© В.В. Куприянов, П.Д. Лебедев, 2015

УДК 656.13;658.012.011.56

В.В. Куприянов, П.Д. Лебедев

АНАЛИЗ ОТКАЗОУСТОЙЧИВОСТИ ИНФОРМАЦИОННОЙ УПРАВЛЯЮЩЕЙ СИСТЕМЫ АВТОМОБИЛЯ

Рассмотрены один из методов оценки надежности информационной системы автомобиля устойчивой к произвольным отказам. Рассматриваются ситуации, когда существующие на данный момент решения не являются оптимальными и эффективными.

Ключевые слова: отказоустойчивость ИУС автомобиля, вероятность отказа узла, информационно управляющая система автомобиля, блок управления, группировка узлов.

Современные информационные системы, довольно часто представляют собой достаточно сложные структуры, включающие в свою архитектуру несколько подсистем.

Жизнь человека на данный момент невозможно представить без информационной составляющей. Современные технологии позволяют получать быстрый доступ к актуальной информации, позволяют решать задачи документооборота, финансового оборота, задачи управления и многие другие.

Одна из частных задач, которые выполняют современные информационные системы на сегодняшний день, является задача управления системами автомобиля.

Автомобиль – одна из важнейших компонент жизни человека в современном обществе. О сложности современных автомобилей можно говорить очень долго, однако при всей сложности устройства необходимо гарантировать высокую отказоустойчивость. Для этого необходимо уметь проводить оценку остаточного ресурса автомобиля.

Одним из аспектов надежности автомобиля является его информационная система, которая связывает и синхронизирует работу каждого отдельно взятого узла, однако зачастую в информационных системах возникают ошибки связанные с условиями эксплуатации транспортного средства, его возрастом, тем как оно обслуживалось и многими другими.

По статистики 45% процентов поломок автомобилей, связаны с ошибками, возникающими в ИУС, в случае если автомобиль использовался в нормальных (не экстремальных) условиях, обслуживался во время и не участвовал в ДТП.

Одной из причин, по которой ИУС автомобиля требует «особого внимания» является сложность ее ремонта, который невозможно провести «на дороге». Так же стоит отметить, недоступность узлов информационной системы, т.е. монтаж, демонтаж невозможен без специального оборудования.

Из вышесказанного следует сделать вывод: грамотный анализ узлов информационной системы автомобиля позволит предвидеть возможные неисправности и устранять их, предупреждая выход из строя транспортного средства, до того, как потребуется его эвакуация с проезжей части.

Анализ состояния исследуемой области на данный момент и проблемы существующих решений

С течением времени зависимость людей от ТС увеличивается, а сами ТС усложняются. Именно поэтому в

последнее время достаточно остро встают вопросы обеспечения отказоустойчивости транспортных средств.

В автомобилях старых образцов в несложных ИУС отказоустойчивость достаточно высокая, чего ни в коем случае нельзя сказать о информационных системах современных автомобилей.

В таких информационных управляющих системах свойства отдельных элементов зависят друг от друга. То есть при выходе из строя одного элемента меняются свойства других. Именно по этой причине анализ надежности ИУС ТС является такой важной задачей.

Наиболее интересной моделью сбоев для нас является общая модель, не накладывающая ограничений на поведение сбойных процессов. Благодаря этому возможно моделировать такие моменты как: поломка оборудования в результате сбоя в ИС или потеря связи с одним из узлов ИС и многие другие.

Так же в большей степени нас интересуют ИУС неограниченные по времени работы, это позволят строить наиболее точный прогноз сбоев.

В данной работе рассмотрим ИУС, которые устойчивы к произвольным отказам.

