

ТУРБОКОМПРЕССОРЫ

Оглавление

Введение

Нагнетание воздуха при помощи турбокомпрессора

Типы выпускных систем с турбокомпрессором

Преимущества турбокомпрессорного двигателя

Возможности использования турбокомпрессоров

Турбокомпрессоры для массовых дизельных двигателей

Принцип работы турбокомпрессора для дизельного двигателя

Турбина

Компрессор

Корпус оси

Поиск неисправностей в турбокомпрессорах дизельных двигателей

Низкая мощность двигателя, черный дым из выхлопной трубы

Синий лым из выхлопной трубы

Повышенный расход масла (без синего дыма)

Шумная работа турбокомпрессора

Неисправности турбокомпрессоров

Недостаток масла

Попадание посторонних предметов

Загрязненное масло

Турбокомпрессоры автомобилей

Турбокомпрессоры для дизельных двигателей

Регулировка давления наддува

Корпус оси

Турбокомпрессоры для бензиновых двигателей

Обеспечение герметичности масло-газовых каналов турбокомпрессора

Качество материалов турбины

Регулируемый клапан

Охлаждаемый корпус оси

Продолжение развития турбокомпрессоров

Уменьшение размеров

Использование керамических материалов

Изменяемая геометрия

Электроника и турбокомпрессор

Дополнительные системы

Охлаждение наддувочного воздуха (intercooler)

Турбокомпрессоры, устанавливаемые параллельно

Турбокомпаунд

Сжатие воздуха механическим компрессором

Компрессор Roots

Спиральный компрессор

Компрессор Wankel

Компрессоры с перегородкой

Объемный компрессор Comprex

Практические советы по обслуживанию

Замена турбокомпрессора

Основные производители турбокомпрессоров

Дефекты турбокомпрессоров

Трещины на корпусе турбины

Трещины на фланце корпуса турбины и средней перегородке

Трещины на внешней поверхности корпуса турбины

Трещины в седле клапана

Система "турбосмазка"

Введение

Мощность, которую может развить двигатель внутреннего сгорания, зависит от количества воздуха и топлива, которые поступают в двигатель. Таким образом, добиться повышения мощности можно, увеличив количество этих компонентов. Увеличение количества топлива совершенно бессмысленно, если одновременно не увеличивается количество воздуха для его сгорания. Поэтому одним из решений проблемы повышения мощности двигателя является увеличение количества воздуха, поступающего в цилиндры, при этом можно сжечь больше топлива и получить, соответственно, большую энергию. Это подразумевает, что необходимый для сгорания топлива воздух должен быть сжат перед подачей в цилиндры.

Системы принудительной подачи (нагнетания) воздуха можно разделить на работающие за счет энергии отработавших газов (турбо-наддув) и с механическим приводом. В данной книге рассматриваются конструкции и принципы работы различных компрессоров как для бензиновых, так и для дизельных двигателей.

1.1. Нагнетание воздуха при помощи турбокомпрессора

Как уже говорилось выше, мощность, развиваемая двигателем, зависит от количества воздуха и смешанного с ним топлива, которое может быть подано в двигатель. Если нужно увеличить мощность двигателя, нужно увеличить как количество подаваемого воздуха, так и топлива. Подача большого количества топлива не даст эффекта до тех пор, пока не появится достаточное для его сгорания количество воздуха, иначе образуется избыток несгоревшего топлива, что приводит к перегреву двигателя, который к тому же сильно дымит.

Увеличение мощности атмосферного двигателя может быть достигнуто путем увеличения либо его рабочего объема, либо оборотов. Увеличение рабочего объема, сразу же увеличивает вес, размеры двигателя и в конечном итоге его стоимость. Увеличение оборотов проблематично из-за возникающих при этом технических проблем, особенно в случае двигателя со значительным рабочим объемом.

Технически приемлемым решением проблемы увеличения мощности, является использование нагнетателя (компрессора). Это означает, что подающийся в двигатель воздух сжимают перед его впуском в камеру сгорания.

Другими словами, компрессор обеспечивает подачу необходимого количества воздуха, достаточного для полного сгорания увеличенной дозы топлива. Следовательно, при прежнем рабочем объеме и тех же оборотах мы получаем большую мощность.

Существует два основных типа компрессоров: с механическим приводом и "турбо" (использующие энергию отработанных газов). Кроме того, существуют также комбинированные системы, например, турбокомпаундная. В случае компрессора с механическим приводом необходимое давление воздуха получают благодаря механической связи между коленвалом двигателя и компрессором. В турбокомпрессоре давление воздуха получают благодаря вращению турбины потоком отработавших газов.

Турбокомпрессор был впервые сконструирован швейцарским инженером Бюши еще в 1905 году, но только много лет спустя он был доработан и использован на серийных двигателях с большим рабочим объемом.

В принципе, любой турбокомпрессор состоит из центробежного воздушного насоса и турбины, связанных при помощи общей жесткой оси между собой. Оба эти элемента вращаются в одном направлении и с одинаковой скоростью. Энергия потоков отработавших газов, которая в обычных двигателях, преобразуется здесь в крутящий момент, приводящий в действие компрессор. Происходит это так. Выходящие из цилиндров двигателя отработавшие газы имеют высокую температуру и давление. Они разгоняются до большой скорости и вступают в контакт с лопатками турбины, которая и преобразует их кинетическую энергию в механическую энергию вращения (крутящий момент).

Это преобразование энергии сопровождается снижением температуры газов и их давления. Компрессор засасывает воздух через воздушный фильтр, сжимает его и подает в цилиндры двигателя. Количество топлива, которое можно смешать с воздухом, при этом можно увеличить, что позволяет двигателю развивать большую мощность. Кроме того, улучшается процесс сгорания, что позволяет увеличить характеристики двигателя в широком диапазоне чисел оборотов.

Между двигателем и турбокомпрессором существует связь только через поток отработавших газов. Частота вращения турбокомпрессора напрямую не зависит от числа оборотов двигателя и характеризуется некоторой инерционностью, т.е. сначала увеличивается подача топлива, увеличивается энергия потоков отработавших газов, а затем уже увеличиваются обороты турбины и давление нагнетания и в цилиндры двигателя поступает еще больше воздуха, что дает возможность увеличить подачу топлива.

Подача и давление воздуха в турбокомпрессоре без регулирования давления наддува, прямо пропорциональны энергии отработавших газов, т.е. числу оборотов турбины.

Для двигателей, работающих в широком диапазоне оборотов (например, в легковом автомобиле), высокое давление наддува желательно даже на низких оборотах. Именно поэтому будущее принадлежит турбокомпрессорам с регулируемым давлением. Небольшой диаметр современных турбин и специальные сечения газовых каналов способствуют уменьшению инерционности, т.е. турбина очень быстро разгоняется и давление воздуха очень быстро достигает требуемого значения. Регулировочный клапан следит за тем, чтобы давление наддува не возрастало выше определенного значения, при превышении которого двигатель может быть поврежден.

1.2. Типы выпускных систем с турбокомпрессором

Существует два основных типа выпускных систем с турбокомпрессором с постоянным давлением на входе в турбину и с импульсным давлением на входе в турбину.

Применяются оба типа, иногда в комбинированных вариантах. Выбор определяется типом двигателя, количеством цилиндров, спецификой использования и множеством других факторов.

В выпускных системах с постоянным давлением на входе в турбину отработавшие газы от всех цилиндров собираются в общем выпускном коллекторе и затем, при почти постоянном давлении, направляются к турбокомпрессору.

В выпускных системах с импульсным давлением на входе в турбину используется выпускной коллектор типа "спагетти", в этом случае отработавшие газы подводятся к турбокомпрессору по отдельным патрубкам, идущим от каждого цилиндра, что позволяет использовать резонансные явления в выпускном коллекторе и добиться максимальной производительности от турбокомпрессора в узком диапазоне чисел оборотов.

1.3. Преимущества турбокомпрессорного двигателя

Двигатель, оснащенный турбокомпрессором, обладает техническими и экономическими преимуществами по сравнению с атмосферным (безнаддувным) давлением.

- Соотношение масса/мощность у двигателя с турбокомпрессором выше, чем у атмосферного двигателя
- Двигатель с турбокомпрессором менее громоздок, чем атмосферный двигатель той же мощности.
- Кривая крутящего момента двигателя с турбокомпрессором может быть лучше адаптирована к специфическим условиям эксплуатации. При этом, например, водитель тяжелого грузовика должен намного реже переключать передачи на горной дороге и само вождение будет более "мягким"

Кроме того, можно на базе атмосферных двигателей создавать версии, оснащенные турбокомпрессором и отличающиеся по мощности.

Еще более ощутимы преимущества двигателя с турбокомпрессором на высоте. Атмосферный двигатель теряет мощность из-за разрежения воздуха, а турбокомпрессор, обеспечивая повышенную подачу воздуха, компенсирует снижение атмосферного давления, почти не ухудшая характеристики двигателя. Количество нагнетаемого воздуха станет лишь ненамного меньше, чем на более низкой высоте, то есть двигатель практически сохраняет свою обычную мощность.

Кроме того:

- Двигатель с турбокомпрессором обеспечивает лучшее сгорание топлива. Подтверждением тому служит уменьшение потребления топлива грузовиками на больших пробегах.
- Поскольку турбокомпрессор улучшает сгорание, он также способствует уменьшению токсичности отработавших газов.

- Двигатель, оснащенный турбокомпрессором, работает более стабильно, чем его атмосферный аналог той же мощности, а будучи меньшим по размеру, он производит, соответственно, меньше шума. Кроме того, турбокомпрессор играет роль своеобразного глушителя в системе выпуска.

1.4. Возможности использования турбокомпрессоров

Турбокомпрессором может быть оснащен любой двигатель внутреннего сгорания, дизельный, бензиновый или работающий на газе, имеющий жидкостное или воздушное охлаждение. Турбокомпрессоры используются на двигателях как с большим рабочим объемом (судовых, тепловозных и стационарных), так и на двигателях грузовых и легковых автомобилей. Также не имеет никакого значения, идет ли речь о 2-тактном или о 4-тактном двигателе.

В настоящее время практически все большие дизельные двигатели мощностью более 150 кВт, используемые в промышленности, судостроении, на дорожно-строительных работах, оснащаются турбокомпрессором.

В сфере автомобильного транспорта любой дизельный двигатель мощностью более 80 кВт стандартно оснащается турбокомпрессором.

