

УДК 629.113

Т. Фулеп, Л. Палкович, Л. Надай

**КАЧЕСТВЕННЫЙ АНАЛИЗ И ЭКСПЛУАТАЦИОННАЯ НАДЕЖНОСТЬ
ЭЛЕКТРОННЫХ ТОРМОЗНЫХ СИСТЕМ БОЛЬШЕГРУЗНЫХ АВТОМОБИЛЕЙ***

Будапештский университет технологий и экономики

Развитие систем безопасности для коммерческого транспорта обусловлено в первую очередь потребностью общества, которое желает видеть на дорогах более безопасные и надежные транспортные средства с интеллектуальными системами, обеспечивающими движение в сложных дорожных условиях, с которыми обыкновенный водитель может не справиться. В этой связи актуальным является вопрос применимости классической теории надежности к оценке надежности современных систем безопасности, таких как электронные тормозные системы, используемые более 10 лет используются на коммерческом транспорте в Европе.

Ключевые слова: электронная тормозная система, степень дублирования, анализ надежности.

Введение

Теория надежности является одной из наиболее важных направлений в системотехнике. Любой детальный системный анализ обязательно предполагает оценку надежности системы и ее работоспособности. Как правило, разработчик системы непременно сталкивается с проблемой оценки и повышения надежности, а также проблемой определения оптимального графика технического обслуживания системы. Для решения этих проблем приходится, как правило, анализировать различные математические модели [1, 2].

Надежность в основном определяется способностью какой-либо детали, сборки или системы выдерживать возможные при эксплуатации перегрузки без разрушения и выхода из строя. Надежность элементов автомобиля (системы, подсистемы, сборок, узлов, деталей) все чаще становится предметом внимания проектировщиков автомобилей и автомобильной отрасли в целом [3].

Автономные системы безопасности (АБС – антиблокировочная система, подушки безопасности, системы электронного контроля устойчивости (ЭКУ)) распределяют функции по элементам конструкции транспортного средства, которые связаны между собой, но, как правило, не являются интегрированными в один узел. В качестве примера можно привести современные электронные технологии, используемые для контроля управлением процессов шасси автомобилей [4, 5], объединенные в единую интеллектуальную систему, управляющую элементами трансмиссии и способствующую улучшению безопасности дорожного движения и повышению эффективности эксплуатации большегрузных автомобилей [6]. Таким образом, технологии управления агрегатами автомобиля «по проводам» являются весьма перспективными и имеют целый ряд преимуществ, однако их применение в системах безопасности, например, в тормозных системах и системах рулевого управления, предполагает реализацию особых подходов на стадиях проектирования и эксплуатации.

1. Структура тормозных систем современных большегрузных автомобилей

В отношении степени дублирования данные системы имеют единый электронный контур, который контролирует работу всех модуляторов, и – в соответствии с потребностями заказчика – двойной пневматический контур, используемый в качестве резервного. В случае отказа в электронном контуре, в зависимости от степени значимости отказа, система переключается частично или полностью на работу резервных контуров, способных обеспечить выполнение основных функций тормозной системы. Данная структура полностью отвечает

требованиям нормативных документов, о которых будет сказано ниже, однако резервный режим работы не позволяет реализовывать некоторые дополнительные функции (только основные). Такая система имеет обозначение 1E+2P (один электронный контур и два пневматических контура).

Ввиду высокой стоимости указанной системы и определенных конструктивных ограничений нередко возникает вопрос об исключении одного из пневматических контуров при условии, что система 1E+1P будет отвечать требованиям безопасности, регламентированным нормативными документами. Это означает, что запасной пневматический контур, соединенный с клапаном управления тормозами прицепа (составная часть ТСМ – модуля управления тормозами прицепа) и/или с задней осью транспортного средства, может быть удален из системы. На рис. 1 показаны возможные схемы систем типа 1E+2P (с дублированием и без дублирования на заднюю ось либо на клапан управления тормозами прицепа) с двухсекционным главным тормозным краном (является частью FBM – модуля главного тормозного крана), а также схемы типа 1E+1P, в которых используется односекционный главный тормозной кран.