В современном мире одним из методов предупреждения от сбоев является грамотное распределение ресурсов ИУС между ее элементами, для защиты от сбоев используется метод распараллеливания работы процесса, т.е. один и тот же процесс работает в основном и резервном контуре системы. В большинстве систем для обеспечения стабильной работы фиксируется количество узлов, которые могут выйти из строя, не приведя к нарушению работы системы в целом. Это удобно при проектировании, а так же при обосновании алгоритмов используемых в информационной системе, однако такой подход не учитывает вероятность выхода из строя каждого отдельно взятого узла и не позволяет дать адекватную оценку наиболее слабых узлов ИС.

Основываясь на ранее сказанном, можно заключить, что в основном ни одна ИУС ТС не заключает в себе алгоритма для оценки вероятности отказа, а именно это является наиболее важным показателем для ИУС, в которых требуется повышенная отказоустойчивость. Такой подход предполагает, что все узлы ИУС одинаковы по надежности, однако в рамках действующих информационных управляющих систем чаще всего это неверное утверждение. Очевидно, что надежность каждого отдельно взятого узла может очень сильно отличаться, соответственно пренебрежение этим фактом может повлечь за собой выход из строя узла и системы в целом, что в реалиях современного мира очень часто является недопустимым.

Оценка надежности узла информационной системы автомобиля на основе статистики его работы

Очевидно, что надежность информационной управляющей системы в целом зависит от надежности ее составных частей и в случае если надежности узлов отличаются, то необходимо знать каждую только так возможно дать верную оценку стабильности работы системы в целом. В случае если надежности узлов одинаковы, достаточно дать один агрегированный параметр.

Наиболее удобным способом получения значений надежности на практике является сбор статистики об их отказах в течении времени t.

Чем реже узел выходит из строя, тем выше надежность данного узла и соответственно наоборот, чем чаше узел выходит из строя, тем ниже его надежность. Время между отказами

