

## ИССЛЕДОВАНИЕ БЕЗОТКАЗНОСТИ РАБОЧЕЙ ТОРМОЗНОЙ СИСТЕМЫ АВТОМОБИЛЕЙ VAZ-21703

Баженов Ю.В.<sup>1</sup>, Денисов Ив.В.<sup>1</sup>, Денисов Ил.В.<sup>1</sup>

<sup>1</sup>ФГБОУ ВПО «Владимирский государственный университет им. Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых», Владимир, Россия (600000, г. Владимир, ул. Горького, 87), e-mail: [bagenovyv@mail.ru](mailto:bagenovyv@mail.ru), [denisoviv@mail.ru](mailto:denisoviv@mail.ru), [denisoviv2@mail.ru](mailto:denisoviv2@mail.ru)

Техническое состояние систем управления автомобилем оказывает влияние на его активную безопасность. Анализ статистических данных по дорожно-транспортной аварийности в Российской Федерации показал, что отказы тормозных систем являются причиной более 40% дорожно-транспортных происшествий, возникающих вследствие эксплуатации технически неисправных автотранспортных средств. Обеспечение безотказной работы транспортных машин в эксплуатации позволяет повысить безопасность дорожного движения. В настоящей работе выполнено исследование надежности рабочей тормозной системы автомобилей VAZ-21703, оснащенной антиблокировочной системой (АБС). В процессе анализа структурных схем надежности установлено, что безотказность элементов такой системы должна быть выше по сравнению с традиционным тормозным управлением, в конструкции которого отсутствуют колесные датчики скорости, электронный блок управления и гидромодулятор, но имеется регулятор тормозных сил. При реализации этого условия значение вероятности безотказной работы рабочей тормозной системы, установленное для систем безопасности автомобилей - 0,95, будет обеспечено даже при отказе АБС. Проведенные эксплуатационные испытания показали, что к элементам, лимитирующим надежность тормозной системы VAZ-21703, относят колодки и диск тормоза передней оси. Контроль технического состояния передних тормозных механизмов при очередном плановом обслуживании автомобиля, проводимом каждые 15 тыс. км, является обязательным, поскольку уже на наработке 28 тыс. км общая вероятность безотказной работы снижается до критической величины. Полученные результаты теоретических и экспериментальных исследований рекомендуется использовать при прогнозировании остаточного ресурса системы.

Ключевые слова: безотказность, структурная надежность, предотказное состояние, тормозные системы, антиблокировочная система.

## RESEARCH OF RELIABILITY SERVICE BRAKING SYSTEM OF THE CAR VAZ-21703

Bazhenov Y.V.<sup>1</sup>, Denisov Iv.V.<sup>1</sup>, Denisov Il.V.<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Vladimir State University named after Alexander and Nikolay Stoletovs, Vladimir, Russia (600000, Vladimir, Gorky street, 87), e-mail: [bagenovyv@mail.ru](mailto:bagenovyv@mail.ru), [denisoviv@mail.ru](mailto:denisoviv@mail.ru), [denisoviv2@mail.ru](mailto:denisoviv2@mail.ru)

The technical condition of the vehicle control systems has an impact on its active safety. Analysis of statistical data on road traffic accidents in the Russian Federation has shown that failure of the braking systems are the cause of more than 40% of traffic accidents that occur due to operation of technically faulty vehicles. Ensuring reliable operation of transport vehicles in use can improve road safety. In this paper, we have investigated the reliability of the braking system of VAZ - 21703, equipped with anti-lock braking system (ABS). During the analysis of the structural schema is well established that the elements of such a system reliability should be higher compared to the conventional brake control, the design of which no wheel speed sensors and ECU hydromodulator but a brake force regulator. The realization of this condition the probability of trouble-free operation of the service braking system installed for security vehicles - 0.95, will be ensured even in case of failure ABS. The conducted performance tests have shown that the elements limiting the braking system reliability VAZ- 21703, carry pads and disc brakes front axle. Condition monitoring of front brakes at the next scheduled maintenance vehicle, held every 15 thousand km, and is necessary because already on the operating time of 28 t.km. the overall probability of failure-free operation is reduced to a critical value. The result of theoretical and experimental research is recommended to be used to predict the residual life of the system.

