
Модель выбора решения о продолжении функционирования технического объекта в условиях частичного отказа по критерию экономической целесообразности

А.И. Зотов, В.В. Гриценко

Донской государственный технический университет, г.Ростов-на-Дону, Россия

Аннотация: В настоящей статье рассматривается экономический подход к выбору режима продолжения работы системы в условиях проявления частичного отказа. Представлены характеристики каждой из стратегий продолжения функционирования объекта в постотказной период, среди которых время работы системы до момента проявления частичного отказа, предполагаемое время восстановления, вероятность безотказной работы при нахождении системы в исправной состоянии и в состоянии частичного отказа при неизменной средней производительности объекта исследований.

Ключевые слова: частичный отказ, коэффициент выигрыша по объему работы, вероятность безотказной работы, время восстановления, время работы в постотказной период.

Введение

В справочных и регламентирующих терминологию документах по надежности, частичный отказ (ЧО) классифицируется как отказ, который приводит к неспособности технического устройства выполнять некоторые, но не все, требуемые функции, определенные нормативно-технической документацией на рассматриваемый объект (Межгосударственный стандарт, ГОСТ 27.002 – 2015 «Термины и определения», ГОСТ Р 27.002 – 2009 «Надежность в технике. Термины и определения» (ИЕС 60050 (191) 2011 г.). Примерно так же трактуют это понятие международные документы аналогичного назначения (например, МЭК 60050, Глава 191. Международный электротехнический словарь). Иногда трактовка такова – ЧО может приводить к существенному снижению производительности. Если это переводить на единственную реализуемую функцию, то ЧО может снижать производительность, изменять некоторые временные характеристики режимов, снижать качество переходных процессов[1].

Постановка задачи.

Теория надежности в классическом аспекте почти полностью основывается на понятиях, относящихся к тем или иным отказам (внезапные, постепенные, сбои и т.д.). Классификации проводятся по различным признакам [2], но к основным можно отнести те, которые связаны с причинами возникновения и последствиями их проявления. Для объяснения и описания отказовых ситуаций используются различные модели отказов, в которых математическими, графическими или другими путями описываются динамика появления, развития отказов и действия по устранению последствий их проявления (ГОСТ 27.004 – 2009 «Надежность в технике. Модель отказов» 2010г.).

В части, касающейся логических объяснений появления, ЧО практически не отличаются от полных отказов []. Основные отличия – в постотказном пространстве. Для полных отказов все измерения относятся к режимам восстановления объекта. Для ЧО возможна постановка альтернативной восстановлению задачи – определиться с возможностью и последствиями продолжения функционирования без выполнения в полном объеме восстановительных процедур [4]. Объяснение сути и описание методики решения такой задачи может потребовать использования специфических методик, основанных на так называемых моделях распространения ЧО.

Описание модели.

Под моделью распространения ЧО будем понимать изменения, которые происходят в исследуемом объекте, пораженном ЧО (или группой ЧО) при условии, что принято решение о продолжении работы в создавшихся условиях. Такие изменения затрагивают, прежде всего, надежность сферу функционирования.

В материалах ГОСТов и словарей, относящихся к рассмотрению состояния технических объектов, отличных от исправного, приводится и трактуется множество терминов, определяющих те или иные состояния, однако состояние работы по назначению в условиях ЧО отображения не нашло. Можно такое состояние назвать состояниями частичного отказа (СЧО) объекта.

Принятие решения о продолжении функционирования в условиях СЧО может иметь экономическое обоснование [5]. Для рассмотрения его сущности необходимо определить некоторые свойства объекта исследований. Будем считать, что такой объект работает в стационарном режиме, через заранее установленное время (t_p) подвергается контролю состояния с восстановлением (регламенту), после чего снова вступает в рабочий режим. В случае проявления какого-либо отказа в межрегламентном временном пространстве, возможно, при обнаружении отказов провести оперативное восстановление (внеплановое), которое связано с временными и другими затратами [6]. После оперативного восстановления объект продолжает работать по назначению. Для простейшего случая рассматриваемая модель изменения надежности при функционировании может быть отображена графически, как это представлено на рис. 1 (отказы в межрегламентный период не возникают) и на рис. 2 (в межрегламентный период произошел отказ). При этом дальнейшее поведение системы по командам управления может развиваться по одному из двух возможных направлений:

- производится оперативное восстановление за время t^{OB} с последующим возвратом в рабочий режим (путь I);
- продолжается работа по назначению в условиях СЧО (путь II).

