушный насос, или супер-зарядное устройство, нагнетает воздух, масса и температура которого находится в прямой зависимости от частоты вращения двигателя.

ТИПЫ НАГНЕТАТЕЛЕЙ

В автомобилях используются два основных типа механических нагнетателей: коловратные нагнетатели и центробежные нагнетатели.

К коловратным нагнетателям отнесены нагнетатели Рутса, в коловратных нагнетателях газ перемещается внутри корпуса насоса в направлении, перпендикулярном направлению вращения насосных элементов. В нагнетателях Итона и Лисхольма движение газа происходит как в поперечном, так и в продольном направлении оси вращения насосных элементов, поэтому они могут быть условно отнесены как к коловратным, так и к винтовым нагнетателям.

Все перечисленные выше нагнетатели относятся к объемным нагнетателям (насосам), поскольку при перекачке воздуха изменение объема газа внутри насоса не происходит. Перемещение газа внутри насоса вызывает разницу давления на выходе и входе насоса.

Центробежный нагнетатель представляет собой динамический компрессор, в котором газ уплотняется внутри корпуса насоса за счет центробежной силы, поэтому этот тип насосов называется динамическими нагнетателями – компрессорам (от лат. *compressio* — сжатие).

Нагнетатель Рутса.

Названный в честь братьев Филандера и Фрэнсиса Рутсов (*Philander Higley Roots* и *Francis Marion Roots*), из Конерсвилля (*Connersville*), штат Индиана, США, изготовивших первое подобное устройство в 1859 году. Изначально, этот механизм использовался исключительно для вентиляции промышленных помещений и шахт.



РЕМАРКА:

Хотя в этом материале автор объясняет разницу между нагнетателями Рутса, Итона и Лисхольма, автомобилестроители не утруждают себя конструктивными нюансами, называя все нагнетатели объемного типа – нагнетателями Рутса.

В 1885 году известный изобретатель Готтлиб Даймлер получил патент на нагнетатель, работающий по прин-

ципу нагнетателя братьев Рутс, и в 1900 году увидел свет первый серийный автомобиль марки *Daimler-Benz*, оснащенный первым механическим нагнетателем типа Рутс.

В 1949 году другой американский изобретатель, Итон (*Eaton*), улучшил конструкцию нагнетателя – прямозубые лепестковые элементы уступили место косозубым роторам, и воздух начал перемещаться не поперек, а вдоль их осей вращения. С того времени усовершенствование нагнетателей этого типа идет по пути увеличения количества зубчатых лопаток (косозубых роторов). В первоначальной модели Итона (*Eaton*) их было две, а теперь сложно встретить меньше четырех.

В основе работы нагнетателей Рутса лежит прямая перекачка воздуха из одной полости в другую, без сжатия газа воздуха внутри механизма, поэтому роторный нагнетатель Рутса относится к объемным типам нагнетателей.

У этого вида нагнетателей есть ощутимые недостатки. С ростом оборотов двигателя и соответственно, скорости вращения роторов, нагнетатель начинает накачивать воздух слишком интенсивно, и воздух начинает проникать обратно в нагнетатель. Таким образом, с определенной скорости вращения нагнетатель Рутса начинает забирать от двигателя больше мощности, чем двигатель способен прибавить, благодаря работе наддувочного агрегата. Вдобавок к этому, из-за несовершенной формы роторов, воздух подается кратковременными импульсами, образуя во впускном коллекторе колебания давления. Этот недостаток снижает КПД двигателя.

Однако есть и неоспоримые достоинства. В отличие от центробежных нагнетателей, нагнетатели данного типа начинают эффективную работу на низких оборотах двигателя, и продолжают нагнетать сжатый воздух без потери эффективности до оборотов двигателя, приблизительно равным номинальным частотам вращения.



РЕМАРКА:

С увеличением частоты вращения коленчатого вала от минимальной до номинальной скорости происходит увеличение мощности, и при достижении номинальной частоты вращения мощность достигает максимального значения для данного двигателя. Дальнейшее повышение скорости вращения коленчатого вала приводит к снижению мощности двигателя.

Примером использования нагнетателя Итона может служить двигатель *V-6 TFSI* объемом 3,0 литра, уста-

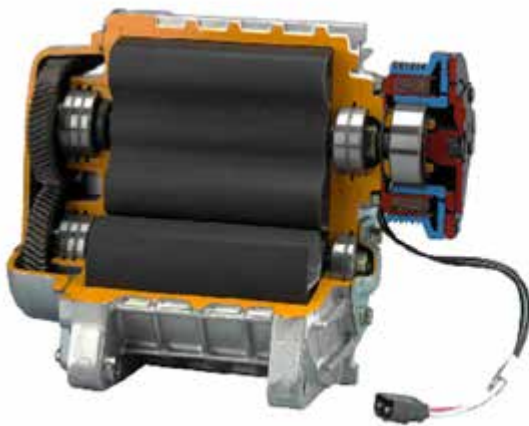


Рисунок 25-5: В нагнетателе Рутса использовались два 2-лепестковых прямозубых ротора, а в нагнетателях Итона используются или два 3-лепестковых косозубых ротора, помещенных в корпус. Воздух втягивается в нагнетатель за счет разрежения, создаваемого при выходе лепестка ротора из впадины между лепестками другого ротора, затем воздух переносится вдоль корпуса впадинами между лепестками, и в нижней части нагнетателя происходит выдавливание воздуха из впадин между лепестками, углубляющимися в эти впадины лепестками соседнего ротора

навливаемый на автомобили семейства *VW-Audi*.
Смотри рисунок 25-5 и 25-6.

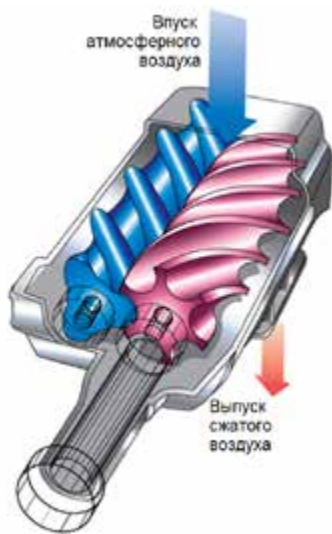


Рисунок 25-6: В нагнетателе Лисхольма (*Lysholm*) используются два ротора с ассиметричными профилями (обратите внимание, что на левом роторе три винтовых лепестка, а на правом роторе – пять винтовых впадин). Подобная конструкция имеет лучшее уплотнение, более высокий в сравнении с нагнетателями Рутса и Итона КПД и наименьший шум работы.



РЕМАРКА:

Двухвинтовой нагнетатель был изобретен Альфом Лисхольмом (*Alf Lysholm*) в 1930-ых, который работал главным инженером в *Svenska Rotor Maskiner AB (SRM)*. Двухвинтовой дизайн был разработан для замены компрессора динамического типа (центробежные и осевые турбины), для установки на форсированные двигатели.

Центробежный нагнетатель.

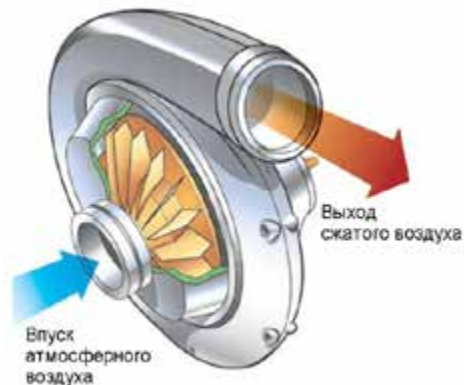


Рисунок 25-7: Центробежный нагнетатель, представляет собой корпус с расширяющимся объемом – «улиткой», внутри которой вращается центробежная крыльчатка. Воздух попадает в центральное отверстие корпуса и затем отбрасывается в стороны от центра быстро вращающейся крыльчаткой компрессора.

Центробежный нагнетатель похож на ту часть газотурбинного компрессора, которая отвечает за подачу сжатого воздуха в двигатель, однако механический центробежный нагнетатель приводится в действие от маховика двигателя, в то время как газотурбинный нагнетатель приводится в действие горячими выхлопными газами. Центробежный компрессор является нагнетателем динамического типа, поскольку внутри корпуса нагнетателя происходит увеличение давления за счет центробежной силы вращающегося с высокой скоростью газа.

Воздух поступает в центробежный нагнетатель через входной патрубок, расположенный в центральной части нагнетателя, и отбрасывается к наружным краям рабочего колеса компрессора, вращающегося с высокой скоростью, из-за центробежной силы. Чем выше скорость вращения рабочего колеса центробежного компрессора, тем выше эффективность нагнетателя, и тем большее сжатие газа он способен обеспечить. Скорость вращения рабочего колеса центробежного компрессора должна быть выше частоты вращения коленчатого вала двигателя, поэтому для вращения рабочего колеса используется ременная передача, увеличивающая скорость вращения за счет разницы диаметров ведущего и ведомого шкива, плюс, внутри нагнетателя расположен повышающий редуктор, обеспечивающий скорость вращения рабочего колеса примерно в семь раз больше скорости вращения коленчатого вала двигателя.

Смотри рисунок 25-8.

Примерами центробежных нагнетателей являются *Vortech* и *Paxton*.

Смотри рисунок 25-9.



Рисунок 27-8: Передаточное число внутреннего редуктора центробежного нагнетателя позволяет уже на низких скоростях вращения коленчатого вала получить приемлемое давление наддува, необходимое для разгона двигателя.

УПРАВЛЕНИЕ ПРИВОДНЫМ НАГНЕТАТЕЛЕМ

В заводскую комплектацию многих систем наддува включен перепускной клапан, позволяющий осуществлять забор воздуха непосредственно во впускной коллектор, в обход нагнетателя. Исполнительное устройство, приводящее в действие перепускной клапан, управляется компьютером.

Смотри рисунок 25-10.

Воздушный поток направляется вокруг нагнетателя всякий раз, когда возникает любое из следующих условий:

- Давление наддува, которое измеряется MAP датчиком (MAP = Manifold Absolute Pressure), показывает, что давление во впускном коллекторе достигает заданного уровня наддува.



Рисунок 24-9: Установка центробежного приводного компрессора *Vortech* (слева) и *Paxton* (справа) в подкапотном пространстве автомобилей.

