

УДК 681.324

АВТОМАТИЧЕСКАЯ ПРОВЕРКА СОСТОЯНИЯ ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ БЛОКОВ АВТОМАТИЗИРОВАННЫХ СИСТЕМ КОНТРОЛЯ И ДИАГНОСТИРОВАНИЯ СЛОЖНЫХ УСТРОЙСТВ

С. В. Ванцов, к.т.н., доцент каф. 307 «Технология приборостроения» МАИ; vancov@medpractica.ru
А. А. Халявина, аспирант каф. 307 МАИ; anymascar@yandex.ru

Рассмотрены основные проблемы, возникающие перед разработчиками, при решении вопросов контроля и диагностики сложных устройств. Совершенствование систем авионики, обусловленное повышением требований к их функциональности, приводит к увеличению структурной сложности и, как следствие, к повышению трудоемкости контроля и диагностики. При этом вопросы обеспечения работоспособности подобных систем и снижения трудоемкости выполнения контрольных и диагностических задач при одновременном повышении их эффективности приобретают все большую актуальность. Это возможно при комплексном подходе при выборе методов, а также определенной степени автоматизации процедур контроля и диагностики. Целью работы является поиск решений, позволяющих снизить трудоемкость диагностирования и влияния «человеческого фактора» на процесс диагностической процедуры. Также исследованы способы повышения качества диагностирования сложных устройств.

Ключевые слова: диагностирование сложных устройств, автоматизированные системы контроля, алгоритмы, системы авионики, виды контроля, комбинированный метод контроля, программы контроля.

DOI: 10.21667/1995-4565-2017-59-1-75-80

Введение

Повышение требований к характеристикам сложных устройств, таких как системы авионики, создает вместе с бесспорными преимуществами и ряд серьезных проблем, связанных, в первую очередь, с процессами контроля и диагностирования.

Поддержание работоспособного состояния систем управления и своевременное диагностирование отказов – одни из задач, которые представляют собой многоуровневый и многофакторный процесс, требующий соответствующего научного и инженерно-технического обеспечения [1].

Однако в настоящее время большинство фундаментальных работ по технической диагностике посвящено теории диагностических систем, и не рассматриваются вопросы ее практического применения для решения конкретных технических задач.

Известно, что затраты на поиск и устранение неисправностей на этапе производства и эксплуатации составляют от 30 % до 50 % общих затрат на изготовление устройства. В целом затраты, связанные с обнаружением, поиском и устранением неисправности, возрастают в 10-кратном размере при прохождении неисправности через каждый технологический этап и от входно-

го контроля до выявления отказа на этапе эксплуатации [2]. При этом до 50 % от продолжительности диагностических операций занимает время на подключение контрольной аппаратуры [3]. При этом эффективность этих операций зависит от совершенства аппаратного, алгоритмического и программного обеспечения (ПО), а также от контролепригодности конструкции устройства. В этом ряду разработка алгоритмического и отладка программного обеспечения (ПО) занимает около 30–40 % от общей трудоемкости создания диагностического оборудования [4].

Совершенствование сложных систем авионики увеличивает их размерность и структурную сложность, причем рост структурной сложности опережает возможности используемых методов поддержания их в работоспособном состоянии и своевременного обнаружения дефектов.

Проведение диагностической процедуры и обработка ее результатов имеют большую трудоемкость или, более того, нереализуема из-за ограничений на вычислительные ресурсы.

Это обусловлено большой размерностью задачи и необходимостью учета множества факторов, присущих системе и влияющих на качество и достоверность получаемых решений [5–8].

Контрольно-диагностические системы

Используемые в инженерной практике автоматизированные системы контроля (АСК) в большинстве случаев только информируют оператора о неисправностях и отказах в работе узлов и блоков (S_i), но не предоставляют решений о дальнейших его действиях по устранению неисправностей.

