

ВЫБОР ОПТИМАЛЬНОЙ СТРАТЕГИИ УПРАВЛЕНИЯ НАДЕЖНОСТЬЮ И РИСКОМ НА ЭТАПАХ ЖИЗНЕННОГО ЦИКЛА СЛОЖНОЙ СИСТЕМЫ

А. К. Гришко

Введение и постановка задачи

В приборостроении процессы управления надежностью на этапах жизненного цикла сложных технических систем (СТС) включают в себя анализ и оценку надежности, а также меры по ее повышению. Управлять надежностью необходимо на всех этапах: проектирования, производства, эксплуатации и технического обслуживания, модернизации, прекращения эксплуатации и демонтажа [1–3].

На этапах проектирования и производства необходимо выявить источники отказов; оценить надежность конструкции СТС в целом; определить и оценить возможные меры по повышению надежности, закладываемые в конструкцию СТС; оценить возможность возникновения потенциально опасных ситуаций, которые приводят к снижению надежности; проанализировать альтернативные конструктивные решения с позиции надежности.

На этапе, который включает в себя монтаж, эксплуатацию и техническое обслуживание оборудования, необходимо решить следующие задачи: проконтролировать и оценить эксплуатационные данные для сопоставления фактических показателей, которые характеризуют надежность оборудования и определяют требования к ее уровню; проанализировать статистическую информацию об основных источниках, снижающих надежность; проанализировать данные об интенсивности отказов для оперативного принятия решений; определить степень влияния изменений в структуре производства, техпроцессах и изменений в структуре проектируемой системы на надежность.

На этапе жизненного цикла, предполагающего прекращение эксплуатации СТС, необходимо проанализировать возможность дальнейшего обеспечения надежности с целью продления срока эксплуатации.

Надежность СТС характеризуют три необходимых условия:

- наличие неопределенности;
- необходимость выбора альтернативного варианта (отказ от выбора – разновидность выбора);
- возможность оценить вероятность реализации выбираемых альтернативных вариантов ее повышения.

Вероятность появления отказов СТС рассчитывается на основе применения статистического подхода. Обработка результатов расчетов этих вероятностей позволяет определить параметр ω_j^* потока отказов для каждого временного интервала с момента монтажа элементов СТС [3–5]:

$$\omega_j^* = \frac{m_j}{\Delta t},$$

где m_j – количество отказов j -го элемента СТС в течение интервала времени Δt .

Функция надежности (ФН) для каждого параметра потока отказов будет выглядеть следующим образом:

$$N_j(t) = e^{-\omega_j t},$$

где ω_j – среднее значение ω_j^* .

У вероятности отказа элементов СТС $P_j(t)$ и ФН имеется [6–9] следующая зависимость:

$$P_j(t) = 1 - N_j(t).$$

Эта зависимость позволяет производить ее оценку с течением времени.

Методика выбора оптимальной стратегии управления

Поскольку выбор оптимальной стратегии действий, сохраняющих параметры надежности СТС в заданных пределах, – важная и первостепенная задача, для анализа этих стратегий необходимо сделать следующее [10–12]:

- устранить нежелательные события;
- оценить любые последствия, являющиеся результатом нежелательных событий;
- учесть существующие меры, смягчающие последствия, вместе со всеми соответствующими условиями, которые влияют на эти последствия;
- сформировать критерии, которые используются для полной идентификации последствий;
- учесть как немедленные последствия, так возможные с течением времени;
- учесть вторичные последствия, влияние которых распространяется на смежные СТС и оборудование.

На рис. 1 показаны возможные варианты реализации четырех стратегий, начиная с некоторого момента времени 1 и до некоторого момента времени 5. При этом имеется возможность принятия одного из четырех решений $\varphi_1, \dots, \varphi_4$, в результате которых будут определены соответствующие стратегии S_1, \dots, S_4 .

Ось ординат на рисунке служит для отображения количественных значений надежности (наработка на отказ в часах) при решениях f_1, \dots, f_4 для каждого момента времени в условных единицах, откладываемого по оси абсцисс.

При этом если выбрана стратегия S_1 , то риск достигнет уровня f_1 лишь в том случае, если имеются наиболее благоприятные внешние условия θ_1 для реализации этой стратегии. Причем если внешние условия сложились благоприятно для стратегии $S_4(\theta_4)$, а сделан выбор стратегии S_1 , то уровень надежности СТС становится выше.