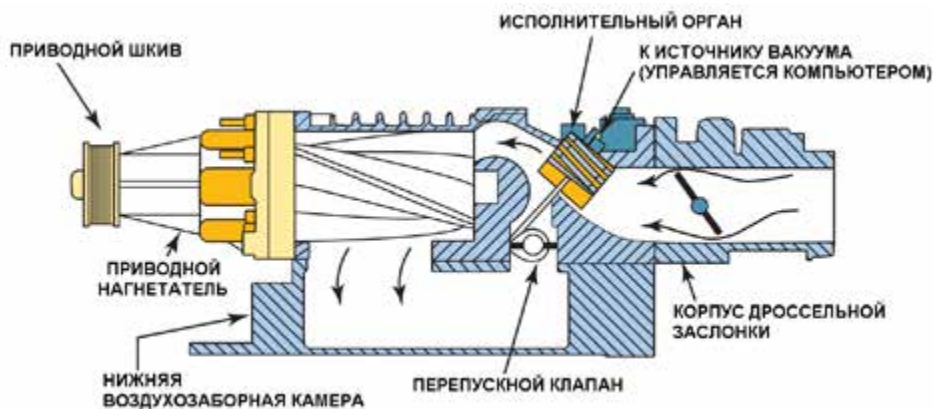


Рисунок 25-10: Исполнительный орган открывает перепускной клапан, управляя давлением наддува; источник: *Pearson Education, Inc.*

- Во время замедления, чтобы предотвратить чрезмерное нарастание давления во впускном коллекторе из-за высокой скорости вращения нагнетателя.
- Включается передача заднего хода, или рычаг селектора переводится в позицию «R».

ОБСЛУЖИВАНИЕ НАДДУВОЧНОГО АГРЕГАТА



Рисунок 25-11: На автомобиле *Ford* используется приводной нагнетатель Руста и охладитель воздушного заряда (интеркулер), расположенный под нагнетателем. Охладитель воздушного заряда используется для снижения температуры сжатого воздуха перед его подачей в двигатель, чтобы увеличить плотность воздуха в свежем заряде; источник: *Pearson Education, Inc.*

Нагнетатели обычно смазываются синтетическим моторным маслом, поступающим из системы смазки двигателя. Уровень моторного масла в картере двигателя необходимо регулярно проверять, и заменять масло с периодичностью, указанной производителем транспортного средства или производителем наддувочного агрегата. Приводной ремень также следует проверять и заменять по мере необходимости. Воздушный фильтр подлежит регулярной замене, и всегда следует использовать фильтр, рекомендованный для использования в двигателе, оснащенном наддувом.

Многие производители систем наддува используют обособленную систему охлаждения воздушного заряда в теплообменнике, расположенном под нагнетателем.

Обязательно ознакомьтесь с сервисной информацией для точного соблюдения сервисных процедур, и последовательности обслуживания, которой следует придерживаться.

Смотри рисунок 25-11.

ТЕХНИЧЕСКИЙ СОВЕТ

Быстрое движение – больше воздуха

Одним из высокоэффективных мер, которые могут быть использованы для увеличения мощности, производимой с помощью приводного нагнетателя, установить меньший диаметр приводного шкива на валу нагнетателя. Чем меньше диаметр приводного шкива, тем быстрее будут вращаться роторы нагнетателя, и тем выше будет потенциал давления наддува. Подобное изменение может сильно перегрузить приводной ремень, а дополнительное усилие может привести к серьёзным повреждениям двигателя.

ГАЗОТУРБИННЫЙ НАДДУВ

ПРЕДИСЛОВИЕ

Основной недостаток приводного нагнетателя состоит в том, что он берет на себя часть мощности двигателя, необходимую для приведения в действие насосного колеса наддувочного агрегата. В некоторых случаях приводной нагнетатель забирает более 20% вырабатываемой двигателем мощности. Для приведения в действие газотурбинный нагнетатель использует тепловую энергию выхлопных газов, не отбирая механическую энергию, производимую двигателем.

В обычном атмосферном двигателе распределение тепловой энергии происходит следующим образом:

- Около 25% тепловой энергии уходит в систему охлаждения двигателя.
- Около 50% тепловой энергии улетучивается вместе с отработавшими газами
- И только около 25% тепловой энергии может быть конвертировано в механическую энергию.

Попытка использования энергии выхлопных газов наткнется на проблему: ограничение свободного хода выхлопных газов в выпускной системе неизбежно приводит к потере мощности двигателем. Однако эта потерянная мощность легко компенсируется тем, что от 40% до 50% тепловой энергии выхлопных газов может быть регенерировано в полезную работу.

Механический нагнетатель забирает часть выходной мощности (механической энергии), но повышает мощность двигателя на низких частотах вращения коленчатого вала двигателя. Газотурбинный наддув отбирает часть тепловой энергии у выхлопных газов, преобразуя эту тепловую энергию в полезную механическую энергию.

Смотри рисунок 25-12.



Рисунок 25-12: Газотурбинный нагнетатель использует ту часть тепла, которая обычно уносится с выхлопными газами в окружающую среду; источник: Pearson Education, Inc.

ПРИНЦИП ДЕЙСТВИЯ

Центробежный нагнетатель газотурбинного нагнетателя, внешне напоминающий улитку, не существенных конструктивных отличий от центробежного нагнетателя, приводимого в действие мощностью двигателя. Но газотурбинный нагнетатель содержит вторую «улитку», которая является источником механической энергии для приведения в действие центробежного нагнетателя.

Горячий поток выхлопных газов из камеры сгорания направляется на турбинное колесо. Горячие газы, покидающие цилиндр двигателя, получают возможность расширения.

Существует ошибочное мнение, что турбинное колесо вращается за счет скорости движения горящих газов. Это не так, турбинное колесо вращается за счет расширения выхлопных газов, выходящих с лопаток турбинного колеса. Расширяясь, выхлопные газы охлаждаются, и высвобождающаяся тепловая энергия преобразуется турбинным колесом в механическую энергию вращения.



РЕМАРКА:

Представьте, что за турбинным колесом будет не расширение канала для прохода выхлопных газов, а сужение. Как Вы считаете, будет вращаться турбинное колесо?

Самолет поднимается за счет разницы давлений под крылом и над крылом. Мысленно представим поршень, площадь которого равна площади крыльев самолета, и установим разницу давлений за поршнем и перед поршнем. Эта разница давлений, помноженная на площадь поршня, и будет подъемной силой.

Вертолет ввинчивается в воздух, толкая его вниз. Над винтом, площадь которого из-за быстрого вращения достаточно велика, создается разрежение, под винтом – избыточное давление, которое толкает винт, а вместе с ним и вертолет вверх.

Аэродинамическое сопротивление движению автомобиля возрастает с увеличением скорости его движения, и это происходит за счет разницы давлений перед автомобилем и за автомобилем. Представьте поршень, площадь которого равна площади поперечного сечения автомобиля, и приложите к этому поршню разность давлений.

Точно так же можно представить принцип работы турбинного колеса. Перед турбинным колесом высокое давление – за турбинным колесом низкое давление; лопатки турбины – маленькие поршни.

Расширение газа сопровождается падением его температуры, поскольку температура газа – эквивалент внутренней энергии, запасенной газом. Расширение газа внутри цилиндра двигателя сопровождается быстрым охлаждением горящих газов, но в поршневом двигателе только 25% теплоты, превращается в полезную работу за счет снижения температуры газов (отбор 25% внутренней энергии горящих газов). Это значит, что выходящие из двигателя выхлопные газы обладают очень высокой внутренней энергией, и газотурбинный нагнетатель отбирает эту энергию, преобразуя тепловую энергию в потенциальную энергию сжатого воздуха.

Газотурбинный нагнетатель состоит из двух основных частей, внешне напоминающие улитки. Одна улитка призвана преобразовать энергию выхлопного газа в механическую энергию вращения турбинного колеса, вторая улитка предназначена для сжатия поступающего воздуха в центробежном компрессоре, обеспечивая его запасом потенциальной энергии сжатого газа.

Третьей частью газотурбинного нагнетателя является подшипниковый узел, который поддерживает вал, соединяющий турбинное колесо и рабочее колесо нагнетателя.

Смотри рисунок 25-13.

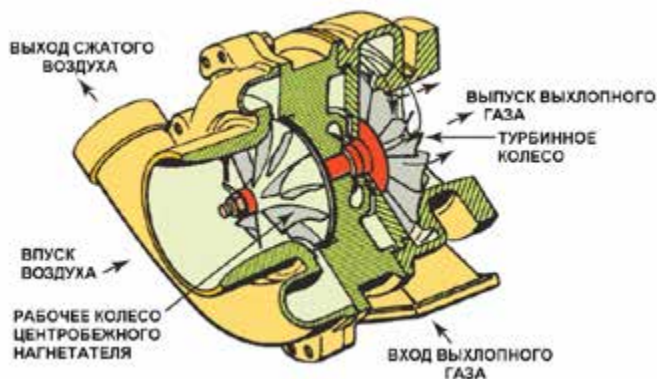


Рисунок 25-13: Турбинное колесо вращается за счет расширения выхлопных газов; источник: *Pearson Education, Inc.*

Чтобы в полной мере воспользоваться теплотой выхлопных газов, которая обеспечивает энергию вращения, турбокомпрессор должен быть расположен как можно ближе к выпускному коллектору. Это позволяет горячим выхлопным газам поступать сразу же в турбину, с минимальными потерями теплоты на пути следования выхлопных газов. Попадая внутрь газовой турбины, выхлопные газы вращают турбинное колесо. Турбинное колесо находится на одном валу с рабочим колесом нагнетателя, поэтому эти колеса враща-

ются с одинаковой скоростью. Вращающееся рабочее колесо нагнетателя втягивает воздух через впускное окно, находящееся в центральной части компрессора, а центробежная сила отбрасывает поступивший воздух к краям колеса, где воздух уплотняется, и выходит из компрессора через выпускное отверстие.

Вал, соединяющий турбинное колесо и рабочее колесо нагнетателя, установлен на двух подшипниках скольжения, которые смазываются моторным маслом, поступающим из системы смазки двигателя под давлением.

Смотри рисунок 25-14.

