

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Курганский государственный университет»

Кафедра «Автомобильный транспорт и автосервис»

**РАСЧЕТ НАДЕЖНОСТИ ТОРМОЗНОЙ СИСТЕМЫ
АВТОМОБИЛЯ С ГИДРАВЛИЧЕСКИМ ПРИВОДОМ**

Методические указания
к выполнению лабораторных работ
для студентов направления 23.03.03

Курган 2018

Кафедра: «Автомобильный транспорт и автосервис».

Дисциплина: «Основы теории надежности» (направление 23.03.03).

Составили: д-р техн. наук, профессор В.И. Васильев,
канд. техн. наук, доцент А.В. Шарыпов.

Утверждены на заседании кафедры «23» ноября 2017 г.

Рекомендованы методическим советом университета «12» декабря 2016 г.

Лабораторная работа

Расчет надежности тормозной системы автомобиля с гидравлическим приводом

1 Цель работы

Целью лабораторной работы является закрепление и углубление знаний по разделу «Методы повышения надежности технических объектов», полученных студентами при изучении дисциплины «Основы теории надежности».

2 Общие сведения

Надежность большинства изделий в технике приходится определять при рассмотрении их как систем, состоящих из отдельных элементов. Любая техническая система является интегральной, состоящей из подсистем, каждая из которых в свою очередь состоит из соединенных определенным образом элементов более низкого уровня.

Вполне очевидно, что, если речь идет о параметрах надежности системы и параметрах надежности составляющих элементов, они не должны рассматриваться независимо, т. е. надежность системы всегда зависит от параметров надежности составляющих элементов. Но при расчете надежности системы недостаточно знать только количественные соотношения системы и элементов. В этом случае еще необходимо учитывать характер функционального взаимодействия элементов и их назначение.

С позиции надежности можно выделить системы с последовательным, параллельным и комбинированным соединениями элементов.

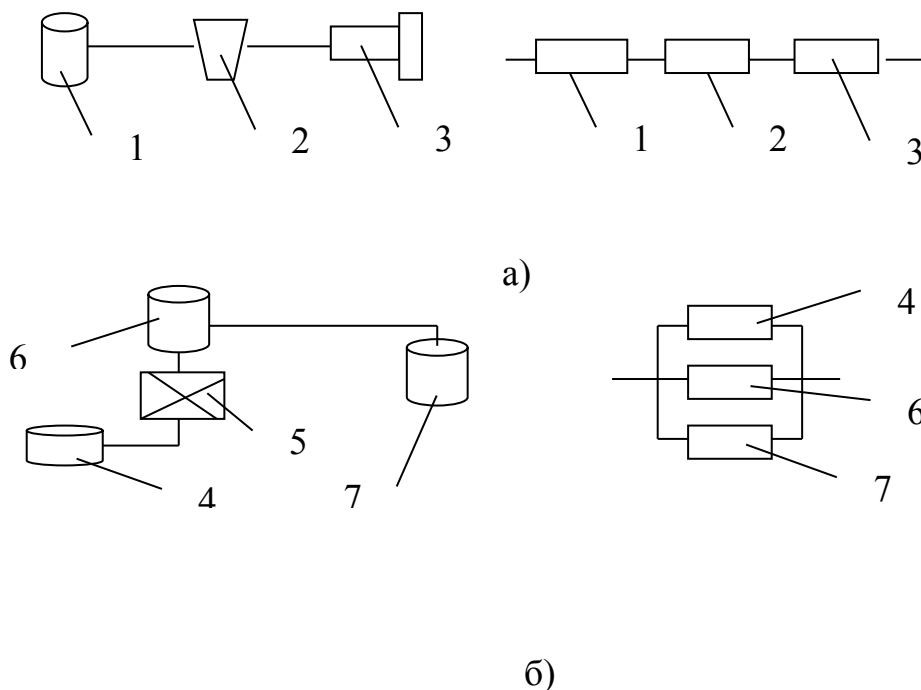
В системах с последовательным соединением элементов отказ любого элемента приводит к отказу всей системы. Автомобиль в целом, двигатель, коробка передач, рулевое управление, трансмиссия, колесо в сборе и другие составные части автомобиля следует рассматривать как восстанавливаемые системы с последовательным соединением элементов.