Типовая структурная схема контроля ОД с использованием АСК приведена на рисунке 1. Основным управляющим блоком является системный блок (СБ), промышленный компьютер. СБ формирует тестовые сигналы (стимулы), которые через устройство сопряжения (УС) передаются в ОД, и формирует сообщение (выводит на индикатор) о исправности/неисправности того или иного ДП на основе принятия решений по итогам сравнения полученных от блока измерений (БИ) или блока датчиков (БД) реакций с эталонными значениями. При прохождении контрольных тестов в случае возникновения отказа формируется заключение о браке по определенному параметру или группе параметров.

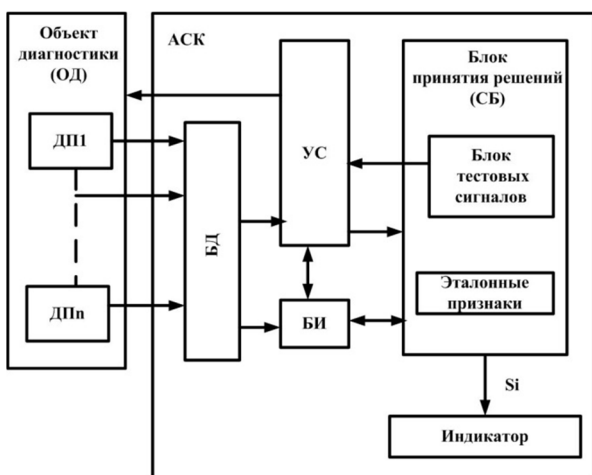


Рисунок 1 – Структурная схема контроля ОД

Оператору зачастую сообщается необработанная информация, в основном сведения о значениях параметров. При этом часто определение причин отказа, а также отказавшего блока или соединителя в большинстве случаев зависит от опыта и квалификации оператора.

Однако стремление к повышению качества, снижению стоимости и времени проведения диагностического контроля приводит к необходимости предоставлять оператору не всю циркулирующую в системе информацию, а лишь переработанную, представляющую собой сообщения о причине неисправности рекомендации по ее устранению (рисунок 2).

На основании этого можно сформулировать требования к контрольно-диагностическим системам:

- гибкость конструкции, т.е. возможность надстройки и переналадки;
- возможность диагностирования устройств с помощью стационарных средств, имеющих «собственные» датчики, проведение автономного контроля;
- работоспособность во всех климатических зонах в течение всего срока эксплуатации;
- отсутствие влияния отказа системы автоматизированного контроля на процесс и результаты контроля;
- наличие алгоритмического и программного обеспечения, предоставляющего оператору комплексную информацию для принятия решений.

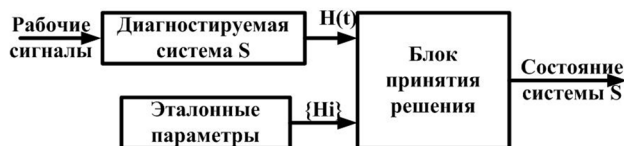


Рисунок 2 – Функциональная схема диагностирования на основе состояния отдельных элементов системы

Реализация этих требований зависит от используемого в системе метода контроля: программного, аппаратного комбинированного (таблица 1).

Комбинированный метод контроля позволяет при незначительном снижении эффективности и быстродействия системы существенно сократить время поиска и устранения ошибок и общий объем дополнительного оборудования системы, требуемого для этих целей [9].

Использование комбинированного метода позволяет создавать электронные системы, прогнозирующие отказ в работе какого-либо элемента, узла, блока. Однако на этом пути имеются серьезные трудности. К ним относятся:

- высокая трудоемкость контроля и диагностики;
- низкие экономические показатели и производительность контроля и диагностики;
- сложность принятия решений при обнаружении неисправностей;
- неоднозначность определения неисправного элемента.