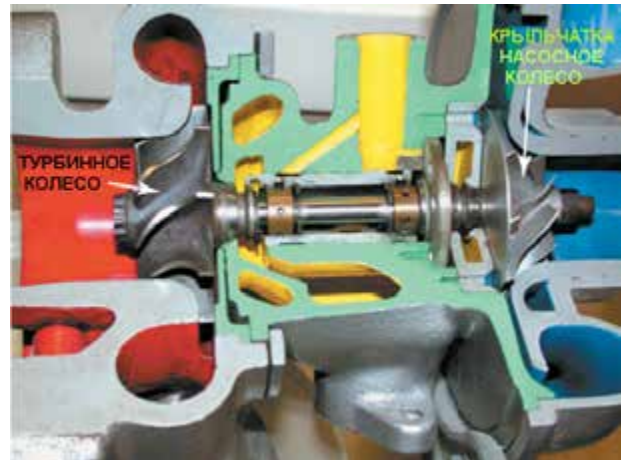


Рисунок 25-14: Турбинное колесо, приводимое в движение выхлопными газами (слева), соединено с рабочим колесом нагнетателя (справа) через вал. Втулки, поддерживающие вал, смазываются моторным маслом под давлением; источник: *Pearson Education, Inc.*

Оба колеса, и турбинное и насосное, должны работать с минимальными зазорами между колесом и корпусом, чтобы избежать утечек газов вдоль их лопаток. Любая утечка вдоль турбинных лопаток вызывает бесполезное рассеивание тепловой энергии, необходимой для вращения компрессора. Утечки вдоль лопаток компрессора не позволяют турбокомпрессору развить необходимое полное давление наддува.

ЭКСПЛУАТАЦИЯ ТУРБОКОМПРЕССОРА

После запуска двигателя и при работе на низких частотах вращения теплота выхлопных газов и их давление низки, и турбинное колесо вращается на скорости около 1000 оборотов в минуту (мин^{-1}). Поскольку рабочее колесо компрессора не достигает достаточно быстрых частот вращения, чтобы обеспечить давление наддува, воздух просто проходит через него, и двигатель работает, как и любой атмосферный двигатель. Как только скорость вращения коленчатого вала увеличивается, или возрастает нагрузка на двигатель,

увеличившаяся теплота выхлопных газов и увеличение расхода воздуха заставляет колесо турбины и рабочее колесо компрессора вращаться быстрее. Пока нет условий, тормозящих вращение, и сопротивления вращению вала турбокомпрессора невелико, колеса турбины и компрессора разгоняются очень быстро, как только увеличивается тепловая энергия выхлопных газов. Если двигатель работает с полной нагрузкой, турбинное и рабочее колесо типичного турбокомпрессора развивает скорость вращения от 100 000 до 150 000 мин⁻¹ (оборотов в минуту).

Турбокомпрессор смазывается моторным маслом через масляную магистраль, подключенную к средней части между подшипниками, поддерживающими вал турбокомпрессора.

Смотри рисунок 25-15.



Рисунок 25-15: Моторное масло подается к центральной части турбокомпрессора, где происходит подача смазки к втулкам вала, и возвращается в масляный поддон через обратную линию; источник: *Pearson Education, Inc.*

Замедление вращения коленчатого вала двигателя при переходе от режима полной нагрузки до режима холостого хода происходит за одну-две секунды, поскольку двигатель испытывает внутреннее сопротивление вращению, сопротивление, вызванное насосными ходами поршня, и сопротивления вращению в агрегатах трансмиссии. В то же время турбокомпрессор не испытывает такого сопротивления вращению его вала, и вал турбокомпрессора продолжает вращаться со скоростью, многократно превышающей скорость вращения коленчатого вала двигателя. В результате, замедление скорости вращения вала турбокомпрессора до скорости режима ожидания нагрузки (около 1000 мин⁻¹) может занять минуту или больше, после того как двигатель вернется в режим холостого хода.

Если коленчатый вал двигателя быстро замедляется до скорости вращения холостого хода, и его сразу же

останавливают, смазка из двигателя перестает поступать к центру корпуса подшипников турбокомпрессора, а вал турбокомпрессора по-прежнему вращается со скоростью несколько десятков тысяч оборотов в минуту. Масло, поступившее к подшипникам вала турбокомпрессора, очень быстро перегревается, и происходит образование нагара или выпадение лаковых отложений (продуктов окисления масла). Нагар и лаковые отложения очень быстро закупоривают масляные проходы, значительно сокращая продолжительность жизни турбокомпрессора.

Высокие скорости вращения вала турбокомпрессора и критически малые зазоры между корпусными деталями и крыльчатками турбинного и насосного колес турбокомпрессора требуют критически малых зазоров к подшипникам.

- Радиальные зазоры в подшипниках турбокомпрессора должны лежать в пределах от 0,08 до 0,15 мм.
- Осевой люфт вала турбокомпрессора должен поддерживаться на уровне от 0,025 до 0,08 мм.

При своевременном и качественном обслуживании турбокомпрессор является беспроблемным устройством. Однако, чтобы предотвратить возникновение проблем, должны выполняться следующие условия.

- При работе турбокомпрессора его подшипники должны непрерывно получать чистое моторное масло. Турбированные двигатели, как правило, имеют укороченные интервалы замены масла, по сравнению с интервалами смены масла у атмосферных двигателей. Всегда используйте только рекомендованное производителем моторное масло, которое, как правило, является синтетическим, и рекомендовано для применения на турбированных двигателях конкретных марок транспортных средств.
- Частицы нагара и другие загрязнения не должны попадать в корпуса турбины и компрессора, поэтому очистку впускного и выпускного коллектора турбированного двигателя нужно производить только при отсоединенном турбокомпрессоре.
- Всякий раз, когда производится ремонт двигателя, связанный с повреждениями коренных или шатунных подшипников, повреждениями подшипников распределительного вала или износом коромысел или кулачков распределительного вала, турбокомпрессор должен быть промыт потоком чистого моторного масла, даже если в ходе ремонта производилась замена его подшипников.
- Если происходит замена турбокомпрессора в связи с его повреждением, в рамках ремонтных про-

цедур следует заменить моторное масло в двигателе, и сменить все фильтрующие элементы.

Более поздние модели турбокомпрессоров оснащены жидкостным охлаждением центральных подшипников вала турбокомпрессора для предотвращения их теплового повреждения. В турбокомпрессоре с жидкостным охлаждением охлаждающая жидкость из системы охлаждения двигателя циркулирует через литые каналы, выполненные в центральной части корпуса, отводя излишки тепла от нагретых деталей. Это позволяет обеспечивать более качественные условия работы подшипникам, и предотвращает образование нагара и лаковых отложений в центральной части и каналах смазки подшипников.

РАЗМЕРЫ ТУРБОКОМПРЕССОРОВ И ВРЕМЯ ОТКЛИКА

Между увеличением скорости вращения коленчатого вала двигателя и началом разгона колес турбокомпрессора существует некоторый временной интервал, именуемый временем задержки (Time Lag = в просторечье – «провал»). Эта задержка между ускорением и должным откликом газотурбинного наддува называется турбо лагом (в просторечье – турбо-ямой).

Как и любое материальное тело, движущиеся выхлопные газы обладают инерцией. Инерция также присутствует в колесах турбины и компрессора, а также

как и у воздушного потока, движущегося в воздушной магистрали. В отличие от приводного нагнетателя, турбокомпрессор не может обеспечить адекватное увеличение давления наддува на низкой скорости вращения рабочего колеса. Время отклика турбокомпрессора напрямую зависит от размера турбинного и насосного колеса. Маленькие колеса быстро разгоняются; большие колеса разгоняются медленно.

Может показаться, что применение маленьких колес – более выгодно, но маленькие колеса не могут обеспечить необходимой массой воздуха работающий на полной мощности двигатель.

Чтобы свести к минимуму турбо лаг, возможности впускных и выпускных трактов, и режимы мощности двигателя должен быть согласованы с возможностями турбокомпрессора по использованию потока выхлопного газа, возможностями впуска приточного воздуха и подачи сжатого в компрессоре воздуха в цилиндры двигателя.

УПРАВЛЕНИЕ НАДДУВОМ

НАЗНАЧЕНИЕ И ПРИНЦИП ДЕЙСТВИЯ

Обе системы – и с приводным нагнетателем, и с турбокомпрессором – должны решать одну задачу: как быстро создать во впускном коллекторе давление воз-

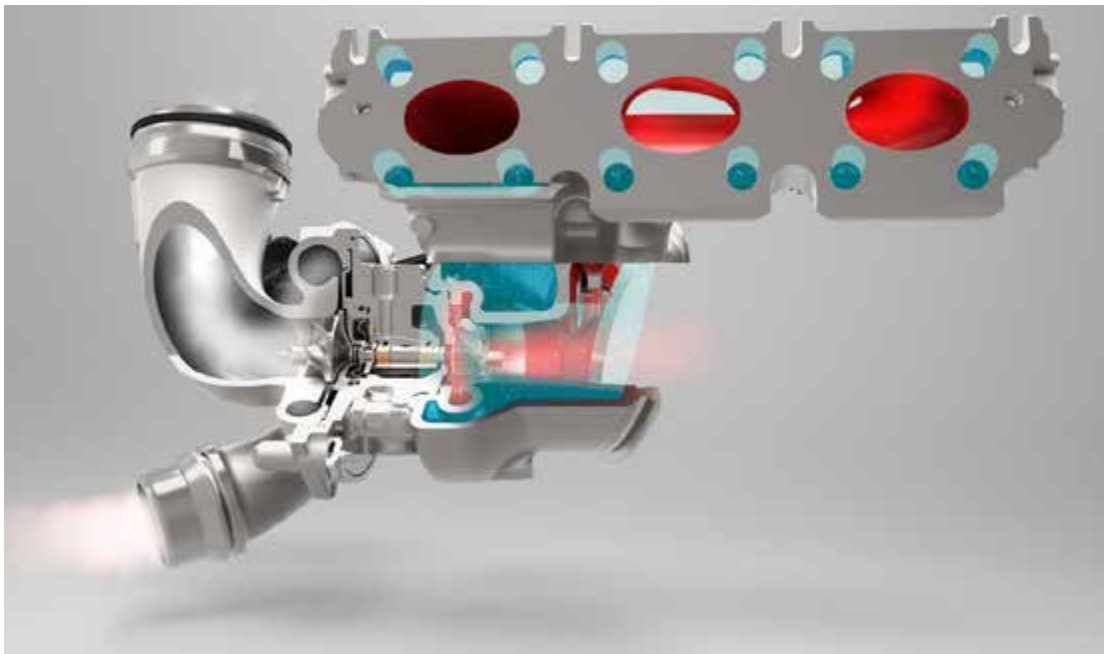


Рисунок 25-16: Современные турбокомпрессоры оснащены жидкостной рубашкой охлаждения, омывающей не только центральную часть, в которой установлены подшипники, но и корпус турбины, предотвращая чрезмерный нагрев деталей, и увеличение продолжительности жизни турбокомпрессора; источник: *Continental Corporation*

духа, превышающее атмосферное давление. Это увеличенное давление во впускном коллекторе позволяет подать в камеры сгорания двигателя дополнительный воздух, в сравнении с количеством воздуха, поступающего в цилиндры атмосферного двигателя. Дополнительный свежий заряд увеличивает мощность двигателя.

