

DOI: 10.15593/24111678/ 2019.02.09

УДК 656.075

Р.Ф. Шаихов

Пермский государственный аграрно-технологический университет, Пермь, Россия

ОСОБЕННОСТИ ЭКСПЛУАТАЦИИ АВТОМОБИЛЕЙ С ТУРБОКОМПРЕССОРАМИ В УСЛОВИЯХ КАРЬЕРОВ

Статья посвящена анализу причин малой наработки на отказ турбокомпрессоров автомобилей МАЗ 6501 при эксплуатации в условиях карьеров. Добыча сыпучих грузов в условиях карьера ведется открытым способом, поэтому к специфике эксплуатации автомобилей относятся: повышенная запыленность, большие продольные и поперечные уклоны, серпантины, недостаточная ширина проезжей части, деформация дорожного покрытия, связанная с использованием временных маршрутов, движение по пересеченной местности, а также малое расстояние транспортировки. Автомобили МАЗ 6501 оснащены двигателями ЯМЗ-536 с турбокомпрессорами ТКР 80.05.12. Представлены результаты исследования средней наработки на отказ турбокомпрессоров и наиболее частые причины их выхода из строя, к ним относятся: попадание механических частиц, износ абразивными частицами, трещины корпуса, наложение закоксованного масла, масляное голодание. Проведен анализ современных способов повышения надежности турбокомпрессоров: замена штатного турбокомпрессора на аналог, установка турботаймера, использование более эффективного охлаждения, совершенствование обслуживания. Наиболее рациональным предложением является совершенствование системы технического обслуживания, в частности техническое обслуживание независимо от величины пробега по фактической наработке двигателя в мото-ч, ТО-1 через 500 ч работы двигателя; ТО-2 через 1000 ч работы двигателя; в рамках технического обслуживания номер два, следует ввести контрольно-диагностические работы по проверке люфта ротора турбокомпрессора. Операция по проверке люфта ротора турбокомпрессора предусматривает проверку осевого и радиального люфтов ротора с помощью индикатора часового типа. Люфт определяется как разность показаний индикатора при отклонении вала в двух взаимно противоположных направлениях.

Ключевые слова: надежность, турбокомпрессор, двигатель внутреннего сгорания, карьерный транспорт, эксплуатация автомобилей в условиях карьеров.

R.F. Shaihov

Perm State Agro-Technological University, Perm, Russian Federation

PECULIARITIES OF OPERATION OF VEHICLES WITH TURBOCHARGERS IN QUARRIES

The article is devoted to the analysis of the causes of low operating time for failure of turbochargers MAZ 6501 vehicles operating in quarries. Production of bulk cargo in a quarry is carried out in an open way, so the specificities of vehicles' operation include: increased dust, large longitudinal and transverse slopes, serpentine, insufficient width of the roadway, deformation of the road surface associated with the use of temporary routes, cross-country traffic, as well as a small distance of transportation. MAZ 6501 cars are equipped with YaMZ-536 engines with TKR 80.05.12 turbochargers. The results of the study of the mean time between failures of turbochargers and the most common causes of their failure are presented; they include: ingress of mechanical particles, wear by abrasive particles, cracks in the body, layering of coked oil and oil starvation. The analysis of modern ways to improve the reliability of turbochargers is conducted: it includes replacement of a regular turbocharger with an analogue, installation of a turbo timer, use of more efficient cooling, improvement of maintenance. The most efficient proposal is to improve the maintenance system, in particular to carry out maintenance regardless of the mileage on the actual operating time of the engine in Moto-h; the first maintenance after 500 hours of engine operation, the second maintenance after 1000 hours of engine operation. During the second maintenance it is necessary to introduce control and diagnostic work to check the backlash of the turbocharger rotor. The latter operation includes checking the axial and radial backlash of the rotor with the help of a time-type indicator. The backlash is defined as the difference between the indicator readings when the shaft is deflected in two mutually opposite directions.

Keywords: reliability, turbocharger, internal combustion engine, quarry transport, operation of vehicles in quarries.

