

УДК 681.518.54:629.12.066

А. Г. БогдановЗАО «Центральный научно-исследовательский институт
судового машиностроения»**Д. А. Скороходов, д-р техн. наук**Институт проблем транспорта им. Н. С. Соломенко
Российской академии наук**ПРИНЦИПЫ СБОРА ДАННЫХ ОБ ОТКАЗАХ ЭЛЕМЕНТОВ
СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ ТРАНСПОРТНЫМИ СРЕДСТВАМИ**

В статье рассмотрены принципы сбора статистических данных об отказах и ремонте элементов систем управления транспортных средств, обеспечивающие возможность получения характеристик их надежности во время эксплуатации. Представлена математическая модель функционирования систем управления в процессе их эксплуатации. Сбор статистических данных об отказах усложняется тем обстоятельством, что сложные системы работают в режиме смены отказавших элементов. При таком режиме работы предложено не только фиксировать время между отказами, но и учитывать факты замен данного отказавшего элемента. Заполняя карточку отказов, недостаточно указать их вид, причину и дату, необходимо в каждом случае отказа анализировать весь журнал эксплуатации данного устройства. При анализе надежности необходимо, чтобы математическая модель функционирования оборудования в процессе его эксплуатации соответствовала реальной эксплуатации объекта. Математические модели, в соответствии с теорией надежности, строятся в предположении, что достоверно известно время между отказами каждого элемента сложной системы при условии непрерывной их работы. Тогда можно определить любой показатель надежности.

данные; модель; надежность; объект; оборудование; отказ; принципы; сбор; характеристики; эксплуатация

Введение

Работы по анализу надежности [1–7] касались расчета показателей отдельных систем, характеризующих особенностями эксплуатации, но, к сожалению, в них не принимался во внимание сбор практических данных эксплуатации, позволяющих получить реальные характеристики надежности тех или иных систем. Сбор статистических данных об отказах и ремонтах элементов систем управления, если таковой и происходил, чаще всего не был автоматизирован. Эту работу выполнял обслуживающий персонал. Получить в этом случае объективную статистику о надежности систем управления в процессе ее эксплуатации чрезвычайно трудно. Это объясняется следующими причинами:

1. Отказы иногда возникают по вине обслуживающего персонала. «Человеческий фактор» сказывается и на том, что статистика ведется небрежно, а факты отказов часто скрываются.

2. Во многих случаях сбор статистики ведется неквалифицированно.

3. Полученные данные не дают возможности объективно судить о надежности техники, так как не отражают физической сущности явлений, а поэтому не поддаются математической обработке.

Рассмотрим эти вопросы более подробно.

При сборе статистических данных об отказах необходимо иметь в виду, что случайной величиной при оценке надежности является время между отказами, а при оценке ремонтпригодности – длительность времени ремонта. Получить эти данные легко лишь в том случае, если техника работает непрерывно, без выключения. Тогда достаточно фиксировать лишь дату отказа. На практике же техника, как правило, работает с перерывами, вызванными отсутствием необходимости ее использования, профилактическими мероприятиями, ремонтами, плохой организацией эксплуатации и другими причинами. При сборе статистических данных об отказах в этих условиях необходимо фиксировать не только дату отказа, но также суммарное время работы между отказами, исключив время нерабочего состояния техники.

Сбор статистических данных о надежности в настоящее время ведется в большинстве случаев не с целью определения численных характеристик надежности техники. Преследуются иные, более узкие, цели: предъявление рекламаций изготовителям, определение слабых мест техники с целью ее доработок, оправдание своих действий юридически в случае необходимости, обоснование наличия необходимого объема запасных частей, продление технического ресурса и т. п. Для этих целей нет надобности в строгой научно обоснованной методике сбора статистических данных об отказах элементов, узлов, устройств и систем. Достаточно указать дату, место и причину неисправности или отказа. В отрасли отсутствует единая система сбора статистических данных о надежности техники. Поэтому журналы, в которых регистрируются сведения об эксплуатации техники, не однообразны, показатели различны, они часто не согласуются друг с другом. Все это позволяет оценить технические средства исследуемого объекта в основном по показателям надежности.