Величину «наддува» (или превышение давления во впускном коллекторе над атмосферным давлением) измеряется в барах, атмосферах, фунтах на квадратный дюйм (*psi*), в миллиметрах ртутного столба (мм рт. ст.). Величина наддува не должна зависеть от высоты над уровнем моря, барометрического давления и температуры окружающего воздуха.

Приведем ряд сравнений единиц измерения.

1 бар = 14,7 *psi*

1 бар = 1,02 кг/см²

1 бар = 100000 Па

1 бар = 750,1 мм рт. ст.

1 кг/см² = 14,22 *psi*

1 кг/см² = 735,6 мм рт. ст.

1 *psi* = 51,71 мм рт. ст.

1 *psi* = 0,06895 бар

1 *psi* = 0,07031 кг/см²

1 *psi* = 6895 Па

ФАКТОРЫ ДАВЛЕНИЯ НАДДУВА

Чем выше уровень наддува (давления), тем больше производительность двигателя. Тем не менее, при увеличении давления наддува необходимо учесть ряд других факторов.

1. Если повысить давление наддува, температура сжатого в компрессоре воздуха тоже увеличится.

2. Так как температура воздуха повышается, температура горения тоже возрастет, и это увеличивает вероятность возникновения детонации.

3. Мощность может быть увеличена путем охлаждения сжатого воздуха после его выхода из турбокомпрессора. Мощность двигателя увеличивается примерно на 2%...2,5% при охлаждении сжатого в компрессоре воздуха на каждые 10°C. Типичное устройство охлаждения подаваемого в двигатель воздуха получила название промежуточного охладителя, в обиходе именуемый «интеркулером». Внешне он похож на радиатор, в котором наружный воздух, омывающий соты радиатора, охлаждает внутренний, нагретый в нагнетателе, сжатый воздух. Промежу-

точный охладитель (интеркулер) устанавливается на пути следования сжатого воздуха их нагнетателя во впускной коллектор.

Смотри рисунок 25-17.



Рисунок 25-17: Устройство, установленное в верхней части моторного отсека этой Субару, который выглядит как радиатор - это и есть промежуточный охладитель (интеркулер), в котором охлаждается сжатый турбокомпрессором воздух; источник: *Pearson Education, Inc.*

На некоторых спортивных автомобилях производители применяют систему, в которой воздух охлаждается жидкостью из системы охлаждения.

4. Если давление наддува будет неограниченно расти, температура и давление в камере сгорания будет также неограниченно увеличиваться, что может привести к серьезным поломкам двигателя. Максимальная температура выхлопных газов не должна превышать 850°C. Более высокие температуры снижают долговечность работы турбокомпрессора и двигателя.

РЕГУЛЯТОР ДАВЛЕНИЯ НАДДУВА

Турбокомпрессоры используют выхлопные газы для увеличения давления наддува, которое заставляет двигатель производить больше выхлопных газов, что в свою очередь повышает давление наддува турбокомпрессора. Чтобы не допустить форсирования и серьезного повреждения двигателя, большинство турбокомпрессоров снабжены системой регулирования давления наддува. Перепускной клапан похож на дверь, которую можно открыть и закрыть.

Клапан регулирования наддува – это перепускной клапан выхлопных газов на входе в турбину, который позволяет всем выхлопным газам поступить в турбину, или клапан может направить часть выхлопных газов мимо турбины в выхлопную систему.

Если клапан закрыт, все выхлопные газы поступают в турбокомпрессор.

Когда развивается заданное давление наддува и сжатый воздух поступает во впускной коллектор, перепускной клапан открывается. Как только перепускной клапан открывается, большая часть выхлопных газов поступает непосредственно в выхлопную систему, минуя турбокомпрессор. Если меньшее количество выхлопных газов протекает через лопасти турбокомпрессора, турбокомпрессор снижает скорость, и давление наддува уменьшается. Когда давление наддува снижается, перепускной клапан закрывается, чтобы направить весь поток выхлопных газов через лопасти турбокомпрессора, чтобы снова позволить повыситься давлению наддува.

Операция регулирования давления наддува представляет собой непрерывный процесс контроля давления наддува. Перепускной клапан – это исполнительное устройство системы регулировки давления наддува, развиваемого турбокомпрессором. Как правило, давление наддува регулируется перепускным клапаном, положение которого контролируется модулем управления двигателем посредством электромагнитного клапана, именуемого соленоидным клапаном управления наддувом.

Смотри рисунок 25-18.

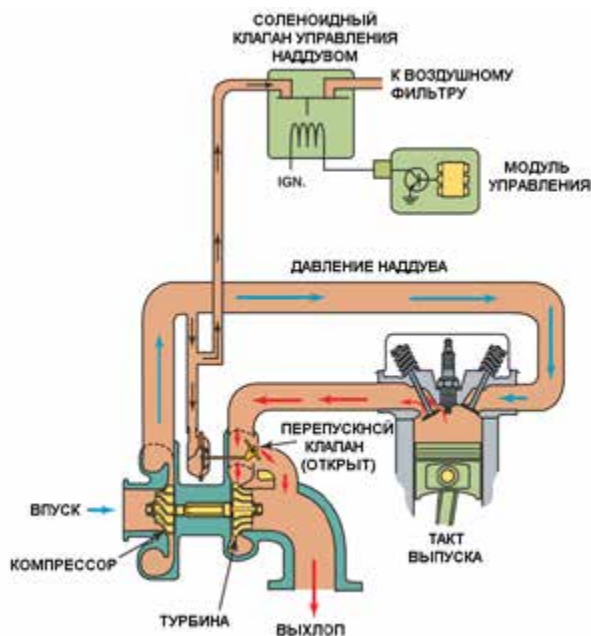


Рисунок 25-18: Перепускной клапан используется на многих двигателях с турбонаддувом, чтобы контролировать максимальное давление наддува. Перепускной клапан управляется с помощью соленоидного клапана, управляемого компьютером; источник: *Pearson Education, Inc.*

РАЗГРУЗОЧНЫЕ КЛАПАНЫ

Перепускной клапан управляет давлением наддува на стороне подачи выхлопного газа в турбокомпрессор. Разгрузочный клапан управляем давлением наддува на стороне подачи сжатого воздуха в цилиндры двигателя.

Разгрузочный клапан сбрасывает воздух, находящийся под давлением, на его пути от компрессора к дроссельной заслонке. Как правило, разгрузочный клапан срабатывает в тот момент, когда водитель отпускает педаль газа, и дроссельная заслонка быстро закрывается. Такое явление происходит очень часто во время переключения передач вручную.

Если не сбросить давление во впускном тракте, насосное колесо турбокомпрессора будет тормозиться обратным потоком сжатого воздуха, и его скорость вращения серьезно замедлится. Повторное нажатие на педаль газа, например, после переключения передачи, будет сопровождаться временной задержкой – «провалом».

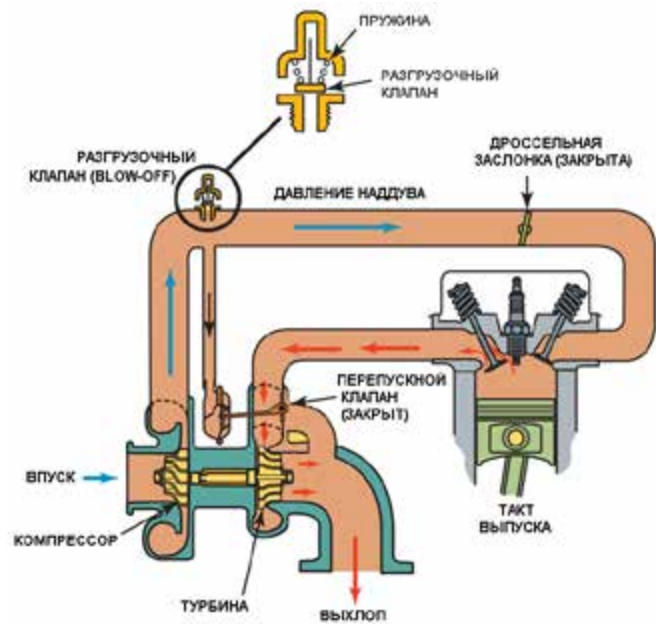


Рисунок 25-19: Клапан сброса давления (блэу офф) используется в некоторых системах газотурбинного наддува для того чтобы сбросить давление наддува во время замедления; источник: *Pearson Education, Inc.*

Существует два основных типа разгрузочных клапанов.

1. Компрессорный перепускной клапан (CBV).

Это типа разгрузочного клапана направляет сжатый воздух к впускной части турбокомпрессора для повторного его использования и обеспечения тишины во время его срабатывания

2. Клапан сброса «Блоу-офф (BOV)».

Разгрузочный клапан, именуемый клапаном сброса или выпускным клапаном, имеет регулируемую пружину, которая удерживает клапан закрытым до тех пор, пока не произойдет быстрого закрытия дроссельной заслонки. Резкое повышение давления вынуждает клапан открыться, выпуская сжатый воздух непосредственно в атмосферу.

Этот тип клапана сброса создает шум во время его срабатывания, так как издает свистящий звук, когда клапан открывается.

Смотри рисунок 25-19.