Представленные схемы 1E+1P обеспечивают выполнение требований нормативных документов, сохраняя при этом возможность дублирования рабочей тормозной системы контурами запасной системы (при этом, однако, будет наблюдаться снижение эффективности торможения в случае возникновения отказа в рабочем контуре). Тем не менее, в случае повреждения электронного контура, функции системы АБС, а также функции распределения тормозных усилий по колесам осей не будут выполняться.

Структура системы 1E+1P не позволяет реализовывать концепцию автоматизированного управления транспортным средством (без участия водителя), поскольку срабатывание резервного пневматического контура не возможно в автоматизированном режиме. С этой точки зрения такая система не обладает высокой степенью надежности и безаварийности. Для решения проблемы отсутствия автоматизированного привода (так называемого «патрулирования»), в рамках европейской программы Водитель-2 была разработана надежная и полностью дублируемая тормозная система. Несмотря на достоинства такой системы, ее практическая реализация весьма затруднительна ввиду высокой стоимости системы. Тем не менее, разработка такой системы позволила накопить немалый опыт в определении основных требований, которые должны предъявляться к подобным системам, а также выявить целый ряд менее значимых требований безопасности.

Альтернативная система 2E со структурой PEIT (разработанная в рамках 5-й рамочной программы Европейского Союза) не является в полной мере безотказной, хотя данная система обеспечивает выполнение всех функций без снижения эффективности работы в случае возникновения какого-либо отказа. В то же время она имеет несколько особенностей, позволяющих ей сохранять высокую эффективность при выходе одно из контуров, обеспечивая при этом более высокий уровень безопасности по сравнению с системами типа 2P, 1E+2P и 1E+1P [6].

В системах типа 1E+2P и 1E+1P выход рабочего (электронного) контура означает одновременную потерю всех дополнительных функций, реализуемых только электронными системами (таких как: контроль тормозных усилий, АБС, ЭКУ и др.), при условии сохранения основных функций тормозной системы. Архитектура системы типа 2E, в которой все функции обеспечиваются двумя электронными блоками управления (ЭБУ), позволяет сохранить полный функционал тормозной системы даже при вышедших из строя модулях электронных систем.

Если контур передней оси выходит из строя, контур задней оси способен реализовывать функции АБС, ПБС (противобуксовочной системы), системы контроля тягового усилия и др. При этом некоторые функции системы ЭКУ также остаются доступными (компенсация недостаточной поворачиваемости). Аналогично, при выходе из строя заднего контура, кон-

тур передней оси способен обеспечивать выполнение всех функций, которые, к примеру, не могут быть реализованы запасным пневматическим контуром (например, контроль крена кузова, ABS на передней оси, некоторые функции ЭКУ, в частности компенсация избыточной поворачиваемости), а также функции системы экстренного торможения.

В обоих случаях функции системы контроля движения прицепа (CFC – функция контроля силы в сцепном устройстве, функция предотвращения опрокидывания), а также функции системы управления двигателем и тормозом замедлителем (с бесконтактным принципом действия) остаются доступными, что позволяет снизить нагрузку на фрикционных парах тормозных механизмов прицепа и обеспечить устойчивое его движение.

2. Структурный анализ надежности тормозных систем

Практика показывает, что вероятность совершения дорожно-транспортного происшествия (ДТП) с участием одиночного или сочлененного транспортного средства уменьшилась с момента внедрения систем активной безопасности, таких как ABS, систем контроля тягового усилия, а также ЭКУ. Подобные положительные результаты явились причиной предположения, что дальнейшее развитие систем активной безопасности приведет к более существенному сокращению аварийных ситуаций с участием автомобилей. В то же время следует осознавать, что появление новых технологий связано с появлением новых рисков, которые должны быть тщательно изучены, проанализированы и эффективно предотвращены.