Автомобильный транспорт является основным видом транспорта при добыче полезных ископаемых открытым способом в карьерах с малыми объемами производства, порядка 50–90 млн т/год [1]. Перевозку сыпучих и мелкокусовых грузов осуществляют с помощью

строительных самосвалов грузоподъемностью от 10 до 25 т [2]. Добыча песка, известняка и глины в условиях карьера ведется открытым способом, поэтому к специфике эксплуатации автомобилей относятся: повышенная запыленность, большие продольные и поперечные уклоны, серпантины, недостаточная ширина проезжей части, деформация дорожного покрытия, связанная с использованием временных маршрутов, движение по пересеченной местности, а также малое расстояние транспортировки. При работе в карьере наиболее характерен переменный режим движения, в котором имеют место многократные разгоны и замедления автомобиля.

При эксплуатации автомобилей МАЗ-6501 с двигателями ЯМЗ-536 в условиях карьеров в Свердловской области была выявлена проблема малой наработки на отказ турбокомпрессоров у 80 % автомобилей. Целью исследования является установление причин малой наработки на отказ турбокомпрессоров ТКР 80.05.12 двигателя ЯМЗ-536 [3], а также выбор путей повышения их долговечности.

В ходе исследования на предприятии собраны данные о наработке на отказ турбокомпрессоров ТКР 80.05.12, 5 автомобилей МАЗ-6501 с двигателем ЯМЗ-536, оснащенных турбокомпрессором ТКР 80.05.12 фирмы НПО «Турботехника» (таблица).

Данные о наработке на отказ турбокомпрессоров ТКР 80.05.12

№	Гос. номер автомобиля	Фактический пробег, км	Пробег до первого отказа ТКР, км	Фактическая наработка, мото-ч	Причина отказа
1	A592TC 196	31 240	15 672	4462	Заклинивание, переломился ротор
2	A593TC 196	26 612	14 020	3801	Скрежет, люфт компрессорной крыльчатки
3	A553TC 196	28 377	12 236	4053	Свист (замена по гарантии)
4	A552TC 196	25 459	11 498	3638	Свист (замена по гарантии)
5	A551TC 196	20 588	–	2945	–

Среднюю наработку до отказа турбокомпрессора можно определить по формуле [4]

$$T_{\text{cp}} = \frac{1}{\lambda} = \frac{1}{\sum_{i=1}^N \lambda_i} \quad (1)$$

или

$$T_{\text{cp}} = \frac{1}{n} \cdot \sum_{i=1}^N L_i, \quad (2)$$

где L_i – пробег автомобиля между отказами, тыс. км; n – количество отказов.

Тогда

$$T_{\text{cp}} = \frac{1}{4} \cdot (15\,672 + 14\,020 + 12\,236 + 11\,498) = 13\,357 \text{ км.}$$

Самой частой и разрушительной причиной выхода из строя турбокомпрессора является попадание внутрь механических частиц (рис. 1, а). Повреждения, произошедшие вследствие попадания инородных частиц в газовый или воздушный тракт, отчетливо видны на крыльчатках турбокомпрессора (см. рис. 1, а). При установке нового или отремонтированного турбокомпрессора необходимо обязательно проверить каналы, забора воздуха и каналы отвода выхлопных газов. Не стоит пытаться выровнять лопасти, так как это может привести к их отказу в процессе дальнейшей эксплуатации и еще более серьезным повреждениям.

Категорически запрещается эксплуатировать турбокомпрессор с поврежденными лопастями – повреждения холодной крыльчатки свидетельствуют о попадании постороннего пред-

мета во входной тракт двигателя, причиной этого может являться невнимательность при замене воздушного фильтра, негерметичность патрубков воздушного тракта. Повреждение горячей крыльчатки может свидетельствовать о разрушении деталей двигателя (клапанов, сёдел клапанов, отколовшиеся куски поршневых колец, окалина металла в выпускном коллекторе и т.д.), профилактикой попадания посторонних предметов на крыльчатку турбины может являться проверка состояния двигателя и выпускного коллектора.

При разборке турбокомпрессора с автомобиля МАЗ-6501 были выявлены повреждения пар трения турбокомпрессора в форме износа абразивными частицами (грязь, металлическая стружка) или продуктами коксования масла (рис. 1, б). В процессе эксплуатации мелкие частицы постепенно попадают в масло, загрязняя его, что, в свою очередь, приводит к разрушению масляной пленки, изнашиванию поверхности втулок, появлению бороздок, увеличению зазоров в местах работы подшипника и ротора. Для предотвращения повреждений подобного характера должно быть гарантировано применение масла и масляных фильтров высокого качества, а также обеспечена их своевременная замена согласно предписаниям завода-изготовителя. Во время проведения ремонтных работ должно быть исключено попадание механических частиц на внутренние поверхности двигателя.