1 Анализ надежности

При анализе надежности необходимо, чтобы математическая модель функционирования систем управления в процессе эксплуатации соответствовала их реальной эксплуатации. Математические модели в соответствии с теорией надежности строятся в предположении, что достоверно известно время между отказами каждого элемента системы управления при условии

непрерывной их работы. Тогда можно определить любой показатель надежности. Рассмотрим это на примере существующей методики определения интенсивностей отказов элементов по данным эксплуатации.

Интенсивность отказов элементов определяется по формуле [8]:

$$\lambda(\Delta t) = \frac{n(\Delta t)}{N_{\text{ср}} \Delta t}, \quad (1)$$

где $n(\Delta t)$ – число отказавших элементов за время Δt ; $N_{\text{ср}}$ – среднее число элементов, исправно работающих на участке Δt .

Интенсивность отказов характеризует надежность невосстанавливаемых устройств только до первого отказа. Поэтому для определения $\lambda(\Delta t)$ необходимо проводить опыт без учета отказавших элементов. Отказавшие элементы не должны заменяться исправными.

При отказе сложной системы из-за отказа ее элемента система не снимается с эксплуатации. Данный элемент заменяется исправным и в опыте остается постоянное число элементов. В этом случае среднее число исправно работающих элементов $N_{\text{ср}}$ на участке Δt остается постоянным и равным первоначальному их количеству. Тогда обработка статистических данных по формуле (1) дает не интенсивность отказов элементов, а параметр потока отказов (среднюю частоту отказов) $\omega(t)$, являющийся характеристикой надежности восстанавливаемых систем. Ошибки не будет лишь в единственном частном случае, когда распределение времени между отказами подчиняется закону Пуассона и $\omega(t) = \lambda(t) = \text{const}$. На практике закон Пуассона в большинстве случаев не отражает физику отказов, так как имеют место приработка и старение элементов. В заблуждение несведущего исследователя также вводит следующее свойство параметра потока отказов [9]:

$$\lim_{t \rightarrow \infty} \omega(t) = \frac{1}{T}, \quad (2)$$

где T – наработка до первого отказа.

Поскольку для экспоненциального закона $\lambda = \frac{1}{T}$, то на основании (2)

ошибочно отождествляют параметр потока и интенсивность отказов, т. е. считают $\lambda(t) = \omega(t)$. В действительности же $\lambda(t)$ может быть убывающей или возрастающей функцией времени, а $\omega(t)$ при достаточно длительном времени эксплуатации становится практически постоянной величиной.

Получив из опыта эксплуатации недостоверные данные о надежности элементов, разработчик использует их для оценки надежности вновь проек-

тируемой аналогичной техники. При этом, вычисляя показатели надежности сложной системы, он пользуется следующими формулами:

$$\lambda_c = \sum_{i=1}^n \lambda_i, \quad T_c = \frac{1}{\lambda_c}, \quad P_c(t) = e^{-\lambda_c t}, \quad K_T = \frac{T_c}{T_c + T_B},$$

где $\lambda_c, T_c, P_c(t)$ – интенсивность отказов, наработка на отказ и вероятность безотказной работы системы; λ_i – интенсивность отказов i -го элемента, полученная по данным эксплуатации; T_B – среднее время восстановления системы; n – число элементов в системе.

Такие расчеты могут привести к большим ошибкам, особенно в случае анализа надежности сложных систем. Здесь три источника ошибок. Во-первых, неверны расчетные формулы; во-вторых, параметр потока отказов системы не равен сумме параметров потоков отказов элементов; в-третьих, $\lambda_i(t) \neq \omega_i(t)$.