Причинами, обуславливающими сложность решения проблем, являются:

- сложность локализации причин неисправности при некоторых сочетаниях итогов проверки с точностью до конкретного блока, входящего как в объект контроля, так и в состав самой АСК;

Таблица 1– Сравнение видов контроля

№	Вид контроля	Основа метода	Достоинства	Недостатки
1	Программный	Специальное ПО	1. Не требует применения дополнительной аппаратуры. 2. Обеспечивает обнаружение ошибок, вызванных случайными сбоями.	1. Увеличение времени решения задач (проведение большого количества вычислений). 2. Снижение быстродействия системы.
2	Аппаратный (аппаратурный)	Дополнительное оборудование, работающее независимо от ПО	1. Не снижает быстродействие системы контроля. 2. Снижение требований к ПО.	1. Сложность системы контроля и диагностики. 2. Высокая стоимость. 3. Избыточность аппаратных средств. 4. Высокие требования к квалификации оператора.
3	Комбинированный (программно-аппаратный)	Оборудование, работающее совместно с ПО	1. Сокращение времени поиска неисправностей. 2. Повышение быстродействия относительно программного контроля. 3. Снижение избыточности относительно аппаратного контроля. 4. Снижение требований к квалификации оператора.	1. Незначительное снижение эффективности и быстродействия контроля.

– сложность принятия решений по итогам проверки, когда значение параметра находится на границе установленных допусков, разделяющей два его крайних состояния;

– невозможность сбора и хранения диагностической информации и данных и использование всей доступной разрозненной информации.

Другим препятствием на пути широкого внедрения контрольно-диагностических средств являются повышенные требования по стоимости, надежности, компактности, трудозатратам и т.д.

Для обеспечения надежности таких систем используются методы унификации технических и типизации проектных решений при создании программных средств [10].

Комплексность информации для принятия решений определяет и требования к диагностическим тестам, а именно:

– легкость модификации при минимальных трудозатратах;

– централизованная разработка и сопровождение с целью увеличения эффективности разработки и снижения трудоемкости;

– выделение блоков, являющихся общими для всех функциональных задач или типовыми для нескольких задач;

– использование унифицированных блоков для обеспечения автоматизации основных операций по подготовке, сбору, обработке данных и предоставлению результатов;

– оптимизация выбора параметров, описывающих состояние системы и правила принятия решений, позволяющих с максимальной точностью распознавать отказы (S_d);

– корректность оценки достоверности принятого решения и степени риска ошибочного решения.

При этом риск принятия ошибочного решения во многом зависит от исправности блоков, входящих в состав АСК. Немаловажным фактором становится снижение вероятности отказа блока АСК во время проверки ОД.

Одним из решений, позволяющим снизить вероятность отказа блоков и цепей АСК, является использование на протяжении всего жизненного цикла АСК автоматических проверок для оценки состояния блоков, входящих в состав АСК, которые позволят снизить вероятность отказа блоков, предназначенных для проверки ОД, и соответственно повысить точность контроля самого объекта контроля и исключить возможность некорректной проверки ОД (рисунок 3).