Keywords: reliability, structural reliability, fault condition, brake systems, anti-lock braking system.

### Введение

Конструкция и техническое состояние тормозного управления автотранспортного средства (АТС) оказывают влияние на его активную безопасность [4]. Параметры

эффективности торможения автомобиля, а также надежность работы тормозной системы определяют исход возможной аварийной ситуации и позволяют водителю предотвратить дорожно-транспортное происшествие (ДТП).

Ввиду увеличения средних эксплуатационных скоростей и уплотнения транспортных потоков требования, предъявляемые к тормозному управлению транспортных машин (ТМ), ужесточаются. Для сокращения тормозного пути транспортного средства, обеспечения надежного срабатывания и реализации управления им при замедлении с сохранением устойчивости, производители современных автомобилей оснащают тормозные системы многоконтурным приводом с интегрированной антиблокировочной системой (АБС) и дисковыми механизмами.

Из курса теории надежности машин [2; 3] известно, что усложнение конструкции любой системы, путем введения в нее дополнительных элементов, уменьшает общую вероятность ее безотказной работы. В этой связи исследования по оценке конструктивной и эксплуатационной надежности тормозных систем АТС с АБС носят актуальный характер.

**Цель исследования:** исследовать надежность рабочей тормозной системы автомобиля ВА3-21703-018.

**Методы исследования:** аналитическое исследование.

На первом этапе исследования безотказности рабочей тормозной системы автомобилей ВА3-21703 выполнена теоретическая оценка структурной надежности [2; 5] и рассчитана вероятность ее безотказной работы [3].

Конструктивная схема двухконтурной тормозной системы переднеприводного автомобиля ВА3-21703-01-018 с внедренной АБС фирмы BOSCH 8.0 [1] показана на рис. 1.

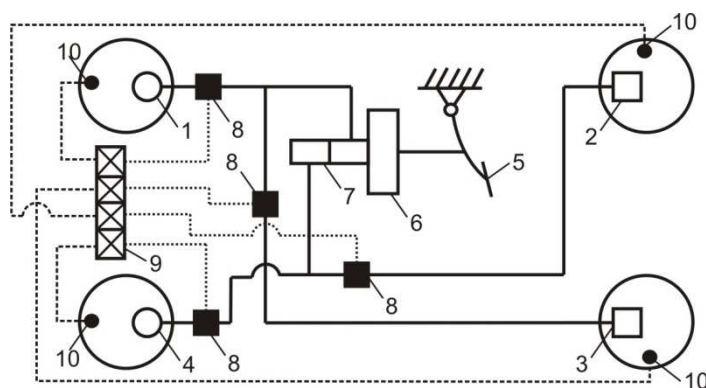


Рис. 1. Схема тормозной системы автомобиля ВА3-21703-01-018:

1, 4 – дисковый тормозной механизм; 2, 3 – барабанный тормозной механизм; 5 – педаль; 6 – вакуумный усилитель; 7 – главный тормозной цилиндр; 8 – модулятор; 9 – блок управления АБС; 10 – датчик скорости колеса

В состав АБС входят: гидроагрегат и четыре датчика скорости вращения колес совместно с роторами. Датчики вырабатывают сигналы о скорости каждого колеса

автомобиля, которые передаются в электронный блок управления гидроагрегата для логической обработки. Результатом является моделирование управляющих команд, направленных для выполнения гидромодулятором.

В случае возникновения параметрического отказа в АБС, электронный блок управления отключает систему, исключая вероятность возникновения ошибочного воздействия на орган управления тормозной системой в процессе движения транспортного средства. Таким образом, работоспособность тормозного управления сохраняется.