ТЕХНИЧЕСКИЙ СОВЕТ

Давление появляется только в результате ограничения

Давление наддува турбокомпрессора (или нагнетатель), обычно измеряется в барах. Если головка блока цилиндров имеет сужение из-за небольших впускных портов и клапанов, турбокомпрессор будет быстро формировать давление наддува. В результате воздух выталкивается из компрессора в головки цилиндров, но не может достаточно быстро проникнуть в цилиндры, и формируемая нагонная волна во впускном коллекторе быстро увеличивает давление наддува.

Если у двигателя большие клапаны и впускные каналы, турбокомпрессор может поставить в двигатель гораздо больший объем воздуха при меньшем давлении наддува, в отличие от идентичного двигателя с маленькими клапанами и впускными каналами.

Это значит, что, за счет увеличения размера клапанов, двигатель с газотурбинным наддувом или механическим наддувом способен произвести большую мощность, не увеличивая давление наддува.



ТЕХНИЧЕСКИЙ СОВЕТ

Если один хорошо, два ещё лучше

Турбокомпрессор использует тепловую энергию выхлопных газов от двигателя, чтобы раскрутить турбину, которая соединена с крыльчаткой компрессора внутри турбокомпрессора. Эта крыльчатка, вращаясь с высокой скоростью, поставляет в двигатель воздух в больших объемах и при повышенном давлении в сравнении с возможностями потребления воздуха атмосферными двигателями.

Чем больше воздуха может быть поставлено в цилиндр, тем большую мощность можно получить от двигателя, то есть турбированный двигатель обла-

дает большим потенциалом.

V-образный двигатель имеет два выпускных коллектора, поэтому подобный двигатель может быть легко оснащен двумя небольшими турбокомпрессорами, способными посылать в двигатель большое количество воздуха в относительно короткие промежутки времени.

Смотри рисунок 25-19.



Рисунок 25-19: Двойной наддув применяют на V-образных двигателях небольшого объема для получения высокой мощности от относительно небольшого двигателя; источник: Pearson Education, Inc.

ТУРБОКОМПРЕССОР С ИЗМЕНЯЕМОЙ ГЕОМЕТРИЕЙ

ПРИНЦИП РАБОТЫ ТУРБИНЫ С ИЗМЕНЯЕМОЙ ГЕОМЕТРИЕЙ

Изменение сечения между направляющими лепестками изменяет скорость движения отработанных газов. Принцип работы турбокомпрессора с изменяемой геометрией состоит в изменении сечения на входе отработавших газов на лопатки турбины с целью оптимизировать мощность турбины для заданной нагрузки на двигатель.

При низких оборотах двигателя и поток отработанных газов мал, и он не способен раскрутить турбину достаточно быстро, чтобы подать необходимое количество воздуха для необходимого ускорения. Если водитель резко нажимает на педаль газа, модуль управления двигателем понимает это, как желание водителя быстро разогнать автомобиль, и двигатель должен поставить максимально возможную мощность. 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 «протискиваться» через узкий коридор, что заставляет отработанные газы двигаться быстрее.

В результате обороты турбины возрастают и увеличивается давление наддува. Таким образом, удается увеличить скорость вращения турбины без резкого увеличения объема отработанных газов.

На полной скорости работы двигателя и при высоком уровне газового потока турбокомпрессор раздвигает направляющие лепестки, защищая себя от превышения оборотов и турбина с изменяемой геометрией поддерживая давление наддува на уровне необходимом двигателю.

Изменение площади сечения (расстояния между направляющими элементами) может управляться непосредственно давлением турбины с помощью привода, с помощью вакуумного регулятора или шагового электромотора.

ОТКАЗЫ В РАБОТЕ ТУРБОКОМПРЕССОРА

СИМПТОМЫ НЕИСПРАВНОСТЕЙ

Когда турбокомпрессор не в состоянии функционировать должным образом, происходит заметное падение мощности. Для восстановления правильной работы турбокомпрессора необходимо, прежде всего, выяснить причину неисправной работы, для этого необхо-

димо турбокомпрессор перебрать, отремонтировать или заменить.

Невозможно удалить турбокомпрессор, подключить трубопроводы напрямую, и закрыть заглушками «лишние» отверстия, подобное действие приведет к значительному снижению мощности, колоссальному перерасходу топлива и, в конечном счете, поломки двигателя и его компонентов.

Повышенный шум работы турбокомпрессора, как правило, связан с износом подшипников, что является наиболее частой причиной беспокойства клиента, но замену подшипника можно произвести только в специализированной мастерской во время полной переборки турбокомпрессора.

Еще одна распространенная проблема турбокомпрессора – чрезмерный и постоянный расход масла, в результате чего из выхлопной трубы выходит синий дым.

В турбокомпрессорах используются небольшие колечки, похожие на поршневые кольца, надетые на вал для предотвращения поступления выхлопных газов в центральную часть турбокомпрессора, в котором находятся подшипники.

Если уплотнения не в состоянии удерживать масло, чрезмерное потребление масла обычно связывают со следующими проблемами:

1. Засоренная система принудительной вентиляции картера (*PCV*) приведет к чрезмерному повышению давления в картере, и поступлению моторного масла в систему впуска воздуха (этот отказ не связан с тур-



Рисунок 25-20: Схематическое изображение принципа регулирования давления наддува в турбокомпрессоре с изменяемой геометрией. На рисунке слева небольшое количество выхлопных газов быстро разгоняет турбинное колесо до высокой скорости, что обеспечивает высокое давление наддува; на рисунке справа большое количество газа поступает через направляющий аппарат на лопатки турбины под таким углом, что часть газов тормозят вращение турбинного колеса, при этом быстро снижается скорость вращения турбины и давление наддува.

бокомпрессором, но часто обвиняют именно турбокомпрессор.)

2. Засорение воздушного фильтра образует область низкого давления на входе в турбокомпрессор, создавая условия вытягивания масла через уплотнительные кольца вала турбокомпрессора во впускной коллектор.

3. Засорение линии возврата масла (сливной линии) от турбокомпрессора в масляный поддон (картер), которое может вызвать повышение давления моторного масла в подшипниковом узле турбокомпрессора. В результате повышения давления масло будет вытекать мимо уплотнительных колец вала турбокомпрессора во впускной и выпускной коллекторы (очевидно, масло, попавшее во впускных и выпускной коллекторы создаст много дыма).

ПУТИ ПРЕДОТВРАЩЕНИЯ ОТКАЗОВ ТУРБОКОМПРЕССОРА

Для предотвращения отказов в работе турбокомпрессора, благоразумные владельцы транспортного средства должны следовать рекомендуемым процедурам регулярного технического обслуживания, определенного изготовителем транспортного средства.

Наиболее важные моменты обслуживания состоят в следующем:

- Производите регулярную замену моторного масла (применяйте только рекомендуемое производителем транспортного средства масло)
- Регулярно очищайте воздушный фильтр и заменяйте фильтрующий элемент с интервалами, предписанными производителем.
- Выполняйте все предписанные операции обслуживания, например, очистку промежуточного охладителя (интеркулера).



РЕМАРКА:

На этом обзор систем газотурбинного наддува мы временно остановим.

Электронное управление газотурбинным наддувом будет изложено в отдельной главе в разделе «Эксплуатационные характеристики двигателя», представим содержание этой главы.

- Предисловие:
- Смесеобразования воздушно-топливной смеси и пределами её воспламеняемости
- Управление зажиганием на турбированных двигателях
- Ограничения по применению наддува на бензиновых двигателях

- Простейший модуль управления наддувом *Boost-module* с двухвыводным клапаном
- Более сложный модуль с 3-выводным клапаном и ШИМ-регулированием
- Электронные системы управления наддувом
- Электронное управление со стороны турбины и со стороны наддува
- Механические регулировки клапана сброса и клапана управления наддувом
- Неисправности, связанные с неправильной работой системы

Перенос части материалов, описывающих системы электронного управления наддувом, связан с недостаточностью объема знаний, полученных студентами во время 1 и 2 семестров.

ЗАКИСЬ АЗОТА

ПРЕДИСЛОВИЕ

Комплектование гоночных и высокоскоростных автомобилей системой ускорения, использующей закись азота, производится только вне завода, независимо от производителя автомобиля. Эта система является относительно недорогим способом получить дополнительную мощность от двигателя, но и может вызвать серьезные повреждения двигателя при неправильном использовании или при использовании в избыточном количестве, а также с нарушениями надлежащих мер предосторожности.

ПРИНЦИП ДЕЙСТВИЯ

Закись азота (N_2O) – это бесцветный, негорючий газ. Он был открыт британским химиком Джозефом Пристли (1733-1804), который также изучил и описал свойства молекулярного кислорода. Пристли обнаружил, что если человек вдохнет закись азота, это вызовет легкое головокружение, и поэтому газ вскоре стал известен как веселящий газ. Закись азота используется в стоматологии во время удаления зубов, чтобы уменьшить боль и/или привести больного в бессознательное состояние (операции под общим наркозом).

В составе закиси азота находятся два атома азота и один атом кислорода. Около 36% массы молекулы составляет кислород.

Закись азота – это искусственно созданный газ, потому что, хотя оба газа, и азот, и кислород присутствуют в земной атмосфере, они не объединяются в одну молекулу и для создания этого искусственного газа требуется теплота и катализатор.

СУММАТОР МОЩНОСТИ ДВИГАТЕЛЯ

Сумматор мощности – это устройство или система, позволяющая придать дополнительную мощность двигателю, такие как нагнетатель, турбокомпрессор, или закись азота. Когда закись азота впрыскивается в двигатель вместе с бензином, мощность двигателя увеличивается.

Добавление N_2O обеспечивает поставку необходимого кислорода для дополнительной порции топлива. Закись азота (N_2O) сама по себе не горит, но обеспечивает высвободившийся из закиси азота кислород для сжигания дополнительного топлива, чтобы произвести больше тепловой энергии. Кроме того, при переходе из жидкого в газообразное состояние закись азота примерно на $50^\circ C$ снижает температуру сжатого воздуха в цилиндре двигателя, что препятствует появлению детонационного сгорания топлива.



РЕМАРКА:

Закись азота использовалась в качестве сумматора мощности во время Второй Мировой войны на некоторых истребителях. Получение кратковременного импульса в несколько сот лошадиных сил позволило спасти много жизней.