Даже в секторе небольших автомобилей с дизельным двигателем наблюдается распространение турбокомпрессоров. Приход турбокомпрессоров на бензиновые двигатели был более трудным, но ускорился благодаря опыту их использования на кольцевых автогонках и авторалли. Расширение производства материалов, обладающих высокими температурными характеристиками, улучшение качества моторных масел, применение жидкостного охлаждения корпуса турбокомпрессора, электронное управление регулирующими клапанами - все это способствует тому, что турбокомпрессоры стали использоваться на мелкосерийных бензиновых двигателях, что в сочетании с впрыском и электронным зажиганием позволило достичь очень высоких характеристик.

Мощность, которую может развить двигатель внутреннего сгорания, зависит от количества воздуха и топлива, которые поступают в двигатель. Таким образом, добиться повышения мощности можно, увеличив количество этих компонентов. Увеличение количества топлива совершенно бессмысленно, если одновременно не увеличивается количество воздуха для его сгорания. Поэтому одним из решений проблемы повышения мощности двигателя является увеличение количества воздуха, поступающего в цилиндры, при этом можно сжечь больше топлива и получить, соответственно, большую энергию. Это подразумевает, что необходимый для сгорания топлива воздух должен быть сжат перед подачей в цилиндры.

Системы принудительной подачи (нагнетания) воздуха можно разделить на работающие за счет энергии отработавших газов (турбо-наддув) и с механическим приводом. В данной книге рассматриваются конструкции и принципы работы различных компрессоров как для бензиновых, так и для дизельных двигателей.

1.1. Нагнетание воздуха при помощи турбокомпрессора

Как уже говорилось выше, мощность, развиваемая двигателем, зависит от количества воздуха и смешанного с ним топлива, которое может быть подано в двигатель. Если нужно увеличить мощность двигателя, нужно увеличить как количество подаваемого воздуха, так и топлива. Подача большого количества топлива не даст эффекта до тех пор, пока не появится достаточное для его сгорания количество воздуха, иначе образуется избыток несгоревшего топлива, что приводит к перегреву двигателя, который к тому же сильно дымит.

Увеличение мощности атмосферного двигателя может быть достигнуто путем увеличения либо его рабочего объема, либо оборотов. Увеличение рабочего объема, сразу же увеличивает вес, размеры двигателя и в конечном итоге его стоимость. Увеличение оборотов проблематично из-за возникающих при этом технических проблем, особенно в случае двигателя со значительным рабочим объемом.

Технически приемлемым решением проблемы увеличения мощности, является использование нагнетателя (компрессора). Это означает, что подающийся в двигатель воздух сжимают перед его впуском в камеру сгорания.

Другими словами, компрессор обеспечивает подачу необходимого количества воздуха, достаточного для полного сгорания увеличенной дозы топлива. Следовательно, при прежнем рабочем объеме и тех же оборотах мы получаем большую мощность.

Существует два основных типа компрессоров: с механическим приводом и "турбо" (использующие энергию отработанных газов). Кроме того, существуют также комбинированные системы, например, турбокомпаундная. В случае компрессора с механическим приводом необходимое давление воздуха получают благодаря механической связи между коленвалом двигателя и компрессором. В турбокомпрессоре давление воздуха получают благодаря вращению турбины потоком отработавших газов.

Турбокомпрессор был впервые сконструирован швейцарским инженером Бюши еще в 1905 году, но только много лет спустя он был доработан и использован на серийных двигателях с большим рабочим объемом.

В принципе, любой турбокомпрессор состоит из центробежного воздушного насоса и турбины, связанных при помощи общей жесткой оси между собой. Оба эти элемента вращаются в одном направлении и с одинаковой скоростью. Энергия потоков отработавших газов, которая в обычных двигателях, преобразуется здесь в крутящий момент, приводящий в действие компрессор. Происходит это так. Выходящие из цилиндров двигателя отработавшие газы имеют высокую температуру и давление. Они разгоняются до большой скорости и вступают в контакт с лопатками турбины, которая и преобразует их кинетическую энергию в механическую энергию вращения (крутящий момент).

Это преобразование энергии сопровождается снижением температуры газов и их давления. Компрессор засасывает воздух через воздушный фильтр, сжимает его и подает в цилиндры двигателя. Количество топлива, которое можно смешать с воздухом, при этом можно увеличить, что позволяет двигателю развивать большую мощность. Кроме того, улучшается процесс сгорания, что позволяет увеличить характеристики двигателя в широком диапазоне чисел оборотов.

Между двигателем и турбокомпрессором существует связь только через поток отработавших газов. Частота вращения турбокомпрессора напрямую не зависит от числа оборотов двигателя и характеризуется некоторой инерционностью, т.е. сначала увеличивается подача топлива, увеличивается энергия потоков отработавших газов, а затем уже увеличиваются обороты турбины и давление нагнетания и в цилиндры двигателя поступает еще больше воздуха, что дает возможность увеличить подачу топлива.

Подача и давление воздуха в турбокомпрессоре без регулирования давления наддува, прямо пропорциональны энергии отработавших газов, т.е. числу оборотов турбины.

Для двигателей, работающих в широком диапазоне оборотов (например, в легковом автомобиле), высокое давление наддува желательно даже на низких оборотах. Именно поэтому будущее принадлежит турбокомпрессорам с регулируемым давлением. Небольшой диаметр современных турбин и специальные сечения газовых каналов способствуют уменьшению инерционности, т.е. турбина очень быстро разгоняется и давление воздуха очень быстро достигает требуемого значения. Регулирующий клапан следит за тем, чтобы давление наддува не возрастало выше определенного значения, при превышении которого двигатель может быть поврежден.

1.2. Типы выпускных систем с турбокомпрессором

Существует два основных типа выпускных систем с турбокомпрессором с постоянным давлением на входе в турбину и с импульсным давлением на входе в турбину.

Применяются оба типа, иногда в комбинированных вариантах. Выбор определяется типом двигателя, количеством цилиндров, спецификой использования и множеством других факторов.

В выпускных системах с постоянным давлением на входе в турбину отработавшие газы от всех цилиндров собираются в общем выпускном коллекторе и затем, при почти постоянном давлении, направляются к турбокомпрессору.

В выпускных системах с импульсным давлением на входе в турбину используется выпускной коллектор типа "спагетти", в этом случае отработавшие газы подводятся к турбокомпрессору по отдельным патрубкам, идущим от каждого цилиндра, что позволяет использовать резонансные явления в выпускном коллекторе и добиться максимальной производительности от турбокомпрессора в узком диапазоне чисел оборотов.

1.3. Преимущества турбокомпрессорного двигателя

Двигатель, оснащенный турбокомпрессором, обладает техническими и экономическими преимуществами по сравнению с атмосферным (безнаддувным) давлением.

- Соотношение масса/мощность у двигателя с турбокомпрессором выше, чем у атмосферного двигателя
- Двигатель с турбокомпрессором менее громоздок, чем атмосферный двигатель той же мощности.
- Кривая крутящего момента двигателя с турбокомпрессором может быть лучше адаптирована к специфическим условиям эксплуатации. При этом, например, водитель тяжелого грузовика должен намного реже переключать передачи на горной дороге и само вождение будет более "мягким"

Кроме того, можно на базе атмосферных двигателей создавать версии, оснащенные турбокомпрессором и отличающиеся по мощности.

Еще более ощутимы преимущества двигателя с турбокомпрессором на высоте. Атмосферный двигатель теряет мощность из-за разрежения воздуха, а турбокомпрессор, обеспечивая повышенную подачу воздуха, компенсирует снижение атмосферного давления, почти не ухудшая характеристики двигателя. Количество нагнетаемого воздуха станет лишь незначительно меньше, чем на более низкой высоте, то есть двигатель практически сохраняет свою обычную мощность.

Кроме того:

- Двигатель с турбокомпрессором обеспечивает лучшее сгорание топлива. Подтверждением тому служит уменьшение потребления топлива грузовиками на больших пробегах.
- Поскольку турбокомпрессор улучшает сгорание, он также способствует уменьшению токсичности отработавших газов.
- Двигатель, оснащенный турбокомпрессором, работает более стабильно, чем его атмосферный аналог той же мощности, а будучи меньшим по размеру, он производит, соответственно, меньше шума. Кроме того, турбокомпрессор играет роль своеобразного глушителя в системе выпуска.

1.4. Возможности использования турбокомпрессоров

Турбокомпрессором может быть оснащен любой двигатель внутреннего сгорания, дизельный, бензиновый или работающий на газе, имеющий жидкостное или воздушное охлаждение. Турбокомпрессоры используются на двигателях как с большим рабочим объемом (судовых, тепловозных и стационарных), так и на двигателях грузовых и легковых автомобилей. Также не имеет никакого значения, идет ли речь о 2-тактном или о 4-тактном двигателе.

В настоящее время практически все большие дизельные двигатели мощностью более 150 кВт, используемые в промышленности, судостроении, на дорожно-строительных работах, оснащаются турбокомпрессором.

В сфере автомобильного транспорта любой дизельный двигатель мощностью более 80 кВт стандартно оснащается турбокомпрессором.

Даже в секторе небольших автомобилей с дизельным двигателем наблюдается распространение турбокомпрессоров. Приход турбокомпрессоров на бензиновые двигатели был более трудным, но ускорился благодаря опыту их использования на кольцевых автогонках и авторалли. Расширение производства материалов, обладающих высокими температурными характеристиками, улучшение качества моторных масел, применение жидкостного охлаждения корпуса турбокомпрессора, электронное управление регулирующими клапанами - все это способствует тому, что турбокомпрессоры стали использоваться на мелкосерийных бензиновых двигателях, что в сочетании с впрыском и электронным зажиганием позволило достичь очень высоких характеристик.

Для точного определения неисправностей, связанных с турбокомпрессором, необходимо знание принципа его работы. Нижеприведенная информация относится к турбокомпрессорам массовых дизельных двигателей, поскольку они достаточно просты.

2.1. Принцип работы турбокомпрессора для дизельного двигателя

Турбокомпрессор - это компрессор, или воздушный насос, который приводится от турбины. Турбина вращается за счет использования энергии потока отработавших газов. Частота вращения турбокомпрессора дизельного двигателя находится в пределах от 1000 до 130000 об/мин (это значит, что лопатки турбины разгоняются почти до линейной скорости звука).