Структурная схема надежности тормозной системы (рис. 2а), разработанная на основании конструктивной (рис. 1), определяет функциональную взаимосвязь между ее элементами. Поскольку АБС при возникновении отказа не влияет на работоспособность тормозного управления, то на структурной схеме она расположена параллельно основным элементам, при этом правомерно будет исключить блок АБС из системы и составить новую схему (рис. 2б).

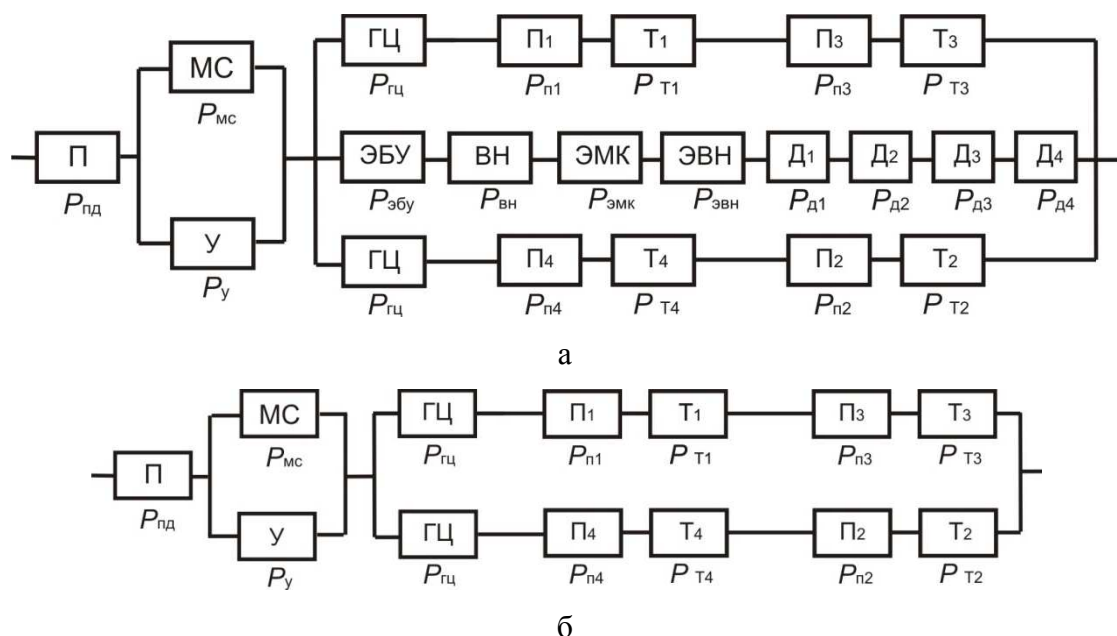


Рис. 2. Структурная схема двухконтурной тормозной системы автомобиля

ВАЗ-21703-01-018: а – с работоспособной АБС; б – в случае отказа АБС:

П – педаль; МС – механическая связь; У – усилитель; ГЦ – главный тормозной цилиндр; ЭБУ – электронный блок управления АБС; ВН – возвратный насос; ЭВН – электродвигатель возвратного насоса; ЭМК – электромагнитные клапаны;  $П_i$  – тормозной привод колеса (рабочий цилиндр с трубопроводом);  $Т_i$  – тормозной механизм колеса;  $Д_i$  – датчик угловой скорости колеса совместно с ротором

На автомобиле ВАЗ-21703-01-018 АБС является присоединенной, т.е. в данной системе используется главный тормозной цилиндр и усилитель как в тормозном управлении без АБС,

а устройство моделирующего клапана крепится отдельно. В связи с этим структурная схема системы ВА3-21703-01-018 будет иметь сходство со схемой ВА3-21703-01-010 (рис. 3).

