УДК 629.7 DOI: 10.17587/mau.17.471-474

Г. П. Шибанов, д-р техн. наук, проф., вед. науч. сотр., gpshibanov@mail.ru,
Государственный летно-испытательный центр им. В. П. Чкалова

Обеспечение функциональной надежности электронных систем при неполной информации о состоянии их блоков

Рассмотрена математическая модель, в основу которой положена поглощающая марковская цепь, описывающая процессы появления отказов блоков электронного оборудования и накопления в них скрытых неисправностей. В модели принято допущение о том, что если неисправность не появилась в заданный короткий промежуток времени, то она не появится и в течение всего времени эксплуатации оборудования. При этом предполагается, что к моменту отказа основных блоков системы все скрытые неисправности уже проявились в процессе проведенных заводских и государственных испытаний.

Ключевые слова: *модель, электронная система, летательный аппарат, состояние блоков, неполная информация*

В процессе эксплуатации электронного оборудования, например бортовых электронных систем летательных аппаратов, обычно ограничиваются глубиной поиска мест неисправности до сменного блока. Вместе с тем, неблагоприятное воздействие различных факторов эксплуатации, например, вибрации, перегрузок, пыли, колебаний температуры и давления окружающей газовоздушной среды приводит со временем к изменению физико-химических свойств материалов и функциональных характеристик отдельных элементов. Такого типа изменения постепенно ведут к накоплению отрицательных эффектов и нарушению работоспособности элементов, узлов, схем, блоков и, как следствие, к полному их отказу. Поэтому для повышения функциональной надежности электронного оборудования целесообразно использовать не только традиционные пути резервирования и введения избыточности с перестройкой структуры, но и стремиться к уменьшению интенсивности накопления отрицательных эффектов в элементной базе, т. е. к уменьшению скорости старения элементов под воздействием неблагоприятных факторов эксплуатации.

С учетом сказанного оценка функциональной надежности электронного оборудования может быть получена с помощью математической модели, в основу которой положена поглощающая марковская цепь [1, 2]. Такая модель описывает процессы появления отказов блоков электронного оборудования и накопления в них скрытых неисправностей. Модель составлена при допущении, что если неисправность не появилась в заданный короткий промежуток времени, то она не появится и в течение всего времени эксплуатации оборудования. При этом предполагается, что к моменту отказа основных блоков системы должны проявиться все скрытые неисправности. Данное предположение не противоречит практике, поскольку к окончанию всех видов испытаний (лабораторных, заводских, государственных и др.), как правило, все скрытые неисправности и дефекты электронного оборудования проявляются, и причины их устраняются. Вместе с тем, в принятой модели отказ хотя бы одного из основных блоков оборудования отождествляется с отказом электронной системы в целом. Предполагается также, что неисправности, в том числе и скрытые, влияют на работоспособность оборудования независимо, и не учитывается тот факт, что они могут накапливаться в редко используемых блоках и проявляться лишь на одном очень редко применяемом режиме работы оборудования, но на таком режиме, который, например применительно к бортовым электронным системам летательного аппарата, обеспечивает вывод последнего из аварийной ситуации и гарантирует безопасность полета в экстремальных случаях [3—11].

В соответствии с рассматриваемой моделью доля d выявленных в процессе технической диагностики неисправностей принята равной 90 % и более от общего их числа. Соответственно, за тот же отрезок времени доля скрытых неисправностей $(1 - d)$ составляет в данной модели не более 10 % от общего числа неисправностей. Для наглядности, эту модель будем строить применительно к бортовому электронному оборудованию летательных аппаратов. Применительно к такому оборудованию предполагается, что все выявленные в полете неисправности устраняются при проведении технического обслуживания летательного аппарата, и что перед каждым очередным полетом бортовое оборудование полностью восстанавливается. Оставшиеся не выявленными скрытые неисправности учитываются в модели как потенциально опасные.

Интенсивность появления отказов блоков и накопления скрытых неисправностей и дефектов принимается постоянной по времени и равной λ.