Турбина непосредственно соединяется с компрессором жесткой осью. Компрессор засасывает через воздушный фильтр свежий воздух, сжимает его и затем под давлением подает во впускной коллектор двигателя. Чем больше воздуха подается в цилиндр, тем больше топлива может сгореть, а это повышает мощность двигателя.

Теоретически существует равновесие мощностей между турбиной и компрессором турбокомпрессора. Чем большую энергию имеют отработавшие газы, тем быстрее будет вращаться турбина. Как следствие, компрессор тоже будет вращаться быстрее.

2.1.1. Турбина

Турбина состоит из корпуса (рис. 13) и ротора (рис. 14). Отработавшие газы из выпускного коллектора двигателя попадают в приемный патрубок турбокомпрессора. Проходя по постепенно сужающемуся внутреннему каналу корпуса турбины они ускоряются, а пройдя этот имеющий форму улитки корпус, направляются к ротору турбины и приводят ее во вращение.

Скорость вращения турбины определяется размером и формой канала в ее корпусе. Это напоминает поливочный шланг: чем больше вы перекрываете пальцем выходное отверстие, тем дальше бьет струя воды. Размеры турбины и ее корпуса зависят от конкретного двигателя.

Корпусы турбин значительно различаются в зависимости от сферы применения. Корпус турбины двигателя грузовика может быть разделен на два параллельных канала, поэтому на ротор воздействует два потока отработавших газов.

При таком типе корпуса становится возможным использование импульсного движения потока газов и достижение резонансных явлений. Отсюда и обязательность разделения выпускных каналов для каждого цилиндра.

В корпусе турбины, имеющей двойной канал, каждый поток распределяется по всей поверхности ротора турбины. Другая конструкция корпуса с двумя каналами позволяет использовать импульсы давления (поток распределяется симметрично с каждой стороны ротора).

В случае системы с постоянным давлением используется только энергия поступательного движения отработавших газов. При этом могут применяться только корпуса турбины с одним каналом. Этот вариант используется в корпусах с водяным охлаждением, которые применяются на судовых двигателях.

В турбокомпрессорах с большим объемом часто устанавливают дополнительное кольцо с направляющими лопатками. Оно облегчает создание постоянного потока отработавших газов на роторе турбины и делает возможным регулирование оттока внутри ее корпуса.

Корпус турбины отливается из сплава с высокой термостойкостью. Ротор турбины также изготавливается из высококачественных материалов, имеющих высокую температурную стойкость. Ту часть, через которую входят отработавшие газы, называют впуском, а идущую к выхлопной трубе - выпуском (рис. 23).

На оси (рис. 23) жестко крепится ротор турбины. Материал оси отличается от материала, используемого для ротора турбины. Сборка этого соединения осуществляется следующим способом. Ось и ротор, вращающиеся в противоположных направлениях на очень большой скорости, прижимают друг к другу. Выделяющееся при трении тепло сплавляет их друг с другом, образуя неразъемное соединение.

Ось в месте соединения пустотелая. Эта пустота затрудняет передачу тепла от ротора турбины к ее оси.

На оси со стороны турбины имеется углубление, в котором располагается уплотнительное кольцо. Рабочая поверхность радиальных подшипников упрочняется и полируется.

Выступающий бортик, на который будет запрессовано кольцо, обрабатывается с высокой точностью.

На более тонкий конец оси устанавливается ротор компрессора, там имеется резьба, на которую навинчивается предохранительная гайка для закрепления ротора. После того, как ось изготовлена, она должна быть отбалансирована с максимальной возможной точностью, прежде чем она будет установлена в корпус.

2.1.2. Компрессор

Компрессор состоит из корпуса (рис. 25) и ротора (рис. 24).

Размеры компрессора определяются количеством воздуха, требуемого для двигателя, и скоростью вращения турбины.

Ротор компрессора жестко закреплен на оси турбины и следовательно вращается с той же скоростью, что и ротор турбины.

Лопатки ротора компрессора, изготавливаемые из алюминия, имеют такую форму, что воздух засасывается через центр ротора. Всасываемый таким образом воздух направляется к периферии ротора и при помощи лопаток отбрасывается на стенку корпуса компрессора. Благодаря этому воздух сжимается и через впускной коллектор попадает в двигатель. Корпус компрессора также изготовлен из алюминия.

2.1.3. Корпус оси

Смазка турбокомпрессора производится от системы смазки двигателя (рис. 26).

Корпус оси (рис. 27) образует центральную часть турбокомпрессора, расположенную между турбиной и компрессором. Ось вращается в подшипниках скольжения. Моторное масло по каналам проходит между корпусом и подшипниками, а также между подшипниками и осью. В большинстве турбокомпрессоров радиальные подшипники вращаются со скоростью, равной половине скорости оси.

В настоящее время появились конструкции, в которых подшипник неподвижен, а ось вращается в масляной ванне. Масло не только служит для смазки оси, но и охлаждает ее, подшипники и корпус.

Для уплотнения с двух сторон турбокомпрессора устанавливаются маслоотражательные прокладки (рис. 28 и 29). С двух сторон устанавливаются также уплотнительные кольца.

Но, не смотря на то, что эти кольца помогают избежать утечек масла, они в действительности не являются уплотнительными прокладками. Их нужно рассматривать как элемент, затрудняющий утечку воздуха и газов между турбиной, компрессором и корпусом оси. В обычном режиме работы турбокомпрессора давление в турбине и компрессоре больше давления в корпусе оси. Часть газов из турбины и часть воздуха, сжатого в компрессоре, попадают в корпус оси и вместе с моторным маслом по сливному маслопроводу проходят в масляный картер двигателя.

На рисунке 30 показан путь, по которому проходит масло внутри корпуса оси турбокомпрессора Garrett T04B.

Все масляные уплотнения динамического типа, т.е. работают на принципе разности давлений:

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

Когда обороты двигателя низкие или он работает без нагрузки, давление в корпусе оси больше, чем в компрессоре.

В компрессоре воздух отжимается от центра на периферию и сжимается. Этот эффект мы можем наблюдать при быстром размешивании кофе в чашке: кофе будет отброшен на стенки чашки, как показано на рисунке 33. Воздух в компрессоре завихрится и отбрасывается на стенки компрессора, после чего этот сжатый воздух поступает в двигатель. Поэтому становится ясно, почему в случае слабого наддува в двигателе с турбокомпрессором (т.е. когда давление турбокомпрессора близко к нулю) за ротором компрессора образуется небольшое разрежение.

Естественно, при работе компрессора могут иметь место утечки масла из корпуса оси в компрессор. Скорость вращения оси турбокомпрессора может быть настолько высокой, что избежать утечек масла, используя обычные манжеты (устанавливаемые, к примеру, в коробке передач), невозможно.

Поэтому в корпус оси устанавливают несколько уплотнительных колец, используя разные методы для наиболее качественного уплотнения мест возможной утечки масла.

Вот некоторые из них:

- Механический сливной маслопривод турбокомпрессора Garrett.

В этом турбокомпрессоре главную роль при уплотнении играет уплотнительное кольцо (рис. 31). Когда двигатель работает на малых оборотах либо без нагрузки, за ротором компрессора образуется область пониженного давления (разрежения). Масло и газы, которые находятся в корпусе оси, устремляются между задней пластиной и уплотнительным кольцом к компрессору.

Когда эта смесь проходит через отверстия кольца, масло, более тяжелое, чем газы, отбрасывается к наружной стороне кольца, но остается в корпусе оси, в то время как газы продолжают свое движение в компрессоре.

Таким образом, уплотнительное кольцо, которое вращается на большой скорости вместе с осью турбокомпрессора, действует как центробежный сепаратор масла.

- Пластина для отвода масла

Большинство производителей турбокомпрессоров в той или иной форме используют эту схему. Это неподвижная пластина, расположенная поперечно со стороны компрессора.

Как показано на рисунке 35, масло, идущее от уплотнительных колец, стекает по внутренней стороне пластины вниз, то есть к отверстию для слива масла. Верхняя часть этой пластины имеет такую форму, что она постоянно находится выше нормального уровня масла в корпусе оси. В случае возможного образования разрежения в компрессоре газы засасываются легче, чем более тяжелое масло.

Со стороны турбины проблема отвода масла не так важна, если принять во внимание, что в нормальных условиях давление в турбине всегда выше, чем в корпусе оси. При некоторых условиях эксплуатации может иметь место падение давления в турбине, в таком случае требуется установка пластины для отвода масла со стороны турбины.

Любая конструкция корпуса оси подразумевает также необходимость максимального снижения теплообмена между турбиной с уплотнительными кольцами и компрессором. С этой целью со стороны турбины устанавливается термоизоляционная прокладка, а в корпусе оси имеется множество элементов для теплообмена. Например, в турбокомпрессорах Garrett для дизельных двигателей с марта 1989 года используется корпус оси, имеющий ребра охлаждения.

2.2. Поиск неисправностей в турбокомпрессорах дизельных двигателей

На нормально работающем двигателе, который своевременно и качественно обслуживается, компрессор может безотказно работать в течении долгих лет.

Появление неисправностей может быть следствием:

- недостаточного количества масла,
- попадания в турбокомпрессор посторонних предметов,
- загрязненного масла.

Часто турбокомпрессоры снимают с двигателя без предварительной проверки необходимости этого. Ремонт турбокомпрессора может производить, лишь убедившись в отсутствии неисправностей двигателя. В большинстве случаев это позволяет избежать бесполезной замены турбокомпрессора.

Чаще всего встречаются следующие проявления неисправностей, связанных с турбокомпрессором:

- Двигатель не развивает полную мощность.
- Черный дым из выхлопной трубы.
- Синий дым из выхлопной трубы.
- Повышенный расход масла.
- Шумная работа турбокомпрессора.

2.2.1. Низкая мощность двигателя, черный дым из выхлопной трубы.

Оба признака являются следствием недостаточного поступления воздуха в двигатель, причиной чего может быть засорение канала подвода воздуха либо его утечка из выпускного коллектора.

Для начала нужно запустить двигатель, после чего прослушать шум, производимый турбокомпрессором.

Имея некоторый опыт, можно довольно быстро определить утечку воздуха между выходом турбокомпрессора и двигателем по свисту, который возникает при этом. После этого проверьте, не засорен ли воздушный фильтр.