Рис. 1. Причины отказов турбокомпрессоров ТКР 80.05.12:
а – попадание механических частиц; *б* – износ абразивными частицами; *в* – трещины корпуса; *г* – наслоение закоксовавшегося масла; *д* – влияние масляного голодания

Выявлены отказы турбокомпрессоров вследствие превышения допустимых режимов работы, в первую очередь из-за нарушения процессов подачи топлива или низкого качества топлива, из-за чего резко растет температура отработанных газов, в таких случаях характерны трещины на корпусе турбокомпрессора (рис. 1, *в*), наслоения закоксовавшегося масла (рис. 1, *з*). Второй причиной чаще всего является выключение двигателя без достаточного времени для охлаждения турбокомпрессора, что приводит к образованию нагара. В этом случае рекомендуется перед остановкой двигателя дать ему поработать на холостом ходу, от 2 до 3 мин, для охлаждения турбокомпрессора. При перегреве больше всего подвержены повреждению вал турбокомпрессора и его уплотнения, подшипники скольжения. Основными причинами работы турбокомпрессора на повышенных температурах являются: засорение воздушного фильтра, остановка двигателя без работы на холостом ходу перед выключением, большой интервал при замене масла, низкокачественное или некондиционное топливо.

Масляное голодание – это довольно часто встречающаяся причина неисправности турбокомпрессора, представляет собой кратковременный или длительный процесс прерывания доступа масла или недостаточное давление масла на входе в турбокомпрессор, ведет к сильному износу (рис. 1, *д*), а иногда и к следам перегрева на поверхностях пар трения турбокомпрессора. Для предупреждения масляного голодания необходимо тщательно следить за уровнем масла в двигателе, своевременно устранять подтекание масла, производить работы в соответствии с технологией ремонта. При подозрении на недостаточное давление масла необходимо замерить давление в масляной магистрали турбокомпрессора.

Все указанные причины отказов могут привести к частичному или полному разрушению турбокомпрессора. На рис. 2 представлены примеры разрушения деталей турбокомпрессора. Причины обрыва крыльчатки (рис. 2, *а*) и разрушения среднего корпуса подшипникового узла (рис. 2, *б*) точно установить не представляется возможным. Разрушение крыльчатки компрессора произошло из-за попадания инородных частиц (рис. 2, *в*).

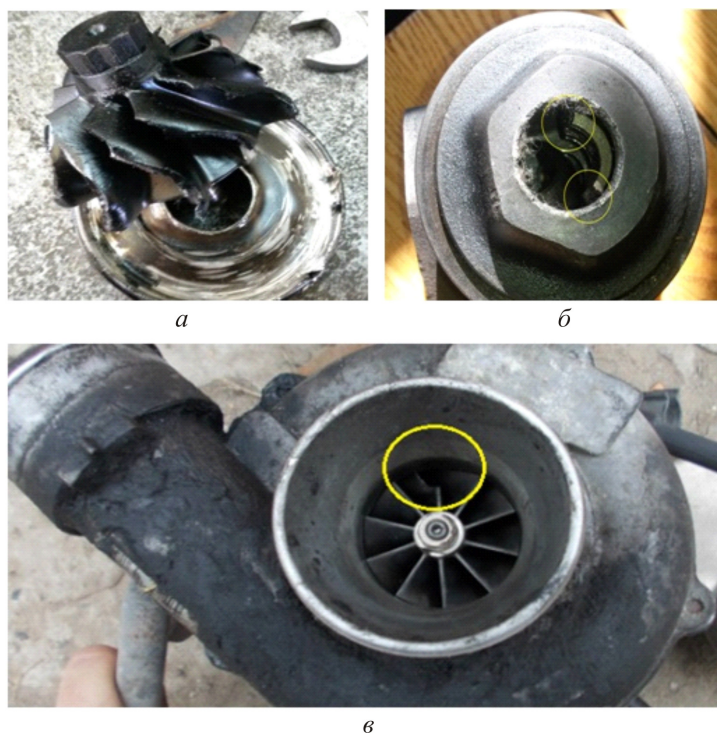


Рис. 2. Разрушение деталей турбокомпрессоров ТКР 80.05.12:
а – обрыв крыльчатки турбины; *б* – разрушение среднего корпуса, подшипникового узла; *в* – разрушение крыльчатки компрессора