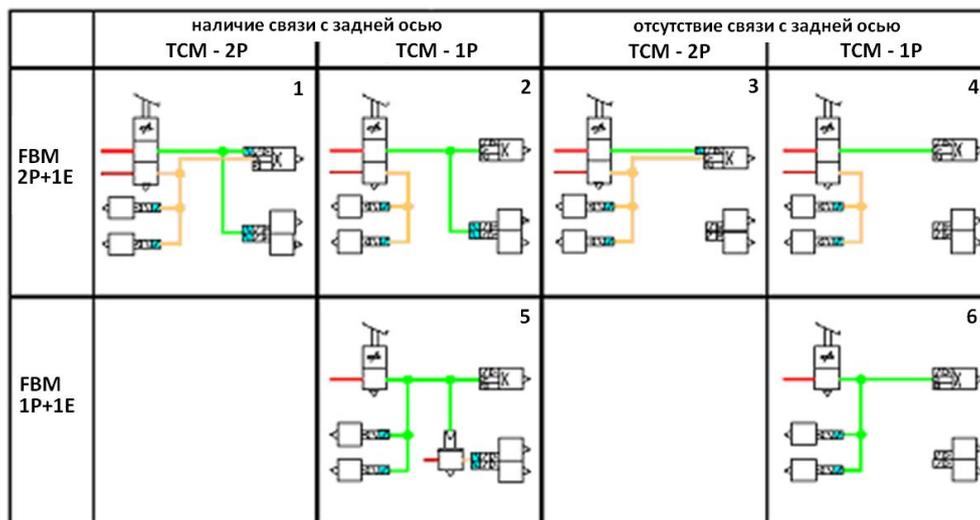


Рис. 1. Возможные варианты исполнения тормозной системы с различными видами связей

Системы активной безопасности имеют практически те же причины выхода из строя, что и любые другие системы, которые достаточно хорошо изучены, однако в рассматриваемых системах можно выделить новые классы потенциально опасных отказов. Так, в традиционной конструкции тормозной системы не наблюдается вид отказа, при котором происходит случайное торможение одного из колес автомобиля. В случае применения электронных систем такая ситуация возможна если речь идет о независимом приводе тормозных усилий к колесам транспортного средства. Безусловно, системы самодиагностики позволяют выявить данный вид отказа и предотвратить связанные с этим аварийные ситуации. Тем не менее, вероятность возникновения такого отказа все же остается, даже с учетом того, что в настоящее время разработаны эффективные методы проектирования электронных систем безопасности. Это говорит о том, что проблема возникновения подобного вида отказов является достаточно актуальной, когда речь идет о разработках и внедрениях новых технологий на транспортных

средствах, поэтому подобные ситуации должны быть тщательным образом исследованы и продуманы меры по их предотвращению.

Абсолютно очевидно, что радикальные изменения в конструкции транспортных средств вызывают обычно серьезные опасения в отношении безопасности и требуют тщательного анализа с точки зрения выбора наиболее рациональной концепции того или иного модуля или системы. Должны быть определены потенциальные виды отказов, а также последствия их возникновения с точки зрения реализации функций активной безопасности [7].

2.1. Проектирование с учетом требований надежности

Для повышения надежности системы ее разработчик может рассматривать способы дублирования функций каждого отдельного компонента, поскольку при определенных условиях это может быть наиболее быстрым и простым решением с наименьшими затратами. В некоторых случаях это единственное решение. С другой стороны, такой подход имеет определенные недостатки: он может оказаться слишком дорогим либо выйти за рамки ограничения по габаритам системы, ее веса или потребляемой мощности. Возможна и такая ситуация, когда описанный подход приведет к необходимости использования большого количества датчиков и коммутационных устройств, наличие которых настолько усложнит систему, что ее недостатки будут превалировать над ее преимуществами [1].

