
**ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ МЕХАНИКА.
ДИАГНОСТИКА ИСПЫТАНИЯ**

УДК 343.148.63

**АНАЛИЗ ПРИЧИН ОТКАЗОВ СИСТЕМЫ ПОДАЧИ ВОЗДУХА
АВТОМОБИЛЯ FORD TRANSIT С ДИЗЕЛЬНЫМ ДВИГАТЕЛЕМ EURO 5**© 2024 г. Д. А. Галин^{1, *}, А. В. Козлов¹, Л. О. Круш¹¹*Мордовский государственный университет им. Н. П. Огарёва, Саранск, Россия***e-mail: dagalin@yandex.ru*

Поступила в редакцию 29.03.2024 г.

После доработки 12.06.2024 г.

Принята к публикации 15.06.2024 г.

В статье проведена оценка технического состояния системы подачи воздуха коммерческого автомобиля Ford Transit. После проведенного анализа были получены результаты, позволяющие установить причины отказа системы впуска дизельного двигателя с экологическими нормами Euro 5. Выявлено что неисправность турбокомпрессора напрямую влияет на общее состояние двигателя, его эксплуатационные характеристики. Основные отказы связаны с неисправностью самого турбокомпрессора, негерметичностью патрубков или интеркулера. Для двигателя Duratorq TDCi 2.2 определены вероятности появления данных отказов.

Ключевые слова: дизель, диагностика, давление наддува, турбокомпрессор, актуатор, интеркулер, регистратор событий, контроллер управления, сканер, рабочие характеристики

DOI: 10.31857/S0235711924050106, EDN: NTLXFK

В настоящее время значительное количество автомобилей, выполняющих коммерческие перевозки оснащаются дизельными двигателями с турбокомпрессорами с изменяемой геометрией VGT (Variable geometry turbocharger) и электронным управлением привода актуатора. Анализ оценки технического состояния таких систем показывает, что наибольшая доля отказов систем подачи воздуха связана с неисправностью самого турбокомпрессора или негерметичностью патрубков или интеркулера, теряющих свои рабочие показатели в процессе эксплуатации [1–3].

Известно, что оптимальное сечение турбокомпрессора при низких и высоких оборотах разное. При большом сечении турбокомпрессор недостаточно эффективно работает на низких оборотах, при малом — на высоких. Таким образом, изменение сечения геометрии позволяет турбине подстраиваться под нагрузку с максимальной эффективностью. Особенности системы VGT являются способности выдавать максимальный крутящий момент при минимальной частоте вращения. С помощью электронного актуатора возможно ограничивать максимальное давление наддува и контролировать его.

Контроллер двигателя формирует сигналы на основании информации с датчиков. Электронный актуатор получив сигнал от контроллера, проводит регулировку лопастей турбокомпрессора, добываясь необходимого давления воздуха при заданных оборотах двигателя.

Наличие электронного блока управления, с платой и электродвигателем с червячным редуктором у актуатора позволяет проводить диагностику по шине LIN с помощью диагностического оборудования, отслеживать текущее состояние привода и проводить процедуру корректировки положений актуатора, чтобы компенсировать износ механической части, лопастей турбокомпрессора [5, 6].

В прошлом столетии технология турбонаддува стала активно развиваться, позволив создавать более мощные и экономичные двигатели [7–13].

Конструктивно турбокомпрессор состоит из турбины, лопатки которой раскручиваются потоком выхлопных газов. Поток воздуха всасывается и разгоняется до огромной скорости, после чего вытесняется в радиальном направлении.

На входе в турбину размещают механизм VGT, который приводится в действие двигателем пневматическим или электронным актуатором по командам контроллера, который следит за работой турбокомпрессора во всех диапазонах работы [10]. Таким образом, актуатор является одним из ресурсопределяющих узлов турбокомпрессора. Существует несколько основных типов актуаторов. Они не только работают как ограничители предельного давления, но могут гибко регулировать оптимальное давление в режимах частичной нагрузки. Электронные актуаторы также помогают реализовать кратковременный «передув» в режиме интенсивного ускорения.