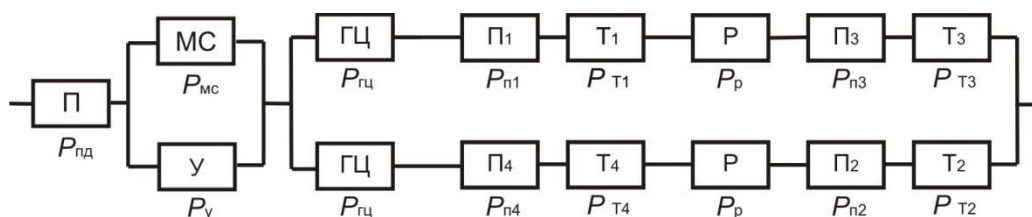


Рис. 3. Структурная схема двухконтурной тормозной системы автомобиля ВА3-21703-01-010:

П – педаль; МС – механическая связь; У – усилитель; ГЦ – главный тормозной цилиндр;  $P_i$  – тормозной привод колеса (рабочий цилиндр с трубопроводом);  $T_i$  – тормозной механизм колеса; Р – регулятор тормозных сил

Регуляторы тормозных сил колес задней оси в конструкции ВА3-21703-01-018 (рис. 2) не предусмотрены, поэтому при отказе блока АБС параметры эффективности торможения будут хуже, чем у тормозной системы без АБС автомобиля ВА3-21703-01-010. При сравнении надежности структурных схем, изображенных на рис. 2б и 3, у первой безотказность будет выше при одном и том же заданном значении уровня ВБР элементов.

Для количественной оценки надежности тормозных систем автомобиля ВА3-21703 и его модификаций определена вероятность их безотказной работы.

Для условий функционирования тормозного управления по схеме (рис. 2а) ВБР определяется выражением:

$$P_{\text{общ}} = (P_{\text{пд}} \cdot (1 - (1 - P_{\text{мс}}) \cdot (1 - P_{\text{у}}))) \times (1 - [1 - (1 - (1 - P_{\text{гц}} \cdot P_{\text{пi}}^2 \cdot P_{\text{ти}}^2)^2)] [1 - P_{\text{эбу}} \cdot P_{\text{вн}} \cdot P_{\text{эмк}} \cdot P_{\text{эвн}} \cdot P_{\text{дi}}^4]), \quad (1)$$

где  $P_{\text{пд}}$ ,  $P_{\text{мс}}$ ,  $P_{\text{у}}$ ,  $P_{\text{гц}}$ ,  $P_{\text{пi}}$ ,  $P_{\text{ти}}$ ,  $P_{\text{эбу}}$ ,  $P_{\text{вн}}$ ,  $P_{\text{эмк}}$ ,  $P_{\text{эвн}}$ ,  $P_{\text{дi}}$  – ВБР органа управления (педали), механической связи, усилителя, главного тормозного цилиндра, тормозного привода колеса (рабочий цилиндр с трубопроводом), тормозного механизма, электронного блока управления, возвратного насоса, электромагнитных клапанов, электродвигателя возвратного насоса и датчиков скорости вращения колеса.

ВБР тормозного управления ВА3-21703-01-018 с неработоспособной АБС (рис. 2б) составит:

$$P_{\text{общ}} = P_{\text{пд}} \cdot (1 - (1 - P_{\text{мс}}) \cdot (1 - P_{\text{у}})) \cdot (1 - (1 - P_{\text{гц}} \cdot P_{\text{пi}}^2 \cdot P_{\text{ти}}^2)^2). \quad (2)$$

ВБР для структурной схемы, показанной на рис. 3, будет иметь следующий вид:

$$P_{\text{общ}} = P_{\text{пд}} \cdot (1 - (1 - P_{\text{мс}}) \cdot (1 - P_{\text{у}})) \cdot (1 - (1 - P_{\text{гц}} \cdot P_{\text{р}} \cdot P_{\text{пi}}^2 \cdot P_{\text{ти}}^2)^2), \quad (3)$$

где  $P_p$  - вероятность безотказной работы регулятора тормозных сил.