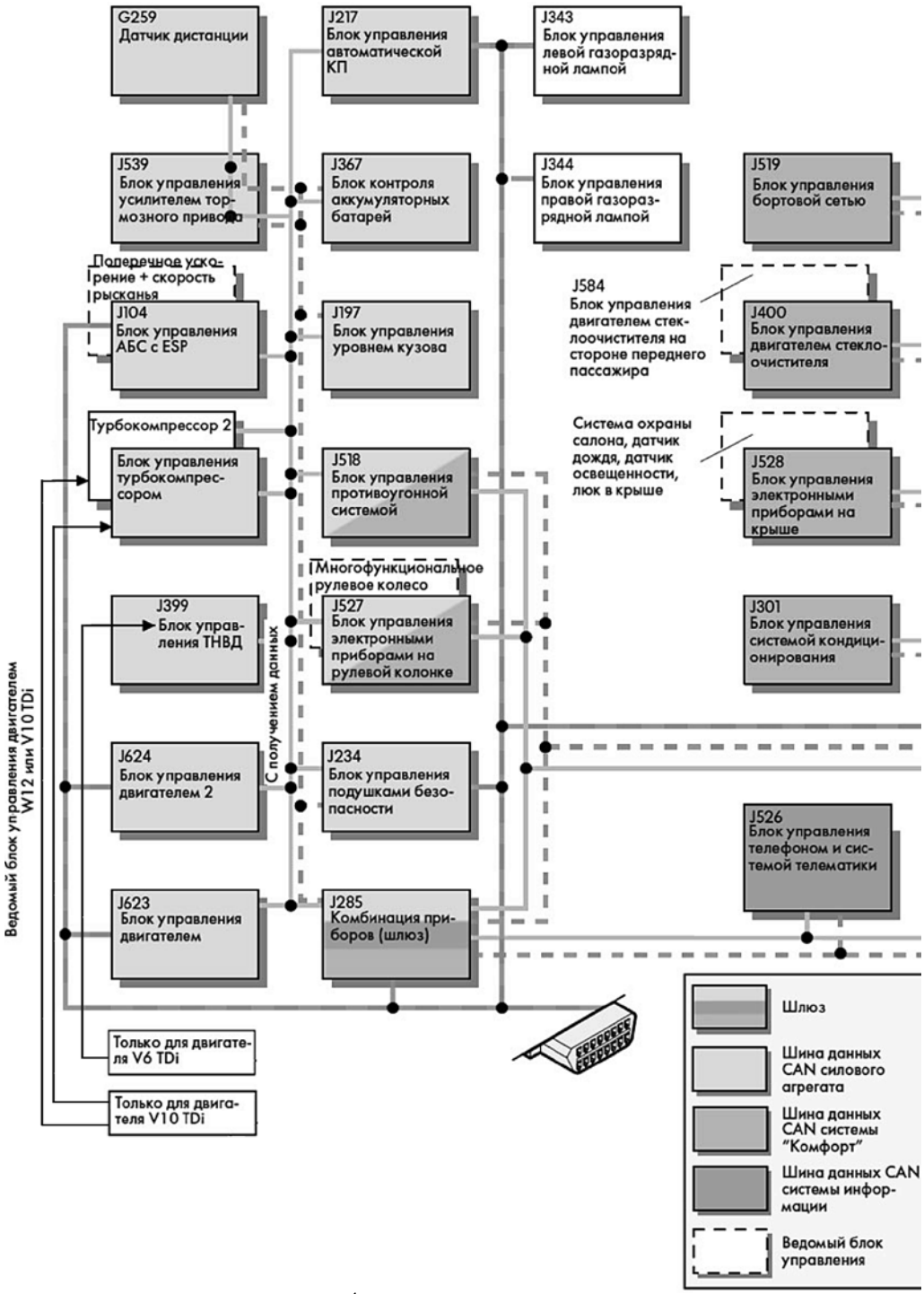
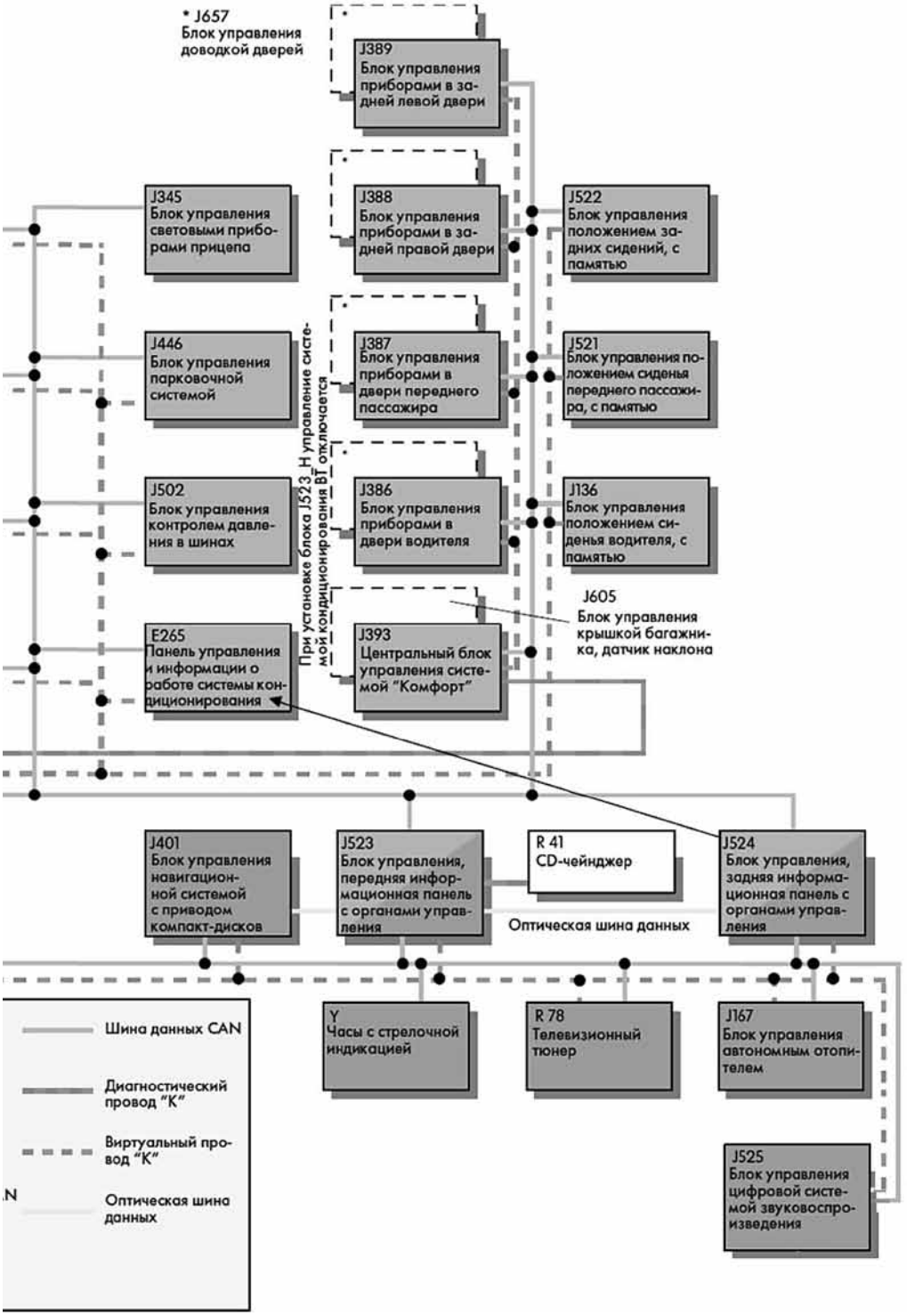