Если $P_i(S)$ обозначить вероятность пребывания системы перед началом i-го полета в S-м состоянии ($S \to A, B, C, D$), то начальные условия для выполнения первого полета применительно, например, к бортовой электронной системе, состоящей из пяти блоков, можно представить в виде системы равенств

$$P_1(A) = 1;$$
$$P_1(C_1) = P_1(C_2) = P_1(B_1C_1) =$$
$$= P_1(B_1) = P_1(B_2) = P_1(D) = 0,$$

где $P_1(A)$ — вероятность того, что все блоки системы перед первым полетом будут исправны; $P_1(C_1)$, $P_1(C_2)$ — соответственно, вероятности того, что перед полетом в одном (C_1) и в двух блоках (C_2) будут иметь место скрытые неисправности, обнаружить которые в процессе подготовки системы к полету не удалось; $P_1(B_1)$, $P_1(B_2)$ — соответственно, вероятности того, что выявленные в процессе подготовки к первому полету в одном (B_1) и в двух блоках одновременно (B_2) неисправности не были устранены перед полетом; $P_1(B_1C_1)$ — вероятность того, что перед первым полетом в одном из блоков электронного оборудования имеется скрытая неисправность (B_1) и выявленная в этом же блоке неисправность (C_1) перед полетом не была устранена; $P_1(D)$ — вероятность того, что система в целом перед первым полетом оказалась неисправной.

Система уравнений, описывающая состояние электронного оборудования перед $(n+1)$-м полетом, будет иметь вид

$$P_{n+1}(A) = \frac{E_n(A) + E_n(B_1) + E_n(B_2)}{1 - E_n(D)}; \qquad (1)$$

$$P_{n+1}(C_1) = \frac{E_n(C_1) + E_n(B_1C_1)}{1 - E_n(D)}; \qquad (2)$$

$$P_{n+1}(C_2) = \frac{E_n(C_2)}{1 - E_n(D)}; \qquad (3)$$

$$P_{n+1}(B_1) = P_{n+1}(B_2) = P_{n+1}(B_1C_1) = P_{n+1}(D) = 0.$$

Здесь $E_n(D)$ — вероятность того, что после окончания n-го полета бортовая электронная система окажется в неисправном состоянии D ($D \to B_1, B_2, C_1, C_2, B_1C_1$).

Деление правой части уравнений (1), (2), (3) на $1 - E_n(D)$ позволяет получить оценку вероятности начала n-го полета при исправном состоянии электронного оборудования летательного аппарата.

На рис. 1 и 2 представлены графы марковских моделей появления неисправностей в полете для электронных систем с неизменной и изменяемой структурами, применительно к которым и были составлены приведенные выше уравнения состояний.

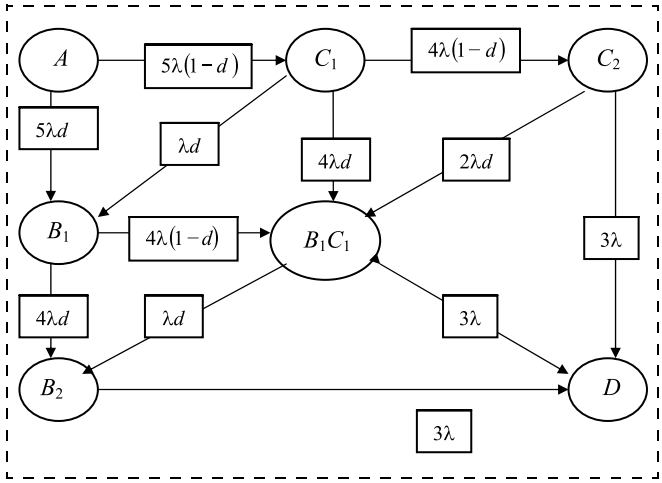

Рис. 1. Граф марковской модели появления неисправностей (дефектов) в полете для электронной системы, состоящей из пяти блоков и имеющей неизменную структуру