Анализ отказов систем впуска двигателей с турбонаддувом позволяет определить наиболее часто встречающиеся причины: высокая температура отработавших газов, абразивный износ деталей турбокомпрессора, несвоевременное обслуживание и дефекты в производстве [5–8].

Цель статьи — исследование причин отказов системы подачи воздуха автомобиля с дизельным двигателем Euro 5 на примере Ford Transit.

Система впуска Ford Transit находится под управлением контроллера автомобиля, соответственно датчики выполняют важную роль в работе системы. Актуатор турбины, датчик давления наддува, датчики расхода воздуха и температуры воздуха предъявляют повышенные требования к обслуживанию и соответственно к чистоте воздушного заряда, состоянию масла и цилиндропоршневой группы [7, 8].

Неисправность турбокомпрессора напрямую влияет на общее состояние двигателя, его эксплуатационные характеристики. Так из-за износа подшипникового узла турбокомпрессора возможен повышенный расход масла двигателя, что влияет на давление в системе смазки и способно привести к отказу. Так же износ турбокомпрессора влияет на экологические показатели, повышается дымность, расход топлива, поэтому все современные дизельные двигатели оснащены системой рециркуляции отработавших газов (EGR) и сажевыми фильтрами (DPF) на выходе.

Необходимость проведения процедуры ввода в эксплуатацию или корректировки положения актуатора турбокомпрессора с электронным управлением заключается в следующем — определенное положение лопаток турбокомпрессора соответствует определенному напряжению на сигнальном датчике, потенциометре актуатора. При малейшем отклонении значений напряжения контроллер переходит в аварийный режим работы с ограничением частоты вращения и потерей мощности двигателя.

При замене актуатора, проводя процедуру корректировки контроллер записывает в память фактические значения крайних положений привода, измеряет ток в цепи электродвигателя и сохраняет все измерения в энергонезависимой памяти для дальнейшей оценки состояния узла.

На моторе TDCi 2.2 л давление во впускном коллекторе изменяется от 1.1 МПа на холостом ходу до 2.5 МПа при максимальной нагрузке (ограничено прошивкой двигателя). При повышении давления в системе наддува больше нормативного помимо мощности двигателя так же повышается нагрузка на патрубки, пластиковые детали корпуса впускного коллектора, интеркулера. При неисправном актуаторе турбина может работать с повышенным давлением, что приведет к преждевремен-

ному выходу из строя деталей двигателя. Для контроля давления наддува в канале нагнетательного узла ставится датчик абсолютного давления, который сигнализирует о недостаточном или переизбыточном давлении воздуха [9].

В ходе эксплуатации двигателя возможно повреждение и самого блока актуатора. В числе причин отказов — закисание рычага, закоксовывание или иное повреждение. Это приводит к отказу редуктора сервопривода, в червячном механизме которого используются пластиковые детали, шестерни. Подклинивание шестерней привода увеличивает потребляемый ток в цепи, в результате чего возможно повреждение электродвигателя и платы контроллера. Такие неисправности вызывают некорректную работу компонентов турбины и проявляются в виде диагностических кодов неисправностей, а также рывков при движении, ухода автомобиля в аварийный режим работы [10–12].

На рис. 1 представлены фотографии актуаторов снятых с эксплуатации. Видны следы истирания пластиковых шестерен редуктора и сама плата контроллера так же подвергается повреждению.