Анализ схемы соединения топливных фильтров системы питания двигателя (рисунок 1.1 а), например, включающей фильтр-отстойник 1, фильтры бензонасоса 2 и карбюратора 3, показывает, что при отказе любого из них нарушается подача топлива. Такое соединение фильтров следует считать последовательным.

Если вероятность безотказной работы каждого из фильтров равна P_1 , P_2 , P_3 , то вероятность безотказной работы системы очистки топлива в целом определяется из выражения:

$$P = P_1 \cdot P_2 \cdot P_3. \quad (2.1)$$

Уравнение позволяет сделать заключение, что надежность системы с последовательно соединенными элементами всегда ниже надежности самого слабого элемента в этой системе.



а – в системе питания;
 б – в системе смазки

Рисунок 1.1 – Схемы соединений фильтров

В системах с параллельным соединением элементы включены так, что отказ какого-либо одного из них не приводит к отказу всей системы в целом.

Так система смазки двигателя включает в себя также три фильтра: маслозаборника 4 масляного насоса 5, грубой очистки 6 и тонкой очистки 7 (рисунок 1.1 б). При анализе данной системы следует обязательно исходить из природы возможных (потенциальных) отказов. Фильтры работают независимо один от другого и засорение любого из них не отражается на работе остальных. Такое включение фильтров следует считать параллельным. Вероятность безотказной работы фильтров при такой системе их соединения определяется по формуле:

$$P=1 - (1 - P_4) \cdot (1 - P_6) \cdot (1 - P_7), \quad (2.2)$$

где P_4 , P_6 , P_7 – вероятности безотказной работы фильтров в маслозаборнике, фильтрах грубой и тонкой очистки масла соответственно.

Анализ последней формулы показывает, что параллельное соединение элементов значительно повышает безотказную работу, а, следовательно, и надежность всей системы. Поэтому параллельное включение элементов системы является основой весьма важного метода повышения надежности – структурного резервирования.

Резервирование – это метод повышения надежности объекта введением избыточности, т. е. дополнительных средств и возможностей сверх минимально необходимых для выполнения объектом заданных функций. Если избыточность достигается использованием избыточных элементов структуры объекта, то такое резервирование называют структурным.

При структурном резервировании конструктивные элементы могут быть основными и резервными. Основным называют элемент структуры объекта, минимально необходимый для выполнения объектом заданных функций.

Резервный элемент предназначается для обеспечения работоспособности объекта в случае отказа основного элемента.

Использование структурной избыточности ведет к усложнению системы, ее удорожанию. Рост числа элементов в системе приводит к снижению ее безотказности, но при определенном соотношении увеличения числа элементов и числа резервных цепочек безотказность системы может не только не увеличиться, но и уменьшиться. Однако к такому виду резервирования в автомобильной технике прибегают в системах, отказы которых приводят к аварийным ситуациям: рулевые управления, тормозные системы.

2.1 Надежность тормозных систем

Тормозная система автомобиля стоит на первом месте среди причин наиболее тяжелых последствий отказов автомобиля (ДТП), обусловленных потерей работоспособности его элементов. По этой причине в тормозной системе широко применяются структурное и другие виды резервирования.

На автомобиле, как правило, имеются две тормозные системы – рабочая и стояночная. Кроме того, рабочая тормозная система включает две подсистемы – тормоза передних 1 и задних 2 колес (рисунок 2.1).

Примем условно вероятности безотказной работы подсистем $P_1=0,8$, $P_2=0,95$ и рассмотрим основные схемы рабочей тормозной системы.

Тормозная система с одним контуром (рисунок 2.1 а) состоит из обеих подсистем, включенных последовательно с $P_a=P_1 \cdot P_2=0,76$.

Большой эффект дает введение двухконтурной системы (рисунок 2.1 б), поскольку подсистемы 1 и 2 включены параллельно, так что $P_6=1-(1-P_1) \cdot (1-P_2)=0,99$. Очевидный недостаток этой системы состоит в том, что отказ любой подсистемы снижает эффективность торможения. Можно поступить иначе. Сохранить в качестве тормозных все колеса и ввести дополнительную подсистему передних или задних тормозов. Эта дополнительная подсистема может быть включена параллельно одной из подсистем (рисунок 2.1 в) или параллельно всей системе (рисунок 2.1 г).