Отсутствие обоснованных данных о надежности техники затрудняет планирование ее эксплуатации, не дает возможности оценить качество и эффективность сложных объектов, не позволяет выполнять расчеты надежности в процессе проектирования. Поэтому создание единой системы сбора и обработки статистических данных об отказах техники является инженерной задачей большой важности. Статистические данные об отказах должны:

- подтверждать характеристики надежности технических устройств и систем, указанные разработчиком и изготовителем;
- дать возможность получить показатели надежности элементов, узлов, устройств для их использования в процессе проектирования и производства сложных технических систем;
- быть простыми, не требующими большой работы инженерно-технического персонала, занимающегося эксплуатацией техники;
- включать методики, алгоритмы и программы сбора и обработки статистических данных об отказах.

Анализ критериев и показателей надежности технических средств объекта, а также принцип подхода к статистическим данным об отказах и системе их сбора и обработки позволили разработать карту отказов, которую должен заполнять персонал, эксплуатирующий технические средства объекта. Карта имеет вид таблицы 1.

Статистические данные этой таблицы позволяют получить все показатели надежности. Методики, алгоритмы и программы получения показателей надежности по данным таблицы достаточно просты и основаны на методах математической статистики и зависимостях, известных в теории надежности.

Дальнейшее упрощение сбора статистики, по нашему мнению, невозможно.

Таблица 1. Карта отказов технических устройств

Тип отказавшего устройства	Из-за какого элемента произошел отказ	Время начала эксплуатации устройства	Дата отказа устройства	Общее время наработки от отказавшего элемента от начала эксплуатации устройства	Время наработки устройства от момента последнего восстановления до данного отказа	Время восстановления
...

Методики и алгоритмы сбора информации об отказах разработаны на базе аналитических и топологических методов, основанных на теории марковских и немарковских процессов [8]. Они могут служить основой для анализа надежности, сравнения и выбора вариантов вновь разрабатываемых и модернизируемых объектов транспорта.

Комплекс методик позволяет учесть следующие факторы эксплуатации:

- восстановление отказавших элементов при техническом обслуживании в работоспособной системе;
- состояние резерва (нагруженный, облегченный, ненагруженный);
- последствия отказов;
- число ремонтных бригад;
- дисциплина обслуживания отказавших элементов;
- произвольные законы распределения времени безотказной работы и времени восстановления элементов.

Общими допущениями представленных методик являются следующие:

- объект транспорта имеет два возможных состояния – работоспособное и неработоспособное;
- состояние объекта в каждый момент времени однозначно определяется набором состояний всех его частей;
- функционирование оборудования контролируется непрерывно, т. е. момент отказа элемента (составной части оборудования) фиксируется сразу после его возникновения;
- восстановление элемента начинается немедленно после его отказа при наличии свободной ремонтной бригады, обслуживающей данный элемент; при отсутствии свободной ремонтной бригады отказавший элемент становится в очередь на обслуживание;
- ремонт элемента после отказа полностью восстанавливает его свойства по надежности.

Каждая конкретная методика имеет свои дополнительные ограничения и допущения помимо вышеуказанных.

Для оценки надежности необходимы следующие исходные данные:

- перечень элементов исследуемого объекта и структура их соединения в виде надежности-функциональной схемы;
- характеристики безотказности и ремонтпригодности элементов;
- стратегия восстановления отказавших элементов (количество ремонтных бригад, приоритет обслуживания);
- сведения о начальном состоянии процесса функционирования оборудования;
- время непрерывной работы оборудования.

Методики позволяют вычислять следующие показатели и характеристики надежности объекта:

- вероятность безотказной работы за определенное время $[0, t]$;
- среднюю наработку до отказа T_I ;
- наработку на отказ T ;
- среднее время восстановления T_B ;
- коэффициент готовности K_r ;
- функцию готовности $K_r(t)$ в момент t .

Компьютерные программы, которые в качестве самостоятельных модулей могут быть включены в пакет прикладных программ оценки надежности объекта, позволяют разработать следующие методики и алгоритмы:

- методика и алгоритм расчета надежности по формулам;
- методика и алгоритм расчета надежности, основанные на интегральном представлении показателей надежности;
- методика и алгоритм, основанные на теории марковских процессов;
- аналитико-статистическая методика и алгоритм оценки надежности систем с большим числом элементов;
- методика и алгоритм оценки надежности систем при произвольных законах распределения.