Проверьте (в случае необходимости) количество поступающего воздуха, пользуясь техническими данными производителя турбокомпрессора. Затем заглушите двигатель, снимите уплотнение между воздушным фильтром и турбокомпрессором и проверьте отсутствие засорения и повреждений этого канала. Если, не смотря на то, что все это в порядке, неисправность осталась, проверьте уплотнения турбокомпрессора, коллектор и крепление глушителя, чтобы убедиться, что там нет засорения или посторонних предметов. Проверьте отсутствие трещин, затяжку гаек выпускного коллектора, отсутствие повреждений соединений и прокладок системы выпуска.

Теперь поворачивайте ось турбокомпрессора, чтобы установить, свободно ли она вращается, нет ли повышенного износа или повреждения ротора турбины или компрессора.

Обычно ось всегда имеет небольшой люфт, но если при вращении турбокомпрессора рукой ротор турбины и компрессора задевает или трется о корпус - налицо явный износ.

Если после проверки всех элементов неисправности не обнаружены, значит, падение мощности возникло не из-за турбокомпрессора. Необходимо искать неисправность в самом двигателе.

2.2.2. Синий дым из выхлопной трубы.

Появление синего дыма является следствием сгорания масла, причиной которого может быть либо его утечка в турбокомпрессоре, либо неисправности в двигателе.

Прежде всего проверьте воздушный фильтр: любое препятствие на пути воздуха к турбокомпрессору может стать причиной утечки масла со стороны компрессора. В этом случае за ротором компрессора образуется разрежение, что вызывает засасывание масла из корпуса оси в компрессор.

Следующим этапом проверки будет снятие корпусов турбины и компрессора для проверки свободного вращения оси и отсутствия поврежденных роторов.

Затем проверьте сливной маслопровод от турбокомпрессора к корпусу двигателя на отсутствие повреждений, сужений и пробок. Засорение этого маслопровода или повышенное давление в картере двигателя (в большинстве случаев вызываемое засорением системы вентиляции картера) приводит к тому, что масло из

турбокомпрессора не возвращается в масляный картер двигателя. Проверьте, не повышено ли давление газов в картере. Используйте масло, рекомендуемое производителем для данного двигателя.

Не следует упускать из виду тот факт, что в масляный картер сливается не только масло - в нем присутствует также часть отработавших газов и сжатого воздуха из турбины и компрессора. В этой смеси на одну часть масла приходится 4-5 частей газов.

В последнюю очередь снимите выпускной коллектор двигателя и проверьте отсутствие следов масла. Если и эта проверка окажется успешной, ищите неисправность в двигателе.

2.2.3. Повышенный расход масла (без синего дыма).

Проверьте воздушный фильтр, а затем крепления корпуса турбины турбокомпрессора и давление в нем. Оцените люфт оси турбокомпрессора, проверьте отсутствие следов износа от трения ротора компрессора и турбины о стенки соответствующих корпусов. Это обнаруживается по люфту оси турбокомпрессора.

Если ничего необычного не выявлено, следует искать неисправность за пределами турбокомпрессора.

Иногда постоянная утечка масла происходит через турбину турбокомпрессора при том, что она находится в исправном состоянии. Практика показывает, что "виноват" в этом засоренный сливной маслопровод или повышенное давление в масляном картере двигателя. Как уже разьяснялось выше, по этому маслопроводу течет не только масло, но и большое количество газов. Идеальной формой для этого маслопровода была бы поэтому прямая труба, отходящая от турбокомпрессора и без изгибов идущая в масляный картер двигателя, вывод которой в картере располагался бы чуть выше нормального уровня масла в нем (рис. 48).

Важным является также диаметр маслопровода. В случае турбокомпрессоров небольшого размера, таких как Garrett T3, T04B или 3LD Holset-KKK-Shwitzer, диаметр маслопровода составляет 20 мм. Как говорилось выше, в идеале труба маслопровода должна напрямую, без всяческих изгибов и горизонтальных частей, соединять турбокомпрессор с картером двигателя. Однако большинство сливных маслопроводов очень редко бывают подобной формы. При значительном износе двигателя возникают трудности со сливом масла.

Фирмой Garrett, имеющей тридцатилетний опыт производства турбокомпрессоров, предложен специальный декомпрессор, снижающий давление, и сепаратор масла, который можно изготовить и установить самостоятельно (см. рис. 48).

2.2.4. Шумная работа турбокомпрессора.

Проверьте все трубопроводы, находящиеся под давлением: вход и выход турбокомпрессора, систему выпуска. Проверьте легкость вращения оси турбины и отсутствие трения роторов турбины и компрессора и их повреждения посторонними предметами. Если установлено, что роторы трутся или повреждены, снимите и замените турбокомпрессор.

- Полностью снимите маслопровод и трубку сапуна. Тщательно проверьте, не засорились и не повреждены ли они.
- Ни в коем случае не используйте герметик для крепления подающего и сливного маслопроводов турбокомпрессора. Большинство герметиков при контакте с горячим маслом растворяются в нем. Такое загрязненное масло может повредить подшипники и кольца турбокомпрессора.
- Очень часто остатки герметика вызывают засорение масляных каналов внутри турбокомпрессора.
- Не забудьте смазать турбокомпрессор перед его установкой.
- Промойте двигатель, замените масло, установите новые масляный и воздушный фильтры.

Следует обращать внимание на правильность вождения, особенности двигателя с турбокомпрессором (запуск и остановка двигателя). Если заглушить двигатель, работающий на высоких оборотах, турбокомпрессор продолжает вращаться без смазки, потому что давление моторного масла почти равно нулю. При этом повреждаются подшипники и кольца турбокомпрессора.

Кроме того, очень важно дать двигателю поработать на холостых оборотах минимум 30 секунд, прежде чем давать ему полную нагрузку (по тем же причинам, что и при остановке).

Нужно регулярно заменять масло и фильтр, используя масло, подходящее для данного турбокомпрессорного двигателя.

Из данных таблицы (рис. 52) следует, что основными причинами неисправностей являются утечки воздуха и отработавших газов. С помощью таблицы можно найти участки, откуда может происходить утечка. Утечки всегда производят шум, и из-за потери газов или воздуха всегда снижается производительность турбокомпрессора, что, следовательно, уменьшает мощность двигателя. Недостаток воздуха может быть причиной черного дыма, выходящего из выхлопной трубы. Иногда, не найдя неисправности, шум можно устранить заменой турбокомпрессора.

Поиск неисправности на дизельном двигателе с турбокомпрессором

1. Если двигатель не развивает полную мощность, и при его работе выделяется черный дым, необходимо проверить следующие элементы:
 - воздушный фильтр;
 - крепления воздухоотводов;
 - выпускной коллектор, его уплотнения систему выпуска;
 - турбокомпрессор (следы трения роторов турбины и компрессора).
2. Если при работе двигателя выделяется синий дым и расходуется много масла, нужно проверить следующие элементы:
 - воздушный фильтр;
 - подшипники и уплотнительные кольца турбокомпрессора (отсутствие повреждений);
 - турбокомпрессор (отсутствие засорения загрязненным маслом);
 - трубу сливного маслопровода и сапун двигателя.
3. Если турбокомпрессор шумит при работе, следует проверить следующие элементы:
 - крепления воздухоотводов;
 - систему выпуска;
 - подшипники (отсутствие повреждений из-за нехватки масла или загрязненного масла).

2.3. Неисправности турбокомпрессоров

Существуют три главных причины повреждения турбокомпрессоров:

- недостаток масла;
- попадание посторонних предметов;
- загрязненное масло.

2.3.1. Недостаток масла

Первыми выходят из строя из-за недостатка масла подшипники. После выхода из строя одного или нескольких подшипников могут последовать другие повреждения, такие как трение роторов турбины и компрессора, износ уплотнительных колец. В худшем случае может даже треснуть ось турбины.

В нормальных условиях ось и подшипники работают при температурах 60-90°C.

В случае нехватки масла резко увеличивается теплоотдача на ротор турбины. Это тепло в совокупности с теплом, выделяющимся при трении в подшипниках, поднимает температуру оси до приблизительно 400°C, приводя к коксованию остатка масла и вызывая перегрев оси (см. рис. 53).

Кроме того, перегреваются все подшипники и корпус оси. Последний деформируется, а материал подшипников наваривается на ось турбокомпрессора (см. рис. 54).

На рисунке 55 представлены перегретые бронзовые подшипники. Обратите внимание на то, что с внутренней поверхности подшипника снята часть материала, а смазочные отверстия на правом подшипнике почти забиты.

В случае биения оси возникают значительные повреждения на внешних частях впускного канала, а уплотнительные кольца утрачивают свои свойства (см. рис. 56).

На рис. 57 показан износ рабочей поверхности уплотнительного кольца, а на рис. 58 - расплавленный подшипник на его внутренней стороне.

На рисунке 59 показан результат трения ротора турбины о стенку ее корпуса из-за повреждения подшипников.

Из-за поломки подшипников лопатки ротора компрессора ударяются о внутреннюю его часть и повреждаются (см. рис. 60).

На рис. 61 показаны деформированные концентрические отверстия внутри подшипника. Рабочая поверхность подшипника изношена. Обычно эта часть повреждается незначительно, и к такому виду ее приводит лишь полное отсутствие масла.

При высокой температуре, возникающей вследствие трения при биении оси, алюминиевые подшипники плавятся. Подшипники, показанные на рис. 62, имеют частично забитые отверстия для подвода масла и полностью изношенную поверхность.

Бронзовые подшипники в случае перегрева теряют оловянный слой и изменяют цвет. На рис. 63 этот слой поврежден, а местами полностью отсутствует. Для сравнения справа показан новый подшипник.

2.3.2. Попадание посторонних предметов

Попадающие из двигателя обломки деталей, например, части клапанов или поршневых колец, вызывают серьезные повреждения ротора турбины (см. рис. 64).

Повреждения ротора компрессора могут быть вызваны множеством причин. Например, если во впускной канал компрессора попадает твердый предмет, края лопаток ротора компрессора попадают твердый предмет, края лопаток ротора компрессора сбиваются (рис. 65), а если мягкий (кусок ткани или резины) - гнутся (рис. 66).

Абразивные материалы, такие как песок или грязь, быстро сошлифовывают лопатки ротора компрессора (см. рис. 67). На рис. 68 показаны полностью сточенные лопатки. Это может быть вызвано утечкой между воздушным фильтром и турбокомпрессором.

Следствием этого явления будет также разбалансировка оси и роторов турбины и компрессора. После этого дальнейшие повреждения неизбежны. На рис. 69 показаны сильно поврежденные канавки подшипников.