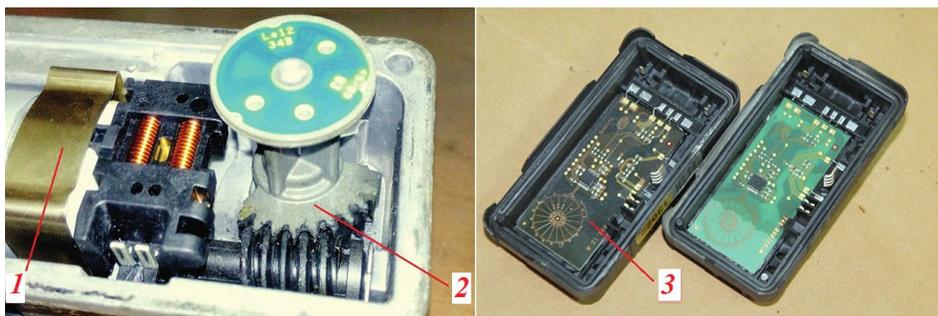


Рис. 1. Компоненты актуатора со следами износа:

1 — электродвигатель; 2 — червячный механизм; 3 — плата контроллера.

Со временем из-за износа актуатора турбины или повреждения механической, горячей части турбины начинает снижаться давление. Из-за этого меняются обороты двигателя относительно расчетных. Для приведения скорости вращения коленчатого вала к заданной скорости контроллеру требуется откорректировать угол положения лопаток нагнетателя посредством актуатора. При несоответствии фактических и заданных значений в ЭБУ появляется код неисправности [12].

Процедура корректировки актуатора запускается командой через OBD протокол, посредством подключения диагностического сканера к соответствующему разъему на автомобиле и запуску специальной программы [10–13]. По завершению обучения данные параметры сохраняются в памяти электронного блока управления двигателя и не меняются до наступления событий, не позволяющих двигателю продолжать свою работу в данных условиях (потеря наддува, заклинивание механизмов, разрушение патрубков или корпуса).

На станции технического сервиса машин ФГБОУ ВО «МГУ им. Н. П. Огарёва» в период 2020–2023 г. проводились работы по поиску причин неисправностей системы впуска дизельных двигателей, проводилась замена элементов воздушных и топливных систем [1, 2, 11]. После завершения ремонта двигателя вводились в эксплуатацию.

Одним из основных коммерческих автомобилей, посещающим станцию стал автомобиль Ford Transit с дизельным двигателем Duratorq (Puma) TDCi, объемом 2.2 л. Причинами посещения являлись проблемы с воздушной системой, повышенная дымность, снижение мощности, рывки при движении.

Автомобили подвергались входной диагностике в соответствии с рекомендациями производителя [10–13] с помощью сканеров FORD VCM IDSII SN31605352, SCANDOCIII, FORScan для Windows версии 2.3.59 и соответствующего программного обеспечения.

По измерению максимального давления наддува при движении автомобиля делался вывод о состоянии системы впуска. Все автомобили были оснащены штатным программным обеспечением, без увеличения мощности и управлялись электронным блоком Continental SID208 (программное обеспечение CC11–14C204-DRP(DRS) [12].

Измерения проводились при рабочих параметрах, которые представлены в табл. 1.

Таблица 1. Рабочие параметры двигателя, считанные сканером через OBD-протокол

Контролируемый параметр	Значение
Температура моторного масла двигателя, °C	87
Массовый расход воздуха, г/с	39
Температура в топливной магистрали высокого давления, °C	61
Температура охлаждающей жидкости, °C	80
Частота вращения коленчатого вала, мин-1	800
Датчик массового расхода воздуха, г/сек	8.27
Положение клапана рециркуляции отработавших газов, %	14.90
Положение измеряемого сопла геометрии турбины, %	47.82
Датчик абсолютного давления, кПа	98.0
Заданное давление во впускном коллекторе, кПа	103.8
Датчик абсолютного давления (MAP), кПа	113

Подключение к автомобилю проводили через диагностический разъем OBD II, расположенный в салоне автомобиля в ногах водителя [12] (рис. 2).

Для выявления негерметичности системы впуска использовали установку для определения негерметичности в замкнутых системах автотранспортных средств [5]. Общий вид процесса оценки технического состояния системы впуска представлен на рис. 3.

