

DOI 10.35694/YARCX.2021.53.1.017

ТУРБОКОМПРЕССОРЫ: ОСОБЕННОСТИ РАБОТЫ, ПРИЧИНЫ ОТКАЗОВ



Р. Д. Адакин (фото)

старший преподаватель кафедры технического сервиса

И. М. Соцкая

канд. техн. наук, доцент, заведующий кафедрой технического сервиса

Н. С. Груздев

обучающийся инженерного факультета

ФГБОУ ВО Ярославская ГСХА, г. Ярославль

*Турбокомпрессор,
керамический ротор,
турбокомпрессоры
с изменяемой
геометрией, причины
выхода из строя ТРК*

*Turbo-compressor, ceramic
rotor, turbo-compressors
with variable geometry,
causes of failure of TC*

Вопросами совершенствования турбокомпрессоров (ТРК) занимаются многие учёные-инженеры и заводы-изготовители, так как они выпускаются во многих странах мира (Япония, Китай, Чехия, Германия, США, Франция). Задача заключается в том, чтобы продлить срок эксплуатации и увеличить эффективность ТРК.

Для повышения эффективности инженеры уменьшают размеры корпуса ТРК и увеличивают обороты вала, создают турбокомпрессоры с изменяемой геометрией, что даёт снижение до минимума инерционности и возможности оптимальной работы турбины на повышенных оборотах, при этом использование регулировочного клапана отпадает. Так, например, производитель Garrett представил турбину с регулируемым сечением и ротором, который содержит дополнительные подвижные лопатки, регулирующие поток отработанных газов на низких и на высоких оборотах двигателя. Применяют электронику при управлении работой ТРК. Компьютер анализирует температуру прогрева двигателя, величину угла отклонения педали газа, количество воздуха во впускной системе и по этим параметрам определяет идеальное давление наддува, необходимое двигателю, управляя клапанами ТРК. Используют раздвоенные трубопроводы для импульсного попадания газов на улитку, что приводит к большему крутящему моменту вала ТРК. Повышают эффективность работы ТРК и охлаждение наддувочного воздуха системами воздух-воздух или жидкость-воздух; применяют параллельную установку ТРК; сдвоенные ТРК, турбокомпаунд.

Для продления срока службы используют керамику. Керамический ротор турбины имеет следующие преимущества [1]:

- устойчивость к высоким температурам (выше 1200°C);
- уменьшенный вес (на 90% легче металлического);
- инерционность значительно ниже (ускорение в два раза быстрее, чем у металлического);
- уменьшение толщины стенок корпуса турбины и, соответственно, его веса;
- меньший коэффициент температурного расширения. Керамический ротор хуже деформируется, что даёт возможность умень-

шить расстояние между лопатками ротора турбины и стенкой её корпуса, всё это повышает эффективность турбины.

К недостаткам керамического ротора можно отнести хрупкость материала, неустойчивого к воздействию микроскопических частиц и усложнение производственного контроля качества. Так, для продления срока службы фирма Garrett создала корпус турбины с сепаратором и собирающей ёмкостью для борьбы с микроскопическими твёрдыми частицами в отработанных газах, предназначенной для сбора этих частиц [1].

Следует отметить, что внеплановый износ ТРК связан с его ремонтом или заменой на новый, поскольку работа дизеля или бензинового двигателя невозможна без турбокомпрессора. Ремонт и замена на новый ТРК является дорогостоящей операцией. Причём ремонт ТРК может не обеспечить тех длительных сроков эксплуатации, которые были заложены заводом-изготовителем. Это связано с качеством материалов и ремонтных воздействий на детали ТРК, при этом качество заводской герметичности холодного и горячего каналов после ремонта может быть не достигнуто. Герметичность каналов связана с расходом масла через ТРК в цилиндры двигателя, и если расход будет превышен, то в дальнейшем произойдёт выход из строя дизеля или бензинового двигателя.

Цель нашего исследования – провести анализ причин выхода из строя турбин и разработать ряд мероприятий, придерживаясь которых можно продлить срок службы ТРК или выработать тот срок службы, который был заложен заводом-изготовителем.