В настоящее время в различных отраслях машиностроения разработаны классификаторы, которые разбивают все основные узлы и элементы конкретного изделия на категории по допустимой вероятности отказа (или безотказной работы) [3]. Для узлов и систем, обеспечивающих безопасность движения на автомобиле, допустимый уровень безотказной работы принимается 0,95 [2].

Используя формулы (1), (2) и (3), определены ВБР каждой из рассматриваемых систем при различных значениях  $P_i(t)$ . Результаты расчета представлены в табл. 1, из которой видно, что обеспечение заданного уровня безотказности ( $P_{\text{общ}}=0,95$ ) тормозной системы автомобиля возможно лишь при использовании элементов с вероятностью  $P_i(t)$  для структурной схемы: на рис. 2а - равной 0,9605; на рис. 2б - равной 0,9705; на рис. 3 - равной 0,9731.

Таблица 1 – Результаты расчета структурной надежности тормозных систем автомобиля ВАЗ-21703 и его модификаций

Класс надежности элементов	Допустимое значение $P_i(t)$	Принимаемое в расчете значение $P_i(t)$	Расчетное значение $P_{\text{общ}}(t)$		
			с АБС	Отказ АБС	без АБС
0	<0,9	0,8800	0,7434	0,6738	0,6185
		0,8900	0,7752	0,7077	0,6567
1	$\geq 0,9$	0,9000	0,8059	0,7415	0,6953
		0,9200	0,8623	0,8078	0,7724
		0,9400	0,9107	0,8702	0,8465
		0,9600	0,9493	0,9257	0,9132
		<b>0,9605</b>	<b>0,9501</b>	0,9270	0,9147
		0,9700	0,9649	0,9497	0,9420
		<b>0,9705</b>	0,9656	<b>0,9509</b>	0,9434
		0,9710	0,9663	0,9520	0,9447
		<b>0,9731</b>	0,9693	0,9565	<b>0,9502</b>
		0,9740	0,9705	0,9585	0,9525
		0,9800	0,9782	0,9705	0,9668
2	$\geq 0,99$	0,9900	0,9897	0,9875	0,9865
		0,9910	0,9907	0,9889	0,9881
		0,9920	0,9918	0,9903	0,9897
		0,9930	0,9928	0,9917	0,9912
		0,9940	0,9939	0,9930	0,9927
		0,9950	0,9949	0,9943	0,9941
		0,9960	0,9959	0,9955	0,9954
		0,9970	0,9969	0,9967	0,9966
0,9980	0,9979	0,9978	0,9978		
3	$\geq 0,999$	0,9990	0,9989	0,9989	0,9989
4	$\geq 0,9999$	0,9999	0,9999	0,9999	0,9999
5	1	1	1	1	1

Полученные значения вероятностей принадлежат одному классу надежности [3].

Наблюдаемая разница в полученных значениях ВБР объясняется различным количеством

деталей и узлов, а также дополнительным резервированием, применяемым в системах. Кроме этого, существует допустимая вероятность возникновения предотказного состояния у элементов АБС, которые будут оказывать существенное влияние на работоспособность тормозного управления и изначально не смогут быть распознаны электронным блоком как неисправные. Поэтому возникает необходимость в повышении уровня ВБР элементов системы до значения 0,9705. В тех случаях, когда блок управления замечает возникшую неисправность, АБС отключается и работоспособность тормозного управления сохраняется. Уровень ВБР системы при этом составляет 0,9509, но эффективность торможения снижается.

### Результаты исследования и их обсуждение

На втором этапе, после проведения ресурсных испытаний автомобиля ВАЗ-21703, расчетная формула (1) использована для расчета фактического значения ВБР тормозной системы.