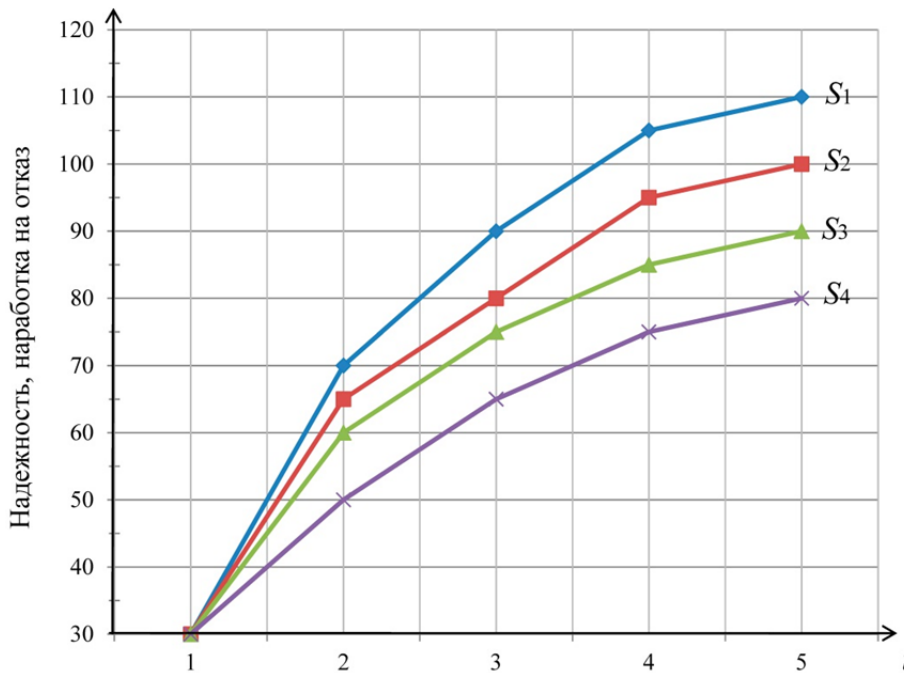


Рис. 1. Реализация стратегий управления надежностью

Для дальнейшего изложения материала вводим понятие оценочного функционала $F = \{f_Q\}$, который определяет ситуацию принятия решений в виде оценочной матрицы [13–15]. Она состоит из элементов f_Q , являющихся количественными оценками принятого решения $\varphi_Q \in \hat{O}$ при условии нахождения внешней среды в состоянии $\theta_j = \Theta$:

$$F = \begin{matrix} & \varphi_1 & \dots & \varphi_Q & \dots & \varphi_M \\ \begin{matrix} \varphi_1 \\ \dots \\ \varphi_{J1} \\ \dots \\ \varphi_{N1} \end{matrix} & \dots & \varphi_{1Q} & \dots & \varphi_{1M} & \theta_1 \\ & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ & \dots & \varphi_{JQ} & \dots & \varphi_{JM} & \theta_J \\ & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ & \dots & \varphi_{NQ} & \dots & \varphi_{NM} & \theta_N \end{matrix}.$$

Здесь $\{\varphi_1, \dots, \varphi_M\}$ – множество решений, которые определяют выбор соответствующих стратегий управления $\{S_1, \dots, S_M\}$; $\{\theta_1, \dots, \theta_N\}$ – множество состояний внешней среды, которая может находиться в одном из них $\theta_j = \Theta$; f_Q – множество количественных оценок принятого решения (уровень надежности СТС), если выбрана стратегия Q при условии нахождения внешней среды в состоянии J .

Формирование вероятностно-статистических критериев надежности

Наилучшую стратегию, оптимизирующую управление надежностью СТС, можно определить, оценивая матрицу (1) с помощью вероятностно-статистических критериев.

Оценку распределения вероятностей $P_j = P\{\theta_j\}$ на множестве состояний $\theta_j = \Theta$, которые заданными множествами $\hat{O} = \{\varphi_1, \dots, \varphi_M\}$ и $\Theta = \{\theta_1, \dots, \theta_N\}$, будем проводить на основе применения критерия Байеса.

Суть байесовского подхода заключается в минимизации математического ожидания оценочного функционала и подразумевает преобразование выражений априорных вероятностей в апостериорные. В соответствии с этим критерием оптимальным решением $\varphi_{\hat{E}0} \in \hat{O}$ будет считаться то, для которого минимум математического ожидания надежности достигает своего максимального значения [16–18]:

$$B(P, \varphi_{q0}) = \min_{\varphi_Q \in \Phi} B(P, \varphi_Q) = \min_{\varphi_Q \in \Phi} \left[\sum_{J=1}^N P_J f_{JK} \right] = \sum P_J f_{JK0},$$

$$B(P, \varphi_Q) = \sum_{J=1}^N P_J f_{JK}.$$

Величина B будет являться байесовым значением оценочного функционала, позволяющего найти решение $\varphi_{\hat{E}} \in \hat{O}$.