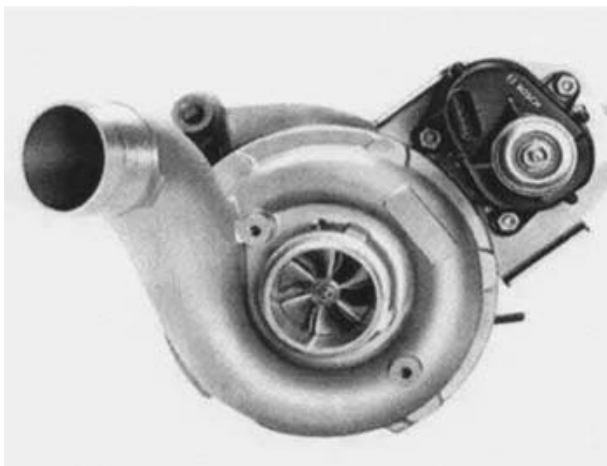


Рисунок 1 – Турбокомпрессор

Материалы и методы

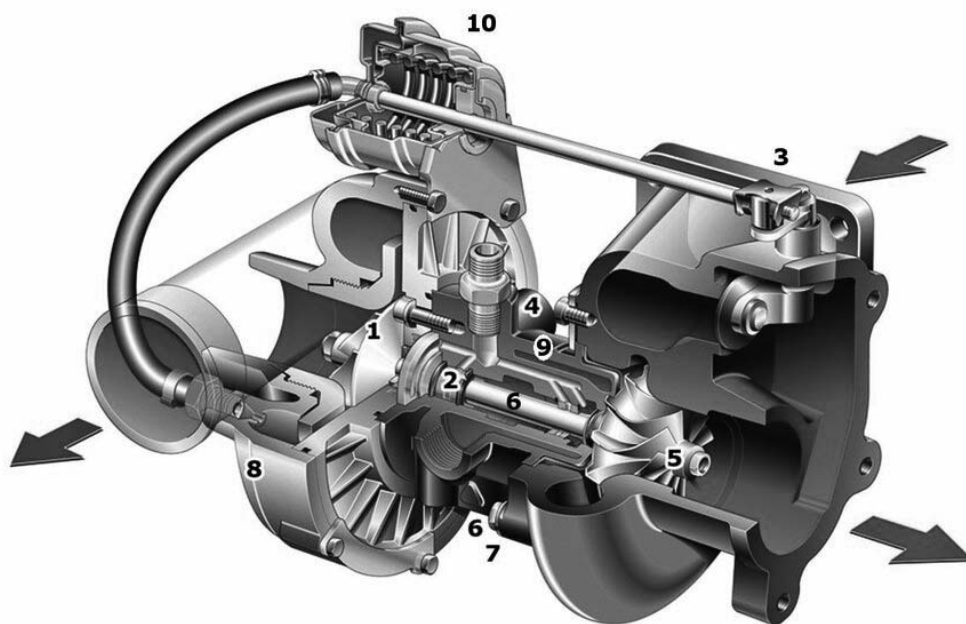
Рассмотрим работу турбокомпрессора. ТРК подаёт воздух под давлением через инеркуллер (алюминиевый радиатор, устанавливаемый под основным радиатором спереди автомобиля, где происходит охлаждение воздуха) во впускной коллектор. Во всех двигателях, как бензиновых, так и дизельных, объём подаваемого топлива рассчитывается и подаётся в камеру сгорания по количеству поступившего воздуха во впускной трубопровод, то есть воздух является главным расчётным параметром (рис. 1). Для определения количества воздуха существуют множество устройств с различными конструктивными вариациями, такие как датчик массового расхода воздуха (ДМРВ), датчик давления воздуха, датчик положения дроссельной заслонки и другие. Монтаж турбины на двигатель производится с целью значительного повышения его мощности за счёт возможности подачи и сжигания большего количества топлива. Дело в том, что без турбины увеличить подачу топлива для повышения мощности двигателя нельзя, поскольку неправильно сформированная смесь, а в данном случае богатая (большая часть смеси составляет топливо и меньшая – воздух), гореть нормально не будет. Поэтому вначале подаётся воздух, оценивается его количество, и только затем уже формируется цикловая подача топлива для обеспечения оптимальной смеси и нормального горения.

Известно, что турбина может подать больше воздуха, чем засосёт обычный атмосферный двигатель, поэтому подаётся большее количество топлива, в результате сгорания топливо-воздушной смеси мощность двигателя значительно увеличивается. При этом появляются две проблемы: 1) выделяется большое количество тепла, которое нужно куда-то отводить; 2) на коленчатый вал приходятся повышенные нагрузки, которые нужно учесть при его изготовлении. Для решения этих проблем на заводе-изготовителе проводятся следующие мероприятия: усиливают детали кривошипно-шатунного механизма (КШМ); устанавливают поршни, охлаждаемые маслом; выпускают двигатели с большей мощностью и таким же общим объёмом цилиндров, выраженным в литрах, как атмосферный, но количество лошадиных сил на 30...50 единиц больше. За счёт повышения мощности двигателя уменьшается удельный эффективный расход топлива.