Информация об эксплуатационной надежности тормозного управления ВАЗ-21703 получена на основе анализа статистических данных по наработкам на отказ ее элементов. Сбор статистического материала проводился на базе СТОА ООО «М-авто» и ООО «Успех-Авто». Результаты анализа надежности представлены в виде диаграммы эксплуатационных отказов наименее надежных узлов и деталей (рис. 4).

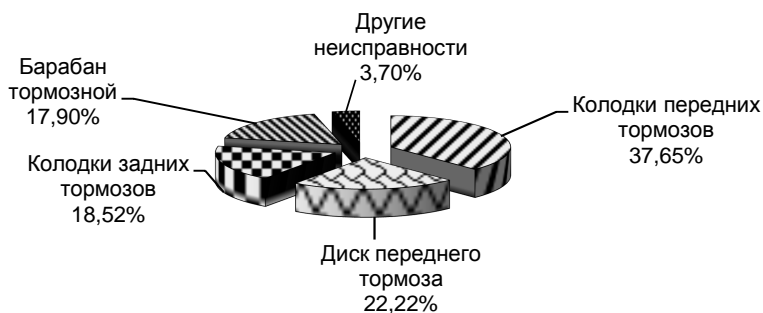


Рис. 4. Диаграмма эксплуатационных отказов элементов рабочей тормозной системы автомобилей ВАЗ-21703-01-018

К деталям, лимитирующим надежность тормозной системы, относят колодки и диск тормоза передней оси автомобиля. Небольшой ресурс данных деталей обусловлен высокой нагруженностью пары трения, что требует в эксплуатации постоянного контроля их технического состояния.

По результатам эксплуатационных испытаний определены теоретические законы распределения наработок элементов тормозной системы ВАЗ-21703-01-018 (табл. 2).

Таблица 2 - Результаты эксплуатационных испытаний деталей, лимитирующих надежность тормозной системы автомобиля ВАЗ-21703

Элемент передней подвески автомобиля	Средняя наработка на	Среднее квадратическое	Закон распределения случайной величины

	(до) отказ (а) $\bar{X}$ , тыс. км	отклонение $\sigma$ , тыс. км	
Колодки дискового тормозного механизма	27,78	6,81	Нормальный
Тормозной диск	44,63	11,28	
Колодки барабанного тормозного механизма	55,24	11,45	
Тормозной барабан	78,35	17,69	

Наработки на отказ передних тормозных колодок, тормозных дисков, задних тормозных колодок и тормозных барабанов хорошо согласуются с нормальным законом распределения. Гипотезы о принадлежности опытных данных теоретическим законам не отвергаются, так как прошли проверку по критериям  $\chi^2$  Пирсона и Колмогорова [2].

Результаты анализа надежности рассматриваемых элементов тормозной системы автомобиля ВАЗ-21703 представлены на рис. 5 в виде графиков, отображающих зависимости вероятностей их безотказной работы от наработки.

