

УДК 629.33

МЕТОДИКА ОПРЕДЕЛЕНИЯ ОБЩЕЙ ВЕРОЯТНОСТИ БЕЗОТКАЗНОЙ РАБОТЫ ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ АВТОМОБИЛЯ (НА ПРИМЕРЕ ПЕРЕДНЕЙ ПОДВЕСКИ ВАЗ-2170)

Денисов Ив.В., Денисов Ил.В.

ФГБОУ ВПО «Владимирский государственный университет им. Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых», Владимир, e-mail: denisoviv@mail.ru, denisoviv2@mail.ru

Техническое состояние автотранспортных средств определяет его активную безопасность. Анализ статистических данных по дорожно-транспортной аварийности в Российской Федерации показал, что отказы ходовой части автомобилей являются причиной более 25% дорожно-транспортных происшествий, возникающих вследствие эксплуатации технически неисправных транспортных машин. Решение задачи по обеспечению безотказной работы автотранспортных средств в эксплуатации позволит повысить безопасность дорожного движения. В настоящей работе разработана методика определения общей вероятности безотказной работы передней подвески ВАЗ-2170, которая дает возможность корректировать нормативы ее технического обслуживания и ремонта, не допуская эксплуатацию транспортной машины в предотказном состоянии. Выполнен анализ структурной схемы надежности рассматриваемой системы. Проведенные эксплуатационные испытания показали, что подшипники верхней опоры телескопической стойки и шаровые шарниры рычагов лимитируют надежность передней подвески ВАЗ-2170. Полученные результаты теоретических и экспериментальных исследований рекомендуется использовать при прогнозировании остаточного ресурса системы.

Ключевые слова: надежность, структурные схемы, передняя подвеска

THE METHOD OF DETERMINATION OF THE PROBABILITY OF NON-FAILURE OPERATION OF TECHNICAL SYSTEMS OF THE CAR (FOR EXAMPLE, THE FRONT SUSPENSION VAZ-2170)

Denisov Iv.V., Denisov Il.V.

Vladimir State University named after Alexander and Nikolay Stoletovs, Vladimir, e-mail: denisoviv@mail.ru, denisoviv2@mail.ru

Technical condition of vehicles defines its active safety. The analysis of statistical data on road and transport accident rate in the Russian Federation showed that refusals of a running gear of cars are the reason more than 25% of the road accidents arising owing to operation of technically faulty transport cars. The solution of a task on ensuring no-failure operation of vehicles in operation will allow to raise traffic safety. In the real work the technique of definition of the general probability of no-failure operation of a forward suspension bracket of VAZ-2170 which gives the chance to correct standards of its maintenance and repair is developed, without allowing operation of the transport car in a prenegative state. The analysis of the block diagram of reliability of considered system is made. The carried-out operational tests showed that bearings of the top support telescopic struts and spherical hinges of levers limit reliability of a forward suspension bracket of VAZ-2170. The received results of theoretical and pilot studies are recommended to be used when forecasting a residual resource of system.

Keywords: reliability, structured schemes, forward suspension bracket

Современные условия эксплуатации автотранспортных средств (АТС) вынуждают их производителей предъявлять более жесткие требования к надежности наиболее ответственных узлов и систем.

Особенностью проблемы надежности, является ее взаимосвязь со всеми этапами жизненного цикла изделия: проектирования, изготовления и эксплуатации [3, 5]. При этом последний этап является реализующим и обеспечивается посредством принятой системы технического обслуживания (ТО) и ремонта. Корректирование нормативов системы ТО и ремонта может потребоваться для устранения возможных недостатков, возникающих на первых двух этапах, или же для учета управляемых и неуправляемых факторов в процессе эксплуатации АТС и позволяет достичь требуемого уров-

ня вероятности безотказной работы любой технической системы. Следует отметить, что под корректированием в данном случае следует понимать не только изменение интервала между очередными техническими воздействиями (ТВ), но и перераспределение существующих или введение новых технологических операций, выполняемых в процессе ТО [3].

Цель исследования – разработать методику определения общей вероятности безотказной работы технических систем автомобиля.

Методы исследования: аналитическое исследование

Для обеспечения безаварийной эксплуатации АТС необходимо повышать уровень надежности его основных систем и в первую очередь тех из них, техническое

состояние которых оказывает влияние на безопасность дорожного движения (БДД) [1, 2]. Безотказность указанных систем транспортных машин является основным критерием, используемым при управлении их техническим состоянием.