Исследования надежности конструкции на стадии ее концептуальной разработки в первую очередь ориентированы на определение надежности компонентов системы и выбора наиболее приемлемого решения с точки зрения предъявляемых требований по надежности, т.е. анализируется надежность системы в целом и ее отдельных элементов. Процесс проектирования начинается с перевода требований и потребностей потенциального потребителя в спецификацию для проектирования, то есть в техническое задание на проектирование. Фазе разработки концепции также предполагает определение цели проекта с точки зрения соблюдения существующих стандартов и правил.

Проведение анализа отказов и их последствий (FMEA) позволяет определить все возможные и известные случаи отказов системы и ее отдельных компонентов, а также определить их причины и выполнить оценку их последствий. Отдельные элементы системы (подсистемы, сборки, узла) могут иметь несколько видов отказов, поскольку каждая из предусмотренных функций элемента может иметь несколько вариантов выхода из строя. Реализация метода FMEA предполагает выделение возможных ситуаций возникновения отказов, с точки зрения выполнения той или иной функции системы, которые в общем случае разделяются на три группы: полная потеря функционала, частичная потеря функционала и некорректное выполнение функции. Для каждого режима неисправности проводится детальный анализ возможных последствий и прогнозируется поведение всей системы при возникновении того или иного отказа [1].

2.2. Методология качественного структурированного анализа надежности - (MX) FMEA

Перед началом работы по методу FMEA необходимо перевести требования, предъявляемые заказчиком, на уровень спецификаций, удобных для использования разработчиками изделия. Для этого можно использовать разные инструменты, одним из которых является использование матричного анализа (MX), получившего широкое распространение при разработке систем безопасности.

Преимуществом использования матричного анализа является информативное представление системы в виде древовидной структуры, в которой могут быть одновременно обозначены как функции, так и архитектура системы, и возможные отказы, при этом функциональные связи образуют матрицу.

На системном уровне с подсистемами сопоставляются только требования заказчика или нормативных документов, а также функции, обеспечивающие их выполнение (табл. 1). На данном этапе отдельные компоненты системы не анализируются и не сопоставляются. Структура каждой матрицы составляется на основе ответов на следующие три вопроса:

- Какая система, или какой продукт подлежит анализу?
- Какие потребности/ожидания заказчика, нормативных документов, требований, стандартов ассоциируются с системой или продуктом (функции/требования)?
- Какие подсистемы должны входить в состав системы или продукта? Какие функции будут возложены на ту или иную подсистему (прямо или косвенно)?

При данном подходе, основные функции, реализация которых требует использования программного обеспечения, сопоставляются с дублирующими (запасными) подсистемами электронной тормозной системы, а затем устанавливается их связь с выполнением тех или иных требований, предъявляемых к системе (табл. 2 – показаны результаты выполнения проекта SPARC «Безопасное движение с использованием усовершенствованного дублирующего контроля»). Таким образом, формируется некая классификация подсистем, позволяющая выявить прямую взаимосвязь между ними (с помощью «функции»), либо косвенную (посредством «отказа»).

Таблица 1

Требования, предъявляемые к электронной тормозной системе полуприцепа с усовершенствованной системой дублирования

Система SPARC	Законодательные	Заказчика	Внутренние
	Требования		
Информация о состоянии системы АБС	×		
Информация о состоянии системы предотвращения опрокидывания	×		
Наличие желтого предупреждающего сигнала	×		
Наличие красного предупреждающего сигнала	×		
Автоматический контроль положения опорной стойки полуприцепа		×	
Контроль положения грузовой платформы полуприцепа		×	
Гарантированное ручное управление		×	
Контроль компрессора			×

Требования, которым должны отвечать соответствующие компоненты для обеспечения выполнения той или иной функции, отображаются на связующем интерфейсе (рис. 2), который, в свою очередь, используются как средство разделения системы от этапов проектирования, а также как способ их сопоставления. Такой подход позволяет группам разработчиков работать независимо друг от друга в разных местах. Проектирование системы и ее анализ с помощью метода FMEA могут выполняться параллельно до определенной стадии развития процесса, после которого концепция FMEA (анализ того, как поведение системы зависит от поведения каждого отдельного компонента) может быть реализована в полной мере [8].