ДАВЛЕНИЕ И ТЕМПЕРАТУРА

При температуре $0^\circ C$ и давлении 32,75 бар ($475 \text{ psi} = 33,5 \text{ кг/см}^2 = 3,275 \text{ кПа}$) газообразная закись азота

(N_2O) сгущается в бесцветную жидкость. Но уже при температуре $21^\circ C$ ($70^\circ F$), требуется давление около 53 бара (770 psi), чтобы уплотнить N_2O до жидкого состояния. Все что требуется для приведения сжиженной закиси азота в газообразное состояние, это снизить давление в емкости ниже уровня перехода газа в жидкое состояние. Температура также оказывает существенное влияние на давление сжатой закиси азота (N_2O).

Смотри таблицу 25-2.

Закись азота хранится в герметичной таре, установленной под углом так, чтобы приемная трубка находилась в жидкости. Передней или разгрузочный торец емкости для хранения должен быть обращен к передней части транспортного средства.

Смотри рисунок 25-20.



Рисунок 25-20: Емкость с закисью азота должна быть смонтирована под углом, чтобы гарантировать, что приемная трубка находится в жидкой закиси азота N_2O .; источник: Pearson Education, Inc.

МОКРАЯ И СУХАЯ СИСТЕМЫ

Таблица 25-2: Температура и давление высвобождения оксида азота из жидкого состояния в газообразное состояние. Повышение температуры увеличивает давление газа в емкости для хранения сжиженной закиси азота.

ТЕМПЕРАТУРА ($^\circ F/^\circ C$)	ДАВЛЕНИЕ ($\text{psi}/\text{кПа}$)
$-30^\circ F/-34^\circ C$	67 <i>psi</i> /468 кПа
$-20^\circ F/-29^\circ C$	203 <i>psi</i> /1,400 кПа
$-10^\circ F/-23^\circ C$	240 <i>psi</i> /1,655 кПа
$0^\circ F/-18^\circ C$	283 <i>psi</i> /1,950 кПа
$10^\circ F/-12^\circ C$	335 <i>psi</i> /2,310 кПа
$20^\circ F/-7^\circ C$	387 <i>psi</i> /2,668 кПа
$30^\circ F/-1^\circ C$	460 <i>psi</i> /3,172 кПа
$40^\circ F/4^\circ C$	520 <i>psi</i> /3,585 кПа
$50^\circ F/10^\circ C$	590 <i>psi</i> /4,068 кПа
$60^\circ F/16^\circ C$	675 <i>psi</i> /4,654 кПа
$70^\circ F/21^\circ C$	760 <i>psi</i> /5,240 кПа
$80^\circ F/27^\circ C$	865 <i>psi</i> /5,964 кПа
$90^\circ F/32^\circ C$	985 <i>psi</i> /6,792 кПа
$100^\circ F/38^\circ C$	1,120 <i>psi</i> /7,722 кПа

Существует три основных вида систем впрыска закиси азота: «мокрая», «сухая» и «директ-порт».



Рисунок 25-21: Сухая система впрыска закиси азота; источник: *steer.ru*

Сухая система является самым легким способом привязки системы впрыска закиси азота к штатной системе впрыска топлива. Ее работа обеспечивается при помощи штатной топливной системы, которая поставляет топливо в необходимом количестве двумя способами. Первый способ – это «обман» стандартной системы впрыска, позволяющий системе управления двигателем впрыснуть в него большего количества топлива. При установке системы впрыска закиси азота необходимо изменить заводские настройки автомобильного компьютера, и модифицировать топливную систему к возможностям впрыскивания дополнительного объема бензина. Суть второго способа состоит в увеличении давления топлива в топливной рампе; при этом через штатные инжекторы в двигатель может быть впрыснута большее количество топлива. Это происходит при активации системы впрыска закиси азота путем отключения штатного регулятора давления топлива соленоидным клапаном.



Рисунок 25-22: Мокрая система впрыскивания закиси азота; источник: *steer.ru*

Оснащение мокрых систем впрыска закиси азота выполняется отдельными топливными компонентами, которые предназначены для введения дополнительного количества бензина во впускной коллектор. В этом виде систем устанавливается отдельная топливн

электромагнитная форсунка, распыляющая топливо по направлению к закиси азота. Обычно карбюраторные системы топлива и закись азота вводят за карбюратором, а системы с впрыском топлива распыляют смесь до дроссельной заслонки.



Рисунок 25-23: Система распределенного впрыскивания закиси азота и дополнительного топлива, получившая название «директ-порт»; источник: *steer.ru*

Работа системы директ-порт состоит во впрыскивании смеси топлива и закиси азота в цилиндры двигателя. Довольно часто в таких системах и закись азота и дополнительное топливо подаются в двигатель, через общую форсунку. По причине того, что в каждом цилиндре устанавливаются индивидуальные форсунки, система директ-порт считается самой точной, и дает наибольшую мощность. В отличие от других разновидностей систем подачи закиси азота, такая система позволяет производить точное регулирование для каждой форсунки. Это позволяет с особой точностью контролировать поток закиси азота и дополнительного топлива в отдельности по каждому цилиндру. Система директ-порт очень сложна в установке. Наибольшая трудность заключается в необходимости сверления впускного коллектора и монтажа в него форсунок. Поэтому такой системой чаще всего оснащаются серьезные гоночные автомобили.

НЕОБХОДИМЫЕ ИЗМЕНЕНИЯ В ДВИГАТЕЛЕ ПРИ УСТАНОВКЕ СИСТЕМЫ ВПРЫСКА ЗАКАСИ АЗОТА (N_2O)

Если на двигатель будет устанавливаться система впрыска закиси азота для увеличения мощности больше, чем на 50 л. с., двигатель должен быть спроектирован и перестроен, чтобы выдерживать большее количество тепла и повышенное давление, которые будут генерироваться в камерах сгорания цилиндров.

Например, следующие пункты должны быть обязательно учтены, если двигатель будет оснащаться турбокомпрессором, механическим нагнетателем или системой впрыска закиси азота.

- Кованые поршни обладают наилучшей способностью адаптации к высокому давлению и темпера-

туры при использовании закиси азота или других силовых сумматоров

- Зазоры между поршнем и стенками цилиндра необходимо увеличить. Из-за большого количества тепла, генерируемого дополнительным топливом, благодаря инъекции N₂O температура в камере сгорания будет значительно увеличена. Хотя рекомендация по использованию кованных поршней остается актуальной, большинство экспертов рекомендуют использовать увеличенный зазор между стенками цилиндра и поршнем.
- Используйте кованный коленчатый вал и шатуны.

Внимательно изучите инструкции по применению закиси азота от поставщика комплекта дооснащения, и продумайте, какие детали необходимо будет заменить, и какие дополнительные настройки потребуются внести в программное обеспечение управления впрыском топлива, управления зажиганием и управления фазами газораспределения.



Рисунок 25-24: Электрический нагревательный мат устанавливается на баллон с закисью азота для повышения давления газа внутри него; источник: *Pearson Education, Inc.*



ПРЕДОСТЕРЕЖЕНИЕ:

Использование системы впрыска закиси азота может привести к катастрофическим повреждениям двигателя. Всегда следуйте инструкциям, которые поставляются с комплектом дооснащения двигателя, и необходимо убедиться, что все внутренние части двигателя соответствуют рекомендациям, чтобы избежать серьезного повреждения двигателя.



ТЕХНИЧЕСКИЙ СОВЕТ

Повышение давления в емкости для хранения закиси азота

Для повышения давления закиси азота в емкости для её хранения, может быть использован электрический согревающий плед, как это показано на рисунке 25-24. Чем выше температура, тем выше давление в баллоне, и тем больше количество закиси азота может быть подано в цилиндры двигателя при подаче напряжения на нагреватель.

УСТАНОВКА СИСТЕМЫ И ЕЁ КАЛИБРОВКА

Система впрыска закиси азота обычно приобретается в комплекте со всеми необходимыми для её установки компонентами. В комплект также входят одно или больше размеров сопел, которые калибруются для управления потоком закиси азота во впускной коллектор. Размеры сопел часто калибруются в лошадиных силах, которые можно получить за счет их использования.

Обычно размер сопел указан следующим образом:

- 50 л.с. (50 *hp* = *horsepower* = лошадиная сила)
- 100 л.с. (100 *hp*)
- 150 л.с. (150 *hp*)

В комплект установки впрыска закиси азота также входит пусковая кнопка и переключатель, устанавливаемый на или рядом с дроссельной заслонкой, который позволяет активировать систему впрыска только в том случае, когда дроссельная заслонка полностью открыта (*WOT* = *Wide Open Throttle*).



Краткое изложение изученного материала



РЕМАРКА:

*Термины и основные формулировки приведены на двух языках: английском и русском. Конечно же, Вы можете проигнорировать формулировки, приведенные на иностранном языке, однако, повседневная работа потребует знания языков, и часто Вам придется быть один-на-один с *Manual Repair*; неважно, в бумажном или электронном виде. Поэтому, рекомендуем Вам постепенно набираться опыта в переводе текста «с листа».*

Работодатель крайне заинтересован в этом умении. Его не интересует, умеете ли Вы говорить, и понимать устную речь, сможете ли Вы «выжить» за рубежом, не зная языка. Ему важно только Ваше умение читать по-русски английские/немецкие тексты, и безошибочно находить необходимую информацию, установочные и регулировочные параметры, читать и понимать указания производителя транспортного средства.



Термины, которые необходимо знать!

Boost = Наддув
BOV = Клапан сброса давления
Bypass valve = Перепускной клапан
CBV = Компрессорный перепускной клапан
Dry system = Система удаления влаги (Сухие системы)
Dump valve = Клапан сброса
Forced induction systems = Система принудительной подачи воздуха на впуск в двигатель
Intercooler = Промежуточный охладитель
Naturally (normally) aspirated = Безнаддувный (атмосферный)

Nitrous oxide (N₂O) = Закись азота (N₂O)
Positive displacement = Позитивное вытеснение
Power adder = Суммарная мощность
Roots supercharger = Нагнетатель Рутса
Supercharger = Механический нагнетатель
Time Lag = Время задержки
Turbocharger = Турбокомпрессор
Turbo lag = Турбо-яма (Турбинное запаздывание)
Vent valve = Клапан сброса
Volumetric efficiency = Объемная эффективность
Wastegate = Регулятор давления наддува
Wet system = Мокрая система



Основные формулировки и расшифровки понятий, применяемых в главе 25

(англоязычная версия изложения материала позволит Вам подготовиться к сертификации, а преподавателям иностранного языка подобрать тематику занятий, приближенную к изучаемому материалу).

