

Частичный отказ в теории надежности.

А.И. Зотов¹, В.В. Грищенко¹, А.В. Черпаков^{1,2}

¹Донской государственной технической университет, г.Ростов-на-Дону, Россия

²Южный федеральный университет, г.Ростов-на-Дону, Россия

Аннотация: Анализируется ГОСТовское определение понятия «частичный отказ», и предлагается расширение показателей, характеризующих особенностей таких отказов. Показано, что это обусловлено отличиями частичного отказа от полного, связанными с возможностью продолжения использования технического устройства по назначению в условиях частичной потери (вследствие поражения) предписанных функций. Это крайне важно для устройств, обладающих высокой производительностью и большими потерями за счет простоя. Авторами предлагаются показатели, помогающие анализировать частично работоспособную систему с позиции продолжения функционирования по назначению без оперативного устранения проявившегося частичного отказа. Сделаны предложения по содержанию и целям использования моделей частичных отказов. Утверждается, что таких моделей может быть несколько и в них должны найти отображения в виде математического описания риски, связанные с характеристиками распространения таких отказов и их влиянием на возможные экономические выгоды и потери.

Ключевые слова: частичный отказ, теория надежности, показатели надежности при частичном отказе, риски продолжения функционирования, принятие решений о продолжении функционировании.

Введение

Понятие частичный отказ (далее ЧО) используется в теории надежности как переходное звено между состояниями исправности и полного отказа. С этим понятием связывают состояние частичной неработоспособности объекта, которое трактуется чаще всего как невозможность выполнять некоторые (не все) функции, определенные конструкторско-технической документацией на анализируемое изделие. В некоторых случаях (чаще всего, когда объект – техническое однофункциональное изделие) понятие ЧО связывают с частичной потерей эффективности функционирования. Все это отображено в госстандартах, различных публикациях по проблемам надежности технических устройств (ГОСТ 27.003-90 «Надежность в технике. Состав и общие правила задания требований по надежности», ГОСТ 27.002-2009 «Надежность в технике. Термины и определения»).

Вместе с тем, ЧО крайне редко фигурирует в аналитических материалах, относящихся к решению задач построения моделей контроля и диагностирования технических устройств. В настоящее время практически отсутствуют важнейшие инструменты для теоретического подхода к разработке моделей ЧО и определению стратегий поведения (принятия решений) при их проявлении [1]. Это обусловлено следующими обстоятельствами.

Во-первых, статистические информационные накопления, относящиеся к ЧО, в абсолютном большинстве случаев не ведутся и крайне редко пополняются.

Во-вторых, используемые, в настоящее время, алгоритмы идентификации не предусматривают строгое разделение полученного выхода на отказ по критерию – полный или частичный.

В-третьих, множество показателей, относящихся к отказам, характеризуют ситуацию, когда продолжение функционирования объекта возможно лишь после восстановительных мероприятий [2,3]. В условиях ЧО, устройство может продолжать работать с учетом сложившейся ситуации. А это требует использования в оценках других показателей надежности, отличных от определяемых полных отказов. Возникают проблемы рисков, перераспределения функций, изменения нагрузки и др.

Хотя результаты проводимых аналитических и статистических исследований, связанные изучением ЧО, значительно уступают по объемам научных усилий, прилагаемых к изучению полных отказов, простыми логическими выводами можно прийти к следующим утверждениям:

— спектр возможных ЧО практически в любом техническом устройстве значительно шире, чем у полных отказов (по видам и местам проявления);

— выявление и идентификация ЧО отличаются более сложными алгоритмами распознавания (уже хотя бы, потому, что появляются дополнительные классификационные задачи);

— сложнее становятся алгоритмы контроля, особенно функционального, т.к. в процессе их реализации необходимую полноту проверок нужно повышать до такого уровня, когда соотношение возможных ошибок первого и второго рода отвечало бы заданным требованиям эффективности (добавляется ошибка решения о возможности продолжения функционирования).

Постановка задачи.