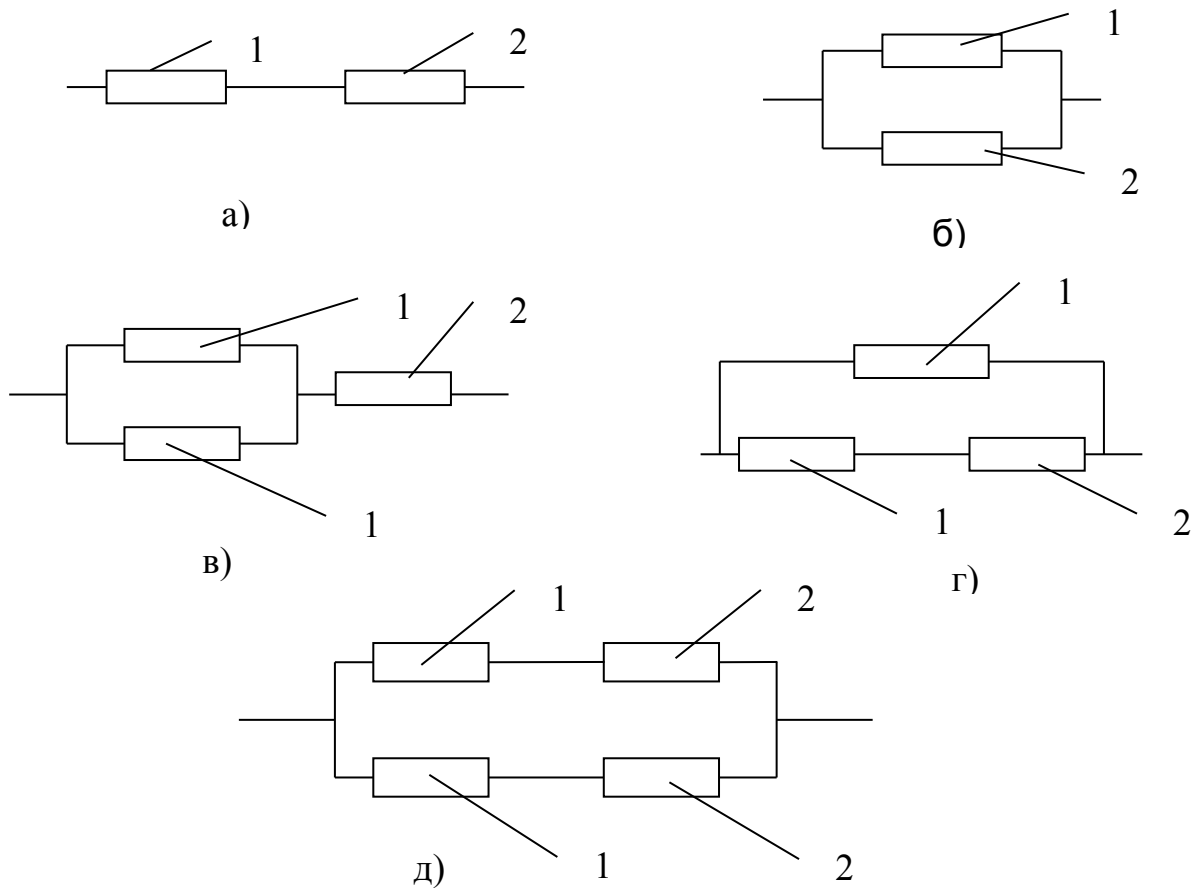


Рисунок 2.1 – Принципиальные схемы тормозных систем с резервированием различных подсистем

Надежность в этих случаях определяется вероятностями безотказной работы:

$$P_B = 1 - (1 - P_1)^2 \cdot P_2 = 0,912; \quad (2.1)$$

$$P_T = 1 - (1 - P_1 \cdot P_2) \cdot (1 - P_1) = 0,995. \quad (2.2)$$

Преимущества схемы 2.1 г состоит в том, что надежность тормозов выше. При отказе подсистемы 2, тормоза, выполненные по этой схеме, сохраняют работоспособность, а выполненные по схеме 2.1 в теряют ее.

Схема 2.1 д с резервированием системы в целом имеет то преимущество, что при отказе любого элемента это не отражается на тормозных качествах автомобиля. Однако по надежности работы такая схема общего резервирования несколько уступает раздельному резервированию, т. е. $P_D = 1 - (1 - P_1 \cdot P_2)^2 = 0.942$ по сравнению с $P_T = 0,995$.