В том случае если лицу, принимающему решение, необходимо в первую очередь учитывать наихудшие условия, то рекомендуется выбирать как основную ту стратегию, при которой уровень надежности в наихудших условиях будет максимальным. Применяемый в таких случаях критерий Вальда будет обеспечивать принятие решения $\varphi_{\hat{E}0}$, которое удовлетворяет условию

$$\tilde{f}_{Q0} = \min_{\varphi_Q \in \Phi} \max_{\theta_j \in \Theta} f_{JK}.$$

В соответствии с критерием Вальда оптимальным решением будет $\varphi_{\hat{E}0} \in \hat{O}$, для которого выполняется

$$\tilde{f}_{Q0} = \min_{\varphi_Q \in \Phi} \max_{\theta_j \in \Theta} \{f_{JK}\} = \min_{\varphi_Q \in \Phi} \{\tilde{f}_K\}$$

при условии $B(P^0, \varphi_{Q0}) \geq B_0$, где B_0 и P^0 будут заданы соответствующими требованиями.

Каждый из критериев выбирается с учетом конкретной ситуации.

Анализ рисков СТС, определяющих их надежность, в соответствии с источниками [1–3] будет представлять собой некоторый структурированный процесс. Цель процесса заключается в определении вероятности и количественной оценки неблагоприятных последствий исследуемых действий, объектов или систем. Таким образом, анализ рисков позволяет:

- идентифицировать опасность;
- проанализировать вероятность (частоту) отказов;
- проанализировать последствия этого события.

Для того, чтобы оценить технический риск R , учитывая экономический ущерб, необходимо применить следующее выражение [4]:

$$R = A \cdot P,$$

где A – величина экономического ущерба от рискового события; P – значение вероятности возникновения рискового события.

Величину P можно определить по выражению условной вероятности:

$$P = P_0 \cdot P_A,$$

где P_0 – значение вероятности отказа элемента (узла) СТС; P_A – значение вероятности возникновения рискового события вследствие этого отказа.

Построение «дерева отказов»

Для того, чтобы определить вероятности P_A , необходимо выявить причинно-следственные связи между рисковыми событиями. Для этого используют логико-графические методы анализа «деревьев отказов». Это позволяет выявить комбинации отказов СТС, ошибок персонала и нештатных внешних воздействий техногенного или природного характера, которые приводят к головному событию.

Построение «дерева отказов», описывающего причины возникновения нештатных ситуаций, будет включать несколько головных (рисковых) событий, каждое характеризующееся соответствующим экономическим ущербом A_i , $i = 1 \dots L$, где L – количество этих событий, соединенное с набором соответствующих нижестоящих событий (ошибок, отказов, неблагоприятных внешних воздействий), которые образуют причинные цепи, называемые сценариями. Связь между событиями в «узлах» деревьев определяется знаками «И» и «ИЛИ». Логический знак «И» означает, что вышестоящее событие возникает при одновременном наступлении нижестоящих событий. Вычисление вероятности вышестоящего события в этом узле производится путем перемножения вероятностей нижестоящих событий. Знак «ИЛИ» означает, что вышестоящее событие может произойти вследствие возникновения одного из нижестоящих событий.

Для каждого риска (вид аварии или нарушение техпроцесса) будут определяться события, при одновременном возникновении которых они появляются. Оценивается вероятность $P_{A_{ij}}$ того, что i -я авария возникнет из-за отказа j -го элемента СТС ($j = 1 \dots M$, где M – количество блоков, узлов СТС).

Чтобы определить количественную оценку технического риска R_{ij} в течение заданного периода времени t , воспользуемся следующим выражением:

$$R_{ij} = A_i P_j(t) P_{ij}.$$

И, соответственно, риск, который связан с отказом i -го элемента СТС, будет определяться

$$R_j = \sum_{i=1}^L R_{ij} = P_j(t) \sum_{i=1}^L A_i P_{ij}.$$

Заключение

Результаты оценки рисков СТС из-за отказов их элементов ранжируются с целью выявления «слабых мест». Эта процедура позволит снизить риски, например, путем уменьшения P_{ij}

(введение контроля со стороны оператора) или $P_j(t)$ (применение более надежных элементов СТС) или уменьшения временного интервала t (организация и проведение более частых планово-предупредительных ремонтных работ).