Следует отметить, что все турбокомпрессоры работают на больших оборотах – у тракторов и комбайнов они достигают от 60 до

80 тыс. об/мин, а у легковых автомобилей – до 120...140 тыс. об/мин. Основная характеристика ТРК – давление на выходе. Вал ТРК приводится в движение от действия горячих выхлопных газов, попадающих на горячую улитку 7, на одном валу с которой на противоположной стороне закреплена холодная улитка 8 (рис. 2). Таким образом происходит одновременное вращение обеих улиток. Холодная улитка при вращении засасывает воздух через фильтр и нагнетает под давлением во впускной коллектор. Число оборотов вращения вала ТРК зависит от числа оборотов вращения двигателя. Поэтому, чтобы на больших оборотах

двигателя не происходило нагнетания слишком большого количества воздуха, в ТРК ограничивают подачу холодного воздуха путём регулировки перепускного клапана у горячей улитки. Отработанные газы частично направляются в обход горячей улитки напрямую в выпускной коллектор, уменьшая тем самым воздействие газов на улитку. Регулировка клапана происходит за счёт подачи воздуха по трубке из холодной части под давлением в воздушную камеру 10, и воздух, нажимая на поршень и преодолевая сопротивление пружины, перемещает поршень и шток. Шток, в свою очередь, воздействует на актуатор



1 – компрессорное колесо; 2 – подшипник; 3 – актуатор; 4 – штуцер подачи масла; 5 – ротор; 6 – картридж; 7 – горячая улитка; 8 – холодная улитка; 9 – канал охлаждающей жидкости; 10 – воздушная камера.

Рисунок 2 – Турбокомпрессор в разрезе

3 и на перепускной клапан. На малых оборотах вращения коленчатого вала двигателя давление в холодной части невысокое, поэтому пружина воздушной камеры 10 занимает крайнее левое положение, что соответствует закрытому положению перепускного клапана, и всё количество отработанных газов поступает на вращение горячей улитки. Данный режим необходим для исключения появления «турбо-ямы» или провала тяговой силы двигателя.

Все ТРК имеют систему смазки вала, она подаётся через шланг от общей системы смазки двигателя, а современные ТКР снабжены также системой охлаждения. Антифриз поступает от общей

системы охлаждения двигателя, прокачиваемый по системе охлаждения помпой или водяным насосом. Система охлаждения позволяет выдерживать ТРК большие нагрузки, температуры.

Результаты и обсуждения

Понять, что турбина вышла из строя, можно по следующим признакам:

- пропала тяга (снизилась мощность);
- при разгоне автомобиля из выхлопной трубы выходит дым синего, чёрного, белого цвета;
- при работающем двигателе слышны посторонние звуки: свист, шум, скрежет;
- увеличился расход топлива;

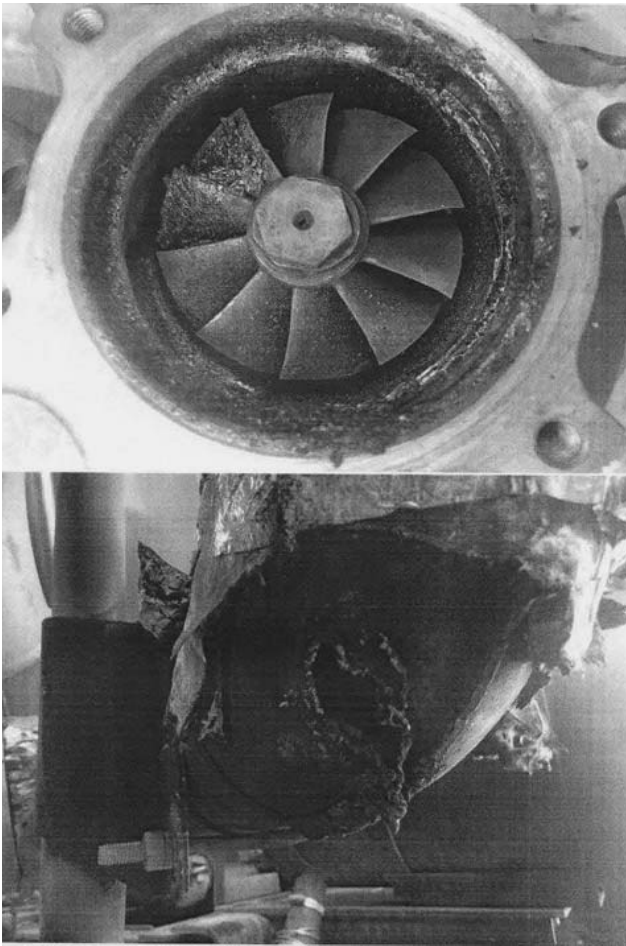


Рисунок 3 – Дефект турбокомпрессора ЯМЗ-534

- увеличился расход масла [2].