В настоящее время ведутся научно-исследовательские и конструкторские работы, направленные на повышение эксплуатационной надежности турбокомпрессоров автотракторных двигателей, путем модернизации элементов системы газотурбинного наддува. Основные направления этой работы [5]: увеличение степени маслостойкости поверхностей трения турбокомпрессоров; конструирование независимой от двигателя системы смазки турбокомпрессора; установка турботаймера; использование более эффективного жидкостного охлаждения подшипникового узла турбокомпрессора [6]; применение гидроаккумулятора в системе смазки турбокомпрессора [7], применение систем эксплуатационной самодиагностики [8].

Одним из предложенных решений в данной ситуации может стать установка турбокомпрессора другого производителя. Всем известно, что многие запасные части и комплектующие для сборки автомобилей, в частности турбокомпрессор, производятся компаниями, специализирующимися на отдельных узлах или деталях. В ходе исследования был проведен анализ существующих на рынке турбокомпрессоров для двигателей ЯМЗ-536. Двигатели семейства 536 Ярославского моторного завода комплектуются турбокомпрессорами ТКР 80.05.12 фирмы НПО «Турботехника» и имеют на рынке только один аналог – турбокомпрессор В2G (рис. 3) фирмы Borg Warner [9, 10].



Рис. 3. Турбокомпрессор В2G фирмы Borg Warner Turbo Systems

Решение по замене турбокомпрессора ТКР 80.05.12 на аналог от немецкой фирмы Borg Warner не имеет достойного обоснования, так как нет данных о наработке на отказ в аналогичных условиях эксплуатации, нет данных о ресурсе, заявленном заводом-изготовителем. Средняя стоимость данной модели турбокомпрессора составляет 63 300 руб., что превышает стоимость штатного ТКР 80.05.12 почти в три раза.

В настоящее время большинство предприятий, предоставляющих автотранспортные услуги, относятся к категории малых, с размером парка до 30 единиц подвижного состава [11]. В условиях предприятия с малым парком автомобилей наиболее приемлемым является совершенствование системы технического обслуживания [12–14].

Надежная работа двигателя и длительный срок службы обеспечиваются своевременным проведением качественного технического обслуживания, предусмотрено ежедневное техническое обслуживание, ТО-1, ТО-2 и сезонное техническое обслуживание [15].

При этом только в перечне операций ежедневного технического обслуживания предусмотрена проверка на слух работы турбокомпрессора после остановки двигателя. Однако с помощью органолептического метода контроля невозможно точно оценить техническое состояние турбокомпрессора.

Кроме того, согласно собранным данным средняя наработка на отказ турбокомпрессора (13 357 км) не превышает пробег до ТО-1.

В целях обеспечения безотказности турбокомпрессора на предприятии необходимо провести следующие мероприятия:

1) проводить техническое обслуживание независимо от величины пробега по фактической наработке двигателя в мото-ч, ТО-1 через 500 ч работы двигателя, ТО-2 – через 1000 ч работы двигателя;

2) в рамках технического обслуживания номер два следует ввести контрольно-диагностические работы по проверке люфта ротора турбокомпрессора.

Операция по проверке люфта ротора турбокомпрессора предусматривает проверку осевого и радиального люфтов ротора с помощью индикатора часового типа. Люфт определяется как разность показаний индикатора при отклонении вала в двух взаимно противоположных направлениях.

В ходе выполнения работы были получены следующие результаты:

1. Эксплуатация автомобилей МАЗ-6501 в условиях карьера ведет к малой наработке на отказ турбокомпрессора на двигателях ЯМЗ-536.

2. По результатам исследования, проведенного на предприятии, установлено, что средняя наработка на отказ турбокомпрессора составляет 13 357 км.

3. Выявлены недостатки существующей системы технического обслуживания: отсутствие контроля технического состояния турбокомпрессора, отсутствие учета специфики работы самосвалов в условиях карьера (малый пробег) при выборе периодичности обслуживания.

4. В целях обеспечения безотказности турбокомпрессора необходимо проводить техническое обслуживание независимо от величины пробега по фактической наработке двигателя. ТО-1 через 500 ч работы двигателя; ТО-2 – через 1000 ч работы двигателя. В рамках технического обслуживания номер два, следует ввести операцию по проверке люфта ротора турбокомпрессора. Внедрение диагностики повысит долговечность турбокомпрессора.