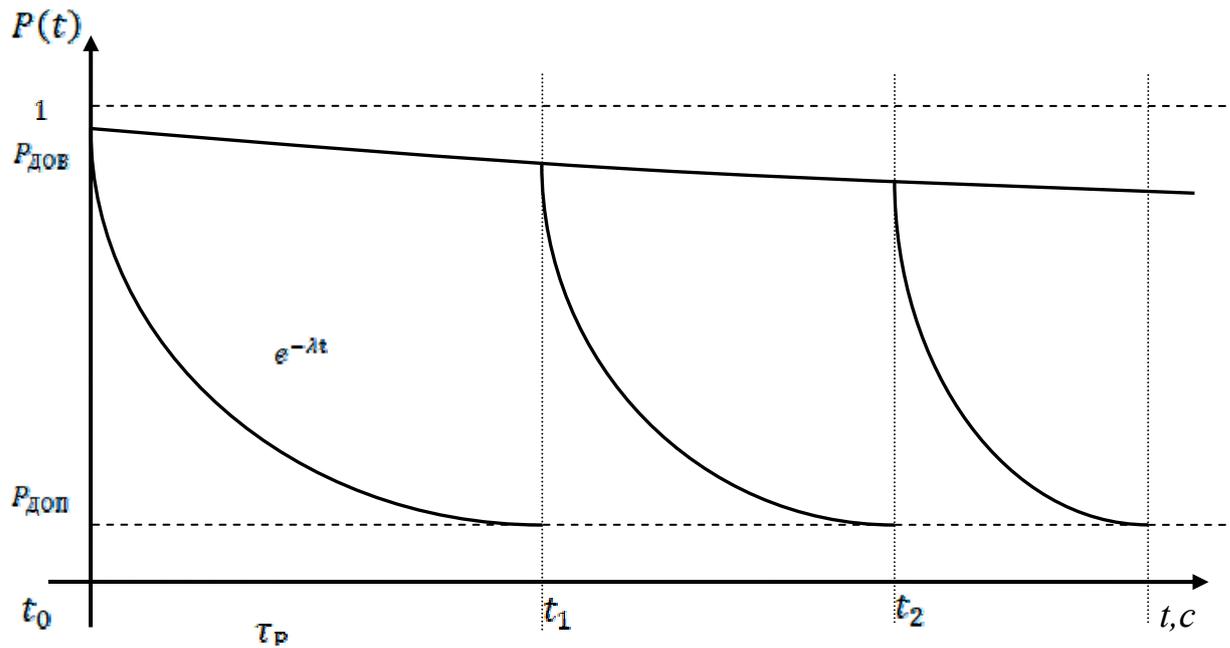


Рис.1. Изменение надежных характеристик объекта при полном контроле с доверительной вероятностью $P_{\text{ДОВ}}$.