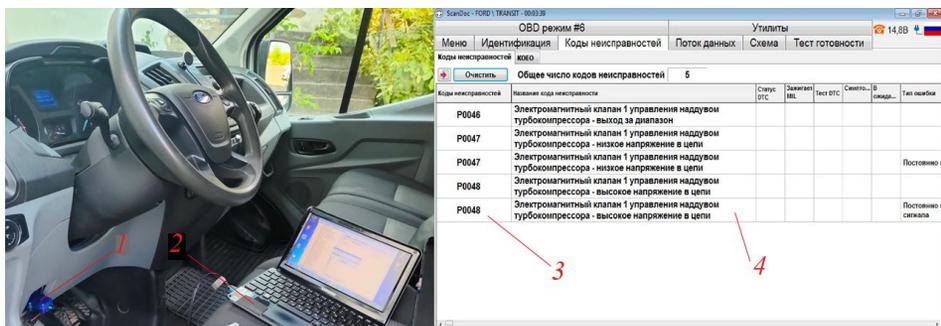


Рис. 2. Подключение диагностического оборудования к разъему OBD и типовые неисправности авто связанные с неисправностью системы впуска (заклинивание актуатора):
 1 — диагностический адаптер; 2 — ноутбук с программным обеспечением;
 3 — коды неисправностей; 4 — описание кодов неисправностей.



Рис. 3. Оценка технического состояния системы впуска: 1 — радиатор охлаждения с интеркулером; 2 — устройство для оценки состояния системы впуска; 3 — заглушка впускного патрубка интеркулера; 4 — шланг подачи воздуха.

Анализ партии автомобилей эксплуатирующихся в городских условиях и поступивших на диагностику и техническое обслуживание, со сроком начала эксплуатации до 10 лет, показал неисправности системы впуска и причины их возникновения (табл. 2). Анализ данных показывает, что все неисправности системы впуска связаны с отклонением давления в различных режимах работы от номинального. Оценка состояния системы впуска помимо механического способа с помощью устройства определения негерметичности также возможно оценить по возникающим в процессе эксплуатации кодам неисправностей и оценке давления наддува по текущим параметрам диагностического сканера. Номинальный диапазон измеряемого давления $0,9\text{--}2,5\text{ кгс/см}^2$. При снижении давления наддува в контролере системы управления двигателем появляются коды неисправностей, связанные с низкой эффективностью работы датчика расхода воздуха (ДМРВ). Это происходит при повреждении патрубков интеркулера или самого интеркулера.

При повышении давления наддува более $2,5\text{ кгс/см}^2$ автомобиль переходит в аварийный режим работы и регистрируется код неисправности по повышенному давлению и/или заклиниванию актуатора.

Коды неисправностей связанные с неисправностью системы подачи воздуха следующие: P0238 — датчик давления во впускном коллекторе (MAP)/датчик давления турбонаддува «А» — высокое напряжение в цепи; P02E9 — высокое напряжение в цепи регулирования расхода впускного воздуха дизеля; P042F — заедание управления EGR в закрытом положении; P02E4 — заедание в открытом положении клапана воздухозабора дизельного двигателя; P0046 — электромагнитный клапан 1 управления наддувом турбокомпрессора — выход за диапазон; P0047 — электромагнитный клапан 1 управления наддувом турбокомпрессора — низкое напряжение в цепи.

На рис. 4 представлена круговая диаграмма и процент распределения отказов системы впуска автомобиля Ford Transit с двигателем 2.2 л. HDi PUMA: 24% — механическое повреждение патрубков интеркулера; 5% — зависание клапана рециркуляции отработавших газов (EGR) в открытом состоянии; 12% — повреждение интеркулера; 21% — износ механизма привода актуатора турбокомпрессора; 13% — заедание актуатора турбокомпрессора; 11% — износ лопаток турбокомпрессора, геометрии турбокомпрессора; 8% — неисправность датчика давления наддувочного воздуха; 6% — засорение воздушного фильтра.