Список литературы

1. Вуейкова О.Н., Ларин О.Н. Вопросы повышения эффективности работы карьерного автотранспорта // Вестник Оренбургского государственного университета. – 2011. – № 10. – С. 20–25.

2. Автомобильный транспорт на карьерах: конструкции, эксплуатация, расчет: учеб. пособие для вузов / В.С. Квагинидзе, Г.И. Козловой, Ф.А. Чаквиладзе, В.Б. Корецкий, Ю.А. Антонов. – М.: Горная книга, 2012. – 408 с.

3. Шабанов П.Е. Руководство по эксплуатации автомобилей – самосвалы МАЗ-6501В5, 6501В8, 6501В9. – Минск: Изд-во «МАЗ», 2013. – 431 с.

4. Острейковский В.А. Теория надежности: учебник для вузов. – М.: Высш. шк., 2003. – 463 с.

5. Roach P. The Role of CFD in Turbocharger Performance Improvement. – CIMAC Vienna. – 2007. – № 51. – P. 52–56.

6. Гаффаров А.Г., Макушин А.А., Гаффаров А.Г. Совершенствование подшипникового узла турбокомпрессора автотракторного ДВС // Тракторы и сельхозмашины. – 2010. – № 2. – С. 39–42.

7. Плаксин А.М. Увеличение надежности турбокомпрессоров автотракторной техники применением гидроаккумулятора // Вестник КрасГАУ. – 2014. – № 8. – С. 176–180.

8. Ревякин М.М. Повышение надежности грузовых автомобилей путем применения системы эксплуатационной самодиагностики: дис. ... канд. техн. наук: 05.22.10. – Орел, 2012. – 196 с.

9. Шамаль Н.Л. Руководство по эксплуатации двигателя ЯМЗ-536, ЯМЗ-5361, их модификации и комплектации. – Ярославль: Изд-во ОАО «Автодизель», 2013. – 240 с.

10. Шамаль Н.Л. Руководство по эксплуатации силовые агрегаты ЯМЗ-238БЕ2 и модификации и комплектации. – Ярославль: Изд-во ОАО «Автодизель», 2011. – 354 с.

11. Мальцев Д.В., Пестриков С.А. Определение оптимальной периодичности технического обслуживания автобусов // Мир транспорта. – 2018. – № 2 (75). – С. 96–105

12. Алгазин Д.Н., Забудская Е.А. Безразборная диагностика турбокомпрессоров дизельных двигателей // Вестник Омского государственного аграрного университета. – 2015. – № 2 (18). – С. 71–75.

13. Лянденбургский В.В., Родионов Ю.В., Рыбакова Л.А. Совершенствование встроенной системы диагностирования автомобилей КамАЗ с использованием мониторинга технического состояния транспортных средств // Автотранспортное предприятие. – 2014. – № 1. – С. 51–55.

14. Мальцев Д.В. Анализ причин малой наработки на отказ турбокомпрессоров при эксплуатации в условиях карьеров // Актуальные направления научных исследований XXI века: теория и практика. – 2016. – Т. 4, № 5–4 (25–4). – С. 267–271.

15. Власов В.М., Жанказиев С.В., Круглов С.М. Техническое обслуживание и ремонт автомобилей: учеб. пособие. – М.: Академия, 2013. – 432 с.

References

1. Vucikova O.N., Larin O.N. Voprosy povysheniia effektivnosti raboty kar'ernogo avtotransporta [Issues of improving the efficiency of career vehicles]. *Vestnik Orenburgskogo gosudarstvennogo universiteta*. 2011. № 10. pp. 20-25

2. Kvaginidze V.S., Kozlovoi G.I., Chakvitadze F.A., Koretskii V.B. et al. Avtomobil'nyi transport na kar'erakh: konstruktssii, ekspluatatsiia, raschet: uchebnoe posobie dlia vuzov [Road transport in quarries: construction, operation, calculation: a textbook for universities]. Moscow, Gornaia kniga, 2012. 408 p.

3. Shabanov P.E. Rukovodstvo po ekspluatatsii avtomobili - samosvaly MAZ-6501V5,6501V8,6501V9 [The operation manual on cars - dump trucks MAZ-6501V5,6501V8,6501V9]. Minsk, MAZ, 2013. 431 p.