Метод FMEA обладает целым рядом преимуществ, в том числе возможностью использования системного подхода к классификации отказов компонентов системы, что в свою очередь уменьшает время и стоимость разработки, а также сокращает количество вариантов, необходимых для детального анализа. Таким образом, метод FMEA служит полезным инструментом для организации более эффективного планирования работ по тестированию си-

стемы, определяет ключевые задачи, решение которых требует более детальной проработки и серьезно влияет на безотказность работы системы, и, как следствие, способствует более полному удовлетворению потребностей заказчиков. Это эффективный инструмент для анализа малых, больших и сложных систем, который полезен при разработке экономически эффективной системы технического обслуживания изделия, и обеспечивает предотвращение повторения одних и тех же ошибок в будущем. Метод может быть также использован при проведении сравнительного анализа нескольких систем. Он удобен в практическом использовании как на уровне руководителей, так и непосредственных исполнителей проекта и способствует улучшению коммуникации между сотрудниками [9].

Таблица 2

Матрица функций и элементов системы

Semi-trailer	СТС ¹	АМ1 ²	АМ2	АМ3	АСУ ³	NRG ⁴	ТАУХ ⁵
Информация о состоянии системы АБС	×	×	×	×			×
Информация о состоянии системы предотвращения опрокидывания	×	×	×	×			×
Наличие желтого предупреждающего сигнала	×	×	×	×	×	×	
Наличие красного предупреждающего сигнала	×	×	×	×	×	×	
Автоматический контроль положения опорной стойки полуприцепа	×				×	×	×
Контроль положения грузовой платформы полуприцепа	×	×			×	×	
Гарантированное ручное управление	×					×	×
Контроль компрессора	×				×	×	

Примечание: 1 – центральный блок управления; 2 – модулятор оси; 3 – модуль подачи воздуха;
4 – энергетический модуль; 5 – вспомогательный модуль