Одним из показателей безотказности является вероятность безотказной работы (ВБР). При известном значении ВБР технической системы можно осуществить корректирование нормативов ее ТО и ремонта и исключить эксплуатацию в предотказном состоянии. Вместе с тем определение количественного значения данной вероятности является сложной научно-технической задачей, решение которой в рамках разрабатываемой методики предполагается в два этапа: оценка структурной надежности и анализ статистических данных по эксплуатационной надежности систем безопасности автомобиля.

В данной статье предлагается методика корректировки системы ТО и ремонта передней подвески (ПП) автомобиля ВАЗ-2170 по общей ВБР системы [1].

Оценку структурной надежности ПП необходимо начинать с изучения ее конструктивной схемы, которая представлена на рис. 1 [6]. Основным элементом подвески является гидравлическая телескопическая амортизаторная стойка 8, нижняя часть которой соединена с поворотным кулаком 4.

На телескопической стойке установлены витая бочкообразная пружина 9, пенополиуретановый буфер хода сжатия и верхняя опора стойки в сборе с подшипником 10. Нижняя часть поворотного кулака 4 соединяется шаровым шарниром 5 с нижним (поперечным) рычагом 7. Тор-

мозные и тяговые силы воспринимаются продольными растяжками 6, которые через резинометаллические шарниры соединяются с нижними рычагами 7 и с кронштейнами 11. В поворотном кулаке крепится двухрядный радиально-упорный подшипник 12 закрытого типа, на внутренних кольцах которого установлена с натягом ступица 3 колеса.

На основе рис. 1 составим структурную схему надежности ПП (рис. 2).

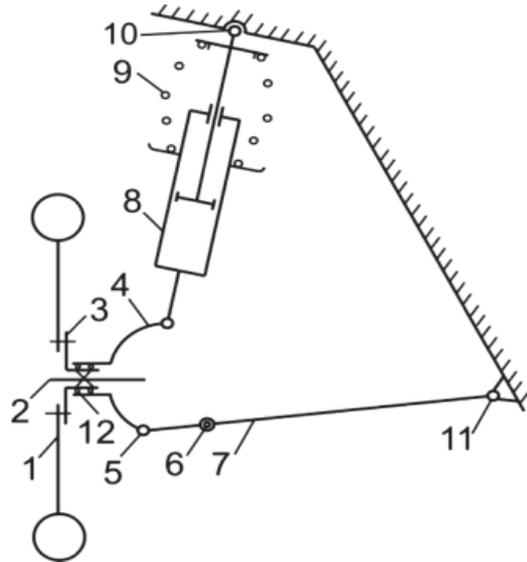


Рис. 1. Схема ПП переднеприводного автомобиля ВАЗ-2170:

- 1 – диск; 2 – вал привода переднего колеса;
3 – ступица; 4 – поворотный кулак;
5 – шаровая опора; 6 – растяжка; 7 – рычаг;
8 – телескопическая стойка в сборе;
9 – пружина передней подвески; 10 – опорный подшипник; 11 – кронштейн; 12 – подшипник

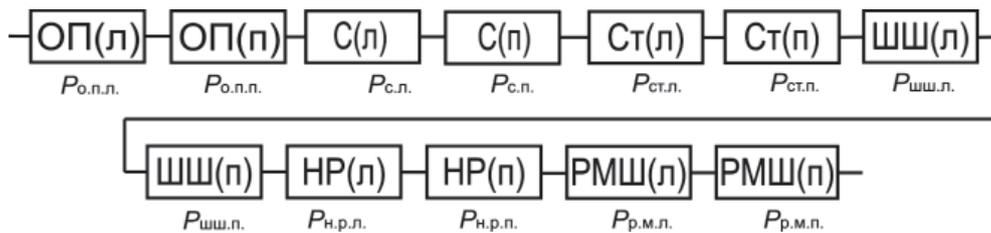


Рис. 2. Структурная схема ПП автомобиля ВАЗ-2170:

- ОП(л), ОП(п) – опорный подшипник левой и правой телескопической стойки соответственно;
С(л), С(п) – телескопическая стойка в сборе левая и правая соответственно;
Ст(л), Ст(п) – ступица в сборе с подшипником левая и правая соответственно;
ШШ(л), ШШ(п) – шаровой шарнир левый и правый соответственно;
НР(л), НР(п) – нижний рычаг в сборе с растяжкой левый и правый соответственно;
РМШ(л), РМШ(п) – резинометаллический шарнир левый и правый соответственно