Библиографический список

1. Садыхов, Г. С. Модели и методы оценки остаточного ресурса изделий радиоэлектроники / Г. С. Садыхов, В. П. Савченко, Н. И. Сидняев. – М. : Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2013. – 502 с.
2. ГОСТ Р 51901-2002. Управление надежностью. Анализ риска технологических систем. – М. : Госстандарт России, 2002. – 26 с.
3. Гришко, А. К. Анализ применения методов и положений теории статистических решений и теории векторного синтеза для задач структурно-параметрической оптимизации / А. К. Гришко // Надежность и качество сложных систем. – 2016. – № 4 (16). – С. 26–34. DOI: 10.21685/2307-4205-2016-4-4.
4. Гришко, А. К. Анализ надежности структурных элементов сложной системы с учетом интенсивности отказов и параметрической девиации / А. К. Гришко // Модели, системы, сети в экономике, технике, природе и обществе. – 2016. – № 3 (19). – С. 130–137.
5. Гришко, А.К. Алгоритм поддержки принятия решений в многокритериальных задачах оптимального выбора / А. К. Гришко // Модели, системы, сети в экономике, технике, природе и обществе. – 2016. – № 1 (17). – С. 242–248.
6. Гришко, А. К. Анализ надежности сложной системы на основе динамики вероятности отказов подсистем и девиации параметров / А. К. Гришко // XXI век: итоги прошлого и проблемы настоящего плюс. – 2016. – № 6 (34). – С. 116–121.
7. Гришко, А. К. Оптимальное управление параметрами системы радиоэлектронных средств на основе анализа динамики состояний в условиях конфликта / А. К. Гришко // Известия высших учебных заведений. Поволжский регион. Технические науки. – 2016. – № 2 (38). – С. 102–111. DOI: 10.21685/2072-3059-2016-2-9.
8. Гришко, А. К. Определение показателей надежности структурных элементов сложной системы с учетом отказов и изменения параметров / А. К. Гришко // Измерение. Мониторинг. Управление. Контроль. – 2016. – № 2 (16). – С. 51–57.
9. Гришко, А. К. Анизотропная модель системы измерения и анализа температурных полей радиоэлектронных модулей / А. К. Гришко, Н. В. Горячев, И. И. Кочегаров // Измерение. Мониторинг. Управление. Контроль. – 2016. – № 1 (15). – С. 82–88.
10. Гришко, А. К. Оптимальное управление частотным ресурсом радиотехнических систем на основе вероятностного анализа динамики информационного конфликта / А. К. Гришко // Вестник Рязанского государственного радиотехнического университета. – 2016. – № 57. – С. 21–28. DOI: 10.21667/1995-4565-2016-57-3-21-28.
11. Гришко, А. К. Математическое моделирование системы обеспечения тепловых режимов конструктивно-функциональных модулей радиоэлектронных комплексов / А. К. Гришко, Н. В. Горячев, Н. К. Юрков // Проектирование и технология электронных средств. – 2015. – № 3. – С. 27–31.
12. Гришко, А. К. Управление электромагнитной устойчивостью радиоэлектронных систем на основе вероятностного анализа динамики информационного конфликта / А. К. Гришко, А. С. Жумабаева, Н. К. Юрков // Измерение. Мониторинг. Управление. Контроль. – 2016. – № 4 (18). – С. 66–75.
13. Гришко, А. К. Алгоритм оптимального управления в сложных технических системах с учетом ограничений / А. К. Гришко // Модели, системы, сети в экономике, технике, природе и обществе. – 2017. – № 1 (21). – С. 117–123.
14. Grishko, A. Management of Structural Components Complex Electronic Systems on the Basis of Adaptive Model / A. Grishko, N. Goryachev, I. Kochegarov, S. Brostilov, N. Yurkov // Modern Problems of Radio Engineering, Telecommunications, and Computer Science Proceedings of the XIIIth International Conference TCSET'2016 (February 23–26). – Lviv-Slavsko, Ukraine, 2016. DOI:10.1109/TCSET.2016.7452017.
15. Grishko, A. Parameter control of radio-electronic systems based of analysis of information conflict / A. Grishko // 13th International Scientific-Technical Conference on Actual Problems of Electronics Instrument Engineering (APEIE). – Novosibirsk, Russia, 2016. – Vol. 2. – P. 107–111. DOI: 10.1109/APEIE.2016.7806423.
16. Grishko, A. Dynamic Analysis and Optimization of Parameter Control in Radio Systems in Conditions of Interference / A. Grishko, N. Goryachev, I. Kochegarov, N. Yurkov // International Siberian Conference on Control and Communications (SIBCON). – Moscow, Russia, 2016. – P. 1–4. DOI: 10.1109/SIBCON.2016.7491674.
17. Application of the Model of the Printed Circuit Board with Regard to the Topology of External Conductive Layers for Calculation of the Thermal Conditions of the Printed Circuit Board / I. Rybakov, N. Goryachev, I. Kochegarov, A. Grishko, S. Brostilov and N. Yurkov // Journal of Physics: Conference Series. – 2016. – Vol. 803, № 1. – P. 1–6. DOI:10.1088/1742-6596/803/1/012130.