Замечание автора: перевод дан с незначительной литературной обработкой

<i><u>Absolute pressure.</u> This term refers to pressure measured on the scale that has its zero point at approximately 14.7 psi (at sea level) below atmospheric pressure. It is a true measurement of all the pressure, rather than just the pressure above atmospheric. See gauge pressure.</i>	<u>Абсолютное давление.</u> Этот термин обозначает, что давление измеряется по шкале, имеющую нулевую точку приблизительно на 765 мм рт. ст. (14.7 psi) ниже атмосферного давления. Абсолютное давление является истинным измерением всего давления, а не той части давления, которое выше атмосферного. Смотри измеритель давления.
<i><u>Air/fuel ratio (AFR).</u> AFR is the ratio of the weight of air to the weight of fuel in a combustible mixture, AFR is critical in the proper functioning of an engine.</i>	<u>Соотношение воздух/топливо (AFR).</u> AFR – это отношение массы воздуха к массе топлива в горючей смеси, AFR имеет решающее значение для правильного функционирования двигателя.
<i><u>Ambient.</u> Ambient refers to the surrounding atmospheric pressure and temperature.</i>	<u>Внешняя среда.</u> Понятие внешней среды связывают с таким понятием, как атмосферное давление и температура
<i><u>Atmospheric.</u> This word has recently taken on the annotation of an engine operating without any form of supercharger.</i>	<u>Атмосферный.</u> Это слово недавно было принято в обращение для обозначения двигателя, работающего без какого-либо нагнетателя.
<i><u>Blow-through.</u> This indicates that the throttle is on the outlet side of the turbo compressor. See draw-through.</i>	<u>Blow-through = через нагнетание.</u> Это указывает на то, что дроссельная заслонка установлена на выходе из турбокомпрессора. Смотри <i>draw-through</i> = через всасывание.
<i><u>Boost.</u> Boost is pressure above atmospheric, measured in the intake manifold.</i>	<u>Наддув.</u> Наддув есть давление выше атмосферного, измеренное во впускном коллекторе.
<i><u>Boost threshold or boost point.</u> This is the lowest engine rpm at which boost from the turbocharger will increase power over the engine's atmospheric equivalent. More simply, the lowest rpm at which noticeable boost (usually 1-2 psi) can be achieved.</i>	<u>Порог наддува или точка повышения.</u> Это самые низкие обороты двигателя, при которых возможен наддув от турбокомпрессора, который повышает мощность двигателя в сравнении с атмосферным эквивалентом. Проще говоря, это низкие обороты, при которых может быть достигнут заметный толчок (обычно 1-2 psi).

<i><u>Bypass valve.</u> The bypass valve permits a bleed of flow around the turbo when the engine is not under boost.</i>	<u>Перепускной клапан.</u> Перепускной клапан позволяет выпустить поток, обтекая турбину, когда двигателю не требуется находиться под наддувом.
<i><u>Clearance volume.</u> Combustion chamber volume above the piston at top dead center is called clearance volume.</i>	<u>Объем мертвого пространства.</u> Объем камеры сгорания над поршнем, находящимся в верхней мертвой точке называется объемом мертвого пространства.
<i><u>Compression ratio.</u> This is displacement volume plus clearance volume divided by clearance volume.</i>	<u>Степень сжатия (коэффициент компрессии).</u> Это рабочий объема плюс объем мертвого пространства (объем камеры сгорания), разделенный на объем мертвого пространства (объем камеры сгорания).
<i><u>Compressor.</u> In this book, the compressor is the air pump itself—the front half of the turbo, through which intake air passes. It is also frequently referred to as the «odd» side.</i>	<u>Компрессор.</u> В этой книге, компрессор – это сам воздушный насос – передняя половина турбо (турбокомпрессора), через который проходит засасываемый воздух. Его также часто называют «нечетной» стороной.
<i><u>Compressor surge.</u> Compressor surge occurs when the throttle is slammed shut and air is caught between a pumping turbo and the throttle plate.</i>	<u>Компрессорное переполнение.</u> Компрессорное переполнение происходит тогда, когда дроссельная заслонка захлопнулась, и воздух зажат между насосом турбокомпрессора и дроссельной заслонкой.
<i><u>Displacement volume.</u> Displacement volume may be defined in several ways; (1) the swept volume of the cylinder; (2) the area of the bore times the length of the stroke; (3) total engine displacement divided by the number of cylinders.</i>	<u>Рабочий объем.</u> Рабочий объем может быть определен несколькими способами; (1) объем вытесняемый из цилиндра; (2) площадь поршня, помноженная на длину его хода; (3) рабочий объем двигателя, разделенный на количество цилиндров.
<i><u>Draw-through.</u> This indicates that the throttle is on the inlet side of the turbo compressor, see blow-through.</i>	<u>Через всасывание.</u> Это указывает на то, что дроссельная заслонка на стороне впуска воздуха в турбокомпрессор, смотри через нагнетание.
<i><u>End gas.</u> The end gas is the last part of the air/fuel mixture to burn. Its importance to a turbocharged engine is paramount, because it is this end gas in which detonation usually occurs.</i>	<u>Конечный газ.</u> Конечный газ является финальной частью смеси воздух/топливо, перед его сжиганием. Его значение для турбированных двигателей имеет первостепенное значение, так как именно этот конечный газ отвечает за происхождение детонации.
<i><u>Crossover point.</u> This is the point at which manifold boost pressure equals turbine inlet pressure.</i>	<u>Точка кроссовера.</u> Это точка, в которой давление наддува во впускном коллекторе равно давлению на входе в турбину.
<i><u>Detonation.</u> Detonation is spontaneous combustion of the air/fuel mixture ahead of the flame front. When pressure and temperature exceed that required for controlled combustion, the mixture autoignites. The metallic pinging sound is the resulting explosion's shock wave colliding with the cylinder walls. Note: ping, knock, and detonation are equivalent terms. Pre-ignition is an altogether different beastie.</i>	<u>Детонация.</u> Детонация – это самопроизвольное возгорание воздушно-топливной смеси впереди фронта пламени. Когда давление и температура превышают величину, которая требуется для контролируемого сжигания, смесь самовоспламеняется. Металлическое дребезжание в результате взрыва – это ударная волна, сталкивающаяся со стенками цилиндра. Примечание: <i>ping</i> , <i>knock</i> , и детонация являются эквивалентными терминами. Калильное зажигание-это совсем другое явление.
<i><u>Gauge pressure.</u> Gauge pressure is the scale that reads zero at atmospheric pressure.</i>	<u>Давление по манометру.</u> В манометре расположена шкала, которая показывает ноль при атмосферном давлении.
<i><u>Intercooler.</u> An intercooler is a heat exchanger placed between the turbo and engine to remove heat from air exiting the turbo when operating under boost. Intercoolers are also called charge air coolers.</i>	<u>Интеркулер (промежуточный охладитель).</u> Интеркулер – это теплообменник, расположенный между турбокомпрессором и двигателем, чтобы удалить тепло из воздуха, выходящего из турбокомпрессора при работе под наддувом. Интеркулеры также называют охладителем наддувочного воздуха.

<i><u>Intercooler efficiency.</u> An intercooler's efficiency is measured by how much heat it removes relative to the heat added by the compressor.</i>	<u>Эффективность интеркулера.</u> Эффективность интеркулера измеряется тем, сколько тепла он удаляет относительно тепла, которое добавил компрессор.
<i><u>Lag.</u> Lag is the delay between a change in throttle and the production of noticeable boost when engine rpm is in a range in which boost can be achieved.</i>	<u>Запаздывание (лаг).</u> Запаздывание (лаг) – это задержка между изменением положения дроссельной заслонки и производством заметного уровня наддува, когда частота вращения двигателя находится в диапазоне, в котором наддув может быть достигнут.
<i><u>Lean.</u> Lean means not enough fuel to achieve the correct air/fuel ratio for the existing conditions.</i>	<u>Обеднение.</u> Обеднение означает нехватку топлива для правильного соотношения воздух/топливо для существующих условий.
<i><u>OEM.</u> Original equipment manufacturer, the company that built it in the first place.</i>	<u>OEM.</u> Оригинальное оборудование производителя, компании, которая создала его для первичного рынка.
<i><u>Power.</u> Strictly speaking, the power - is the result of how fast a certain amount of work performed. In the automotive context, the power - is the product of torque at specific RPM value.</i>	<u>Мощность.</u> Строго говоря, мощность – это результат как быстро выполняется определенный объем работы. В автомобильном контексте, мощность – это произведение крутящего момента на величину конкретных оборотов.
<i><u>Pre-ignition.</u> Pre-ignition refers to spontaneous combustion of the air/fuel mixture prior to the spark.</i>	<u>Калильное зажигание.</u> Калильное зажигание означает самовозгорание топливовоздушной смеси до появления искры.
<i><u>Pressure ratio.</u> The ratio of absolute boost pressure to atmospheric pressure is called the pressure ratio.</i>	<u>Степень повышения давления.</u> Соотношение абсолютного давления наддува к атмосферному давлению называется коэффициентом повышения давления
<i><u>Reversion.</u> Reversion occurs when some of the burned exhaust gases are pushed back into the combustion chamber and intake system during valve overlap. This is caused by exhaust manifold pressure exceeding intake pressure or by shock waves in the exhaust ports and manifolds.</i>	<u>Реверсия.</u> Реверсия происходит, когда некоторое количество сгоревших выхлопных газов возвращаются обратно в камеру сгорания и во впускную систему в период перекрытия клапанов. Это вызвано давлением в выпускном коллекторе, превышающем давление на входе, или с помощью ударных волн в выпускных портах и коллекторах.
<i><u>Rich.</u> Rich is the condition that exists when too much fuel is present to achieve a maximum-power air/fuel ratio.</i>	<u>Обогащение.</u> Обогащение – это состояние, возникающее, когда впрыскивается слишком много топлива для достижения максимальной мощности в соотношении воздух/топливо.
<i><u>Supercharge.</u> To force more air into an engine than the engine can breathe by itself is to supercharge it. A supercharger is the device that does this. It may be driven by a belt, gears, or a turbine. When driven by a turbine, it is called a turbocharger.</i>	<u>Механический нагнетатель.</u> Чтобы доставить больше воздуха в двигатель, чем двигатель может всосать сам, применяют нагнетатель. Нагнетатель – это устройство, которое делает наддув. Это может быть ременная передача, зубчатые колеса или турбина. Если с приводом от турбины, то нагнетатель называется турбокомпрессором.
<i><u>Throttle response.</u> A change in the speed or torque of an engine brought about by a change in throttle position is called throttle response. Throttle response should not be confused with turbo response.</i>	<u>Приемистость.</u> Изменение скорости или крутящего момента двигателя, вызванные изменением положения дроссельной заслонки, называется приемистость. Приемистость не следует путать с турбо откликом.
<i><u>Torque.</u> The amount of twisting force provided by a turning shaft is called torque. It is measured in foot-pounds, inch -pounds, or newton- meters.</i>	<u>Крутящий момент.</u> Величина крутящей силы, обеспечивающая вращение вала и называется крутящим моментом. Она измеряется в фут на фунты, дюймы на фунты, или ньютон на метр.
<i><u>Turbine.</u> The turbine is the fan driven by the engine's exhaust gases. It is often called the «hot» side of the turbocharger.</i>	<u>Турбина.</u> Турбина – это вентилятор с приводом от выхлопных газов. Его часто называют «горячей» стороны турбокомпрессора.