2.1.1 Оценка надежности тормозных систем

Тормозные системы современных автомобилей сложны и многоэлементны. Надежность этих систем зависит от способов включения элементов и надежности каждого из них.

Принципиальные схемы тормозных систем с гидравлическим приводом отличаются числом и способом включения следующих элементов: главного цилиндра, тормозного механизма и привода к нему, усилителя, разделителя и т. д.

Рассмотрим обычную схему тормозной системы автомобиля (рисунок 2.2), включающую педаль 1, главный тормозной цилиндр 2, тормозные механизмы четырех колес с приводом 3.

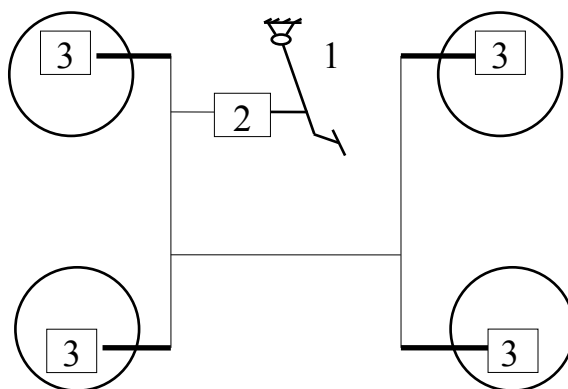


Рисунок 2.2 – Принципиальная и структурная схемы обычной тормозной системы

Структурная схема такой тормозной системы включает в себя последовательное соединение перечисленных выше элементов. Надежность тормозной системы в целом определяется выражением:

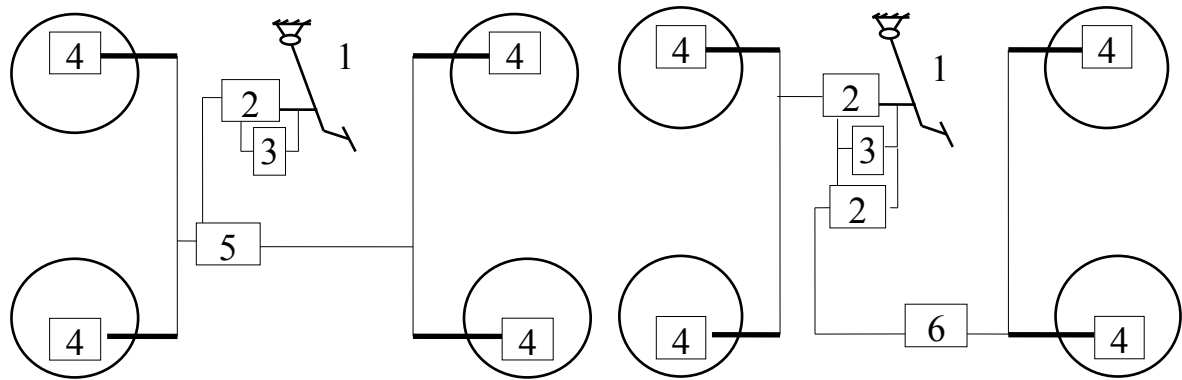
$$P = P_1 \cdot P_2 \cdot P_3 \cdot P_3 \cdot P_3 \cdot P_3, \quad (2.3)$$

где P_1 , P_2 , P_3 – вероятности безотказной работы педали тормоза, главного тормозного цилиндра и тормозных механизмов колес с их приводом.