На рис. 70 видно, до какой степени разбалансированный ротор может повредить подшипники. При скоростях вращения, достигающих 130000 об/мин, даже легкий дисбаланс может увеличиться до огромных размеров.

2.3.3. Загрязненное масло

Турбокомпрессор смазывается фильтруемым маслом. При загрязнении масла происходят повреждения деталей. Поверхность оси на рис. 71 поцарапана загрязнениями, содержащимися в моторном масле.

Кроме того, при этом быстро изнашивается рабочая поверхность подшипника (рис. 72). В данном случае рабочая поверхность в некоторых местах повреждена настолько, что даже каналы для подвода масла начинают закрываться.

На рис. 73 показана поврежденная сторона уплотнительного кольца.

В крайних случаях внутренняя и наружная поверхности подшипника стачиваются настолько, что полностью удаляется слой олова (рис. 74).

Густое масло задерживается на внутренних перегородках корпуса оси и снижается герметичность, вызывая большие утечки масла (см. рис. 75). Густое масло может также закоксовываться под воздействием тепла и затем стать причиной последующих повреждений подшипников и уплотнений.

Загрязнения могут даже глубоко процарапать внешнюю поверхность подшипника (см. рис. 76). Для сравнения слева показан новый подшипник.

Что касается алюминиевых вкладышей (рис. 77), загрязнения могут задерживаться на их поверхности и вследствие этого вызывать значительные отложения на оси подшипника и в его корпусе.

Отложение закоксованного масла на роторе турбины может быть вызвано дефектом системы герметичности турбокомпрессора, загрязненным маслом в корпусе оси или оттоком масла в систему выпуска из-за сильного износа самого двигателя. Это может быть также вызвано повышенным давлением в масляном картере

двигателя, засорением сливного маслопровода турбокомпрессора или загрязнением воздушного фильтра (рис. 78).

В заключение следует отметить, что всех вышеописанных неисправностей можно избежать при правильном и регулярном обслуживании двигателя.

3.1. Турбокомпрессоры для дизельных двигателей

3.1.1. Регулировка давления наддува

Мощность дизельного двигателя ограничена максимальным числом оборотов, равным приблизительно 5000 об/мин. Ее можно поднять, только увеличив рабочий объем двигателя или степень сжатия.

По соображениям ограничения массы и размеров автомобиля его оснащают как можно меньшим двигателем, который будет работать с максимальными оборотами, чтобы обеспечить требуемую мощность.

Дизельный двигатель работает в широком диапазоне числе оборотов. Соответствие мощности турбины и нерегулируемого компрессора турбокомпрессора означает соответствие создаваемого последним давления энергии отработавших газов. Увеличивая мощность двигателя (например, нажимая на педаль акселератора), мы увеличиваем как количество отработавших газов, так и давление наддува. Недостатком этой конструкции будет создание слишком высокого давления на максимальных оборотах. Повреждения двигателя избегают, ограничивая давление.

Принцип работы регулятора давления представлен на рис. 81. Давление наддува в компрессоре воздействует на мембрану, которая прижимается пружиной. Когда сила сжатой пружины преодолевается, открывается регулировочный клапан, уменьшая поток отработавших газов через турбину и удерживая таким образом давление наддува ниже определенного предела, при повышении которого двигатель был бы поврежден.

В турбокомпрессорах для дизельных двигателей этот клапан почти всегда встроен в корпус турбины. Этим достигается компактность конструкции и точность работы.

На рис. 83. представлен в разрезе регулировочный клапан фирмы Garrett.

Верхняя часть стержня клапана полая. Эта полость заканчивается на середине стержня боковым отверстием.

Обычно давление во впускном трубопроводе над мембраной выше давления в корпусе. Вот почему более холодный воздух из компрессора циркулирует по полости в стержне к точке крепления стержня в корпусе турбины и затем по вентиляционному воздухопроводу к корпусу турбины.

Крышка мембраны зажата на корпусе клапана таким образом, что на практике никакая регулировка усилия пружины невозможна. Если предохранительный клапан не работает как надо, корпус турбины вместе с клапаном должен быть заменен полностью.

На рисунке 84 представлены разрез и схема работы предохранительного клапана фирмы ККК.

Этот клапан также может быть встроен в выхлопную трубу, как отдельно от корпуса турбины, так и в ней.

Чтобы максимально уменьшить передачу тепла, встраивают множество теплоизоляционных элементов. Кроме этого, корпус клапана имеет ребра охлаждения, которые поглощают тепло и рассеивают его в окружающий воздух.

Давление наддува можно также регулировать со стороны компрессора. При определенном давлении регулировочный клапан открывается и выпускает часть воздуха в атмосферу или во впускной трубопровод перед компрессором. Эта система, правда, имеет два недостатка. Во-первых, выпускаемый воздух имеет повышенную температуру, поэтому термодинамические преимущества турбокомпрессора уменьшаются. Во-вторых, если давление регулируется только компрессором, требуется слишком большая турбина, чтобы в любой момент времени обеспечить нужную производительность компрессора. Это вызывает увеличение времени реакции на нажатие педали акселератора, поскольку турбокомпрессор срабатывает с запаздыванием.

На практике клапан у компрессора используется как дополнительная защита от повышения давления совместно с регулятором давления наддува.

3.1.2. Корпус оси

С уменьшением размеров турбины и компрессора общая величина современных турбокомпрессоров также уменьшается. При этом турбина располагается все ближе к компрессору.

Передача тепла от турбины к компрессору по оси и корпусу оси неблагоприятно сказывается на надежности и долговечности корпуса, а также ухудшает теплоотдачу турбокомпрессора: воздух должен быть как можно более холодным, поскольку холодный (более плотный) воздух содержит больше кислорода, чем горячий.

В ходе развития турбокомпрессоров для автомобильных дизельных двигателей конструкторы постоянно искали новые возможности воспрепятствования передаче тепла. При изготовлении корпуса оси стали встраивать большее количество термокомпенсационных элементов, увеличили количество содержащегося в корпусе масла (см. рис. 85).

Так, фирма Garrett изготовила "морщинистый" корпус оси, разработанный специально для автомобильных двигателей. Этот корпус устанавливается на турбокомпрессоре ТЗ той же фирмы. Благодаря особой форме корпуса достигнуто снижение температуры на его внутренней поверхности, при этом пиковые температуры снижены:

- усилением вентиляции вокруг основания турбины, что значительно улучшает циркуляцию масла и отвод тепла;
- увеличением размеров металлических деталей, чтобы ускорить поглощение тепла;
- использованием охлаждающих ребер для улучшения отвода тепла от основания турбины.

Такой корпус показан на рис. 86.

На рисунке 87 представлены графики, показывающие достигнутое снижение максимальной температуры осевого основания турбины. Максимальная температура достигается через несколько минут после остановки двигателя.

3.2. Турбокомпрессоры для бензиновых двигателей

Принцип работы турбокомпрессоров для бензиновых автомобильных двигателей такой же, что и для дизелей общего применения. Поэтому данная глава должна рассматриваться как продолжение предыдущих описаний турбокомпрессоров для дизелей общего применения и автомобильных двигателей.

В случае установки турбокомпрессора на бензиновый двигатель возникают специфические требования.

3.2.1. Обеспечение герметичности маслогазовых каналов турбокомпрессора

Предотвращение утечек масла со стороны компрессора в случае с бензиновым двигателем иногда намного сложнее, чем в случае с дизелем, особенно если дроссельная заслонка установлена перед турбокомпрессором. В этом случае в компрессоре образуется сильное разрежение, из-за чего масло засасывается в корпус. Фирма Garrett разработала уплотнительное кольцо из карбона, которое применяется на автомобильных турбокомпрессорах Т2, Т25 и Т3. Карбоновое уплотнительное кольцо прижимается к обратной стороне крыльчатки компрессора и обеспечивает герметизацию. Правда, часть механической энергии турбокомпрессора при этом теряется. Такая конструкция используется только в том случае, если это действительно необходимо.

Высокая герметичность, обеспечиваемая кольцом со стороны компрессора, необходима также, если перед входом турбокомпрессора образуется топливно-воздушная смесь. В этом случае герметичность должна предотвратить попадание смеси через корпус оси в картер двигателя, что могло бы вызвать пожар или повреждение последнего.

В тех случаях, когда высокая герметичность не требуется, используют ту же систему уплотнений, что и в компрессоре для дизельного двигателя.

В сравнении с дизельным двигателем, температура отработавших газов бензинового двигателя более высокая, поэтому необходимы дополнительные меры по теплоизоляции.

3.2.2. Качество материалов турбины

Корпус турбины, так же как и ее ротор, изготавливается из материалов повышенного качества, отличающихся высокой термостойкостью.

Некоторые типы роторов турбин для турбокомпрессоров бензиновых двигателей по своей форме и технологии изготовления идентичны предназначенным для небольших дизельных двигателей. Чтобы избежать возможных ошибок при идентификации, фирма Garrett ввела отличительный признак: специальную форму торца ротора (см. рис. 88 и 89).

3.2.3. Регулировочный клапан

При разработке регулировочного клапана также учитывается повышенная температура в турбине.

При установке клапана непосредственно на корпус турбины передача тепла от клапана к мембране исполнительного механизма настолько велика, что мембрана повреждается.

Существуют два решения проблемы. Во-первых, можно отодвинуть клапан от турбины. Это решение использует фирма ККК, потому что оно вдобавок позволяет сделать регулировку более точной. Но это также и наиболее дорогой вариант, из-за чего его можно использовать только на автомобилях высшего класса. Другое решение - это совершенно иная конструкция, не использующая регулировочные клапаны. Простой тарельчатый клапан заменяется заслонкой, расположенной в системе выпуска, которая приводится в действие мембраной, соединенной с компрессором (см. рис. 91). Управление происходит через тяги, что является препятствием для передачи тепла к мембране, чем исключается ее повреждение. Недостатком такой системы тяг является то, что между отдельными элементами может существовать люфт. Поэтому при регулировке клапан будет работать с некоторым допуском. На практике чаще всего используют именно это решение, потому что такая конструкция легче, более компактна, а также дешевле.

3.2.4. Охлаждаемый корпус оси

Корпус оси претерпел множество изменений. Прежде всего, был увеличен объем для масла в корпусе оси и встроены температурные элементы между турбиной и компрессором.

Следующим этапом разработки стало увеличение массы металла одновременно с появлением наружных охлаждающих ребер.