Рис. 1. Структура ИУС автомобиля


* J657
Блок управления доводкой дверей
J389
Блок управления приборами в задней левой двери
J345
Блок управления световыми приборами прицепа
J388
Блок управления приборами в задней правой двери
J522
Блок управления положением задних сидений, с памятью
J446
Блок управления парковочной системой
J387
Блок управления приборами в двери переднего пассажира
J521
Блок управления положением сиденья переднего пассажира, с памятью
При установке блока J523 H управление системой кондиционирования BT отключается
J502
Блок управления контролем давления в шинах
J386
Блок управления приборами в двери водителя
J136
Блок управления положением сиденья водителя, с памятью
J605
Блок управления крышкой багажника, датчик наклона
E265
Панель управления и информации о работе системы кондиционирования
J393
Центральный блок управления системой "Комфорт"
J401
Блок управления навигационной системой с приводом компакт-дисков
J523
Блок управления, передняя информационная панель с органами управления
R 41
CD-чейнджер
J524
Блок управления, задняя информационная панель с органами управления
Оптическая шина данных
Y
Часы с стрелочной индикацией
R 78
Телевизионный тюнер
J167
Блок управления автономным отопителем
J525
Блок управления цифровой системой звуковоспроизведения
Шина данных CAN
Диагностический провод "K"
Виртуальный провод "K"
Оптическая шина данных

узла можно считать величиной случайной.

Так же предположим, что на сбой ИУС не влияют ни какие сторонние факторы.

Из этого следует, что отказ ИУС ТС случайная величина в своей основе имеет экспоненциальный закон распределения.

Экспоненциальное или показательное распределение — абсолютно непрерывное распределение, моделирующее время между двумя последовательными свершениями одного и того же события.

Основываясь на свойствах данного распределения можно заключить, что вероятность отказа узла информационной управляющей системы в течении двух любых одинаковых по длине промежутков времени идентична. Поэтому, вероятность отказа в любой единичный промежуток времени одинакова, и ее можно рассматривать, как характеристику надежности (надежность узла выше тем, чем меньше вероятность отказа за единицу времени).