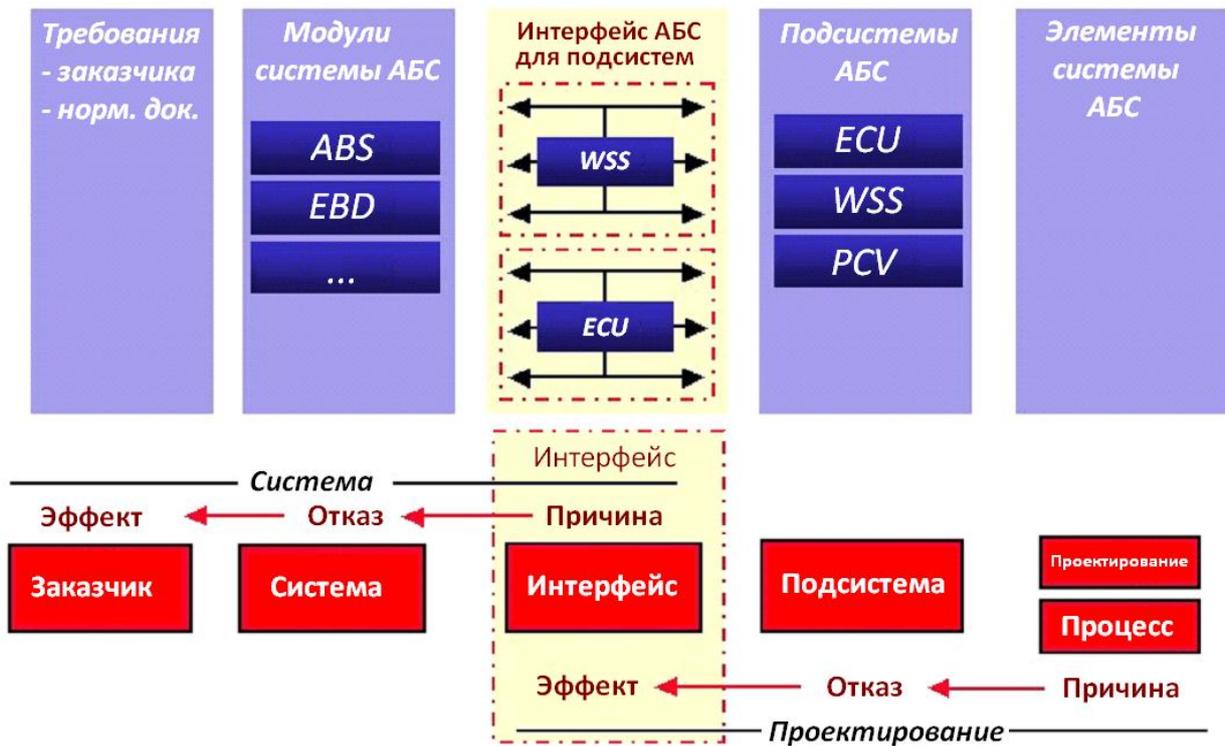


Рис. 2. Представление уровней системы и процесса проектирования по методу FMEA [8]

2.3. Качественный анализ структурной надежности

Каждый объект должен быть ремонтпригодным, срок его службы может быть определен с использованием математического аппарата теории вероятности и теории надежности [10]. Под надежностью системы понимается свойство изделия сохранять значения установленных параметров функционирования в определённый период времени. Надежность тормозных систем большегрузных транспортных средств может быть исследована с использованием математических моделей, описывающих систему как совокупность элементов, для ремонта которых требуется определенное время.

В дальнейшем предполагается [11], что время наработки до отказа элемента системы является независимой случайной величиной, и то, что для всех элементов оно характеризуется одинаковым вероятностным распределением. Кроме того, время ремонта какого-либо компонента системы также считается независимой случайной величиной с одинаковым характером распределения за определенный период эксплуатации.

Далее, функция распределения наработки до отказа будет обозначена $F(t)$ со средним значением T_1 с дисперсией σ_1^2 , а функция распределения продолжительности ремонта будет обозначена $G(t)$ со средним значением T_2 и дисперсией σ_2^2 .

Мерой оценки надежности какого-либо элемента системы, требующего определенного времени на ремонт, является так называемый коэффициент готовности $A(t)$, что есть вероятность фактической работоспособности элемента в момент времени t . Он может быть рассчитан с использованием следующего выражения (при условии, что пройден «достаточно длительный период» времени):

$$A_e = \lim_{t \rightarrow \infty} A(t) = \frac{T_1}{T_1 + T_2}, \quad (1)$$

где T_1 – среднее значение времени между отказами (MTBF); T_2 – среднее значение времени, необходимое для ремонта (MTTR).

В нестационарных условиях коэффициент готовности определяется из формулы

$$A(t) = 1 - F(t) + \int_0^t [1 - F(t-x)] h(x) dx, \quad (2)$$

где $h(x)$ функция плотности восстановления [11], при этом

$$h(x) = \sum_{n=1}^{\infty} \Phi_n(x), \quad \Phi_n(t) = \int_0^t F(t-x) dG_n(x), \quad F_n(t) = \int_0^t F_{n-1}(t-x) dF(x), \quad G_n(t) = \int_0^t G_{n-1}(t-x) dG(x),$$

где n количество отказов зафиксированных за период времени t .