Тем не менее, опасность переноса тепла от турбины к корпусу оси оставалась высокой, особенно при работе на больших оборотах.

При остановке двигателя и прекращении циркуляции масла прекращается и отвод тепла. Остаток масла в корпусе оси закоксуется, и эти отложения повреждают корпус. Чтобы решить эту проблему, были разработаны корпуса, охлаждаемые одновременно и маслом, и водой.

Система водяного охлаждения корпуса оси соединена с системой охлаждения двигателя. Так как последняя имеет замкнутый тип, корпус даже после остановки двигателя содержит охлаждающую жидкость. Кроме того, для кратковременного продолжения циркуляции жидкости после остановки двигателя дополнительно может быть встроены небольшой насос. Таким образом, чрезмерное тепло после остановки двигателя может быть отведено.

4.1. Уменьшение размеров

Для борьбы с инерционностью наддува (замедленным временем реакции на нажатие педали акселератора) при резком ускорении конструкторы турбокомпрессоров уменьшают размеры турбин и увеличивают скорость их вращения.

Фирмой ККК разработаны новые модели турбокомпрессоров (K-14, K-13, K-12, K-04, K-03) взамен более старой K-24.

Турбокомпрессоры K-14, производящиеся с 1984 года (кроме прочих они устанавливались на автомобили концерна VW: Golf, Passat и Transporter), представляют собой развитие конструкции K-24.

Турбокомпрессор K-24 весит 8,1 кг, а диаметр его ротора равен 60 мм, в то время как турбокомпрессор K-14 весит всего 4,9 кг, а диаметр его ротора равен 50 мм. Ротор турбокомпрессора K-24 весит 0,289 кг, а K-14 - только 0,191 кг. Это дает уменьшение инерционных сил на 40% и приводит к уменьшению времени срабатывания на целую секунду.

Фирма Garrett также усовершенствовала свои турбокомпрессоры: от более старых T-3 - к T-2, и от T-25 - к T-15, причем последний весит всего 3,3 кг и имеет диаметр ротора 43 мм.

Причина стремления к постоянному уменьшению размеров турбокомпрессоров не ограничивается только соображениями инерционности наддува, но заключается также и в том, что турбокомпрессор и систему промежуточного охлаждения подающегося воздуха все чаще рассматривают как единое целое. В то же время производители автомобилей стремятся использовать малогабаритные двигатели для того, чтобы иметь возможность улучшения аэродинамических форм своих машин. Нужно также принимать во внимание необходимость размещения дополнительных устройств, повышающих комфорт водителя и пассажиров. Использование ныне обязательных катализаторов и уловителей сажи также требует дополнительного пространства, поэтому под капотом современного автомобиля становится просто-напросто тесно, и все, что устанавливается там, должно иметь минимальные размеры.

4.2. Использование керамических материалов

Чтобы иметь возможность более эффективно использовать тепловую энергию, конструкторы стали использовать новые материалы для внутренних деталей двигателя для снижения потерь тепла на систему охлаждения. Это неразрывно связано с постоянно возрастающими температурами отработавших газов в современных автомобилях, достигающими до 1250°C.

Поскольку турбокомпрессор использует часть этой тепловой энергии своей турбиной, он тоже должен выдерживать эти повышенные температуры.

Преимущества керамического ротора турбины следующие:

- большая температурная устойчивость (свыше 1200°C);
- значительно меньший вес (всего лишь 10% от массы металлического ротора);
- меньшая инерционность (ускоряется минимум в два раза быстрее, чем металлический);
- возможность уменьшения толщины стенок корпуса турбины и их массы;
- возможность модификации всего корпуса. Корпус уже не должен быть массивным, чтобы выдерживать удары отколовшихся частей ротора турбины;
- меньший коэффициент температурного расширения, чем у металлического ротора (при температуре 900°C линейное расширение не превышает 20% от расширения металлического ротора). Кроме того, он хуже поддается деформации. Поэтому расстояние между лопатками ротора турбины и стенкой ее корпуса может быть уменьшено, что делает турбину более эффективной.

Трудности, возникающие на пути создания керамических роторов, - это хрупкость материала, неустойчивость к воздействию микроскопических частиц, усложненный производственный контроль качества.

В настоящее время испытываются различные варианты соединения металлической оси с керамическим ротором турбины (см. рис. 95). Сварка двух различных материалов представляет ряд трудностей. Существуют также конструкции вала и ротора, состоящие из одной керамической детали (см. рис. 96).

Кроме исследований керамических роторов турбины, разрабатываются также корпуса турбины с внутренним керамическим покрытием.

Для борьбы с микроскопическими твердыми частицами в отработавших газах фирмой Garrett создан корпус турбины с сепаратором и собирающей емкостью для этих частиц (рис. 97).

4.3. Изменяемая геометрия

Регулируемое сечение корпуса турбины - идеал к которому стремились, начиная с установки газовой турбины на автомобиле Chrysler в 1958 году.

Интерес к турбине с изменяемой геометрией заключается в том, что она снижает до минимума инерционность и позволяет турбине оптимально работать на повышенных оборотах или при максимальной нагрузке, причем регулировочный клапан не нужен.

До недавнего времени все попытки создания подобной турбины были безуспешны из-за отсутствия подходящих материалов и технологических ограничений при производстве.

В настоящее же время почти все производители турбокомпрессоров представили свои системы с изменяемой геометрией.

Так, фирма Garrett предлагает турбину с регулируемым сечением T-25-VNT с ротором, имеющим дополнительные подвижные лопатки, с помощью которых регулируется поток отработавших газов как низких, так и на высоких оборотах двигателя.

Существует также другая конструкция - Garrett T25-VAT. Она имеет единственный подвижный лепесток в канале турбины, который уменьшает сечение и, соответственно, поток газов на низких оборотах. На более высоких оборотах лепесток полностью убирается, чтобы максимально использовать производительность турбины.

В обеих системах может быть установлен предохранительный клапан для предотвращения перегрузки.

Фирма KKK заявила о начале выпуска надежного и дешевого турбокомпрессора с изменяемой геометрией. В этой конструкции лопатки не приводятся сложной внешней системой рычагов, а свободно колеблются на своих собственных осях таким образом, что максимальная производительность обеспечивается при любых режимах работы двигателя. Степень открывания лопаток ограничена регулировочным кольцом, а положение кольца определяется положением педали акселератора.

4.4. Электроника и турбокомпрессор

Разработка надежных предохранительных клапанов способствовала применению турбокомпрессоров на небольших двигателях.

На рис. 99 представлена схема регулирования давления в обычном турбокомпрессоре. Давление наддува направляется к мембране, которая находится под давлением пружины. Когда давление пружины преодолевается, предохранительный клапан открывается. Клапан отрегулирован так, что величина давления наддува находится ниже того уровня, который может вызвать повреждение двигателя.

Эта механическая регулировка, тем не менее, не позволяет полностью использовать энергию отработавших газов.

Для удовлетворения постоянного возрастающих требований, которые сегодня предъявляются к автомобильной технике в области расхода топлива, чистоты отработавших газов и уровня шума, пришлось более критично рассмотреть вопрос управления работой двигателя. Именно поэтому, а также для регулирования давления наддува, в управлении работой двигателя были использованы микропроцессоры. Компьютерный контроль регулировки проходит в два этапа.

На первом этапе на основании определенного числа параметров, таких как температура охлаждающей жидкости, масла, впускаемого воздуха и отработавших газов, анализируется состояние двигателя. Измеряются также число оборотов, положение педали акселератора и другие параметры. Все эти данные анализируются компьютером и используются для определения идеального в данных условиях давления наддува для двигателя.

На втором этапе это значение идеального давления передается на исполнительные устройства, которые регулируют давление во впускной системе. При определении этого давления учитываются также критические условия работы двигателя, в частности, детонация. Акустические датчики позволяют распознать самовоспламенение, насколько малым бы оно ни было. Давление наддува в этом случае понижается. Эта операция повторяется до тех пор, пока детонация не исчезнет. Когда детонация прекращается, давление наддува снова возрастает до первоначального значения. Компьютер также определяет идеальное давление наддува в случае повторяющейся детонации, возникающей, например, из-за использования низкокачественного топлива.

Естественно, что этот же компьютер может регулировать и другие параметры работы двигателя. На практике программа, в том виде, в котором она описана выше, составляет лишь часть программ, управляющих работой двигателя.

На рисунке 100 представлена схема работы регулятора давления наддува, управляемого компьютером.

Электромагнитный клапан получает электрический сигнал, который определяет время его открывания, и работает, соответственно, как регулятор давления наддува.

Таким образом, на мембрану воздействует не все давление наддува, а только его большая или меньшая часть, которая зависит от положения электромагнитного клапана.

При нажатой педали акселератора компьютер подает команду на закрытие клапана, и все отработавшие газы направляются в турбину, из-за чего давление наддува возрастает и двигатель развивает значительную мощность, что делает возможным резкое ускорение автомобиля. Как только желаемая скорость движения достигнута и больше не увеличивается водителем, предохранительный клапан снова открывается и давление наддува возвращается к своему обычному значению. Такое резкое повышение давления ("overboost") длится всего несколько секунд, и безопасность двигателя контролируется различными датчиками, которые при необходимости ограничивают давление.

Дополнительные системы

5.1. Охлаждение наддувочного воздуха (intercooler)

Когда предмет сжимают, он нагревается. Воздух, сжатый турбокомпрессором, тоже нагревается и расширяется. Горячий воздух обладает меньшей плотностью и содержит значительно меньше кислорода, чем холодный; поэтому необходимо охладить воздух, так как большее количество кислорода означает большее количество сгоревшего топлива, т.е. двигатель развивает большую мощность.

По этой причине выходящий из компрессора сжатый воздух сначала проходит через радиатор, где охлаждается перед подачей в двигатель (см. рис. 101 и 102).

Подача в двигатель более холодного воздуха заметно снижает температурную нагрузку, что благоприятно влияет на его надежность и долговечность.

Существуют охладители типа "воздух/воздух" и системы, которые используют охлаждающую жидкость для охлаждения воздуха ("охлаждающая жидкость/воздух").

5.2. Турбокомпрессоры, устанавливаемые параллельно

В некоторых случаях (особенно на V-образных двигателях) производитель двигателя имеет возможность выбора между одним турбокомпрессором, подающим воздух для всего двигателя, или несколькими меньшими по размеру турбокомпрессорами, каждый из которых подает воздух в отдельный цилиндр. В последнем случае каждый турбокомпрессор приводится частью отработавших газов от группы цилиндров.