<i><u>Turbocharger.</u> A turbocharger is a supercharger driven by a turbine.</i>	<u>Турбокомпрессор.</u> Турбокомпрессор – это нагнетатель с приводом от турбины.
<i><u>Under boost.</u> When a system has greater- than -atmospheric pressure in the intake manifold, it is operating under boost.</i>	<u>Под наддувом.</u> Когда система имеет большее, чем атмосферное давление во впускном коллекторе, оно работает под наддувом.
<i><u>Volumetric efficiency.</u> This is the ratio of the number of molecules of air that actually get into a combustion chamber to the number of molecules in an equal volume at atmospheric pressure. For atmospheric engines, this ratio is almost always less than one. Supercharged engines are capable of operating at ratios greater than one.</i>	<u>Объемная эффективность.</u> Это отношение числа молекул воздуха, который на самом деле попал в камеру сгорания, к числу молекул в равном объеме при атмосферном давлении. Для атмосферных двигателей это соотношение почти всегда меньше единицы. Турбированные двигатели способны работать при соотношениях больше, чем единица.
<i><u>Wastegate.</u> The wastegate is a boost-pressure-actuated valve that allows only enough exhaust gas into the turbine to achieve desired boost. The wastegate routes the remainder of the exhaust gas around the turbine and out the tailpipe.</i>	<u>Регулятор давления наддува.</u> Регулятор давления наддува это перепускной клапан, который допускает только достаточное количество выхлопных газов в турбину, чтобы добиться желаемого наддува. Регулятор давления направляет оставшуюся часть выхлопных газов вокруг турбины прямо в выхлопную трубу.



Вопросы для контроля усвоения пройденного материала



РЕМАРКА:

Предложенные Вашему вниманию вопросы рекомендованы преподавателям для оценки Вашей самостоятельной работы с учебным материалом перед началом выполнения лабораторных и практических занятий.

Обдумайте содержание вопросов и попытайтесь дать короткий ответ

1. Объясните, почему применение наддува позволяет увеличить мощность двигателя?
2. Расскажите, с какой целью на двигателях с наддувом устанавливают перепускной клапан, и на какой стороне турбокомпрессора он устанавливается?
3. Перечислите преимущества и недостатки приводного нагнетателя.
4. Перечислите преимущества и недостатки газотурбинного наддува.
5. Объясните, с какой целью во впускном коллекторе на стороне от компрессора до дроссельной заслонки устанавливается клапан сброса?
6. Изучите рисунок 25-25 и сформулируйте аргументированный ответ на поставленный вопрос.
7. Расскажите о принципе действия турбокомпрессора с изменяемой геометрией направляющих лепестков

ков на впуске выхлопного газа к лопаткам турбины
8. Объясните, что означают термины «сухая» система впрыска закиси азота?

9. Объясните, почему применение закиси азота должно сопровождаться впрыскиванием дополнительной порции топлива?

10. Перечислите основные операции по обслуживанию двигателя, которые оказывают существенное влияние на расход моторного масла турбированным двигателем



Изучите и отметьте только те из приведенных рассуждений, которые Вы сочтете верными.

1. Два техника обсуждают принцип действия механического нагнетателя.

Техник А утверждает, что привод механического нагнетателя производится от коленчатого вала двигателя через ременную, цепную или шестеренчатую передачу.

Техник В утверждает, что привод механического нагнетателя снабжен электромагнитной муфтой сцепления, поскольку нагнетатель следует отключать, так как на высоких оборотах он имеет низкую эффективность, но требует подведения большой мощности от двигателя.



Рисунок 25-25: Рассмотрите очень любопытный снимок. В море установлены огромные ветровые генераторы электрической энергии. На снимке хорошо видно, что за каждым из вентиляторов образуется туман. Объясните, почему перед вентилятором воздух прозрачен, а за вентилятором – туман? источник: *bukoliki.ru*

Кто из техников высказывает наиболее правильное предположение?

Только техник А	<input type="checkbox"/>
Только техник В	<input type="checkbox"/>

Оба правы, и техник А, и техник В	<input type="checkbox"/>
Оба неправы, ни техник А, ни техник В	<input type="checkbox"/>

Кто из техников высказывает наиболее правильное предположение?

Только техник А	<input type="checkbox"/>
Только техник В	<input type="checkbox"/>

Оба правы, и техник А, и техник В	<input type="checkbox"/>
Оба неправы, ни техник А, ни техник В	<input type="checkbox"/>

2. Два техника обсуждают принцип работы газотурбинного компрессора.

Техник А утверждает, что горячий выхлопной газ из цилиндров двигателя подается к центральной части турбины, проходит вдоль расположенных на турбинном колесе лопаток, разгоняя турбину, и отводится через боковой выходной канал корпуса турбины в систему отведения выхлопных газов.

Техник В утверждает, что турбина использует скорость движения горячих выхлопных газов, и чем выше скорость потока выхлопных газов, тем большее давление наддува может выдать турбокомпрессор.

3. Какой клапан используется в заводской комплектации для ограничения давления наддува, создаваемого механическим нагнетателем?

A.	<i>Bypass valve</i> = Перепускной клапан	<input type="checkbox"/>
B.	<i>Blow-off valve</i> = Клапан сброса	<input type="checkbox"/>
C.	<i>Wastegate</i> = Клапан ограничения давления наддува	<input type="checkbox"/>
D.	<i>Safety valve</i> = Предохранительный клапан	<input type="checkbox"/>

4. Каким способом производится смазка механического нагнетателя?

A.	Моторным маслом через масляные линии от системы смазки двигателя	
B.	Разбрызгиванием из собственной масляной ванны нагнетателя	
C.	Подачей масла вместе с поставляемым в нагнетатель воздухом	
D.	Смазка нагнетателя не требуется, поскольку используются шарикоподшипники закрытого типа.	

5. Отметьте только одно из приведенных утверждений, которое НЕ ВЕРНО.

A.	Наддув снижает температуру выхлопных газов, выходящих из системы выпуска, повышая эффективность использования теплоты сгорания топлива.	
B.	Наддув использует пневматический насос для принудительной подачи воздуха в камеру сгорания.	
C.	Применение наддува приводит к увеличению эмиссии вредных веществ в ходе замедления и на холостом ходу.	
D.	Применение наддува позволяет снизить степень сжатия, когда двигателю не требуется сильное сжатие свежего заряда для получения высокой мощности.	

6. Два техника обсуждают значение термина «Turbo-lag»

Техник А утверждает, что турбо-лаг – это временная задержка между открытием двигателя дроссельной заслонки и тем моментом, когда турбокомпрессор разгоняется до тех оборотов, при которых обеспечивается положительное давление наддува.

Техник В утверждает, что турбо-лаг – это временное отключение топливоподачи, вызванное необходимостью замедления оборотов двигателя для переключения передач

Кто из техников высказывает наиболее правильное предположение?

Только техник А		Оба правы, и техник А, и техник В	
Только техник В		Оба неправы, ни техник А, ни техник В	

7. Укажите правильное предположение, определяющее цель установки интеркуллера.

A.	Интеркуллер применяют для снижения температуры воздуха, поступающего в двигатель	
B.	Интеркуллер используют для охлаждения турбокомпрессора	
C.	Интеркуллер используют для охлаждения масла, возвращаемого из турбокомпрессора в двигатель	
D.	Интеркуллер используют для охлаждения выхлопных газов, поступающих в турбокомпрессор	

8. Какой тип используемого клапана на турбированном двигателе издает шум при его срабатывании?

A.	<i>Bypass valve</i> = Перепускной клапан	
B.	<i>BOV = Blow-off valve</i> = клапан сброса	
C.	<i>Safety valve</i> = Предохранительный клапан	
D.	Оба клапана, и В, и С	

9. Техник А утверждает, что застрявший в открытом положении регулятор давления наддува может привести к перерасходу топлива (снижению топливной эффективности двигателя).

Техник В утверждает, что застрявший в закрытом положении регулятор давления наддува может привести к чрезмерному расходу моторного масла.

Кто из техников высказывает наиболее правильное предположение?

Только техник А		Оба правы, и техник А, и техник В	
Только техник В		Оба неправы, ни техник А, ни техник В	

10. Какая из сервисных операций является первостепенной для обеспечения качественной работы турбированного двигателя

A.	Регулярная замена воздушного фильтра	
B.	Регулярная замена топливного фильтра	
C.	Регулярная замена моторного масла	
D.	Регулярное обслуживание системы выхлопа	

Материалы перевел, актуализировал и подготовил к публикации Дмитрий Титаренко
В основу положены материалы из учебника *James D. Halderman Principles, Diagnosis, and Service, 2012, Pearson Education, Inc/*