Рассмотрим реализацию каждой методики.

2 Методики и алгоритмы расчета надежности

2.1 Методика и алгоритм расчета надежности по формулам

Методика предназначена для расчета характеристик и показателей надежности невосстанавливаемых и восстанавливаемых типовых структур с учетом экспоненциального распределения времени безотказной работы и времени восстановления элементов [9].

Под типовой структурой будем понимать такое соединение элементов в систему, для которой известны готовые формулы вычисления надежности. К типовым структурам относятся: основное соединение элементов; параллельное соединение при равнонадежных и неравнонадежных элементах с нагруженным, облегченным или ненагруженным резервом; параллельное соединение с последствием отказов; мажоритарное и мостиковое соединение элементов. Результатами расчетов являются для невозстанавливаемого объекта вероятность безотказной работы и средняя наработка до отказа, для восстанавливаемого объекта – средняя наработка до отказа, среднее время восстановления, наработка на отказ, коэффициент готовности.

Алгоритм расчета включает в себя следующие процедуры:

1. Ввод исходных данных:

- параметры типовых структур;
- числовые значения безотказности и ремонтпригодности элементов рассчитываемой типовой структуры;
- время работы типовой структуры (задается только в случае расчеты вероятности безотказной работы).

2. Ввод массива данных, который содержит интенсивности отказов и интенсивности восстановления элементов типовой структуры.

При этом осуществляется вывод следующей информации:

- данные паспортов;
- результаты проверки возможности расчета показателей надежности и обращение к необходимым формулам;
- результаты расчета показателей надежности в соответствии с выбранными формулами;

Возможна печать полученных результатов.

2.2 Методика и алгоритм расчета надежности, основанные на интегральном представлении показателей надежности

Методика предназначена для расчета надежности сложного последовательно-параллельного соединения объекта практически с любым числом элементов [10, 11]. Она имеет следующие основные допущения и ограничения:

- законы распределения времени безотказной работы и времени восстановления элементов являются экспоненциальными;
- резервирование осуществляется элементами, идентичными основным элементам;
- отказы элементов возможны лишь во время работы системы;
- восстановление ограничено, т. е. осуществляется одной ремонтной бригадой.

При сделанных допущениях функционирование системы описывается марковским процессом с конечным числом состояний и графом переходов типа дерева. С увеличением числа элементов в системе число возможных состояний быстро возрастает, что не дает возможности построить граф переходов и вычислить вероятности состояний системы даже с помощью ПЭВМ. Предлагаемая методика устраняет проблему размерности, она позволяет определить стационарные показатели надежности, такие как наработка на отказ, среднее время восстановления и коэффициент готовности без построения графа переходов и вычисления стационарных вероятностей состояний.

Исходными данными для расчета надежности являются:

- количество последовательно соединенных узлов N ;
- число k_i основных элементов i -го узла;
- число m_i элементов нагруженного резерва i -го узла;
- число l_i элементов ненагруженного резерва i -го узла;
- интенсивность отказов λ_i элементов i -го узла;
- интенсивность восстановления μ_i элементов i -го узла.

Расчет показателей надежности производится на основе их интегральных представлений. Показатели надежности выражаются через несобственные интегралы от многочленов с экспоненциальным весом. Коэффициенты многочленов однозначно определяются набором исходных данных. Вычисление интегралов осуществляется с помощью квадратурных формул Гаусса – Лагерра.

2.3 Методика и алгоритм, основанные на теории марковских процессов

Методикой, основанной на теории марковских процессов, будем считать методику расчета характеристик и показателей надежности по линейным дифференциальным уравнениям типа уравнений массового обслуживания [11]. Допустим, что процессы отказов и восстановления объектов являются марковскими случайными процессами, и предположим, что законы распределения времени безотказной работы и времени восстановления каждого элемента, входящего в систему, являются экспоненциальными.