Ставится задача проведения исследований, связанных с расширением перечня показателей надежности технических устройств, путем его дополнения новыми, учитывающими специфические особенности ЧО. Другая задача (более емкая и сложная) относится к разработке концепции методик диагностирования ЧО и принятия решений о возможности продолжения функционирования устройства в условиях выявления такого отказа. Последнее связано с рисками переходов в более ущербные состояния или выигрышами за счет продуктивной работы до планового технического обслуживания и восстановительных мероприятий.

Учет ЧО при оценке надежности технических устройств.

Работа по анализу ЧО в горнодобывающих машинах [4] позволила внести предложения о возможности применения некоторых показателей, дополняющих перечень, установленный в ГОСТах, относящихся к надежности технических устройств. К таким показателям можно отнести следующие:

1. Коэффициент, характеризующий степень поражения ЧО многофункционального устройства (коэффициент поражения функций):

$$K_{п.ф} = \frac{N - n_{п.ф}}{N},$$

где N - число определенных технической документации, выполняемых функций устройством; $n_{п.ф}$ - число функций, поражаемых ЧО.

В силу того, что количество требуемых функций в зависимости от ситуации будет различным, можно сделать заключение о том, что влияние ЧО является ситуационно изменчивым. Если при отсутствии отказов $K_{п.ф} = 1$ (система является исправной), то при полном отказе можно считать $N = n_{п.ф}$, т.е. $K_{п.ф} = 0$. Для лучшего восприятия, можно использовать процентное измерение:

$$K_{п.ф} = \frac{N - n_{п.ф}}{N} * 100\%.$$

2. Минимальное время распространения ЧО T_F^{min}

$$T_F^{min} = \min\{F_{Пот}^{min}, F_{ЧОj}^{min}\},$$

где $F_{Пот}^{min}$ - минимальное значение функции времени распространения отказа для случая, когда вторичный отказ, вызванный перераспределением нагрузки из-за ЧО, является полным ($i = \overline{1, n}$, n - число возможных зависимых полных отказов); $F_{ЧОj}^{min}$ - минимальное значение функции времени распространения отказа для случая, когда вторичный зависимый отказ также является частичным ($j = \overline{1, m}$, m - число возможных зависимых частичных отказов).

3. $K_{вз}^{ЧО}$ - коэффициент временного запаса, рассматриваемый как отношение T_F^{min} к времени от момента проявления ЧО до момента планового восстановительного ремонта изделия $T_{пл.в}$

$$K_{\text{вз}}^{\text{ЧО}} = \frac{T_{\text{Р}}^{\text{min}}}{T_{\text{пл.в}}}$$

Для полных отказов ГОСТ 27.003-90 (Надежность в технике) устанавливают 37 численных показателей надежности, правила выбора их номенклатуры и применимости к расчетам в зависимости от целей оценки и вида изделий (I и II). Вместе с тем, деление на вид I (два возможных состояния: работоспособное или неработоспособное) и вид II (множество частично неработоспособных состояний делится на подмножество работоспособных и неработоспособных состояний) не конкретизирует задачи оценки, особенно для случаев, когда ЧО определяется только значением коэффициента сохранения эффективности ($K_{\text{эф}}$).

При установлении допустимого (граничного) значения $K_{\text{эф}}$, изделия вида II приводятся к виду I, а уровень влияния последствий ЧО нивелируется, что негативно сказывается на принятии решений с учетом риска.

Модель ЧО безусловно носит вероятностный характер, как в части появления таких отказов, так и в части последствий их проявления.

Само определение возможности использования частично неисправного изделия для работы по назначению (даже в облегченном режиме), является хотя и обоснованным (продуманным, просчитанным), но риском, т.к. учет влияния внешних и внутренних факторов в полном объеме произвести нельзя. Поэтому модель ЧО будет стохастической с учетом условных вероятностей. В настоящее время просматривается возможность использования для этих целей Байесовских сетей. Трудности – в крайне скромном статистическом материале для условных вероятностей. [2]

Некоторое облегчение может дать применение аппарата нечетких множеств, особенно в части построения систем диагностики с учетом

необходимости не только локализации, но и идентификационной классификации отказов [4].