Определим ВБР системы ПП по структурной схеме согласно рис. 2:

$$P_{\text{общ}} = P_{\text{оп.л.}} \cdot P_{\text{оп.п.}} \cdot P_{\text{с.л.}} \cdot P_{\text{с.п.}} \cdot P_{\text{ст.л.}} \cdot P_{\text{ст.п.}} \cdot P_{\text{шш.л.}} \cdot P_{\text{шш.п.}} \cdot P_{\text{н.р.л.}} \cdot P_{\text{н.р.п.}} \cdot P_{\text{р.м.л.}} \cdot P_{\text{р.м.п.}}, \quad (*)$$

где $P_{\text{общ}}$, $P_{\text{оп.л.}}$, $P_{\text{оп.п.}}$, $P_{\text{с.л.}}$, $P_{\text{с.п.}}$, $P_{\text{ст.л.}}$, $P_{\text{ст.п.}}$, $P_{\text{шш.л.}}$, $P_{\text{шш.п.}}$, $P_{\text{н.р.л.}}$, $P_{\text{н.р.п.}}$, $P_{\text{р.м.л.}}$, $P_{\text{р.м.п.}}$ – вероятности безотказной работы всей системы, опорного подшипника (левого, правого), телескопи-

ческой стойки в сборе (левой, правой), ступицы в сборе с подшипником (левая, правая), шарового шарнира рычага подвески (левого, правого), нижнего (поперечного) рычага подвески (левого, правого), резино-металлического шарнира (левого, правого).

Согласно результатам расчета, выполненным с использованием формулы (*), обеспечение заданного уровня ВБР (0,95) системы ПП автомобиля возможно лишь при использовании элементов с вероятностью $P(t)$ равной 0,9958. Полученное значение вероятности принадлежит второму классу надежности элементов [5]. Столь высокое значение ВБР объясняется тем,

что рассматриваемая система содержит большое количество последовательно соединенных элементов, каждый из которых оказывает существенное влияние на устойчивость и управляемость автомобиля.

Результаты исследования и их обсуждение

Информация об эксплуатационной надежности системы ПП переднеприводных автомобилей ВАЗ получена на основе анализа статистических данных по наработкам на отказ ее элементов. Полученные результаты исследований представлены на рис. 3.

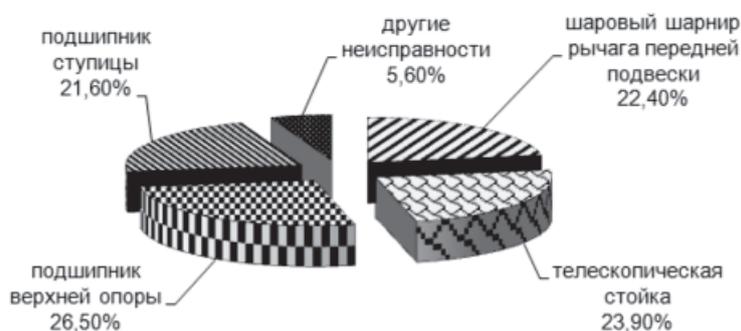


Рис. 3. Диаграмма эксплуатационных отказов элементов ПП переднеприводных автомобилей ВАЗ-2170

Из диаграммы видно, что наибольшая доля отказов приходится на подшипник верхней опоры (26,5%). Неисправности телескопической стойки ПП (23,9%) являются второй по значимости причиной потери работоспособности системы. На отказы шарового шарнира рычага ПП и подшипника ступицы приходится 22,4 и 21,6% всех отказов соответственно.

Около 5,6% технических неисправностей ПП связаны с ослаблением крепежных соединений, изменением геометрии нижнего рычага ПП и растяжки вследствие их повреждений и т.д.

Эксплуатационные испытания показали, что наименее надежным элементом ПП является шаровой шарнир рычага подвески, средняя наработка до отказа которого составляет $\bar{X} = 38,35$ тыс.км. Небольшой ресурс связан с тяжелыми условиями работы данного элемента, поскольку шарнир соединяет ступицу на управляемом колесе и рычаг подвески. Основной из причин нарушения правильной работы шаровой опоры является износ соприкасающихся поверхностей, который приводит к появлению необратимых смещений. Увеличение зазора в сопряжении вкладыша и пальца возникает в связи со следующими факторами:

- естественный износ в совокупности с устаревшими материалами;
- увеличиваются динамические нагрузки во время движения транспортной машины на большой скорости по неровным дорогам;
- нарушения герметичности защитного чехла или пыльника;
- отсутствие в шарнире смазки (при необходимости ее наличия).