В теории надежности при анализе механических частей транспортных средств принимается допущение о том, что временные интервалы эксплуатации и ремонта подчиняются экспоненциальному закону:

- период эксплуатации $F(t) = 1 - e^{-\lambda t}$,
- время ремонта $G(t) = 1 - e^{-\mu t}$.

Таким образом, в стационарных условиях имеем

$$A_e = \frac{\mu}{\lambda + \mu}, \quad (3)$$

в нестационарных

$$A(t) = \frac{\mu + \lambda e^{-(\lambda + \mu)t}}{\mu + \lambda}. \quad (4)$$

В приведенных выражениях:

- $1/\lambda = T_1$ – среднее значение времени между отказами (MTBF),
- $1/\mu = T_2$ – среднее значение времени, необходимое для ремонта (MTTR).

Достаточно важным является определение вероятности $R(\tau)$ функционирования в течение определенного интервала времени τ , т.е. так называемый коэффициент надежности. В нестационарном случае имеем

$$R_t(\tau) = 1 - F(t + \tau) + \int_0^t [1 - F(t + \tau - x)] h(x) dx, \quad (5)$$

в стационарном

$$R_e(\tau) = \lim_{t \rightarrow \infty} R_t(t) = \frac{1}{T_1 + T_2} \int_{\tau}^{\infty} [1 - F(x)] dx. \quad (6)$$

В стационарном случае, используя гипотезу экспоненциального закона распределения временных интервалов эксплуатации и ремонта

$$R_e(\tau) = \frac{\mu}{\mu + \lambda} e^{-\lambda \tau}. \quad (7)$$

Последовательное соединение элементов системы. В этом случае отказ каждого отдельного элемента приводит к отказу всей системы. Коэффициент готовности (вероятность работы в момент времени t) можно приближенно рассчитать по формуле [11]

$$A_{serial} = \frac{1}{1 + \sum_{k=1}^n \frac{T_{k2}}{T_{k1}}}, \quad (8)$$

где n – количество элементов в системе; T_{k1} – среднее время наработки до отказа элемента k ; T_{k2} – среднее время ремонта элемента k .

Коэффициент надежности (вероятность функционирования в течении определенного интервала времени τ) может быть определена из выражения:

$$R_{serial}(\tau) = A_{serial} e^{-\frac{\tau}{T_1}}, \quad (9)$$

где $T_1 = 1 / \sum_{k=1}^n \frac{1}{T_{k1}}$.

Полученные выражения являются относительно точными и адекватными, при условии принятия гипотезы об экспоненциальном законе распределения временных интервалов эксплуатации и ремонта.

Параллельное соединение элементов системы. В этом случае отказ какого-либо элемента системы не влияет на надежность других: отказы элементов являются независимыми, более того, они могут быть восстановлены независимо друг от друга.

Таким образом, в стационарном случае для всей системы в целом (при условии, что каждый отдельный элемент функционирует в течение времени t) имеем [11]

$$A_{parallel} = \frac{T_{11}}{T_{11} + T_{12}} \cdot \frac{T_{21}}{T_{21} + T_{22}} \cdots \frac{T_{n1}}{T_{n1} + T_{n2}} = \prod_{i=1}^n \frac{T_{i1}}{T_{i1} + T_{i2}}, \quad (10)$$

где n – количество элементов в системе, T_{i1} – среднее время наработки до отказа элемента i ; T_{i2} – среднее время ремонта элемента i .

Если структура системы предполагает наличие дублирующего контура, в котором элементы связаны параллельно и имеют такую же степень надежности, то можно рассчитать вероятность эксплуатации k элементов системы среди общего числа n при данном интервале времени t :

$$A_k = \binom{n}{k} A_e^k (1 - A_e)^{n-k}, \quad (11)$$

где A_e – коэффициент готовности для стационарного случая.