Обозначим за $\Omega_i (i = 1, n)$ вероятность отказа на i том узле информационной системы в некоторый период времени.

Значение Ω_i может быть найдено по формуле:

$$\Omega_i = \lambda_i / t_i, \qquad (1)$$

где λ_i – количество сбоев которые произошли на узле, t_i – суммарное время, которое проработало i-ое звено.

Однако эта формула обладает недостатком. Узел должен проработать достаточно большой отрезок времени (в зависимости от его надежности, для сбора статистики) для того, что бы можно было подтвердить корректность значения, полученного по этой формуле. Так, до возникновения первого сбоя надежность узла будет равна 1. А это очень далеко от реальности и может исказить конечное значение. Соответственно вероятность отказа можно найти (вопрос) по следующей формуле:

$$\Omega_i = \frac{1 + \lambda_i}{\frac{1}{\Omega} + t_i} \qquad (2)$$

где Ω – вероятность отказа узла о котором еще не собрано ни каких сведений.

Значение Ω можно находить по формуле:

$$\Omega = \frac{1 + \sum_{i=1}^{m} \lambda_i}{\frac{1}{\Omega^*} + \sum_{i=1}^{m} t_i} \qquad (3)$$

где m – общее количество узлов системы, Ω^* – задаваемая создателем распределенной системы на основе его опыта среднестатическая вероятность отказа вычислительного узла, которая необходима в начальный момент работы ИС, когда еще нет ни какой статистики.

В случае когда происходит первоначальное подключение ИС и статистика еще не собрана, в формуле (2) значение Ω_i будет равно Ω^* – вероятности отказа среднестатистического узла, что позволит провести первоначальный анализ отказоустойчивости и сделать первые прогнозы, но как только появится статистика в течении достаточного времени вклад слагаемого $1/\Omega$ в знаменатель и 1 в числитель будет слишком мал, что позволяет нам сделать следующий вывод:

$$\Omega_i = \lim_{t_i \to \infty} \frac{1 + \lambda_i}{\frac{1}{\Omega} + t_i} = \lim_{t_i \to \infty} \frac{\lambda_i}{t_i} \qquad (4)$$

Так как в данной работе оценивается отказоустойчивость автомобиля бывшего в эксплуатации и вся необходимая статистика по результатам работы ИУС собрана и хранится в памяти автомобиля, мы воспользуемся первой формулой.

На рис. 1 приведена полная ИУС современного автомобиля, связь между элементами ИУС осуществляется на основе оптоволоконной технологии, отказоустойчивость которой является очень высокой. Соответственно, вероятность потери связи из-за выхода из строя линии передачи не учитывается.

Проведем оценку надежности основной связки блоков.

В таблице представлена отказоустойчивость каждого отдельно взятого узла. В работе [2] доказано, что ни один алгоритм работы ИУС неспособен гарантировать корректную работу более чем при $\left[\frac{n-1}{3}\right]$. Соответственно для вывода из строя нашей системы необходим отказ сразу четырех ее элементов.

Вероятность отказа четырех элементов можно найти по формуле:

$$\gamma_n^k = \sum_{F \in U, |F|=k} \left(\prod_{j \in U/F} \left(1 - \Omega_j\right) \right) \qquad (5)$$

Рис. 2. Основные узлы ИУС

где F – неупорядоченное подмножество из множества узлов U. Смысл этой формулы в том, что суммируются вероятности возникновения всех возможных комбинаций из k выходящих из строя узлов и n-k узлов продолжающих корректно работать.

То есть, расчет происходит по следующему алгоритму.