2.1.2 Краткое описание работы тормозных систем

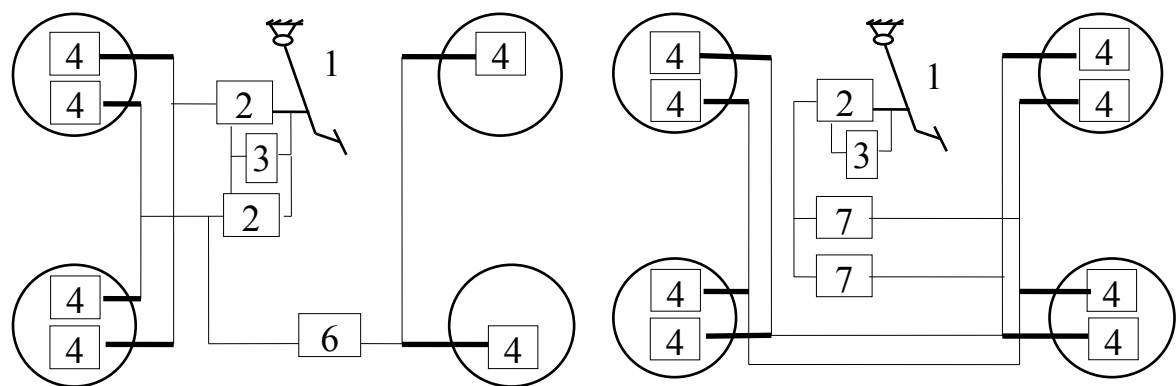
В данном разделе лабораторной работы рассмотрим простейшие схемы тормозных систем автомобилей.

Автомобиль А (рисунок 2.3 а). Тормозная педаль 1 связана с главным тормозным цилиндром 2. Для облегчения торможения в систему включен вакуумный усилитель. На случай его отказа предусмотрена механическая связь, и усилие от педали передается поршню главного тормозного цилиндра. При торможении жидкость поступает в разделитель 5 и далее в рабочие цилиндры тормозов колес.



а) подсистема включена последовательно

б) двухконтурная система



в) с резервной подсистемой

г) с резервной системой

1 – тормозная педаль; 2 – главный тормозной цилиндр; 3 – вакуумный усилитель; 4 – рабочие тормозные цилиндры с тормозными шлангами; 5 – разделитель; 6 – регулятор тормозных сил; 7 – дополнительный усилитель

Рисунок 2.3 – Тормозные системы автомобилей (гидравлический привод)

Автомобиль Б (рисунок 2.3 б). Тормозной привод двухконтурный, резервирование подсистем отсутствует. Усилие от педали передается вакуумному усилителю, объединенному с главным тормозным цилиндром. Он состоит из двух секций с автономным питанием тормозной жидкостью. Передняя секция питает контур тормозов задних колес, задняя – передних колес. Регулятор 6 тормозных сил, включенный в контур задних тормозов, обеспечивает уменьшение тормозных сил на задних колесах и соответственно снижение вертикальных реакций на них. Такое конструктивное решение уменьшает возможность блокировки задних колес и улучшает устойчивость автомобиля при торможении.

Автомобиль С (рисунок 2.3 в). Тормозная система двухконтурная с резервированием. Основная подсистема включает тормозные механизмы всех колес, а дополнительная (резервная) действует только на передние колеса с дис-

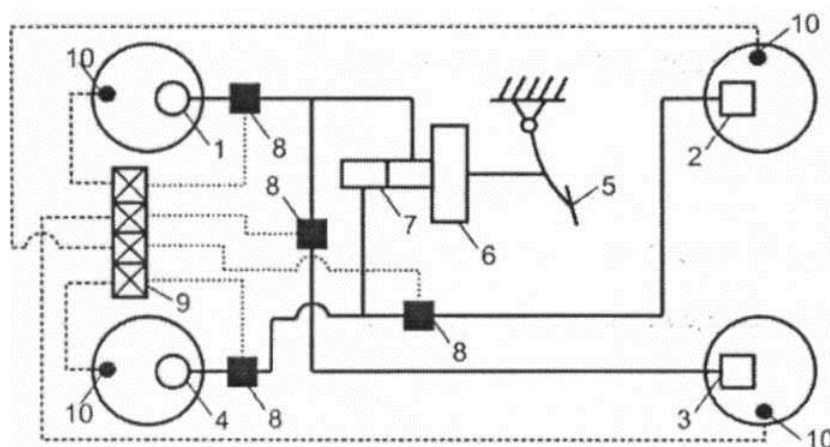
ковыми тормозами. Дисковые тормоза передних колес являются составной частью тормозного механизма, как основной системы, так и дополнительной. Рабочие тормозные цилиндры отдельные. Регулятор тормозных сил 6 включен в основную подсистему.