4. Ostreikovskii V.A. Teoriia nadezhnosti: uchebnik dlia vuzov [Reliability Theory: A Textbook for High Schools]. Moscow, Vyssh. shk., 2003. 463 p.

5. Roach P. The Role of CFD in Turbocharger Performance Improvement. CIMAC Vienna. 2007. № 51. pp. 52-56

6. Gaffarov A.G., Makushin A.A., Gaffarov A.G. Sovershenstvovanie podshipnikovogo uzla turbokompessora avtotraktornogo DVS [Improvement of the bearing assembly of the turbo-compressor of the autotractor internal combustion engine]. *Traktory i sel'khoz mashiny*. 2010. № 2. pp. 39–42.

7. Plaksin A.M. Uvelichenie nadezhnosti turbokompessorov avtotraktornoi tekhniki primeneniem gidroakkumulatora [Increase of reliability of turbo-compressors of autotractor equipment using hydroaccumulator]. *Vestnik KrasGAU*. 2014. № 8. pp. 176–180.

8. Reviakin M.M. Povyshenie nadezhnosti gruzovykh avtomobiley putem primeneniia sistema ekspluatatsionnoi samodiagnostiki [Improving the reliability of trucks through the use of operational self-diagnostic system]. Ph. D. thesis. Orel, 2012. 196 p.

9. Shamal' N.L. Rukovodstvo po ekspluatatsii dvigatelya IaMZ-536, IaMZ-5361, ikh modifikatsii i komplektatsii [Operation manual for engines YMZ-536, YaMZ-5361, their modifications and configuration]. Iaroslavl', OAO «Avtodizel'», 2013. 240 p.

10. Shamal' N.L. Rukovodstvo po ekspluatatsii silovye agregaty IaMZ-238BE2 i modifikatsii i komplektatsii [Operation manual for YMZ-238BE2 power units and modifications and configurations]. Iaroslavl', OAO «Avtodizel'», 2011. 354 p.

11. Mal'tsev D.V., Pestrikov S.A. Opredelenie optimal'noi periodichnosti tekhnicheskogo obsluzhivaniia avtobusov [Determination of the optimal frequency of bus maintenance]. *Mir transporta*, 2018. № 2 (75). pp. 96-105

12. Algazin D.N., Zabudskaiia E.A. Bezrazbornaia diagnostika turbokompessorov dizel'nykh dvigatelei [In-place diagnostics of diesel engine turbochargers]. *Vestnik Omskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta*. 2015. № 2 (18). pp. 71-75.

13. Liandenburskii V.V., Rodionov Iu.V., Rybakova L.A. Sovershenstvovanie vstroennoi sistema diagnostirovaniia avtomobiley KamAZ s ispol'zovaniem monitoringa tekhnicheskogo sostoiianiia transportnykh sredstv [Improving the built-in diagnostic system for KamAZ vehicles using vehicle technical condition monitoring]. *Avtotransportnoe predpriiatie*. 2014. № 1. pp. 51-55.

14. Mal'tsev D.V. Analiz prichin maloi narabotki na otkaz turbokompessorov pri ekspluatatsii v usloviakh kar'erov [Analysis of the reasons for the small time between failures of turbocompressors during operation in quarries]. *Aktual'nye napravleniia nauchnykh issledovaniy XXI veka: teoriia i praktika*. 2016. t. 4. № 5-4 (25-4). pp. 267-271.

15. Vlasov V.M., Zhankaziev S.V., Kруглов S.M. Tekhnicheskoe obsluzhivanie i remont avtomobiley: uchebnoe posobie [Car maintenance and repair: study guide]. Moscow, Tsentr «Akademiia», 2013. 432 p.

Получено 02.04.2019

Об авторе

Шаихов Ринат Фидарисович (Пермь, Россия) – кандидат технических наук, доцент кафедры технического сервиса и ремонта машин Пермского государственного аграрно-технологического университета (614990, Россия, г. Пермь, ул. Петропавловская, д. 23, e-mail: shr84@list.ru).

About the author

Rinat F. Shaihov (Perm, Russian Federation) – Ph.D. in Technical Sciences, Associate Professor, Department of Technical Service and Repair of Cars, Perm State Agro-Technological University (23, Petropavlovskaiia st., Perm, 614990, Russian Federation, e-mail: shr84@list.ru).