Два небольших турбокомпрессора быстрее вступают в работу благодаря своим меньшим роторам, и они обеспечивают лучшую реакцию на нажатие педали акселератора. Впускной и выпускной коллекторы для двух небольших компрессоров будут короче и проще по конструкции, чем для одного большого.

С другой стороны, два малых турбокомпрессора, как правило, дороже одного большого. Кроме того, требуется согласование их работы.

Можно отметить, что кроме двойных турбокомпрессоров, используемых, например, на автомобилях Maserati и на двигателях V8 и V10 грузовиков Mercedes, этот тип системы существует в виде четырех турбокомпрессоров на один двигатель, например, на некоторых двигателях V16 Detroit Diesel, где устанавливается отдельный турбокомпрессор на каждые четыре цилиндра.

Серийные двоянные турбокомпрессоры

Невозможно получить хорошую производительность от стандартного турбокомпрессора, если давление наддува должно превышать 3,3 бар. Для этого пришлось бы разрабатывать иные типы турбин и компрессоров, которые намного сложнее, тяжелее и дороже используемых на обычных турбокомпрессорах.

Решение этой проблемы заключается в установке двух серийных турбокомпрессоров друг за другом, т.е. последовательно. Компрессор большего турбокомпрессора (низкого давления) всасывает чистый воздух через воздушный фильтр. Затем воздух сжимается и подается в воздухозаборник меньшего турбокомпрессора (высокого давления). Там воздух еще раз сжимается, после чего подается в двигатель. Отработавшие газы двигателя сначала попадают на турбину турбокомпрессора высокого давления, потом на турбину турбокомпрессора низкого давления и затем в систему выпуска.

Чтобы получить хорошую производительность этой системы, необходимо охлаждать воздух, и делать это как между первым и вторым турбокомпрессорами, так и между вторым турбокомпрессором и двигателем.

Эта система будет еще эффективнее, если в качестве турбокомпрессора низкого давления использовать турбокомпрессор с регулировочным клапаном. Это позволяет работать с меньшей (а значит, и более быстрой) турбиной, с лучшей реакцией на ускорение. Клапан контролирует давление и температуру в воздухозаборнике турбокомпрессора высокого давления, что позволяет обойтись без охладителя. Кроме того, мощность турбины высокого давления возрастает, когда открывается клапан турбины низкого давления.

5.3. Турбокомпаунд

Улучшение температурной отдачи двигателя - одна из важнейших задач в процессе модернизации двигателей внутреннего сгорания. В этой связи очень перспективным является турбокомпаунд. Поэтому многие производители двигателей работают в этом направлении; особенно это касается дизельных двигателей с рабочим объемом от 10 до 20 л.

Принцип работы турбокомпаунда состоит в том, что отработавшие газы сначала приводят в действие одну турбину, а при выходе из нее - другую турбину, а затем уже отводятся в выхлопную трубу.

Вторая турбина не приводит в действие компрессор, а помогает вращать коленвал двигателя через гидромумфту и шестеренчатый редуктор.

Турбокомпаунд имеет хорошие перспективы, поскольку энергия отработавших газов будет снова приносить пользу. Вторая турбина дополнительно снижает температуру отработавших газов примерно на 100°C.

Турбокомпаунд уже используется в серийных двигателях концерна Scania.

Сжатие воздуха механическим компрессором

В последнее время снова возрос интерес автопроизводителей к сжатию воздуха механическими системами (объемными компрессорами).

Сжатие воздуха при помощи механических систем - это альтернатива турбокомпрессорам для небольших двигателей.

Компрессоры, работающие по объемному принципу, работают с внутренней компрессией или без нее. Среди компрессоров с внутренней компрессией имеются, к примеру, всасывающие насосы-компрессоры, винтовые и с перегородкой. Примером компрессора без внутренней компрессии является компрессор Roots.

Все вышеописанные компрессоры, работающие на объемном принципе, обладают общими характерными особенностями, которые можно проанализировать, сравнивая их с диаграммой работы компрессора Roots.

- Круговые линии $p = \text{const}$ означают, что объем потока V лишь незначительно снижается при возрастании соотношения давлений p_1/p_2 . Уменьшение объемного потока объясняется утечкой воздуха через неплотности. Это зависит от соотношения давлений p_1/p_2 и от времени, а не от числа оборотов. Отсюда следует, что:

- Соотношение давлений p_1/p_2 не имеет никакого отношения к числу оборотов. Таким образом, уже при небольшом потоке можно получить значительное соотношение давлений.

- Объем потока V не зависит от соотношения давлений, но приблизительно прямо пропорционален числу оборотов.

- В любом режиме отсутствует нестабильность. Компрессор может использоваться во всем диапазоне p_1/p_2 , определяемом размерами компрессора.

Использование новых износостойчивых материалов и новых технологий производства, позволяющих получить стабильное качество, вернули механические компрессоры на рынок. Так как механический компрессор приводится прямо от коленвала двигателя, он вызывает мгновенную реакцию на нажатие педали акселератора. Это особенно проявляется при низком числе оборотов.

Поскольку отработавшие газы не используются для привода компрессора, они могут быть отведены напрямую, что дает намного более низкую внутреннюю температуру двигателя. В случае колебаний давления наддува температура отработавших газов изменяется в случае механического компрессора меньше, чем у турбокомпрессора, что благоприятнее для работы катализатора.

Введение катализатора для небольших дизельных двигателей способствует применению механических компрессоров.

Действительно, сопротивление в системе выпуска неблагоприятно для турбокомпрессоров. С другой стороны, у турбокомпрессора имеются следующие преимущества: он компактнее, его масса меньше, его давление наддува проще регулируется, он менее шумный и более мощный на высоких оборотах. Поэтому есть двигатели, оснащенные одновременно и механическим компрессором, и турбокомпрессором, например, Volvo D6A.

6.1. Компрессор Roots

Компрессор Roots - наиболее распространенный тип компрессора; он существует почти столько же, сколько и двигатель внутреннего сгорания. Роторы с механическим приводом, вращаясь, сжимают воздух, не касаясь друг друга и стенок корпуса.

Форма роторов и корпуса определяется их конструкцией, выбором материалов и износостойчивостью. Синхронизация вращающихся роторов осуществляется при помощи шестерен (вращающихся вне компрессионной камеры). Используя компрессор, подающий больше воздуха, чем может всосать двигатель, создают избыточное давление наддува, увеличивающее мощность двигателя.

Компрессор Roots имеет почти такой же "возраст", как бензиновый двигатель. Он был назван в честь своих изобретателей, братьев Рутс.

Этот тип компрессоров имеет два таких недостатка, как тенденция к перегреву при торможении двигателем и излишняя подача воздуха при работе двигателя на холостом ходу. В качестве решения первой проблемы был создан разгрузочный клапан, который разгружает компрессор, когда производится торможение двигателем.

6.2. Спиральный компрессор

В спиральном компрессоре имеется внутреннее давление. Реализация этого принципа была затруднена из-за сложности смазки движущихся спиралей. На сегодняшний день во всех компрессорах используются современные износостойчивые материалы, которым не требуется смазка.

Спиральный компрессор (в концерне VW он называется компрессором "G"), по типу используемой спирали, характеризуется низкими скоростями перемещения скольжения (при 10.200 об/мин - всего лишь 5,1 м/с), он герметичен благодаря использованию материала PTFE в бронзовом сплаве. Мощность компрессора увеличивают, изменяя ширину спиралей.

Принцип работы компрессора "G"

Рассмотрим работу компрессора "G". Для большей ясности будем рассматривать только работу спирали "a", хотя имеются две спирали "a" и "b" с одной стороны объемной спирали и еще две - с другой стороны. При каждом эксцентрическом движении объемной спирали происходит четыре рабочих цикла:

- a. С внутренней стороны объемной спирали "а", между спиралью и крышкой, выпускается воздух. С наружной стороны спирали воздух проходить не может.
- b. Когда ось объемной спирали поворачивается на 90°, объемная спираль "а" отклоняется от спирали, установленной на крышке. Внутри засасывается больше воздуха, в то время как воздух с наружной стороны спирали прокачивается в направлении впуска в двигатель через отверстие "с".
- c. При повороте спирали на 180° спираль "а" закрывает воздух со своей внутренней стороны, а воздух с наружной стороны может протекать. В центре продолжается перекачка воздуха к двигателю.
- d. При повороте спирали на 270° происходит максимальное всасывание с внутренней стороны спирали "а", в то время как сжатый воздух, который находится с наружной стороны спирали "а", проходит к двигателю.

6.3. Компрессор Wankel

Фирма Wankel использовала один из своих вращающихся поршневых компрессоров для того, чтобы придать двухтактному двигателю требуемую мощность

Для осуществления своего проекта "Ro" лицензию на производство такого компрессора приобрела фирма KKK. Это довольно оригинальная конструкция, которая позволяет создать внутреннее давление 1:12 при частоте вращения 12.000 об/мин. Сжатый воздух не очень горячий, и давление не пульсирует слишком сильно. Благодаря прямому механическому соединению с коленвалом двигателя наполнение цилиндров не происходит с запаздыванием при нажатии на педаль акселератора, что улучшает "эластичность" двигателя. "Эластичный" двигатель обладает большим крутящим моментом на низких оборотах. Но, несмотря на это, в настоящее время недостатки компрессоров такого типа все еще существенны: необходимо значительное пространство под капотом и создается высокий уровень шума при работе. Интересным такой компрессор делает тот факт, что его довольно легко можно адаптировать к размерам двигателя, изменяя длину компрессора.

Принцип работы компрессора KKK Ro (рис. 109)

- a. В этом положении воздух вытесняется из камеры 3.
- b. В этом положении камера 1 имеет наибольший объем. В ней находится определенное количество воздуха. Камера 2 наполняется. Камера 3 пуста.
- c. Проникновение внутреннего ротора уменьшает объем камеры 1. Расположение края отверстия U определяет степень сжатия. Камера 2 продолжает заполняться, а камера 3 готова к наполнению.
- d. Камера 1: выпуск сжатого воздуха во впускной коллектор двигателя, камера 2 находится в положении A и начинает наполняться.

Таким образом, сжатый воздух подается трижды за один оборот внутреннего ротора.