Автомобиль Д (рисунок 2.3 г). Особенность тормозной системы состоит в том, что она в наибольшей степени зарезервирована из рассмотренных. В данной тормозной системе параллельно подсистемам передних и задних тормозов включены такие же. Таким образом деление подсистем на основные и резервные теряет смысл. Конструктивно это обеспечено тем, что тормозные механизмы колес дисковые. Резервированы и усилители – помимо основного имеются дополнительные 7 и 7 в подсистемах. Основное преимущество системы состоит в том, что отказ любого элемента не отражается на тормозных свойствах автомобиля.

2.1.3 Оценка надежности рабочей тормозной системы автомобиля Lada Priora Sedan 21703 01 018[1]

Проведем теоретическую оценку структурной надежности рабочей тормозной системы автомобилей ВАЗ-21703 и рассчитаем вероятность ее безотказной работы (ВБР).

Конструктивная схема двухконтурной тормозной системы переднеприводного автомобиля ВАЗ-21703-01-018 с внедренной АБС фирмы BOSCH 8.0 показана на рисунке 2.4 [2].

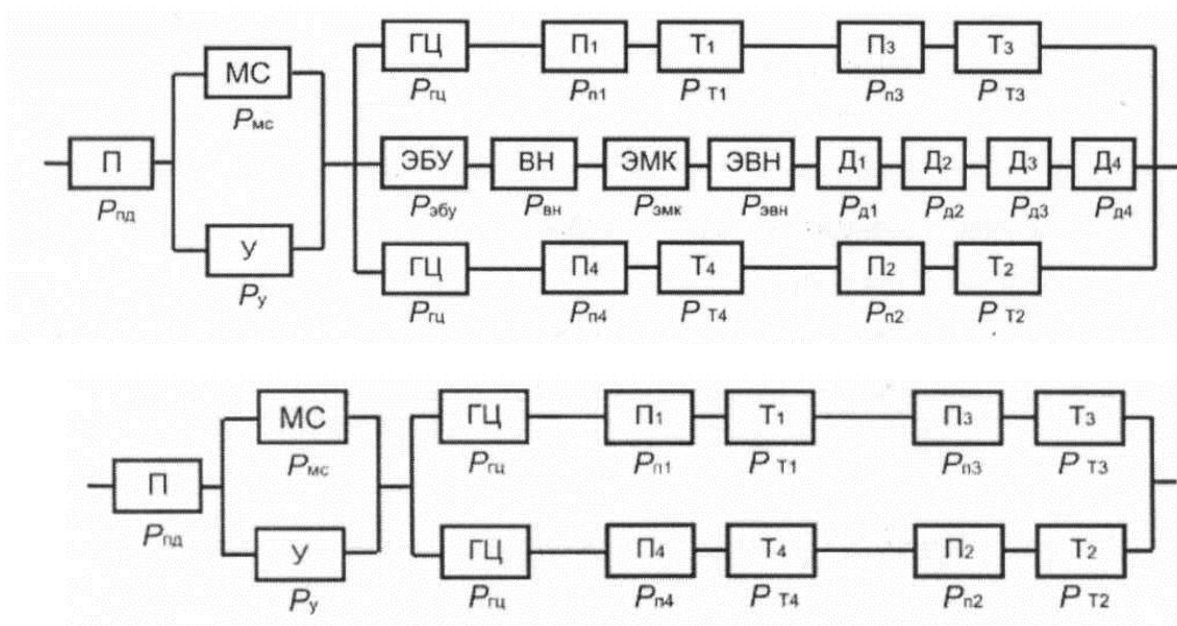


1, 4 – дисковый тормозной механизм; 2, 3 – барабанный тормозной механизм; 5 – педаль; 6 – вакуумный усилитель; 7 – главный тормозной цилиндр; 8 – модулятор; 9 – блок управления АБС; 10 – датчик скорости колеса

Рисунок 2.4 – Конструктивная схема тормозной системы автомобиля
ВАЗ-21703-01-018

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.