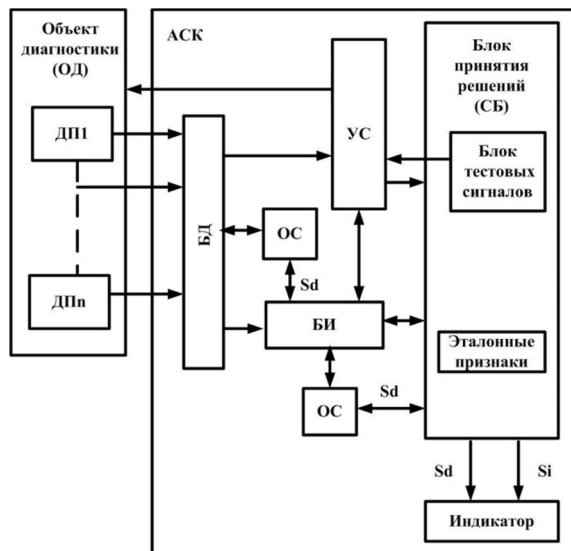


Рисунок 3 – Схема контроля блоков АСК

Структура автоматических проверок блоков АСК

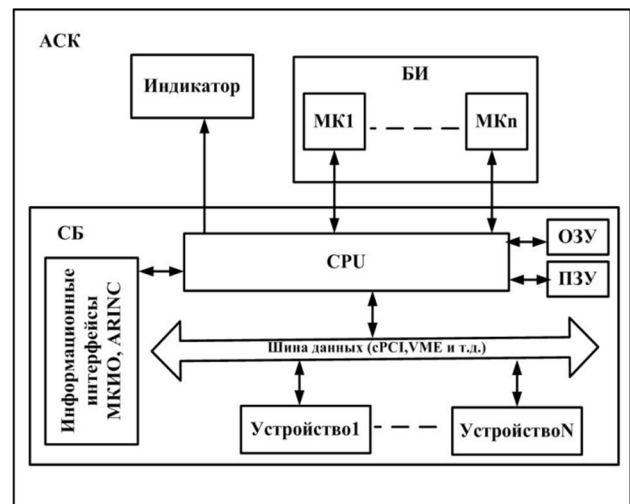
Основной вычислительный модуль АСК – системный блок (промышленный компьютер) выполняет контроль ОД в соответствии с алгоритмом средствами центрального процессора (*CPU* – Central Processor Unit).

CPU – обеспечивает:

- формирование стимулов и прием реакций в соответствии с алгоритмом;
- запись данных в память (ОЗУ, ПЗУ);
- информационный обмен данными с ОД по интерфейсам [мультиплексным каналам информационного обмена *МКИО* по ГОСТ Р 52070-2003 (аналог стандарта MIL-1553B), последовательным каналам *ПК* связи и по *РК* по ГОСТ 18977-79 (аналог стандарта ARINC-429) и др.];
- обработку и сравнение полученной информации от БД и БИ;
- формирование информации о исправности/неисправности ОД;
- выдачу данных на индикатор.

Структура взаимодействия *CPU* с блоками АСК и модулями СБ представлена на рисунке 4.

Принцип автоматического контроля блоков АСК и СБ при контроле ОД заключается в следующем: при подаче электропитания *CPU* осуществляет инициализацию входящих в состав СБ компонентов и блоков АСК (системной шины, носителей, мезонинов, микроконтроллеров и др.). После инициализации *CPU* осуществляет тестовый обмен информацией с блоками и заносит результаты в память. При наличии ошибок выводит информацию на индикатор с рекомендациями по их устранению. При отсутствии продолжает проверку ОД в соответствии с алгоритмом диагностических тестов.

Рисунок 4 – Структура автоматического контроля *CPU* блоков АСК

Диагностические тесты

Применительно к объекту диагностические тесты должны:

- выявлять неявные отказы;
- осуществлять поиск неисправных узлов, блоков, сборочных единиц;
- локализовать место отказа [11].

Важнейшим показателем диагностируемости устройств является совокупность параметров для контроля работоспособности. Количественно этот показатель может быть представлен множеством параметров $U_p = U(u_1, \dots, u_i, \dots, u_n)$ и коэффициентом полноты проверки ($K_{пл}$) (1)

$$K_{пл} = \lambda_k \setminus \lambda_0, \quad (1)$$

где λ_k – суммарный параметр потока отказов составных частей диагностической системы; λ_0 – суммарный параметр потока отказов всех составных частей диагностируемого устройства.

В случае, если параметры потоков отказов оказываются неизвестными, то приближенно:

$$K_{пл} = n_k \setminus n_0, \quad (2)$$

где n_k – число диагностируемых параметров (ДП); n_0 – число параметров технического состояния устройства, использование которых обеспечивает методическую достоверность проверки [12].

Совокупность ДП должна определять: всю полноту контроля, возможности поиска дефектов и оптимизацию алгоритмов поиска; возможности прогнозирования возникновения повреждения (отказа) и, самое главное, чувствительность к изменению состояния отдельных устройств технической системы и составных частей, к течению деградиационных процессов.

Таким образом, процесс выбора совокупности ДП можно разделить на следующие этапы.

Определение множества S состояний диагностируемого устройства.