18. Grishko, A. Adaptive Control of Functional Elements of Complex Radio Electronic Systems / A. Grishko, N. Goryachev, N. Yurkov // International Journal of Applied Engineering Research. – 2015. – Vol. 10, № 23. – P. 43842–43845.

Гришко Алексей Константинович

кандидат технических наук, доцент,
кафедра конструирования
и производства радиоаппаратуры,
Пензенский государственный университет
(440026, Россия, г. Пенза, ул. Красная, 40)
E-mail: alexey-grishko@rambler.ru

Аннотация. Актуальность и цели. Конструкции радиоэлектронных средств различного назначения классифицируются как сложные системы и характеризуются многоуровневой иерархической структурой в виде отдельных узлов, блоков, модулей. Проектирование и производство высоконадежных систем бортовой радиоаппаратуры с длительным сроком функционирования – задача еще более сложная и актуальная, поскольку достаточно затруднительно управлять надежностью таких систем на всех этапах жизненного цикла. Целью данной статьи является разработка методики, позволяющей обеспечить требования надежности системы с учетом интенсивности отказов проектируемой системы в процессе эксплуатации. В качестве накладываемых ограничений выступает требование обеспечения минимума затрат для заданного уровня надежности системы на каждом этапе своего жизненного цикла. **Методы.** В статье используются методы теории управления, теории надежности сложных систем и вероятностно-статистические методы принятия решений, учитывающие динамику интенсивности отказов и процессы изменения параметров в процессе эксплуатации. Для оценки уровня надежности и степени риска применен байесовский подход. **Результаты.** Получена методика управления надежностью и риском на этапах проектирования, производства и эксплуатации сложных технических систем, позволяющая минимизировать экономические затраты. **Выводы.** Разработанную методику предлагается применять для выбора оптимальной стратегии управления надежностью на всех стадиях жизненного цикла сложных систем, когда отсутствие необходимой информации делает невозможным обеспечение минимальных общих затрат на каждом из его этапов.

Ключевые слова: надежность, риск, жизненный цикл, система.

Grishko Aleksey Konstantinovich

candidate of technical sciences, associate professor,
sub-department of radio equipment design
and production,
Penza State University
(440026, 40 Krasnaya street, Penza, Russia)

Abstract. Background. Design of radio-electronic means for various purposes are classified as a complex system and are characterized by a multilevel hierarchical structure in the form of separate units, blocks, modules. Design and manufacture highly reliable on-Board radio equipment with long life operation of the task is more complex because it is difficult to control the reliability of such systems in all stages of the life cycle. The purpose of this paper is to develop techniques that allow to provide requirements of system reliability subject to the failure rate of the designed system in use. As the imposed restrictions is the requirement to ensure minimum cost for a given level of system reliability at each stage of its life cycle. The purpose of this paper is to develop techniques that allow to provide requirements of system reliability subject to the failure rate of the designed system in use. As the imposed restrictions is the requirement to ensure minimum cost for a given level of system reliability at each stage of its life cycle. **Materials and methods.** The article uses the techniques of control theory, reliability theory of complex systems and probabilistic-statistical methods of decision making that takes into account the dynamics of the failure rate and the process parameters change in the process of operation. To assess the level of reliability and risk applied Bayesian approach. **Results.** Received management methods and reliability and risk in designing, production and operation of complex technical systems that minimize economic costs. **Conclusions.** The developed methodology is proposed to apply to select the optimal management strategy reliability at all stages of the life cycle of complex systems where the lack of adequate information makes it impossible to ensure a minimum total cost of each of its stages.

Key words: reliability, risk, life cycle, system.

УДК 621.396: 519.718

Гришко, А. К.

Выбор оптимальной стратегии управления надежностью и риском на этапах жизненного цикла сложной системы / А. К. Гришко // Надежность и качество сложных систем. – 2017. – № 2 (18). – С. 26–31. DOI 10.21685/2307-4205-2017-2-4.