Визуальные проявления дефекта турбокомпрессора ЯМЗ-534 представлены на рисунке 3.

Одна из неисправностей ТРК показана на рисунке 4 – это подтёк масла.

Если появляются вышеперечисленные симптомы, то в этих случаях нужна тщательная проверка турбины [2].

Так, синий выхлопной дым является признаком сгорания масла в цилиндрах мотора, попавшего туда из турбокомпрессора или двигателя. Чёрный выхлопной дым говорит об утечке воздуха, а выхлопной газ белого цвета указывает на засорение сливного маслоотвода турбонагнетателя.

Причиной свиста является утечка воздуха на стыке выхода компрессора и мотора, а скрежет указывает на трущиеся элементы всей системы турбонаддува.

Если же ТРК отключается или вовсе перестал работать, рекомендуется проверить все элементы турбины [3].

На рисунке 5 представлен вал, на котором имеются задиры. Задиры могут образовываться от попадания абразива в масло. Абразив попадает в масло при забитом воздушном фильтре или из-за образовавшейся трещины в подающем воздушном патрубке. Задиры также возможны из-за недостаточного количества масла. Резко увеличивается теплоотдача на ротор ТРК. Это тепло вместе с теплом, выделяющимся при трении в подшипниках, поднимает температуру вала приблизительно до 400°C, вызывая перегрев вала и задиры.

Как показывает практика, 90% отказов автомобильной турбины связаны с количеством и качеством масел, обеспечивающих её работу: нехватка и слабое давление; загрязнение масел; попадание постороннего предмета внутрь турбокомпрессора [4; 5].



Рисунок 4 – Подтёк масла на стыке ТРК



Рисунок 5 – Задиры на валу ТРК

На рисунке 6 представлена улитка ТРК после столкновения лопастей с посторонним предметом.

Нехватка масла может возникнуть при работе ТРК по инерции, когда двигатель уже выключен. При выключении двигателя одновременно выключается из работы и масляный насос, приводимый в движение коленчатым валом, поэтому вал ТРК работает без масла. Поскольку число оборотов вращения вала ТРК в минуту может достигать

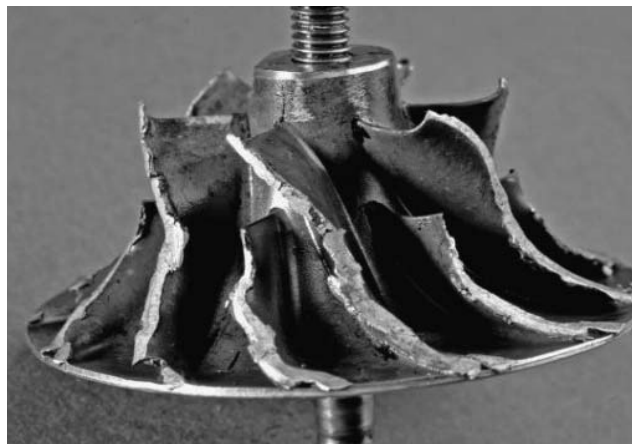


Рисунок 6 – Износ улитки ТРК

несколько десятков тысяч на номинальных оборотах двигателя, то после выключения двигателя, по инерции, вал ТРК может вращаться несколько минут, в течение которых происходит износ вкладышей.

Загрязнение масла происходит при несоблюдении срока его замены и масляного фильтра. При этом срабатывают присадки противоизносные, диспергирующие, а фильтр попросту выходит из строя. У фильтра выходят из строя следующие узлы: рвётся гофрированная бумага, и масло направляется через отверстие в бумаге, не проходя процесс фильтрации; обратный клапан отрывается от корпуса, и масло вытекает из магистрали в поддон на выключенном двигателе – это приводит к износу КШМ при новом пуске двигателя «на сухую»; при забитой грязью поверхности фильтра масло направляется через перепускной клапан, не проходя процесс очистки, и частички абразива вместе с маслом направляются на по-

верхности трения. В целом выход из строя фильтра приводит к износу всех трущихся деталей, а именно вала ТРК и деталей двигателя внутреннего сгорания (ДВС).