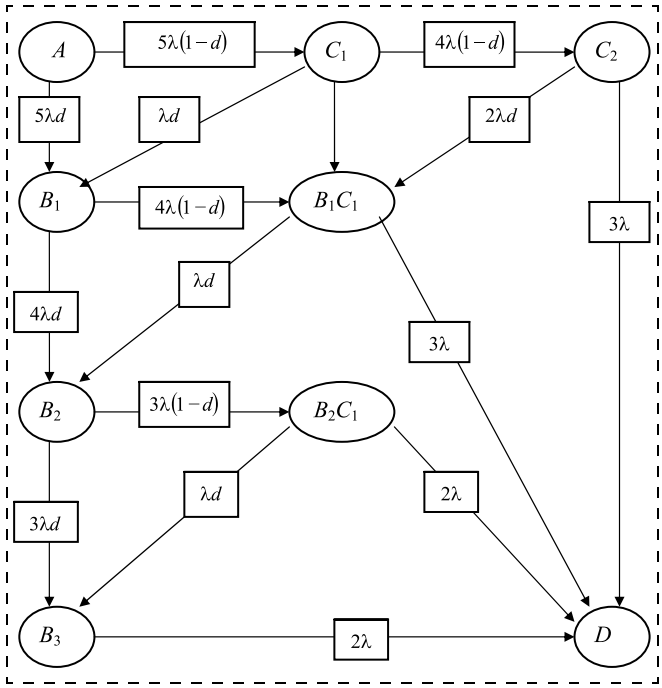

Рис. 2. Граф марковской модели появления неисправностей (дефектов) в полете для электронной системы, состоящей из пяти блоков и имеющей изменяемую структуру

Узлы, расположенные в левом верхнем углу графов (рис. 1, 2), обозначенные буквой A, соответствуют полностью исправному состоянию электронной системы. Узлы, обозначенные буквой D и расположенные в правом нижнем углу графов, отображают состояние электронной системы, при котором она полностью потеряла работоспособность. Все остальные узлы — вершины графов — отображают состояния, в которых оказывается бортовая электронная система при появлении неисправностей, практически мгновенно обнаруживаемых человеком или автоматическими средствами контроля (B_1, B_2, B_3) и скрытых неисправностей (C_1, C_2) или комбинации тех и других (B_1C_1; B_2C_1).

Дуги графов отображают интенсивности переходов системы из одного состояния в другое и характеризуют степень достоверности таких переходов. Сопоставительный анализ переходов графов, приведенных на рис. 1 и 2, показывает, что за счет избыточности и изменения структуры контролируемой системы при появлении неисправности отдельных блоков можно существенно повысить функциональную надежность бортового электронного оборудования летательных аппаратов. Однако следует помнить, что данный путь повышения функциональной надежности приводит к существенному увеличению стоимости бортового электронного оборудования и не всегда может быть оправдан с экономической точки зрения. Поэтому окончательному выбору путей повышения функциональной надежности должен предшествовать всесторонний комплексный анализ систем по критерию "эффективность — стоимость".

Список литературы

1. **Вентцель Е. С.** Теория вероятности. Второе издание, переработанное и дополненное. М.: Физматгиз, 1962. 564 с.
2. **Шибанов Г. П.** Основные понятия и количественные оценки, используемые в авиации и космонавтике. Англо-русский словарь-справочник для русскоязычных специалистов. М.: Издательский дом Академии им. Н. Е. Жуковского, 2013. 472 с.
3. **Авакян А. А.** Физическая модель и закон распределения отказов элементов и систем электроники // Сб. докл. Всеросс. НТК "XI научные чтения, посвященные памяти Н. Е. Жуковского. М.: Издательский дом Академии им. Н. Е. Жуковского, 2014. С. 371—380.
4. **Ашарина И. В.** Системное взаимное информационное согласование при параллельном, распределенном и отказоустойчивом решении в системе совокупности взаимодействующих целевых задач // Сб. докл. Всеросс. НТК "XII научные чтения, посвященные памяти Н. Е. Жуковского. М.: Издательский дом Академии им. Н. Е. Жуковского, 2015. С. 416—420.
5. **Беллман Р., Заде Л.** Принятие решений в расплывчатых условиях // Сб. переводов с англ. под ред. И. Ф. Шахнова. М.: Мир, 1976. 229 с.
6. **Герасимов О. Н., Беринеязов Н. А., Юрков Н. К.** К вопросу защиты электронных средств ЛА от внешних воздействий // Сб. докл. Всеросс. НТК "XII научные чтения, посвященные памяти Н. Е. Жуковского. М.: Издательский дом Академии им. Н. Е. Жуковского, 2015. С. 386—390.
7. **Дианов В. Н.** Интегро-дифференциальная диагностика сбоев в цифровой аппаратуре // Сб. докл. Всеросс. НТК "XI научные чтения, посвященные памяти Н. Е. Жуковского. М.: Издательский дом Академии им. Н. Е. Жуковского, 2014. С. 408—414.
8. **Ллойд Д., Липов М.** Надежность: организация исследований, методы, математический аппарат / Пер. с англ. И. Н. Коваленко и Г. А. Русакова под ред. Н. П. Бусленко. М.: Сов. радио, 1964. 685 с.
9. **Надежность** и живучесть систем связи / Под ред. В. Ф. Уткина и Ю. В. Крючкова. М.: Машиностроение, 1988. 328 с.
10. **Шаракшанэ А. С., Халецкий А. К., Морозов И. А**. Оценка характеристик сложных автоматизированных систем. М.: Машиностроение, 1993. 272 с.
11. **Шибанов Г. П.** Распознавание в системах автоконтроля. М.: Машиностроение, 1973. 424 с.