Выбор совокупности ДП – $U(S) = U[U(S_1) \dots U(S_n)]$ при условии $K_{ПП} \rightarrow \max$, $\partial U(S_i) / \partial S \rightarrow \max$.

Минимизация совокупности параметров $U(S)$ [12].

При этом выбранная совокупность должна позволять:

– синтез рациональных алгоритмов проверки работоспособности и поиска места дефекта (отказа);

– установление рациональных допусков на нормы технических параметров (НТП).

В целом оценить эффективность разрабатываемого алгоритмического, программного и аппаратного обеспечения можно по экономическому критерию (3)

$$C_{cp} = \sum_{i=1}^n C_i P_i, \quad (3)$$

где C_{cp} – средняя стоимость проверки; C_i – результирующая стоимость проверки для нахождения i -го отказавшего элемента; P_i – вероятность того, что неисправность обусловлена отказом i -го элемента.

Выводы

Представленный анализ выявил очевидную необходимость поиска методов автоматизации процедур построения оптимальных диагностических тестов для определения технического состояния, а также для обеспечения возможности прогнозирования отказов сложных устройств авионики.

Хотя реализация выявленных требований и подходов и увеличит время прохождения диагностического контроля, а также потребует дополнительных цепей для обеспечения автономного контроля блоков и дополнительных веток контроля при разработке диагностического ПО, однако позволит существенно снизить вероятность появления ошибок и повысить эффективности диагностики.

Наиболее значимым положительным результатом при этом является возможность автоматизации процедур контроля и диагностирования, а также снижение влияния «человеческого

фактора» при проведении диагностического контроля.

Библиографический список

1. **Ивченко В. Д.** Диагностика технических систем. М.: МГАПИ, 1998. – 206 с.
2. **Давыдов П. С.** Техническая диагностика радиоэлектронных устройств и систем. М.: Радио и связь, 1988. – 258 с.
3. **Сускин В. В., Дубов А. В., Капранов А. П.** Обзор современных средств автоматизации поиска неисправностей в электронных устройствах // Приборы и системы. Управление, контроль, диагностика. 2010. № 2. – С. 86-100.
4. **Биргер И. А.** Техническая диагностика. М.: Машиностроение, 1978. – 240 с.
5. **Пашковский Г. С.** Задачи оптимального обнаружения и поиска отказов в РЭА. М.: Радио и связь, 1981. – 280 с.
6. **Гатчин Ю. А., Жаринов И. О.** Основы проектирования вычислительных систем интегрированной модульной авионики. М.: Машиностроение, 2010. – 224 с.
7. **Парамонов П. П., Жаринов И. О.** Интегрированные бортовые вычислительные системы: обзор современного состояния и анализ перспектив развития в авиационном приборостроении // Научно-технический вестник информационных технологий, механики и оптики. 2013. № 2. – С. 1-17.
8. **Жаринов О. О., Видин Б. В., Шек-Иовсеянц Р. А.** Принципы построения крейта бортовой многопроцессорной вычислительной системы для авионики пятого поколения // Научно-технический вестник Санкт-Петербургского государственного университета информационных технологий, механики и оптики. 2010. № 4. – С. 21-27.
9. **Малкин В. С.** Техническая диагностика. М.: Лань, 2013. – 267 с.
10. **Шукалова А. В., Парамонова П. П., Книга Е. В., Жаринов И. О.** Принципы построения вычислительных компонентов систем интегрированной модульной авионики // Информационно-управляющие системы. 2014. № 5. – С. 64-70.
11. **Пюкке Г. А.** Моделирование и расчет параметров при решении задач идентификации технических систем. Петропавловск-Камчатский: КамчатГТУ, 2011. – 187 с.
12. **Афанасьева О. В., Голик Е. С., Первухин Д. А.** Теория и практика моделирования сложных систем. СПб: СЗТУ, 2005. – 131 с.