Методика позволяет рассчитать надежность невосстанавливаемых и восстанавливаемых, нерезервированных и структурно-резервированных систем при любом состоянии резерва (ненагруженном, облегченном, нагруженном), при любом количестве ремонтных бригад и произвольной дисциплине обслуживания. Она позволяет вычислять вероятность безотказной работы, среднюю наработку до отказа, наработку на отказ, среднее время восстановления, коэффициент и функцию готовности объекта.

Исходными данными для расчета надежности являются:

- надежность-функциональная схема;
- интенсивности отказов и восстановлений каждого элемента системы;
- количество ремонтных бригад;
- приоритет обслуживания отказавших элементов;
- начальное состояние процесса функционирования;
- время непрерывной работы системы.

Расчет характеристик и показателей надежности проводится в такой последовательности:

- построение графа состояний;
- составление системы уравнений: алгебраических для вычисления стационарных показателей надежности или дифференциальных – для вычисления нестационарных характеристик надежности;
- определение вероятностей состояний объекта;
- вычисление показателей и характеристик надежности.

2.4 Аналитико-статистическая методика и алгоритм оценки надежности объектов с большими составными частями

Современный сложный объект, как правило, имеет множество составных частей (элементов), выполняющих различные функции, характеризуется наличием различных видов резервирования, последствием отказов, для него возможны разнообразные стратегии обслуживания. Оценка надежности такого объекта с удовлетворительной точностью немислима без вычислительной техники. Аналитико-статистический метод оценки надежности [8], наряду с общими допущениями о функционировании объекта, имеет дополнительное ограничение, состоящее в экспоненциальном характере законов распределения времени безотказной работы и восстановления всех элементов.

Расчет надежности по предлагаемой методике состоит из следующих этапов:

- построение свернутого графа состояний;
- вычисление интенсивностей переходов свернутого графа;
- составление систем линейных алгебраических или дифференциальных уравнений и их решение;
- расчет показателей надежности.

Свернутый граф состояний имеет на каждом уровне не более двух узлов, соответствующих работоспособным состояниям и состояниям отказа объекта. Он получается путем объединения соответствующих узлов полного графа, отвечающего процессу функционирования всей системы, и укрупнения состояний.

Укрупненные узлы соединяются ветвями переходов, которым приписываются интенсивности, рассчитанные по приближенным формулам.

Для вычисления интенсивностей переходов учитываются лишь выборочные пути графа, ведущие из начального узла. Выборка осуществляется по равномерному закону, а соответствующая величина интенсивности умножается на число ветвей, выходящих из данного узла.

Нахождение интенсивностей переходов связано с двумя видами погрешностей, одна из которых возникает из-за приближенного способа вычисления интенсивностей, а другая является следствием относительно небольшого объема выборки путей графа.

В случае высоконадежного объекта методика позволяет оценить точность полученных результатов и указать нижние и верхние граничные значения для наработки на отказ, среднего времени восстановления и коэффициента готовности. Контрольные просчеты показывают, что эти значения достаточно близки между собой и показатели надежности имеют невысокую погрешность, вполне приемлемую для инженерных расчетов.

2.5 Методика и алгоритм оценки надежности объекта транспорта при произвольных законах распределения

Анализ надежности объекта, элементы которого имеют неэкспоненциальные законы распределения времени безотказной работы и времени восстановления, как правило, может быть выполнен, если его функционирование представлено в виде соответствующей математической модели. В некоторых случаях удастся получить математическое описание функционирования системы с помощью теории полумарковских процессов (процессы функционирования и обслуживания рассматриваются в специально подобранные моменты времени) или многомерных марковских процессов (предполагающих введение дополнительных переменных). Однако возможности применения указанных методов ограничены, поскольку в общем виде на их основе не удастся описать работу восстанавливаемого объекта с учетом структурной избыточности и любой дисциплины ремонта.