Следующим наименее надежным узлом в системе является подшипник верхней опоры, средняя наработка до отказа которого составляет $\bar{X} = 45,82$ тыс.км. Так же, как и шаровая опора, данный элемент воспринимает основную часть всех нагрузок, передающихся подвеской на кузов, и обеспечивает «первичную» шумо- и виброизоляцию.

Нарботка на отказ телескопической стойки ПП автомобиля составляет $\bar{X} = 69,61$ тыс.км. Основные неисправности телескопической стойки связаны с износами резиновых подушек растяжек или ослаблением крепления их кронштейнов, разрушением резинового элемента верхней опоры стойки и буфера хода сжатия или отказа амортизатора.

Наиболее надежным элементом является подшипник ступицы со средней наработкой на отказ $\bar{X} = 71,69$ тыс.км.

По результатам эксплуатационных наблюдений установлены теоретические законы распределения случайной величины наработок на отказ элементов ПП. Нарботки на отказ подшипника верхней опоры, телескопической стойки, шарового шарнира рычага ПП хорошо согласуются с нормаль-

ным законом распределения, подшипника ступицы – с логарифмически нормальным законом. Результаты анализа надежности узлов и деталей ПП представлены на рис. 4 в виде графиков, отображающих зависимости вероятностей их безотказной работы от наработок.

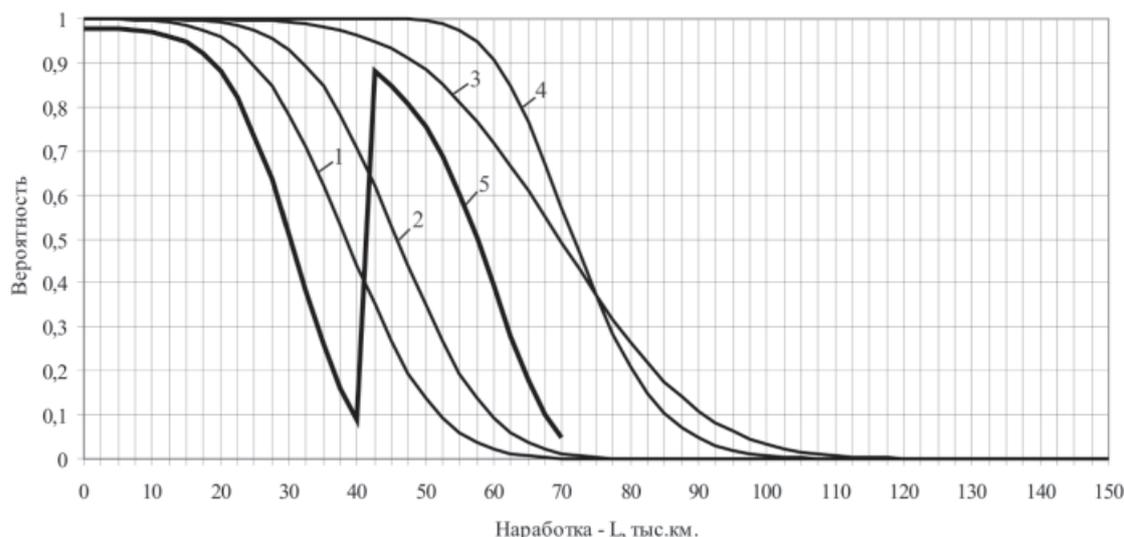


Рис. 4. Вероятности безотказной работы элементов ПП переднеприводного автомобиля ВАЗ-2170:

1 – шарового шарнира рычага передней подвески; 2 – подшипника верхней опоры; 3 – телескопической стойки в сборе; 4 – подшипника ступицы; 5 – всей системы ПП

Полученные теоретические законы распределения случайной величины позволили установить функциональные зависимости между ВБР конкретного узла или элемента и наработкой.