UDC 681.324

AUTOMATIC CHECK OF AUTOMATED CONTROL SYSTEM FUNCTIONAL BLOCKS STATUS AND COMPLEX DEVICES DIAGNOSTICS

S. V. Vantsov, Ph. D. (technical sciences), associate Professor of the Department «Technology of instrumentation» MAI, Moscow; vancov@medpractica.ru

A. A. Khalyavina, post-graduate student MAI, Moscow; anymascar@yandex.ru

*The article describes the main problems faced by developers in addressing issues of control and diagnostics of complex devices. Improvement of avionics systems due to the increasing demands to their functionality leads to an increase in structural complexity and, consequently, monitoring and diagnostics complexity. The issues of ensuring efficiency of such systems and reducing the complexity of the implementation of control and diagnostic tasks while improving their efficiency are becoming increasingly important. This is possible with an integrated approach when choosing methods, as well as a certain degree of automation of control procedures and diagnostics. **The aim** of this work is to find solutions that reduce the complexity of diagnosis and the influence of human factor on the process of diagnostic procedure. The article also investigated the ways of improving the quality of diagnostics of complex devices.*

Key words: diagnostics of complex devices, automated control systems, algorithms, avionics systems, types of control, combined control method, control program.

DOI: 10.21667/1995-4565-2017-59-1-75-80

References

1. **Ivchenko V. D.** Diagnostika tehnikeskix sistem M.: MGAPI 1998, 206 p. (in Russian).
2. **Davydov P. S.** Tehnicheskaja diagnostika radio jelektronnyh ustroystv i sistem. M.: Radio i svjaz', 1988. 258 p. (in Russian).
3. **Syskin V. V., Dubov A. V., Kapranov A. P.**, Obzor sovremennyh sredstv avtomatizacii poiska neispravnostei v jelektronnyh ustroystvah. Pribory i sistemy. Upravlenie, kontrol', diagnostika. 2010, no. 2. pp. 86-100 (in Russian).
4. **Birger I. A.** Tehnicheskaja diagnostika M.: Mashinostroenie, 1978. 240p. (in Russian).
5. **Pashkovsky G. S.** Zadachi optimal'nogo obnaruzhenija i poiska otkazov v REA M.: Radio i svjaz', 1981. 280p. (in Russian).
6. **Gatchin Yu. A., Zharinov I. O.** Osnovy proektirovanija vychislitel'nyh system integrirovannoju modul'noj avioniki. M.: Mashinostroenie, 2010. 224 p. (in Russian).
7. **Paramonov P. P., Zharinov I. O.**, Integrirovannye bortovye systemy: obzor sovremennogo sostojanija i analiz perapektiv razvitiya v aviacionnom priboro-
- stroenii. Nauchno-tehnicheskij vestnic informacionnyh tehnologij, mehaniki i optiki. 2013. no. 2. pp. 1-17. (in Russian).
8. **Zharinov O. O., Vidin B. V., Shek-lovsepyanc R. A.** Principy postroenija krejta bortovoj mnogoprocessornoj vychislitel'noj sistemy dlya avioniki pjatogo pokolenija. Nauchno-tehnicheskij vestnic Saint Petersburg state University informacionnih tehnologij, mehaniki i optiki. 2010. no. 4. pp. 21-27. (in Russian).
9. **Malkin. V. S.** Tehnicheskaja diagnostika M: Lan', 2013, – 267p. (in Russian).
10. **Soukalova A. V., Paramonov P. P., Kniga E. V., Zharinova I. O.** Principy postroenija vychislitel'nyh komponentov system integrirovannoju modulnoj avioniki. Informacionno-tehnicheskie sistemy, 2014 no. 5. pp. 64-70. (in Russian).
11. **Pukke G. A.** Modelirovanie i rasschet parametrov pri reshenii zadach identifikacii tehnikeskix system, Petro-Pavlovsk-Kamchatsky: KamchatGTU, 2011, 187 p (in Russian).
12. **Afanas'eva O. V., Golik, E. S., Pervukhin D. A.** Teorija i praktika modelirovanija slozhnyh system, St. Petersburg, SZTU, 2005. 131p. (in Russian).