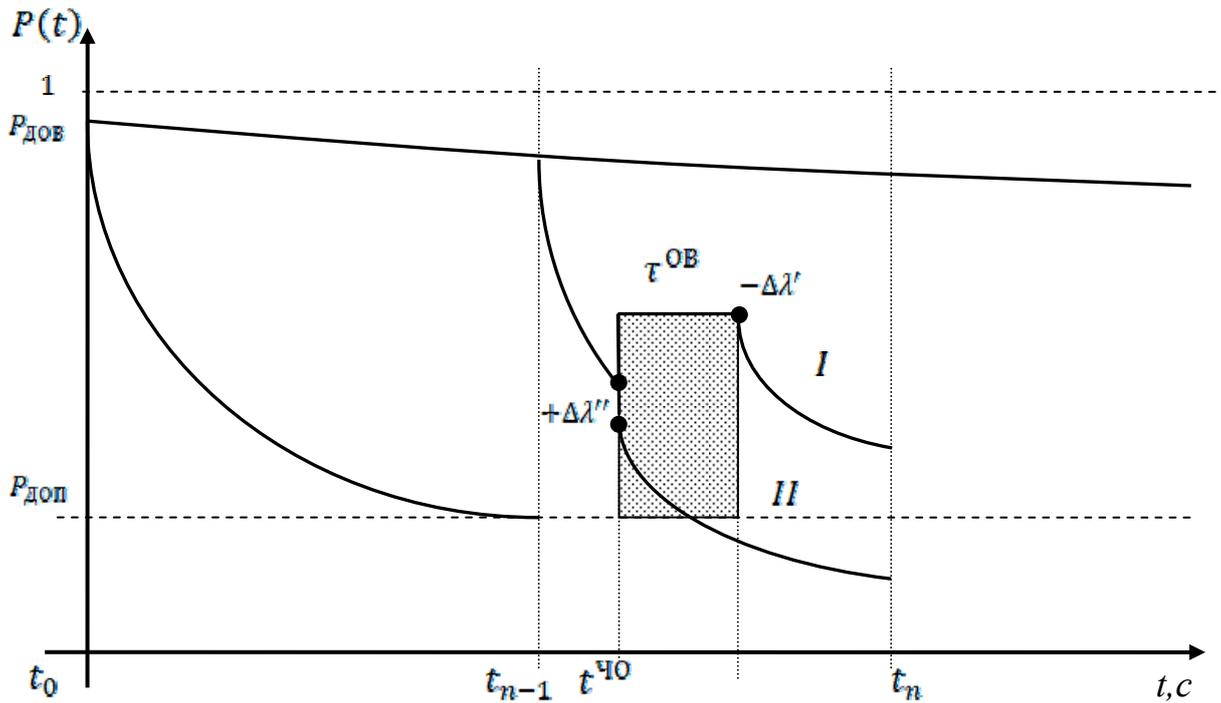


Рис.2. Изменение надежных характеристик объекта при полном контроле с доверительной вероятностью $P_{\text{ДОВ}}$ и проявлением одного ЧО в момент времени $t^{\text{ЧО}}$

На рисунках показано время оперативного восстановления τ^{OB} (в общем случае случайная величина), уровень допустимого снижения вероятности безотказной работы $R_{ДОП}$, определяющий появления рисков появления существенных отказов, изменения в значениях интенсивности отказов λ за счет частичного восстановления ($-\Delta\lambda'$) и перераспределения нагрузки ($+\Delta\lambda''$).

Из графика (рис. 2) видно, что при принятии решения на оперативное восстановление (путь I) наблюдается некоторый простой устройства τ^{OB} , величина которого является функцией многих технических, организационных, технологических и других факторов. Это же время простоя, в большинстве случаев, может быть распространено на взаимодействующее с объектом оборудование. Например, при простое карьерного экскаватора простаивают самосвалы (или вагоны и др.), которые участвуют в перемещении грунтов.

Если принимается решение о продолжении работы, то возникает риск появления новых отказов (в том числе существенных), связанных с рассматриваемым ЧО (путь II).

Подобные модели для различных вариантов организации контроля (например, полный и неполный), постоянных и изменяющихся по мере износа межрегламентных временных интервалов, с учетом потерь времени на проведение регламентных работ и без такого учета (этот случай рассмотрим в примере настоящей статьи), нашли применение для решения эксплуатационных задач. Однако в таких моделях случаи с ЧО не рассматривались. Легко получить аналитические зависимости для некоторых параметров, входящих в рассматриваемую модель. Для модели без ЧО взаимосвязь параметров будет отображаться соотношением (1):

$$\tau_P = -\frac{1}{\lambda} \ln \frac{R_{ДОП}}{R_{ДОВ}}, \quad (1)$$

Для пути I вероятность безотказной работы за межрегламентный период может рассматриваться как:

$$P^I(\tau_P) = P(\Theta_1) * P_1(\Theta_2) = e^{-\lambda\Theta_1} * e^{-\lambda_1\Theta_2}, \quad (2)$$

где λ - интенсивность отказов при нормальном функционировании объекта, $\lambda_1 = \lambda - \Delta\lambda_1$ - интенсивность отказов при функционировании объекта после оперативного восстановления (внепланового ремонта), $\Theta_1 = t^{ЧО} - t_{n-1}$ - время от конца предшествующего планового технического обслуживания до момента появления ЧО ($t^{ЧО}$), $\Theta_2 = \{t_n - [(t^{ЧО} - t_{n-1}) + \tau^{OB}]\}$ - время работы объекта в межрегламентный период после окончания внепланового ремонта до начала очередного планового обслуживания.