Functional Reliability Support of Electronics Systems for Insuffisient Information about Operational Status this Units

G. P. Shibanov, gpshibanov@mail.ru✉,
Government Test-flight Center named after V. P. Chkalov, Akhtubinsk, Russian Federation

Corresponding author: **Shibanov Georgy P.**, D.Sc., Professor,
Leading Science Worker, Government Test-flight Center named after V. P.Chkalov,
Akhtubinsk, Russian Federation, e-mail: gpshibanov@mail.ru

Received on March 04, 2016
Accepted on March 14, 2016

At the paper considered mathematical model of process appearance and accumulation of hidden faulty of electronic units. In reference to hypothetical electronic system of aircraft consists of five units receive the systems of equation. According to the systems of equation composition and construct twothe graphs. One of them construct for avionics systems with constant structure in flight of aircraft. Another graph construct for avionics systems with changeable structure in flight of aircraft. Nodal points at left-hand upper angle of graphs (capital letter A) correspond to the facts of full in good working order of electronic system. Nodal points which mark capital letter D at right-hand lover angle of graphs correspond to the facts of full loss serviceability of electronic system. All the rest nodal points of graphs to represent intermediate condition (state). This intermediate state be discovered man-operator or automatic equipment of control (capital letter B_1, B_2, B_3) and latent disturbance (capital letter C_1, C_2), either combination that or the other (capital letter at combination B_1C_1; B_2C_1). Arcs of graphs to represent intensity of transition system from a state to another, transition between states. Analysis of graphs demonstrate, what changeable structure avionics systems make it possible raise functional reliability of electronics systems. But considered mathematical model suitable only for production-type of avionics systems, which the remote past government test and experimental study of operation.

Keywords: *model, electronic system, airplane, operational status of units, insufficient information*

For citation:

Shibanov G. P. Functional Reliability Support of Electronics Sistems for Insuffisient Information about Operational Status this Units, *Mekhatronika, Avtomatizatsiya, Upravlenie,* 2016, vol. 17, no. 7, pp. 471—474.

DOI: 10.17587/mau.17.471-474

References

1. **Ventcel E. S.** *Teoriya veroyatnosti* (Theory of probability), Moscow, Fizmatgiz, 1962, 564 p. (in Russian).
2. **Shibanov G. P.** *Osnovnye ponyatiya i kolichestvennye otsenki, ispol'zuemye v aviatsii i kosmonavtike* (Principles concepts and quantitative estimations used at aviation and cosmonautics), English-Russian dictionary for Russian-language worker, Moscow, Publishing house of Academy named after N. E. Jukovskij, 2013, 472 p. (in Russian).

3. **Avakyan A. A.** *Fizicheskaya model' i zakon raspredeleniya otkazov elementov i sistem elektroniki* (The physical model and the distribution law of failures of elements and electronics systems), *Proc. of the All-Russian NTK "XI Scientific Conference dedicated to the memory Zhukovsky*, Moscow, Publishing house of Academy named after N. E. Jukovskij, 2014, pp. 371—380 (in Russian).

4. **Asharina I. V.** *Sistemnoe vzaimnoe informatsionnoe soglasovanie pri parallel'nom, raspredelennom i otkazoustoichivom reshenii v sisteme sovokupnosti vzaimodeistvuyushchikh tselevykh zadach* (System coordination of mutual information in parallel, a distributed and fault-tolerant solutions in the system set of interacting targets), *Proceedings of the All-Russian NTK "XII Scientific Readings dedicated to the memory Zhukovsky*, Moscow, Publishing house of Academy named after N. E. Jukovskij, 2015, pp. 416—420 (in Russian).

5. **Bellman R., Zade L.** *Prinyatie reshenii v rasplyvchatykh usloviyakh* (Decision-making in vague terms), Moscow, Mir, 1976, 229 p. (in Russian).