На исследуемых автомобилях при обслуживании после замены актуатора турбины двигатель часто работал не равномерно, следовательно, появлялись коды неисправ-

Таблица 2. Основные причины нарушения работоспособности системы впуска двигателя Duratorq TDCi 2.2 автомобилей Ford Transit (Euro 5)

№	Возникающие неисправности	Отказ, %	Причина повреждения	Последствия повреждения
1	Повреждение патрубков интеркулера	24	Передув турбины, дефект патрубков, попадание масла в систему впуска	Снижение давления наддува до 0.87 кгс/см ²
2	Зависание клапана рециркуляции отработавших газов (EGR) в открытом состоянии	5	Засорение седла клапана EGR вследствие повышенной дымности двигателя автомобиля, попадания масла в систему впуска	Длительный неустойчивый запуск двигателя, снижение давления наддува до 1.1 кгс/см ²
3	Повреждение интеркулера	12	Механическое повреждение поверхности радиатора охлаждения воздуха	Снижение давления наддува до 0.9 кгс/см ²
4	Износ механизма привода актуатора турбокомпрессора	21	Ограниченный ресурс узлов актуатора турбокомпрессора, механическое повреждение шестерен актуатора	Повышение давления наддува до 3.0 кгс/см ² . Переход системы управления двигателем в аварийный режим работы
5	Заедание актуатора турбокомпрессора	13	Износ электродвигателя актуатора турбокомпрессора	Повышение давления наддува до 3.0 кгс/см ² . Переход системы управления двигателем в аварийный режим работы
6	Износ лопаток турбокомпрессора, геометрии турбокомпрессора	11	Повышение нагрузки на двигатель, повышение температуры выхлопных газов, механическое повреждение	Снижение давления наддува до 0.9 кгс/см ² . Снижение мощности двигателя
7	Неисправность датчика давления наддувочного воздуха	8	Механическое повреждение мембраны датчика, механическое повреждение проводки датчика	Переход системы управления двигателем в аварийный режим работы. Снижение мощности двигателя
8	Засорение воздушного фильтра	6	Некачественный воздушный фильтр, увеличенный регламент замены воздушного фильтра	Снижение давления наддува до 1.6 кгс/см ² . Снижение мощности двигателя

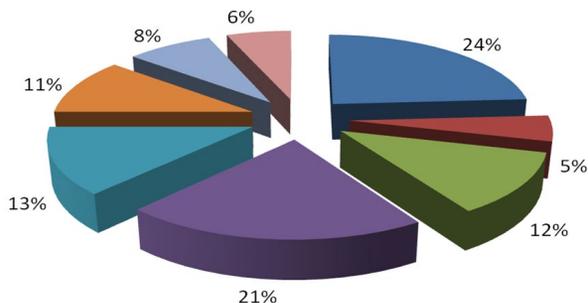


Рис. 4. Распределения отказов системы впуска автомобиля Ford Transit с двигателем 2.2 л. HDi PUMA.

ностей, динамика разгона была снижена. После выполнения процедуры обучения актуатора, двигатель выравнивал обороты, неравномерность работы уменьшилась, максимальные обороты на холостом ходу увеличивались, коды неисправностей не появлялись, т.е. основные параметры работы системы впуска соответствовали нормативным [7–13].

Выводы. По итогам проведенных исследований были получены результаты, позволяющие проанализировать причины отказа системы впуска автомобиля Ford Transit с дизельным двигателем Euro 5.

Для вывода автомобиля из аварийного режима и устранения низкого давления наддува при ремонте проведена процедура адаптации актуатора турбокомпрессора, клапана рециркуляции отработавших газов и электронной дроссельной заслонки, так же проведен сброс коррекций датчика расхода воздуха, т.к. за появление некоторых кодов неисправностей отвечает именно датчик массового расхода воздуха.

Анализ причин отказов показал, что работоспособность системы впуска нарушается при отказах различных элементов системы. В электронной системе управления двигателем регистрируются критические коды неисправностей, загорается лампа-индикатор на приборной панели и система переходит в аварийный режим, снижается давление наддува [11–13].