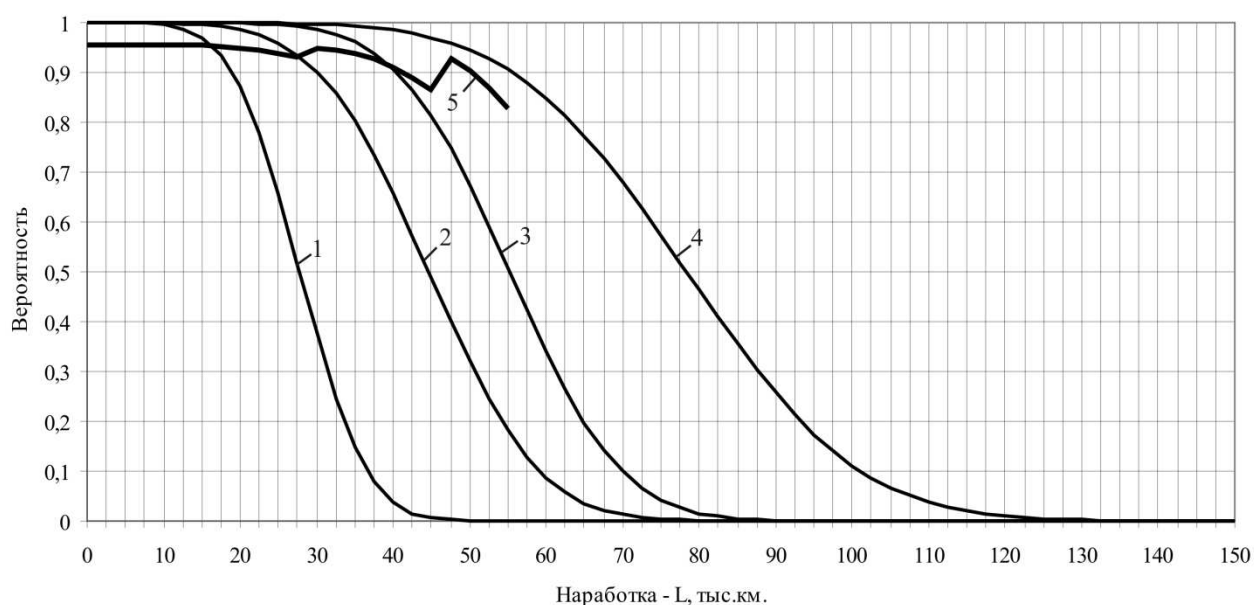


Рис. 5. Вероятности безотказной работы элементов тормозной системы автомобиля ВАЗ-21703: 1 - передняя тормозная колодка; 2 – тормозной диск; 3 – задняя тормозная колодка; 4 – тормозной барабан; 5 - общая всей тормозной системы

Кривая 5 (рис. 5) отображает результаты расчета по формуле (1) ВБР тормозной системы, при этом учитывались плановые технические воздействия, проводимые с АТС.

**Вывод.** Анализ структурных схем надежности рабочей тормозной системы ВАЗ-21703 с АБС показал, что для обеспечения ее безотказности на требуемом для систем безопасности автомобилей уровне, равном 0,95, необходимо использовать элементы с величиной ВБР элементов не менее 0,9705. Вместе с тем для сохранения высоких параметров эффективности

торможения при отказе АБС требуется ввести в конструкцию тормозного управления регуляторы тормозных сил, исключающие блокировку колес задней оси АТС.

Выполненные на базе СТОА ООО «М-авто» и ООО «Успех-Авто» в г. Владимире исследования работоспособности тормозной системы автомобиля ВАЗ-21703 показали, что наименее надежными их элементами являются тормозные механизмы передней оси. Контроль их технического состояния при очередном плановом обслуживании автомобиля, проводимом каждые 15 тыс. км, является обязательным, поскольку уже на наработке 28 тыс. км общая ВБР снижается до критической величины. Полученные результаты теоретических и экспериментальных исследований рекомендуется использовать при прогнозировании остаточного ресурса системы.

### **Список литературы**

1. Антиблокировочная система тормозов автомобилей семейств LADA Kalina и LADA Prisma: устройство, диагностика, снятие и установка основных узлов: ТИ 3100.25100.13068: разработчик ОАО «АВТОВАЗ». – Тольятти, 2007. – 16 с.
2. Баженов Ю.В. Основы теории надежности машин : учеб. пособие / Владим. гос. ун-т. – Владимир, 2006. – 156 с.
3. Проников А.С. Надежность машин. - М. : Машиностроение, 1978. – 592 с.
4. Русаков В.З. Безопасность автотранспортных средств в эксплуатации : дис. ... докт. техн. наук. - М., 2004. – 337 с.
5. Чебоксаров А.Н. Основы теории надежности и диагностика : курс лекций. – Омск : СибАДИ, 2012. – 76 с.

### **Рецензенты:**

Гоц А.Н., д.т.н., профессор, профессор кафедры тепловых двигателей и энергетических установок ФГБОУ «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.