Задачи распознавания для относительно простых систем можно разработать с учетом их реализации на нейросетях [5].

Однако, наиболее реальным направлением практического применения методов управления состояниями сложных технических устройств в условиях ЧО является построение экспертной системы во взаимодействии с системами поддержки принятия решения (ЭСППР).

Вопросы управления состоянием технических устройств в условиях ЧО.

Главная задача управления техническим устройством в условиях возникновения и распознавания в нем ЧО является принятие решения на дальнейшее продолжение функционирования по назначению. В такой задаче возникает проблема оценки риска распространения отказа, т.е. перехода из состояния частичной неисправности в состояние неспособности выполнять заданные функции. Необходимо определить границы риска и критические точки изменения фактора риска. Оцениваются возможные сценарии принимаемого решения и вероятности последствий, как и в любой ЭС могут быть использованы субъективные и объективные экспертные мнения. [2, 6-8].

Для субъективных методов необходимо проводить операции ранжирования уровней рисков, что, при недостаточности данных и субъективности независимых экспертов, создает условия для возможного появления серьезных погрешностей в моделях формирования выводов.

Объективные методы относятся в большей степени к статистическим видам и требуют достоверных данных. При соблюдении этих условий оценки рисков с использованием сетей Байеса не вызывают трудностей.

К объективным методам также относятся аналитические методы, с помощью которых возможна оценка рисков вторичных отказов, с учетом сферы применения анализируемых объектов. В настоящее время чаще других используются следующие методы:

- анализ чувствительности;
- метод частичного баланса;
- имитационные методы.

Сущность этих методов и особенности их применения широко освещены в информационных источниках по ЭС [9]. Общим недостатком, ограничивающим использование этих методов в оперативном управлении рисками, является большая размерность количества возможных задач и их решений для последующего использования накопленного аналитического материала при принятии решений [10, 11]. Однако отдельные частные задачи при этом попадают в математические пакеты ЭС и способствуют проведению качественных оценок. Например, задача нахождения вероятностного порога риска возникновения вторичного отказа и затрат на проведения восстановления.

В Гарвардском университете разработали специальные математические пакеты GeNie2 или Risk – Master, позволяющие моделировать ситуации с рисками. Они позволяют в графической форме представлять результаты исследования всевозможных вариантов развития конкретной ситуации. Однако, получение вероятностного распределения основывается на четырех видах анализов сценариев и шести функциональных анализах видов и последствий каждого ЧО. Это подтверждает факт колоссальной размерности задач моделей распространения отказов с использованием аналитических методов [5].

Заключение

Таким образом, в настоящее время можно считать, что в теории надежности ветвь исследований, относящихся к ЧО, не достигла уровня, позволяющего получать результаты для научного обоснования принятия оперативных решений в конкретно складывающихся ситуациях при эксплуатации многих технических устройств.

Оценка ЧО требует:

- введения качественно новых параметров для анализа ЧО;
- расширения числа решаемых задач и базы параметров, характеризующих состояния системы;
- модернизации системы контроля и диагностики с применением более сложных алгоритмов.

Благодарности

Авторы благодарны организаторам, профессору Нейдорфу Р.А., доценту Кудинову Н.В., и участникам IX Международной научной конференции «Системный анализ, управление и обработка информации», состоявшейся 20-26 сентября 2018 года в СОСК ДГТУ «Радуга» (пос. Дивноморское), где были доложены основные положения настоящей статьи, вызвавшие интерес и получившие одобрения в обсуждениях и комментариях.

Работа публикуется при финансовой поддержке Гранта РФФИ согласно Договору №18-07-20056 Г.

Литература

1. Shubinsky I. B. Topological semi-markov method for calculation of stationary parameters of reliability and functional safety of technical systems. Reliability: Theory&Applications, 2012. pp.12-22.

2. Kolowrocki K., J. Soszynska J. Reliability, risk and availability based optimization of complex technical systems operation processes. Part 1. Theoretical backgrounds, Reliability: Theory & Applications, 2009. pp.264-266.