По результату входного контроля было установлено, что наибольший процент отказов в системе впуска приходится на повреждение патрубков интеркулера наддувочного воздуха и впускного коллектора — 24%; на износ механизма привода актуатора турбокомпрессора — 21%; на заедание актуатора турбокомпрессора — 13%.

Так же подтвердилась взаимосвязь проведения процедуры корректировки или обучения элементов управления системы впуска с последующей безаварийной работой узла в целом. Корректировка положения актуатора турбокомпрессора должна являться обязательным условием при диагностических работах или при вводе дизельного двигателя в эксплуатацию.

Финансирование. Данная работа финансировалась за счет средств бюджета МГУ им. Н. П. Огарёва. Никаких дополнительных грантов на проведение или руководство данным конкретным исследованием получено не было.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Инишаков А. П., Кувшинов А. Н., Курбаков И. И., Корнаухов О. Ф.* Диагностика турбокомпрессоров на стенде КИ-5543 // Сельский механизатор. 2013. № 12. С. 39.
2. *Данов Б. А., Титов Е. И.* Электронное оборудование иностранных автомобилей: Системы управления двигателем. М.: Транспорт, 1998. 76 с.

3. Кузнецов Е. С. и др. Техническая эксплуатация автомобилей: Учебник для вузов. 4-е изд., перераб. и доп. М.: Наука, 2003. 535 с.
4. Габитов И. И., Грехов Л. В., Неговора А. В. Техническое обслуживание и диагностика топливной аппаратуры автотракторных дизелей. М.: Легион-Автодата. 2008. 48 с.
5. Круш Л. О., Галин Д. А. РФ Патент 2790340. Установка для определения негерметичностей в замкнутых системах автотранспортных средств, 2023.
6. Круш Л. О., Галин Д. А., Давыдкин А. М. РФ Патент 2812549. Устройство для мониторинга технического состояния системы подачи воздуха бензинового двигателя автомобиля, 2024.
7. Грехов Л. В., Иващенко Н. А., Марков В. А. Топливная аппаратура и системы управления дизелей. Учебник для вузов. М.: Легион-Автодата, 2004. 344 с.
8. Тимохин С. В., Богатырев П. В., Кашавин В. А., Пеликов В. В., Епифанов В. В. Анализ методов и средств диагностики системы питания дизелей типа Common Rail // Сборник материалов Всероссийской научно-практической конференции молодых ученых. Конф. «Инновационные идеи молодых исследователей для агропромышленного комплекса России», Пенза, 23–24 марта 2017 г., 2017. Т. III. С. 26.
9. Lausch W., Fleischner F. Niedriger Kraftstoffverbrauch und geringe NO_x-Emission bei Dieselmotoren: Wunsch und Wirklichkeit // MTZ. Motortechnische Zeitschrift. 1996. Bd. 57. № 11. P. 600.
10. Лянденбургский В. В., Карташов А. А., Иванов А. С. Техническая эксплуатация автомобилей. Диагностирование автомобилей: Учеб. пособие. Пенза: ПГУАС, 2011. 288 с.
11. Лянденбургский В. В., Родионов Ю. В., Кривобок С. А. Встроенная система диагностирования автомобилей с дизельным двигателем // Автотранспортное предприятие. 2012. № 11. С. 45.
12. Лянденбургский В. В., Тарасов А. И., Кривобок С. А. Программа поиска неисправностей дизельных двигателей // Контроль. Диагностика. 2012. № 8. С. 28.
13. Электронный портал производителя автомобилей PEUGEOT. SERVICE BOX [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://servicebox.peugeot.com>.
14. Komorska I., Wołczyński Z., Borczuch A. Diagnosis of sensor faults in a combustion engine control system with the artificial neural network // Diagnostyka. 2019. V. 20 (4). P. 19. <https://doi.org/10.29354/diag/110440>
15. Poorghasemi K., Saray R. K., Ansari E., Irdmousa B. K., Shahbakhti M., Naber J. D. Effect of diesel injection strategies on natural gas/diesel RCCI combustion characteristics in a light duty diesel engine // Applied Energy. 2017. V. 199. P. 430.