Коэффициент надежности k элементов системы среди общего числа n при данном интервале времени t для стационарного случая:

$$R_k(\tau) = \binom{n}{k} R_e(\tau)^k (1 - R_e(\tau))^{n-k}. \quad (12)$$

Смешанный способ соединения элементов системы. Реальные конструкции тормозных систем состоят из последовательно соединенных подсистем, которые имеют различные характеристики надежности. Эти подсистемы в некоторых случаях могут состоять из аналогичных более мелких подсистем с одинаковым уровнем надежности (и с той же функциональностью), соединенных между собой параллельно. Таким образом, структура всей системы, как правило, носит смешанный характер, и определение коэффициента надежности для всей системы требует применения более сложных аналитических расчетов и, в ряде случаев, численного моделирования.

Вывод

В настоящее время в процессе анализа автомобильных систем, в которых количество электронных устройств неуклонно растет, возникает проблема выбора наиболее подходящего метода анализа надежности. В данной работе рассмотрены два наиболее эффективных метода, позволяющие проводить детально структурированный анализ систем. В зависимости от цели анализа необходимо выбирать наиболее подходящий инструмент оценки надежности, а

в случае комплексного анализа рационально использовать различные подходы, которые могли бы успешно дополнять друг друга.

Библиографический список

1. **Srinivasan, S.K.** Probabilistic Analysis of Redundant Systems / S.K. Srinivasan, R. Subramanian. – Springer-Verlag, Berlin, 1980.
2. **Ebeling, C.E.** An Introduction to Reliability and Maintainability Engineering / C.E. Ebeling. – McGraw-Hill Companies, Inc., 1997.
3. **Popovic, P.** Design for reliability of vehicles in the concept phase / P. Popovic, G. Ivanovic // EAEC Congress, 2005.
4. **Péter, T.** Gépjármu lengorendszerek felfüggesztéssparamétereinek optimalása / T. Péter. – MTA, Budapest, 1997. Kandidátúésírtekezés.
5. **Péter, T.** Mathematical Transformations of Road Profile Excitation for Variable Vehicle Speeds / T. Péter // Studies in Vehicle Engineering and Transportation Science. 2000. P. 51–69.
6. X-By-Wire systems of the next generation / M. Armbruster [at al.] // AVEC International Symposium, 2004.
7. **Papadopoulos, Y.** Automating aspects of safety design in contemporary automotive system engineering / Y. Papadopoulos, C. Grante, J. Wedlin // FISITA Conference, 2004.
8. **Dobry, A.** Think globally, act locally. FMEA: Effective handling of complex systems / A. Dobry. - Knorr-Bremse Systeme für Nutzfahrzeuge GmbH, Germany, 1999.
9. **Dhillon, B.S.** Design reliability: Fundamentals and Applications / B.S. Dhillon // CRC Press LLC., 1999.
10. **Robinson, R.M.** SIL Rating Fire Protection Equipment / R.M. Robinson, K.J. Anderson // Conferences in Research and Practice in Information Technology, 8th Australian Workshop on Safety Critical Systems and Software (SCS'03).
11. **Prezenszki, J.** A raktári anyagmozgatási géprendszerek megbízhatósági és kapacitásvizsgálata / J. Prezenszki, P. Várlaki // GÉP XXX. 1978. №3. P. 85–92.

*Дата поступления
в редакцию 28.06.2011*

T. Fulep, L. Palkovics, L. Nadai

ON QUALITATIVE AND OPERATIONAL RELIABILITY OF ELECTRONIC BRAKE SYSTEMS FOR HEAVY DUTY VEHICLES

The development of the safety critical systems of future commercial vehicles is mainly driven by that social demand, that the societies wants to see safer, more reliable vehicles on the roads, which can also handle more complex situations than the human driver can. It is questioned whether the approaches of the classical reliability theory are appropriate for redundant electronic systems, especially if they have a safety critical nature, such as the electronic brake system, which has been used in commercial vehicles in Europe for almost a decade.

Key words: electronic brake system, redundancy level, reliability analysis.