6.4. Компрессоры с перегородкой

Существуют два варианта этого типа компрессоров. В первом имеются перегородки, которые скользят в роторе со смещенным центром; эти перегородки закреплены в центре и не имеют контакта со стенкой корпуса. По причине эксцентричности ротора становится возможным изменение внутреннего давления. Для данного смещения центра степень этого сжатия (внутренней компрессии) определена путем перемещения края A в корпусе. Механический привод компрессора от двигателя обычно производится посредством ремня (клиновидного или зубчатого). Привод может быть либо непосредственный, либо через электромагнитное сцепление. Передаточное число может быть либо постоянным, либо изменяться во всем диапазоне чисел оборотов. Хорошо известным примером компрессора первого типа является компрессор Zoller, а второго типа - Shorrock, созданный в 1970 году. Над последним типом компрессора работали такие известные фирмы, как Pierburg и Vedix. Конструкторы фирмы Pierburg полагают, что, добавив к компрессору регулирующий клапан, можно получить лучшую производительность. Но такой клапан пока еще не используется на серийных компрессорах. Использование такого компрессора на бензиновых двигателях снижает потребление топлива на 4%, выделение оксидов азота (NOx) также снижается из-за понижения температуры в камере сгорания. Если удастся осуществить регулирование на впуске в компрессор при помощи лепесткового клапана, можно будет избавиться от дроссельной заслонки и производительность увеличится еще больше.

6.5. Объемный компрессор Comprex

Этот тип компрессора существует около 20 лет. Он появился в результате исследований в области газовых пульсаций, которые проводила швейцарская фирма BBC.

Компрессор Comprex - это динамическая газовая система с механическим приводом, которая позволяет осуществлять передачу энергии отработавших газов при помощи пульсации давления.

Эта передача происходит в камерах ротора, который должен приводиться от двигателя плоским ремнем с целью возможности управления и поддержания процесса пульсации давлений. Передача энергии происходит в сотовом роторе со скоростью звука.

Работа температуры отработавших газов не зависит от числа оборотов двигателя. В случае неизменяемого передаточного числа между двигателем и компрессором с пульсацией движения процесс пульсации давлений будет оптимальным, в первую очередь, при определенном числе оборотов. Встраивая дополнительные камеры, растягивают зону лучшей производительности по оборотам, что улучшает характеристики наполнения под давлением.

Так как передача энергии в роторе осуществляется на очень высокой скорости, компрессор с пульсацией давлений быстро реагирует на изменение нагрузки. Время реакции определяется временем заполнения и прокачки впускных и выпускных воздухопроводов. Как указано выше, сотовый ротор компрессора с пульсацией давлений приводится от коленвала двигателя плоским ремнем. Для снижения шума стенки камеры ротора отличаются размерами. Сотовый ротор вращается в цилиндрическом корпусе, на торцах которого каналы для воздуха и отработавших газов располагаются таким образом, что питание воздухом под низким и высоким давлением находится с одной стороны, а подача и выпуск отработавших газов под низким и высоким давлением - с другой. Ротор вращается в одну сторону.

Подшипники соединены с системой смазки двигателя. Дизельные двигатели более приспособлены к этому типу компрессора, так как пульсации в сотовом роторе ограничивают число оборотов компрессора до 4500-5100 об/мин. Сильная сторона таких компрессоров - высокая производительность на низких оборотах. Благодаря прямому приводу от двигателя достигается мгновенная реакция на нажатие педали акселератора. Чем выше скорость движения, тем более заметна разница между этим компрессором и обычными компрессорами.

Практические советы по обслуживанию

7.1. Замена турбокомпрессора

Если автомобиль нуждается в ремонте, а признаки указывают, что неисправность связана с турбокомпрессором, важно точно установить, поврежден турбокомпрессор или нет. Это можно сделать, пользуясь таблицей, приведенной на рис. 52. Если точно установлено, что турбокомпрессор неисправен, нужно обязательно отыскать причину этого. Если ее не устранить, новый компрессор, установленный взамен неисправного, тоже выйдет из строя, иногда это происходит в первые же секунды после запуска двигателя.

Чтобы быть уверенным в качестве приобретаемого нового турбокомпрессора, рекомендуется покупать его у официальных дилеров производителя.

При самостоятельной установке турбокомпрессора следует выполнять приведенные указания.

- Сливные маслопроводы снять и полностью прочистить. Убедиться в отсутствии вмятин, повреждений, пережатий. Случается, что шланги и резиновые патрубки через некоторое время разбухают изнутри, что затрудняет движение масла. В случае сомнений рекомендуется заменить резиновые части новыми деталями.

- Сапун двигателя снять и полностью очистить. Нужно следовать тем же указаниям, что и для маслопроводов. Проверить, при необходимости заменить клапаны (если они есть). На сапуне часто устанавливают небольшой конденсатор масла. Его также нужно очистить и проверить.

- Герметик: не использовать жидкий герметик вокруг подающих и сливных маслопроводов. Большинство материалов этого типа могут растворяться в горячем масле, загрязняя его, что вызывает повреждение подшипников турбокомпрессора.

- Масло и фильтр: заменить масло в двигателе, а также воздушный и масляный фильтры.

- Предварительная смазка: перед окончательной установкой соединений системы смазки турбокомпрессор должен быть предварительно смазан через отверстие для подвода масла.

- Запуск: после установки турбокомпрессора запустите двигатель и дайте ему поработать две минуты на холостом ходу. Затем постепенно увеличивайте число оборотов. Совершите пробную поездку. Проверьте установку, чтобы выявить возможные утечки воздуха, отработавших газов или масла.

7.2. Основные производители турбокомпрессоров

Турбокомпрессоры Holset часто применяются для европейских дизельных двигателей мощностью от 100 до 500 кВт. Кроме автомобильных турбокомпрессоров, известен турбокомпрессор H этой фирмы, используемый на крупных промышленных дизелях.

Турбокомпрессоры фирмы KKK особенно распространены на европейских массовых дизелях и автомобильных двигателях. Разработка все более быстрых турбин и регулирующих клапанов, управляемых микропроцессорами, на десятилетия обеспечила будущее турбокомпрессорам модели K. Но, несмотря на это, компания постоянно разрабатывает альтернативные турбокомпрессоры по лицензии Schwitzer.

Заводы компании Garrett имеются во многих странах мира. Эта фирма является одним из крупнейших мировых производителей турбокомпрессоров. Garrett также широко известен благодаря своим исследованиям в области газодинамики и материалов. Хорошим примером тому является турбокомпрессор с регулирующим давлением клапаном и водяным охлаждением подвижных частей; он успешно используется на многих новых автомобилях с бензиновыми двигателями. Известны и другие новшества: разработанный компанией керамический ротор на 60% уменьшает момент инерции турбины благодаря своему малому весу и может разгоняться до более чем 190000 оборотов в минуту. А это означает уменьшение на 30% соотношения "времени/давление". Еще одно новшество - это турбины с изменяемой геометрией, которые могут регулировать прохождение газов по турбине, что дает значительные преимущества.

- уже на низких оборотах двигателя можно получить достаточное давление наддува с сохранением полной мощности до максимальных оборотов;

- давление наддува можно получить в более широком диапазоне оборотов двигателя без увеличения потребления топлива.

7.3. Дефекты турбокомпрессоров

7.3.1. Трещины на корпусе турбины

Трещины на корпусе появляются через определенное время эксплуатации у почти всех турбин турбокомпрессоров, независимо от их марки и области применения.

Особенно быстро эти трещины появляются на двигателях, которые подвергаются значительным нагрузкам, т.е. на большинстве автомобилей. И почти всегда эти трещины остаются незамеченными, потому что они не влияют на работу, эффективность и долговечность турбокомпрессора.

В других случаях (при неисправности двигателя) возникающие повреждения и щели, образующиеся в корпусе турбины, очень опасны и ухудшают работу турбокомпрессора.

На рисунках 113-120 показано, а ниже описано, какие трещины допускаются, а какие - нет, что позволяет использовать их при ремонте или предъявлении гарантийных рекламаций.

7.3.2. Трещины на фланце корпуса турбины и средней перегородке

При условии, что уплотняющая поверхность в порядке, следующие трещины не представляют опасности:

A) Трещины с максимальной длиной до 15 мм при условии, что максимальная длина по углам не превышает 6 мм.

B) Трещины на средней перегородке, даже если они проходят насквозь, при условии что их длина не превышает 35 мм, а расстояние между двумя соседними трещинами составляет не менее 12 мм.

C) Две трещины, идущие навстречу, разделяющиеся минимум на 6 мм, длина каждой из которых не превышает 15 мм.

D) Трещины любой длины в средней перегородке, даже если они проходят насквозь. Две трещины, идущие

вдоль, разделяющиеся по всей длине на минимум 12 мм. Средняя перегородка не должна быть деформирована или покороблена.

7.3.3. Трещины на внешней поверхности корпуса турбины

Е) Трещины, которые пересекают поверхность вдоль обратной стороны корпуса турбины, недопустимы.

7.3.4. Трещины в седле клапана

Ф) Трещины в седле клапана длиной до 10 мм. Проверить, не проходит ли трещина поперек рабочей поверхности. Недопустимы также признаки утечки.

Г) Трещины длиной до 10 мм в корпусе турбины возле отверстия для ротора при условии, что уплотняющая поверхность в порядке.

Н) Все края соединений и все поверхности не должны быть деформированы и иметь утечки.

7.4. Система "турбосмазка"

Одной из главных причин поломки турбокомпрессоров является прекращение циркуляции масла в момент остановки двигателя.

Особенно часто это случается, когда заглохнет двигатель, работавший с полной нагрузкой (при этом ротор турбокомпрессора вращается со скоростью более 100.000 об/мин), и ротор продолжает вращаться еще долгое время. Подшипники при этом работают в сухую, а тепло не отводится.

Чтобы защитить турбокомпрессор от повреждения, можно установить систему дополнительной смазки. Эта система проста и эффективна.

С этой целью разрывают подающий маслопровод турбокомпрессора и устанавливают в этом месте Т-образный разветвитель с обратным клапаном. К нему подсоединяют небольшую емкость с маслом. Эта емкость должна быть всегда установлена выше уровня турбокомпрессора.

Сразу после запуска двигателя емкость заполняется моторным маслом. После остановки двигателя давление масла падает, и оно из емкости стекает к турбокомпрессору, проходя через клапан, благодаря чему турбокомпрессор смазывается и после остановки двигателя.