Кривая 5 на рис. 4 отображает результаты расчета общей ВБР ПП, при выполнении которого учитывались плановые ТВ. Значение заданного уровня вероятности безотказной работы (0,95) системы ПП автомобиля соответствует наработке 15 тыс. км, далее происходит ее интенсивное снижение. На наработке 30 тыс. км общая вероятность равна 0,51, что недопустимо для систем, влияющих на активную безопасность АТС. На основании этого рекомендуется каждые 15 тыс. км дополнительно проводить диагностические работы по выявлению люфтов и зазоров в ПП на соответствие требованиям ГОСТ Р 51709-2001[4]. Особое внимание следует уделить контролю технического состояния шарового шарнира рычагов передней подвески и подшипнику верхней опоры. К перечню регламентных работ также следует добавить регулировку углов установки передних колес.

Вывод

При интегрировании в существующую систему ТО и ремонта АТС механизма оперативного корректирования нормативов управления их техническим состоянием в эксплуатации по результатам диагностирования она становится адаптивной. Предлагаемая методика определения общей вероятности безотказной работы систем автомобиля, влияющих на безопасность движения, позволяет исключить эксплуатацию транспортной машины в предотказном состоянии за счет прогнозирования ее остаточного ресурса. В случае фиксации в эксплуатации нескольких систем АТС, лимитирующих его надежность, возникает необходимость в использовании комплексного показателя безотказности [1].

Список литературы

1. Денисов Ил.В. Комплексный показатель оценки надежности систем автомобиля, влияющих на безопасность движения / Ив.В. Денисов, Ил.В. Денисов // Перспективы развития автосервиса: материалы Междунар. науч.-практ. конф. / Владим. гос. ун-т. – Владимир: Изд-во Владим. гос. ун – т, 2008. – С. 36–39. – ISBN 978-5-89368-895-5.

2. Денисов И.В. Разработка методики управления техническим состоянием систем автомобиля, влияющих на безопасность дорожного движения: дис. ... канд. техн. наук: 05.22.10. – Владимир, 2011. – 205 с.

3. Баженов Ю.В. Основы теории надежности машин: учебн. пособие Владим. гос.ун-т. – Владимир, 2006. – 156 с.

4. ГОСТ Р 51709-2001. Автотранспортные средства. Требования безопасности к техническому состоянию и методы проверки. – М.: Изд-во стандартов, 2001. – 27 с.

5. Проников А.С. Надежность машин. – М.: Машиностроение, 1978. – 592 с.

6. Технология работ по техническому обслуживанию и ремонту автомобилей ВАЗ-1117. – М.: Третий Рим, 2009. – 368 с.

3. Bazhenov Yu.V. Osnovyi teorii nadezhnosti mashin [Fundamentals of the theory of reliability of machines]: Training Manual. Vladimir: Vladim.gos.un-t, 2006. 156 p.

4. GOST R 51709-2001. Avtotransportnyie sredstva. Trebovaniya bezopasnosti k tehnikeskomu sostoyaniyu i metodyi proverki [Vehicles. Safety requirements for the technical condition and methods of verification]. Moscow, 2001. pp. 27.

5. Penetrating, A.S. Nadezhnost mashin [Reliability of the machines] Moscow: Mechanical Engineering, 1978. 592 p.

6. Tehnologiya rabot po tehnikeskomu obsluzhivaniyu i remontu avtomobiley VAZ-1117 [Technology maintenance and repair of cars VAZ-1117]. Moscow: The Third Rome, 2009. 368 p.

References

1. Denisov I.L.V., Denisov I.V.V. Kompleksnyiy pokazatel otsenki nadezhnosti sistem avtomobilya, vliyayuschih na bezopasnost dvizheniya [An integrated index assessing the reliability of the car's systems, affecting traffic safety] Development Prospects Car: Proceedings Intern. scientific-practical. conf. / Vlad. State. Univ., 2008, pp.36 -39. – ISBN 978-5-89368-895-5.

2. Denisov I.V.V. Razrabotka metodiki upravleniya tehnikeskim sostoyaniem sistem avtomobilya, vliyayuschih na bezopasnost dorozhnogo dvizheniya [Development of methodology for managing the technical condition of the car's systems, impacting on road safety]: dis. ... Candidate. tehn. Sciences: 05.22.10. Vladimir, 2011. 205 p.

Рецензенты:

Гоц А.Н., д.т.н., профессор кафедры тепловых двигателей и энергетических установок, ФГБОУ ВПО «Владимирский государственный университет им. Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых», г. Владимир;

Кульчицкий А.Р., д.т.н., профессор, главный специалист ООО «Завод инновационных продуктов КТЗ», г. Владимир.

Работа поступила в редакцию 05.08.2014.