Перебрать и просуммировать все произведения 11 вероятностей, в которых:

№	Наименование	λ_i	t_i	Ω_i
1	Блок управления автоматической КП	8	365	0,022
2	Блок управления усилителем тормозного привода	11	365	0,030
3	Блок управления двигателем 1	10	365	0,027
4	Блок управления двигателем 2	9	365	0,025
5	Блок контроля аккумуляторной батареи	12	365	0,033
6	Блок управления уровнем кузова	15	365	0,041
7	Блок управления электронными приборами на рулевой колонке	18	365	0,049
8	Блок управления противоугонной системой	7	365	0,019
9	Блок управления подушками безопасности	9	365	0,025
10	Блок управления ABS с ESP	14	365	0,038
11	Блок управления ТНВД	10	365	0,027

• все вероятности заменены на противоположные (1–0,022, 1–0,030 и т.п.);

• все кроме одной вероятности заменены на противоположные;

• все кроме двух вероятностей заменены на противоположные;

• все кроме трех вероятностей заменены на противоположные.

В итоге получится 1 слагаемое + + 11 слагаемых + 55 слагаемых + + 165 слагаемых = 232 слагаемых. Расчет по данной формуле в работе представлен не будет из-за громоздкости вычислений, однако по результатам вычислений $\gamma_{11}^{4} \approx 0,009$.

В дальнейшем планируется улучшение качества анализа отказоустойчивости ИУС автомобиля за счет группировки узлов по теории [1], а так же анализ узлов, и создание универсального алгоритма анализа отказоустойчивости ИУС.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Фирсов А.Н.* Повышение надежности гетерогенных распределенных отказоустойчивых систем за счет группировки вычислительных узлов.

2. *Gabriel Bracha, Sam Toueg*. Asynchronous Consensus and Broadcast Protocols. – 1985. October.

3. *Борель Э.* Вероятность и достоверность. – М.: Наука. Гл. ред. физ.-мат. лит., 1969. – 112 с.

4. *Куприянов В.В., Фомичева О.Е.* Интеллектуализация технологий автоматизированных систем. – М., 1994.

5. *Апайчева Л.А., Багоутдинова А.Г., Шувалова Л.Е.* Теория вероятности. – 2011. ГИАБ

КОРОТКО ОБ АВТОРАХ

Куприянов Вячеслав Васильевич – доктор технических наук, профессор,
Лебедев Павел Дмитриевич – магистрант,
МГИ НИТУ «МИСиС», e-mail: ud@msmu.ru.

UDC 656.13;658.012.011.56

ANALYSIS OF FAULT TOLERANCE CONTROL SYSTEM OF A VEHICLE INFORMATION

Kupriyanov V.V., Doctor of Technical Sciences, Professor,
Moscow Mining Institute, National University of Science and Technology «MISiS», Moscow, Russia,
e-mail: ud@msmu.ru,
Lebedev P.D., Master's Degree Student,
Moscow Mining Institute, National University of Science and Technology «MISiS», Moscow, Russia.

The article describes one method of assessing the reliability of the information system of a vehicle resistant to random failures. Deals with situations where the currently existing solutions are not optimal and efficient.

Key words: resiliency IMS vehicle, the probability of a node failure, the information management system of the car, a control unit, a grouping of nodes.

REFERENCES

1. Firsov A.N. *Povyshenie nadezhnosti geterogennykh raspredelennykh otkazoustoichivykh sistem za schet gruppirovki vychislitel'nykh uzlov* (Improvement of reliability of heterogeneous distributed fail-safe systems by grouping computational nodes).

2. Gabriel Bracha, Sam Toueg. *Asynchronous Consensus and Broadcast Protocols*. 1985. October.

3. Borel' E. *Veroyatnost' i dostovernost'* (Probability and reliability), Moscow, Nauka, Gl. red. fiz.-mat. lit., 1969, 112 p.

4. Kupriyanov V.V., Fomicheva O.E. *Intellektualizatsiya tekhnologii avtomatizirovannykh sistem* (Intellectualization of automated system technologies), Moscow, 1994.

5. Apaicheva L.A., Bagoutdinova A.G., Shuvalova L.E. *Teoriya veroyatnosti* (Probability theory), 2011.