6. **Gerasimov O. N., Berineyazov N. A., Yurkov N. K.** *K voprosu zashchity elektronnykh sredstv LA ot vneshnikh vozdeistvii* (For the protection of electronic aircraft from external influences), *Proceedings of the All-Russian NTK "XII Scientific Readings dedicated to the memory Zhukovsky*, Moscow, Publishing house of Academy named after N. E. Jukovskij, 2015, pp. 386—390 (in Russian).

7. **Dianov V. N.** *Integro-differentsial'naya diagnostika sboev v tsifrovoi apparature* (Integro-differential diagnostics of failures in digital equipment), *Proc. of the All-Russian NTK "XI Scientific Conference dedicated to the memory Zhukovsky*, Moscow, Publishing house of Academy named after N. E. Jukovskij, 2014, pp. 408—414 (in Russian).

8. **Lloid D., Lipov M.** *Nadezhnost': organizatsiya issledovanii, metody, matematicheskii apparat* (Reliability: the organization of research methods, mathematical apparatus), Moscow, Sov. radio, 1964, 685 p. (in Russian).

9. **Utkin V. F., Kryuchkov Yu.V.** *Nadezhnost' i zhivuchest' sistem svyazi* (Reliability and survivability of communications systems), Moscow, Mashinostroenie, 1988, 328 p. (in Russian).

10. **Sharakshane A. S.,Khaletskii A. K., Morozov I. A.** *Otsenka kharakteristik slozhnykh avtomatizirovannykh sistem* (Evaluation of characteristics of complex automated systems), Moscow, Mashinostroenie, 1993, 272 p. (in Russian).

11. **Shibanov G. P.** *Raspoznavanie v sistemakh avtokontrolya* (Recognition in the continuous measuring system), Moscow, Mashinostroenie, 1973, 424 p. (in Russian).

УДК 681.5.09 DOI: 10.17587/mau.17.474-482

А. В. Гулай, канд. техн. наук, зав. кафедрой, is@bntu.by, **В. М. Зайцев,** канд. техн. наук, доц., is@bntu.by,
Белорусский национальный технический университет, Минск

Особенности проектирования интеллектуальных компонентов систем оперативного управления и приборов цифровой автоматики

Рассмотрены инженерные вопросы создания интеллектуальных компонентов, которые предназначаются для встраивания в системы оперативного управления и приборы цифровой автоматики. С использованием логико-математической модели управления выделены наиболее распространенные варианты распределения функций между интеллектуальными аппаратно-программными компонентами и персоналом при реализации циклов управления. Специфицированы важнейшие аспекты применения процессоров, операционных систем, программных средств и технологий обработки информации, анализ которых позволяет учитывать фактор времени, а также обеспечивать функционирование систем управления в условиях реально действующих ресурсных и иных ограничений.

Ключевые слова: *системы управления, приборы автоматики, цифровые устройства, интеллектуальные компоненты, оперативный контроль, ресурсные ограничения*

Введение

В последние десятилетия в научно-техническую литературу прочно вошло и утвердилось понятие "интеллектуальные системы", которое в большинстве случаев связывается с использованием различных технологий инженерии знаний [1, 2]. При достаточно широком в смысловом отношении исходном охвате интеллектуальных систем различного типа и функционального назначения область действия указанного понятия авторами публикаций в процессе анализа этих систем, как правило, значительно сужается. В ходе исследования конкретных инженерных вопросов в эту категорию в большинстве случаев отбираются системы, в которых с помощью специальных методов осуществляется представление и накопление знаний и фактов из рассматриваемых проблемных областей [3—5]. В пределах этих областей по соответствующим правилам обеспечивается выполнение выводов, а также синтез заключений и решений как результатов обработки запросов конечных потребителей информации.

В известной мере используется подход, который можно назвать академическим (в отличие от инженерного, проективного подхода), когда решение задач рассматривается вне каких-либо ограничений, налагаемых на времена реализации процессов, на ресурсные и массогабаритные характеристики аппаратуры и условия ее эксплуатации. При этом основное внимание в исследовании проблемы концентрируется преимущественно на тех или иных применяемых информационных технологиях. При такой постановке вопроса подобные системы могут рассматриваться как средства интеллектуальной поддержки процессов научных исследований или функционирования стационарных органов системного стратегического управления [6—8]. Из поля зрения исследователя и разработчика в данном случае выпадает крайне важное (особенно в практическом отношении) множество интеллектуальных компонентов, которые предназ-