Для недопущения вышеуказанных неисправностей ТРК нами рекомендуется проводить следующие мероприятия:

- выполнять своевременную замену масла с масляным фильтром;
- выполнять своевременную замену воздушного фильтра;
- использовать только качественное масло, соответствующее виду топлива и рекомендованное для турбин;
- после поездки выключать двигатель транспортного средства не сразу, а дав поработать ему на холостых оборотах, либо установить турботаймер, который позволяет водителю вынуть ключ из замка зажигания и закрыть двери машины, при этом мотор продолжает работать несколько минут, пока не охладится турбина и снизится число оборотов вращения вала ТРК.

Выводы

В ходе изучения работы современных турбокомпрессоров нами были проанализированы причины выхода из строя турбин и рекомендованы мероприятия, исключающие и уменьшающие вероятность наступления поломки деталей турбокомпрессоров, тем самым продлевающих их сроки работы.

К основным причинам выхода из строя ТРК можно отнести следующие: недостаток масла, попадание посторонних предметов, загрязнённое масло, попадание абразива через воздушный фильтр.

Для устранения указанных причин нами рекомендуется выполнять своевременную замену масла с масляным фильтром; выполнять своевременную замену воздушного фильтра; использовать только качественное масло, соответствующее виду топлива и рекомендованное для турбин; использовать турботаймер или после поездки выключать двигатель транспортного средства не сразу, а дав поработать ему на холостых оборотах, чтобы охладилась турбина и снизилось число оборотов вращения вала ТРК.

Литература

1. Книга о турбокомпрессорах (Турбокомпрессоры для массовых дизельных двигателей). – Текст : электронный // Турбоком : [сайт]. – URL: <https://turbocomp.ru/stati/> (дата обращения: 11.03.2021).

2. Признаки неисправности турбины дизельного двигателя. – Текст. Изображение : электронные // avto-idea.ru. : [сайт]. – URL: <https://avto-idea.ru/remont/priznaki-neispravnosti-turbiny-dizelnogo-dvigatelya> (дата обращения: 27.02.2021).

3. Признаки неисправности турбины и их причины. – Текст. Изображение : электронные // drive2.ru : [сайт]. – URL: <https://www.drive2.ru/b/508906209210794001/> (дата обращения: 27.02.2021).

4. Неисправности автомобильной турбины. – Текст. Изображение : электронные // etlib.ru : [сайт]. – URL: <https://etlib.ru/blog/256-neispravnosti-avtomobilnoj-turbiny-kak-ustranit-nepoladki> (дата обращения: 27.02.2021).

5. Неисправности турбин. – Текст. Изображение : электронные // 1gai.ru : [сайт]. – URL: <https://1gai.ru/baza-znaniy/vajno-znat/518364-neispravnosti-turbin-ekspluatatsiya-neispravnosti-vostranovlenie-i-remont.html/> (дата обращения: 27.02.2021).

References

1. Книга о турбодвигателях (Турбодвигатели для массовых дизельных двигателей). – Текст : электронный // Turbocom : [сайт]. – URL: <https://turbocom.ru/stati/> (дата обращения: 11.03.2021).

2. Признаки неисправности турбины дизельного двигателя. – Текст. Изображение : электронные // avto-idea.ru. : [сайт]. – URL: <https://avto-idea.ru/remont/priznaki-neispravnosti-turbiny-dizelnogo-dvigatelya> (дата обращения: 27.02.2021).

3. Признаки неисправности турбины и их причины. – Текст. Изображение : электронные // drive2.ru : [сайт]. – URL: <https://www.drive2.ru/b/508906209210794001/> (дата обращения: 27.02.2021).

4. Неисправности автомобильной турбины. – Текст. Изображение : электронные // etlib.ru : [сайт]. – URL: <https://etlib.ru/blog/256-neispravnosti-avtomobilnoj-turbiny-kak-ustranit-nepoladki> (дата обращения: 27.02.2021).

5. Неисправности турбин. – Текст. Изображение : электронные // 1gai.ru : [сайт]. – URL: <https://1gai.ru/baza-znaniy/vajno-znat/518364-neispravnosti-turbin-ekspluatatsiya-neispravnosti-vostranovlenie-i-remont.html/> (дата обращения: 27.02.2021).