Применение метода статистического моделирования для получения достоверной оценки надежности сложного объекта требует больших затрат машинного времени и для высоконадежного объекта не всегда реализуемо.

Известные в настоящее время методы расчета надежности технических систем не позволяют, вообще говоря, дать оценку погрешности, которая удовлетворила бы инженера-практика. Более того, при надлежащем выборе законов распределения показатели надежности, полученные, например, асимптотическими методами, могут совершенно исказить истинное значение даже при дополнительном условии быстрого восстановления элементов. Важным

звеном анализа надежности объекта является в связи с этим разработка инженерных методов вычисления показателей надежности, имеющих достаточно высокую точность.

Основой таких методов служит возможность математического описания функционирования объекта с произвольными законами распределения элементов с помощью системы интегральных уравнений или эквивалентной системы дифференциальных уравнений в частных производных. Это описание может быть выполнено формальным путем, исходя из структурной схемы расчета надежности или ее словесной характеристики, условий отказа системы, числа ремонтных органов и способа обслуживания отказавших элементов.

Алгоритм вычисления стационарных показателей надежности, основанный на данной методике, состоит из следующих этапов:

- ввод исходных данных;
- формирование матрицы состояний и матрицы переходов системы;
- вычисление приближенных значений вероятностей состояний и параметров переходов системы из состояния в состояние;
- вычисление интенсивностей переходов;
- составление и решение системы линейных уравнений, описывающей стационарный процесс функционирования системы;
- расчет показателей надежности и оценка их погрешностей.

Методика позволяет также найти вероятность безотказной работы объекта на начальном и стационарном участках его функционирования. Для экспоненциальных законов распределения обе эти функции совпадают. В общем случае они представляют собой оценки для истинного значения вероятности безотказной работы, точность которых можно установить программным путем.

Заключение

Выбор наилучшего по надежности варианта системы управления в процессе ее проектирования требует выполнения расчетов надежности различных структур и схемных решений по большому числу критериев.

Для облегчения расчетов предлагается рассматривать проектируемую сложную систему управления как развивающуюся. Развивающейся считается такая система, которая образована из некоторой другой, являющейся ее прототипом с известными количественными характеристиками надежности, полученными по данным эксплуатации или расчетным путем. Тогда надежность развивающейся системы управления можно оценить путем сравнения исходного (коренного) и развивающегося варианта.

Такой подход позволил получить простые формулы для определения показателей надежности невозстанавливаемого и восстанавливаемого, нер-

зервированного и резервированного варианта системы управления при общем резервировании и таких способах обслуживания, при которых функционирование системы управления можно описать графом типа дерева.

Расширить область применения метода развивающегося варианта системы управления можно, если воспользоваться методом эквивалентных систем. В соответствии с этим методом находятся такие две системы, надежность которых может быть легко вычислена. При этом одна из них более надежна, а другая менее надежна, чем основная. Тогда полученные характеристики надежности эквивалентных систем будут верхней и нижней оценками.

Необходимо выбирать в качестве эквивалентных систем такие, которые имеют равнонадежные элементы с одинаковыми интенсивностями отказов и восстановлений, равными некоторым средним величинам. Такой подход дает возможность получать рекуррентные соотношения, позволяющие оценить надежность проектируемой системы управления как системы развивающейся при достаточно сложной ее структуре, не описываемой графом типа дерева.