Для пути II вероятность безотказной работы за межрегламентный период τ_P будет:

$$P^{II}(\tau_P) = P(\Theta_1) * P_2(\Theta_3) = e^{-\lambda\Theta_1} * e^{-\lambda_2\Theta_3}, \quad (3)$$

где $\lambda_2 = \lambda + \Delta\lambda_2$ - интенсивность отказов при функционировании объекта в СЧО, Θ_3 - время работы объекта от момента проявления ЧО до начала очередного планового обслуживания, т.е. $\Theta_3 = t_n - t^{ЧО}$

Если принять, что производительность объекта во время работы по назначению существенно не изменяется на всем протяжении межрегламентного периода (кроме, конечно, времени внепланового ремонта, связанного с оперативным восстановлением), то по критерию выработки продукции коэффициент выигрыша k_B можно рассматривать как отношение:

$$k_B = \frac{P^I(\tau_P)}{P^{II}(\tau_P)}, \quad (4)$$

Если выработка линейно зависит от времени работы, то коэффициент выигрыша по выработке из (4) будет:

$$k_B = \frac{V\Theta_2 * P^I(\tau_P + \tau^{OB})}{V\Theta_3 * P^{II}(\tau_P)} = \frac{V\Theta_2 * P(\Theta_1) * \Theta_1 * P^I(\Theta_2)}{V\Theta_3 * P(\Theta_1) * \Theta_1 * P^{II}(\Theta_3)} = \frac{\Theta_2 * P^I(\Theta_2)}{\Theta_3 * P^{II}(\Theta_3)} \quad (5)$$
$$= \frac{\Theta_2}{\Theta_3} * \frac{P^I(\Theta_2)}{P^{II}(\Theta_3)} = \frac{\Theta_2}{\Theta_3} * e^{-(\lambda_1\Theta_2 - \lambda_2\Theta_3)},$$

Здесь V - производительность в единицу времени. Второй сомножитель всегда будет иметь значение $e^{-(\lambda_1\Theta_2 - \lambda_2\Theta_3)} > 1$, в то время как первый сомножитель при $\tau^{OB} > 0$ дает значение $\frac{\Theta_2}{\Theta_3} < 1$. Таким образом, соотношение (5) может рассматриваться как регулятор выбора пути дальнейших рациональных действий при ЧО.

Из(5) вытекает, что экономическая целесообразность выбора пути может быть представлена сложной функцией F_{BII} нескольких переменных

$$F_{BII} = \langle t^{ЧО}, \Delta\lambda_1, \Delta\lambda_2, \tau^{OB}, \lambda, \tau_P \rangle, \quad (6)$$

значения которых носят случайный характер и определяются соответствующими законами распределения. Это указывает на то, что задача аналитического решения не имеет. К тому же, даже в рассматриваемой очень простой модели принято немало допущений, которые в реалии могут оказаться существенными и их учет станет обязательным [8]. В отдельных реальных случаях задача выбора пути может не стоять (например, ЧО в авиации, на флоте и др.), и тогда критерии целесообразности будут определяться из условий живучести, но уже только для пути II.

Некоторое увеличение информационного поля решения подобных задач может быть достигнуто путем разработки комплекса моделей, описывающих другие свойства ЧО [9,10]. Например, модель деграционных процессов или временная модель распространения ЧО.

Выводы.

Задача выбора пути дальнейшего действия по экономическим соображениям в случае проявления ЧО относится к классу сложных, требующих перехода от стохастической общей модели к поиску частного

(точечного) решения. При наличии всей информации о показателях безотказности, временных затратах на оперативное восстановление и организации планового обслуживания, поддерживающее решение может быть найдено с помощью несложных расчетов.

Учитывая чрезвычайно большой спектр возможных ЧО (по месту проявления, причинам и видам), расчетный способ поддержки принятия решений представляется труднореализуемым даже при значительной вычислительной мощности управляющих средств. Решение может перейти в область экспертных оценок.