б)

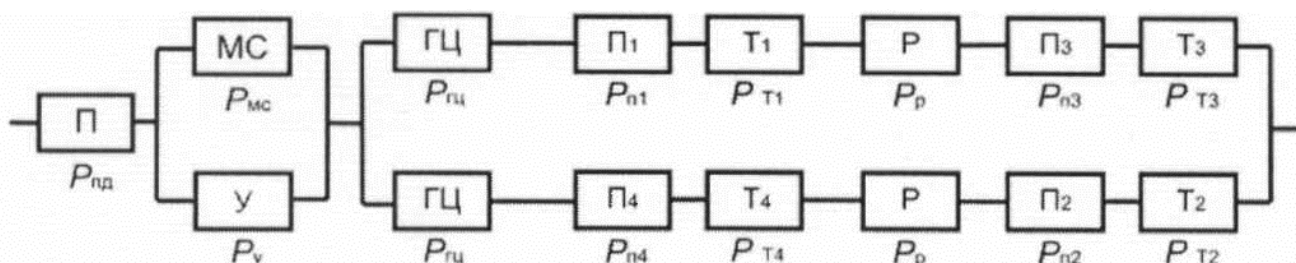
а – с работоспособной АБС; б – в случае отказа АБС

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; Π_i – тормозной привод колеса (рабочий цилиндр с трубопроводом); T_i – тормозной механизм колеса; D_i – датчик угловой скорости колеса совместно с ротором

Рисунок 2.5 – Структурная схема двухконтурной тормозной системы автомобиля ВАЗ-21703-01-018

Структурная схема надежности тормозной системы (рисунок 2.5 а), разработанная на основании конструктивной (рисунок 2.4), 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.

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 ВАЗ-21703-01-018 будет иметь сходство со схемой ВАЗ-21703-01-010 (рисунок 2.6).



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

Рисунок 2.6 – Структурная схема двухконтурной тормозной системы автомобиля ВАЗ-21703-01-010

Регуляторы тормозных сил колес задней оси в конструкции ВАЗ-21703-01-018 (рисунок 2.5) не предусмотрены, поэтому при отказе блока АБС параметры эффективности торможения будут хуже, чем у тормозной системы без АБС автомобиля ВАЗ-21703-01-010. При сравнении надежности структурных схем, изображенных на рисунках 2.5 б и 2.6, у первой безотказность будет выше при одном и том же заданном значениях уровня ВБР элементов.

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

Для условий функционирования тормозного управления по схеме (рисунок 2.5 а) ВБР определяется выражением:

$$P_{общ} = (P_{ПД} \cdot (1 - (1 - P_{МС}) \cdot (1 - P_{У}))) \cdot (1 - (1 - (1 - P_{ГЦ} \cdot P_{Пi}^2 \cdot P_{Ti}^2)^2)) \cdot (1 - P_{ЭБУ} \cdot P_{ВН} \cdot P_{ЭМК} \cdot P_{ЭВН} \cdot P_{Ди}^4), \quad (2.4)$$

где $P_{ПД}$, $P_{МС}$, $P_{У}$, $P_{ГЦ}$, $P_{Пi}$, P_{Ti} , $P_{ЭБУ}$, $P_{ВН}$, $P_{ЭМК}$, $P_{ЭВН}$, $P_{Ди}$ – вероятности безотказной работы 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 ВАЗ-21703-01-018 с неработоспособной АБС (рисунок 2.5 б) составит:

$$P_{общ} = P_{ПД} \cdot (1 - (1 - P_{МС}) \cdot (1 - P_{У}))) \cdot (1 - (1 - P_{ГЦ} \cdot P_{Пi}^2 \cdot P_{Ti}^2)^2), \quad (2.5)$$

Вероятность безотказной работы для структурной схемы, показанной на рисунке 2.6, будет иметь следующий вид:

$$P_{общ} = P_{ПД} \cdot (1 - (1 - P_{МС}) \cdot (1 - P_{У}))) \cdot (1 - (1 - P_{ГЦ} \cdot P_{Р} \cdot P_{Пi}^2 \cdot P_{Ti}^2)^2), \quad (2.6)$$

где $P_{Р}$ – вероятность безотказной работы регулятора тормозных сил.

Таблица 2.1 – Результаты расчета структурной надежности тормозных систем автомобиля ВАЗ-21703 и его модификаций

Допустимое значение $P_{Добщ}(t)$	Принимаемое в расчет значение $P_i(t)$.	Расчетное значение $P_{общ}(t)$		
		с АБС	Отказ АБС	без АБС
0,95	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
	0,9605	0,9501	0,9270	0,9147
	0,9700	0,9649	0,9497	0,9420
	0,9705	0,9656	0,9509	0,9434
	0,9710	0,9663	0,9520	0,9447
	0,9731	0,9693	0,9565	0,9502
	0,9740	0,9705	0,9585	0,9525
	0,9800	0,9782	0,9705	0,9668

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). Для узлов и систем, обеспечивающих безопасность движения на автомобиле, допустимый уровень безотказной работы принимается 0,95.