Библиографический список

1. Поляков А. С. Принципы обработки информации по оценке надежности оборудования транспорта / А. С. Поляков, Д. А. Скороходов // Вестник Санкт-Петербургского университета государственной противопожарной службы : науч. аналитический журнал. – 2013. – № 3. – С. 65–69.
2. Артамонов В. С. Экспертный метод прогноза уровня надежности и безопасности железнодорожного транспорта / В. С. Артамонов, А. С. Поляков, Д. А. Скороходов // Вестник Санкт-Петербургского университета государственной противопожарной службы : науч. аналитический журнал. – 2013. – № 2. – С. 36–42.
3. Александров М. А. Анализ методики и алгоритма оценки надежности объекта транспортной системы при произвольных законах распределения / М. А. Александров, Д. А. Скороходов // Морской вестник. – 2013. – № 4 (48). – С. 100–102.
4. Копытов Ю. В. Определение ресурса насосов в различных режимах работы / Ю. В. Копытов, Д. А. Скороходов // Морской вестник. – 2015. – № 1 (53). – С. 52–54.
5. Гаврилова А. Н. Расчетные исследования системы очистки и охлаждения отработавших газов теплового двигателя / А. Н. Гаврилова, Д. А. Скороходов // Морской вестник. – 2015. – № 3 (55). – С. 47–48.
6. Верхоланцев А. А. Принципы измерений сверхмалых деформаций гребного вала / А. А. Верхоланцев, А. Н. Войтюк, Д. А. Скороходов // Морские интеллектуальные технологии. – 2009. – № 2. – С. 47–48.
7. Паньков К. Ю. Функциональная надежность систем управления движением подводных лодок / К. Ю. Паньков, Д. А. Скороходов // Гирроскопия и навигация. – 2005. – № 1 (48). – С. 108.

8. Володин В. В. Надежность в технике. Научно-технические, экономические и правовые аспекты надежности / В. В. Володин. – М. : Институт машиноведения им. А. А. Благонравова ; МНТК «Надежность машин» РАН, 1993. – С. 119–123.
9. Рябинин И. А. Надежность, живучесть и безопасность корабельных электроэнергетических систем / И. А. Рябинин. – СПб. : ВМА им. Н. Г. Кузнецова, 1997. – 433 с.
10. Буравлёв А. И. Управление техническим состоянием динамическим систем / А. И. Буравлёв, Б. И. Доценко, И. Е. Казаков ; под общ. ред. И. Е. Казакова. – М. : Машиностроение, 1995. – 240 с.
11. Ивченко Б. П. Теоретические основы информационно статистического анализа сложных систем / Б. П. Ивченко, Л. А. Мартыщенко, М. Л. Монастырский. – СПб. : Лань, 1997. – 247 с.

Andrey G. Bogdanov

Dmitriy A. Skorokhodov

Institute of transport problems after N. S. Solomenko
Russian academy of science

Principles of data gathering about refusals of the equipment of vehicles at their operation

The article describes the principles of collecting statistical data about failures and repairs of control systems of vehicles, providing the ability to characterize their reliability during operation. The mathematical model of functioning of control systems in the process of their operation. Collecting statistical data about failures is complicated by the fact that complex systems work in the change mode of failed elements. In this mode of operation is proposed to record not only the time between failures, but also to consider the possibility of replacement in the past, this failed element. At the same time to fill card bounce is not enough to indicate the type of failures, their reason and date. It is necessary in every case of failure to analyze the entire log of the operation of this device. In the reliability analysis requires that a mathematical model of the functioning of the equipment during its operation consistent with the actual operation of the facility. Mathematical model in accordance with the theory of reliability are based on the assumption that the known times between failures of each element of a complex system subject to continuous their work. Then you can determine any measure of reliability.

the data model, reliability, facility, equipment, failure, principles, Assembly, characteristics, operation