Литература

1. Харисов Г.Ч., Бирюков Р.Н., Сидоренко Г.Г., Мирзаянц А.В. Надежность технических систем и техногенный риск. Электронное учебное пособие. Академия ГПС МЧС России: М. 2012, с.33-39.

2. Правиков Ю. М., Муслина Г.Р. Основы теории надежности технологических процессов в машиностроении. Учебное пособие, Ульяновск, 2015, с.13-16.

3. Браганец С.А., Гольцов А.С., Савчиц А.В. Система адаптивного управления и диагностики сервомоторов направляющего аппарата гидроагрегата. // Инженерный вестник Дона, 2013, №3. URL: ivdon.ru/uploads/article/pdf/IVD_83_braganets.pdf_1807.pdf.

4. Зотов А.И., Гриценко В.В., Черпаков А.В. Частичный отказ в теории надежности. // Инженерный вестник Дона, 2018, №4. URL: ivdon.ru/uploads/article/pdf/IVD_156N4y18_Gricenko.pdf_935280522c.pdf.

5. Репин С.В., Чмилъ В.П., Зазыкин А.В. Расчетные модели обеспечения работоспособности и эффективности транспортно-технологических машин в эксплуатации. Учебное пособие. Спб. 2015, с.13-18.

6. Эдельман В.И. Надежность технических систем: экономическая оценка. М. 1988, 51с.

7. В. Tchórzewska-Cieślak Fuzzy failure risk analysis in drinking water technical system // Reliability: Theory & Applications, 2011, pp.138-148.

8. Antonov A., Chepurko V. Mathematical model for calculating reliability characteristics npp equipment under honhomogeneous flows failure. // Reliability: Theory & Applications, 2017, pp.38-56.

9. Зотов А.И., Гриценко В.В., Черпаков А.В. О понятии частичный отказ в горных машинах // сб. Системный анализ, управление и обработка информации, т.2. 2017, с.45-47.

10. Зотов А.И., Гриценко В.В., Черпаков А.В. Концептуальная модель интеллектуальной системы управления горной машиной. // Интеллектуальные технологии и проблемы математического моделирования. 2018, с. 22-24.

References

1. Kharisov G.Ch., Biryukov R.N., Sidorenko G.G., Mirzayancz A.V. Nadezhnost` texnicheskix system i texnogennyi risk [Reliability of technical systems and technological risk]. M. 2012, pp.33-39.

2. Pravikov Yu. M., Muslina G. R. Osnovy teorii nadezhnosti texnologicheskix processov v mashinostroenii [Basic the theory of reliability technological processes in mechanical engineering]. Ulyanovsk, 2015, pp.13-16.

3. Braganetc S.A., Gol`tsov A.S., Savchits A.V. Inženernyj vestnik Dona (Rus), 2013, №3. URL: ivdon.ru/uploads/article/pdf/IVD_83_braganets.pdf_1807.pdf.

4. Zotov A.I., Gritsenko V.V., Cherpakov A.V. Inženernyj vestnik Dona (Rus), 2018, №4. URL: ivdon.ru/uploads/article/pdf/IVD_156N4y18_Gricenko.pdf_935280522c.pdf.

5. Repin S.V., Chmil` V.P., Zazykiyan A.V. Raschetnye modeli obespecheniya rabotosposobnosti i effektivnosti transportno-texnologicheskix mashin v



eksploatacii [Computational models to ensure the efficiency and effectiveness of transport and technological machines in operation]. StP. 2015, pp.13-18.

6. Edelman V.I. Nadezhnost' texnicheskix sistem: ekonomicheskaya ocenka [Reliability of technical systems: economic evaluation]. M. 1988, 51p.

7. B. Tchórzewska-Cieślak Fuzzy failure risk analysis in drinking water technical system. Reliability: Theory & Applications, 2011, pp.138-148.

8. Antonov A., Chepurko V. Reliability: Theory & Applications, 2017, pp.38-56.

9. Zotov A.I., Gritsenko V.V., Cherpakov A.V. sb. Sistemniy analiz, upravlenie i obrabotka informacii, 2017, pp.45-47.

10. Zotov A.I., Gritsenko V.V., Cherpakov A.V. Intellektual'nye texnologii i problem matematicheskogo modelirovaniya, 2018, pp.22-24.