Используя формулы (2.4), (2.5) и (2.6), определены ВБР каждой из рассматриваемых систем при различных значениях $P_i(t)$.

Результаты расчета представлены в таблице 2.1, из которой видно, что обеспечение заданного уровня безотказности ($P_{общ} = 0,95$) тормозной системы автомобиля возможно лишь при использовании элементов с вероятностью $P_i(t)$ для структурной схемы: на рисунке 2.5 а – равной 0,9605; на рисунке 2.5 б – равной 0,9705; на рисунке 2.6 – равной 0,9731.

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.

3 Порядок выполнения лабораторной работы

3.1 Задание на лабораторную работу

Задание на лабораторную работу выдается преподавателем каждому студенту индивидуально и содержит модель автомобиля. Задание выдается на предшествующем данной лабораторной работе занятии для обеспечения возможности студенту найти в литературных источниках конструктивную схему тормозной системы заданной модели автомобиля и изучить ее работу.

3.2 Последовательность выполнения работы

1 Для предложенных принципиальных схем тормозных систем автомобилей (раздел 2.2) составить структурные схемы и вычислить вероятности безотказной работы каждой тормозной системы. При вычислении параметров надежности тормозных систем принять вероятность безотказной работы всех элементов одинаковой ($P_i=0,988$).

2 По конструктивной схеме рабочей тормозной системы заданной модели автомобиля провести анализ ее работы, составить структурную схему и рассчитать вероятности безотказной работы тормозной системы $P_{общ}(t)$ для различных значений вероятности безотказной работы элементов $P_i(t)$. При этом

принимать вероятность безотказной работы всех элементов одинаковой. Определить вероятность безотказной работы элементов, при которой вероятность безотказной работы тормозной системы $P_{общ}(t)$ будет не меньше допустимого значения (пример приведен в разделе 2.3).

4 Содержание отчета

- 1 Наименование и цель работы.
- 2 Методы резервирования в автомобильной технике.
- 3 Схемы тормозных систем.
- 4 Структурные схемы тормозных систем.
- 5 Результаты вычислений надежности простейших тормозных систем.
- 6 Конструктивная и структурная схемы рабочей тормозной системы заданной модели автомобиля (конструктивная схема вставляется в отчет в виде ксерокопии или распечатки на принтере).
- 7 Результаты вычислений вероятности безотказной работы тормозной системы $P_{общ}(t)$ для различных значений вероятности безотказной работы элементов $P_i(t)$.
- 8 Выводы по работе.

5 Контрольные вопросы

- 1 Назовите методы повышения надежности систем автомобилей и их особенности.
- 2 Приведите примеры систем автомобилей, в которых используется резервирование.
- 3 Назовите типы и особенности тормозных систем автомобилей.

Список литературы

- 1 Баженов Ю. В., Денисов И. В. Исследование безотказности рабочей тормозной системы автомобилей ВАЗ-21703 // Современные проблемы науки и образования. – 2013. – № 6. – URL : <https://science-education.ru/ru/article/view?id=10846> (дата обращения: 08.01.2018).
- 2 Антиблокировочная система тормозов автомобилей семейств LADA Kalina и LADA Priora: устройство, диагностика, снятие и установка основных узлов: ТИ 3100.25100.13068: разработчик ОАО «АВТОВАЗ». – Тольятти, 2007. – 16 с.

Васильев Валерий Иванович
Шарыпов Александр Владимирович

РАСЧЕТ НАДЕЖНОСТИ ТОРМОЗНОЙ СИСТЕМЫ
АВТОМОБИЛЯ С ГИДРАВЛИЧЕСКИМ ПРИВОДОМ

Методические указания
к выполнению лабораторных работ
для студентов направления 23.03.03

Редактор Н.Н. Погребняк

Подписано в печать 7.12.18	Формат 60×84 1/16	Бумага тип. 65 г/м ²
Печать цифровая	Усл. печ. л. 1,0	Уч-изд. л. 1,0
Заказ №228	Тираж 25	Не для продажи

БИЦ Курганского государственного университета.
640020 г. Курган, ул. Советская, 63/4.
Курганский государственный университет.