References

1. Polyakov A. S., Skorokhodov D. A. (2013). Principles of information processing on the evaluation of the reliability of the equipment transport [Principy obrabotki informacii po ocenke nadyozhnosti oborudovaniya transporta]. Scientific magazine «Vestnik of Saint-Petersburg University of state fire service» [Vestnik Sankt-Peterburgskogo universiteta gosudarstvennoj protivopozharnoj sluzhby], N 3. – Pp. 65–69.
2. Artamonov V. S., Polyakov A. S., Skorokhodov D. A. (2013). The Expert method of forecasting the reliability and safety of railway transport [Ekspertnyj metod prognoza urovnya nadyozhnosti i bezopasnosti zheleznodorozhnogo transporta]. The Scientific-analytical journal «Vestnik of Saint-Petersburg University of state fire service» [Vestnik Sankt-Peterburgskogo universiteta gosudarstvennoj protivopozharnoj sluzhby], N 2. – Pp. 36–42.
3. Aleksandrov M. A., Skorokhodov D. A. (2013). Analysis of methods and algorithms of reliability evaluation of the object transport system with arbitrary distributions [Analiz metodiki i algoritma ocenki nadyozhnosti ob'ekta transportnoj sistemy pri proizvod'nyh zakonah raspredeleniya]. Sea Bulletin [Morskoy vestnik], N 4 (48). – Pp. 100–102.
4. Kopytov V. Y., Skorokhodov D. A. (2015). Determination of the life of pumps in multiple modes of operation [Opredelenie resursa nasosov v razlichnyh rezhimakh raboty]. Sea Bulletin [Morskoy vestnik], N 1 (53). – Pp. 52–54.
5. Gavrilov A. N., Skorokhodov D. A. (2015). Computational studies of the purification and cooling of exhaust gases of a heat engine [Raschyotnye issledovaniya sistemy ochistki i ohlazhdeniya otrabotavshih gazov teplovogo dvigatelya]. Sea Bulletin [Morskoy vestnik], N 3 (55). – Pp. 47–48.
6. Verholantsev A. A., Voytyuk A. N., Skorokhodov D. A. (2009). Principles of measurement of ultra-small deformations of the propeller shaft [Principy izmerenij sverhmalyh deformacij grebnogo vala]. Marine intellectual technologies [Morskije intellektual'nye tekhnologii], N 2. – Pp. 47–48.
7. Pan'kov K. Yu., Skorokhodov D. A. (2008). Functional reliability of submarine traffic control systems [Funkcional'naya nadyozhnost' sistem upravleniya dvizheniem podvodnyh lodok]. Gyroscopy and navigation [Giroskopiya i navigaciya], N 2. – Pp. 49–54.
8. Volodin V. V. (1993). Reliability in technique. Scientific, technical, economic and legal aspects of reliability [Nadezhnost' v tekhnike. Nauchno-tekhnicheskie, ekonomicheskie i pravovye aspekty nadezhnosti]. Moscow, Institute of machines science named. A. A. Blagonravova, MNTK «Reliability of machines» [Institut mashinovedeniya im. A. A. Blagonravova, MNTK «Nadezhnost' mashin» RAS]. – Pp. 119–123.
9. Ryabinin I. A. (1997). Reliability, survivability and safety shipboard electric power systems [Nadezhnost', zhivuchest' i bezopasnost' korabel'nyh ehlektroehnergeticheskikh system]. St. Petersburg, VMA im. N. G. Kuznetsov. – 433 p.
10. Buravlev A. I., Dotsenko B. I., Kazakov I. E., Ls. Ed. I. E. Kazakov (1995). Technical condition control of dynamic systems [Upravlenie tekhnicheskim sostoyaniem dinamicheskim system]. Moscow, Mechanical Engineering [Mashinostroenie]. – 240 p.

11. Ivchenko B. P., Martyshchenko L. A., Monastersky M. L. (1997). The theoretical foundations of information and statistical analysis of complex systems [Teoreticheskie osnovy informacionno statisticheskogo analiza slozhnyh system]. St. Petersburg. – 247 p.

*Статья представлена к публикации членом редколлегии Вл. В. Сапожниковым
Поступила в редакцию 19.06.2017, принята к публикации 28.07.2017*

БОГДАНОВ Андрей Геннадьевич – заместитель директора ЗАО «Центральный научно-исследовательский институт судового машиностроения».
e-mail: sudmash@sudmash.ru

СКОРОХОДОВ Дмитрий Алексеевич – доктор технических наук, профессор, главный научный сотрудник Института проблем транспорта им. Н. С. Соломенко Российской академии наук.
e-mail: skorohodda@mail.ru

© Богданов А. Г., Скороходов Д. А., 2017