3. Егорочкина И.О., Шляхова Е.А., Черпаков А.В., Кучеренко Д.Ю., Манвелян Л.А. Алгоритм выполнения ремонтных работ по восстановлению стоек опор ЛЭП // Инженерный вестник Дона, 2016, №4. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4y2016/3882.

4. Алексеев А.А., Кораблев Ю.А., Шестопапов М.Ю. Идентификация и диагностика систем. «Автоматизация управления ИЦ «Академия». М.: 2009. С. 227-230.

5. Дорожко И.В., Тарасов А.Г., Барановский А.М. Оценка надежности структурно-сложных технических комплексов с помощью моделей Байесовских сетей доверия в среде GeNie // Intellectual Technologies Transport, 2015, №3. С. 36-45

6. He L., Xiao J., Huang H.-Z., Luo Z. System reliability modeling and analysis in the possibility context //International Conference on Quality, Reliability, Risk, Maintenance, and Safety Engineering, 2012, pp.361-368.

7. Наумов А.А., Айдинян А.Р. Надежность программного обеспечения и методы ее повышения // Инженерный вестник Дона, 2018, №2. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/N2y2018/4946.

8. Петренко С.Е. Параметры надежности эксплуатации насосных станций и мероприятия по их повышению // Инженерный вестник Дона, 2010, №4. URL: ivdon.ru/magazine/archive/n4y2010/256.

9. Полковникова Н.А., Курейчик В.М. Разработка модели экспертной системы на основе нечёткой логики // Известия Южного федерального университета. Технические науки, 2014, С. 83-91.

10. Сеченов М.Д., Щеглов С.Н. Языки программирования в экспертных системах // Известия Южного федерального университета. Технические науки, 1997, С. 92-99.

11. Козлова Т.Д., Игнатъев А.А., Самойлова Е.М. Реализация экспертной системы поддержки принятия решений для определения неисправностей технологической системы // Вестник СГТУ, №2 (56), 2011, С. 219-224.

References

1. Shubinsky I. B. Topological semi-markov method for calculation of stationary parameters of reliability and functional safety of technical systems. Reliability: Theory & Applications, 2012. pp.12-22.

2. Kolowrocki K., J. Soszynska J., Reliability, risk and availability based optimization of complex technical systems operation processes. Part 1. Theoretical backgrounds, Reliability: Theory & Applications, 2009. pp.264-266.

3. Egorochkina I.O., Shlyaxova E.A., Cherpakov A.V., Kucherenko D.Yu. Inženernyj vestnik Dona (Rus), 2016, №4. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4y2016/388.

4. Alekseev A.A., Korablev Yu.A., Shestopalov M.Yu. Identifikaciya i diagnostika system [Identification and diagnostation of systems]. «Avtomatizaciya upravleniya ICz «Akademiya». M.: 2009.227-230 pp.

5. Dorozhko I.V., Tarasov A.G., Baranovskij A.M. Intellectual Technologies Transport, №3, 2015. 36-45 pp.

6. He L., Xiao J., Huang H.-Z., Luo Z., System reliability modeling and analysis in the possibility context, International Conference on Quality, Reliability, Risk, Maintenance, and Safety Engineering, 2012.pp.361-368.

7. Naumov A.A., Ajdinyan A.R. Inženernyj vestnik Dona (Rus), 2018, №2. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/N2y2018/4946.



8. Petrenko S.E. Inženernyj vestnik Dona (Rus), 2010, №4. URL: ivdon.ru/magazine/archive/n4y2010/256.

9. Polkovnikova N.A., Kurejchik V.M. Izvestiya Yuzhnogo federal'nogo universiteta. Tekhnicheskie nauki, 2014, 83-91 pp.

10. Sechenov M.D., Shcheglov S.N. Izvestiya Yuzhnogo federal'nogo universiteta. Tekhnicheskie nauki, 1997, 92-99 pp.

11. Kozlova T.D., Ignat`ev A.A., Samojlova E.M. Vestnik SGTU, №2 (56), 2011, 219-224 pp.