

Воробьев А.А., Лагойко О.С.

ИНФОРМАЦИОННО-ДИАГНОСТИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ ВСТРОЕННОГО КОНТРОЛЯ СОСТОЯНИЯ ВОЗДУШНЫХ СУДОВ

Аннотация: Предметом исследования являются технологии повышения эксплуатационной надежности воздушных судов государственной авиации. Объектом исследования являются системы автоматизированного инструментального контроля технического состояния воздушных судов. Обоснована важность для практики оптимизации требований, предъявляемых к средствам обеспечения технического обслуживания и ремонта воздушных судов, для их непрерывного и полного информационного обеспечения. Показаны возможности обеспечения повышения эффективности использования информации, выдаваемой системой эксплуатационного контроля воздушных судов, в интересах контроля их состояния и обеспечения его скорейшего восстановления. Изложена целесообразность дополнения средств эксплуатационного контроля воздушных судов специализированной информационно-диагностической системой встроенного контроля их состояния, обеспечивающей информационное взаимодействие контролируемой составной части воздушного судна, являющегося объектом контроля, и средств контроля. Представлена система показателей достоверности самоконтроля состояния системы встроенного контроля. Методология исследования - структурный системный анализ предметной области и информационно-логическое моделирование процессов сбора и обработки информации. В статье рассмотрен современный подход к созданию встроенных систем контроля воздушных судов, обоснованы требования к ним и предложены основные математические соотношения для расчета оценок показателей, характеризующих достоверность результатов контроля. Новизна исследования определяется тем, что показаны приоритетные направления расширения перечня применяемых в авиации средств эксплуатационного контроля воздушных судов в интересах создания информационно-диагностических систем инструментального контроля их технического состояния.

Ключевые слова: бортовые автоматизированные системы, информационно-диагностическая система, информатизация встроенного контроля, диагностика технического состояния, интеллектуальное авиационное оборудование, достоверность контроля, эксплуатационный контроль, автоматизация встроенного контроля, состояние воздушных судов, отказоустойчивость сложных систем

В современных условиях повышенное внимание уделяется мобильности, оператив-

ности и автономности применения воздушных судов (ВС) [1, 2]. Однако реализация этих требований ограничивается зависимостью ВС от большой номенклатуры средств эксплуатационного контроля, технологического оборудования, материально-технического обеспечения и системы технического обслуживания [3-7]. Любое дополнительное средство обеспечения неизбежно повышает стоимость эксплуатации ВС. Поэтому важной для практики является оптимизация требований, предъявляемых к средствам обеспечения технического обслуживания и ремонта (ТОиР) [8-10].

Решение проблемы обеспечения мобильности, автономности и оперативности заключается в практическом обеспечении рационального взаимодействия ВС, его системы эксплуатационного контроля с человеческими, материально-техническими и информационными ресурсами, обеспечивающими заданный уровень эффективности функционирования конкретного ВС. Комплекс всех средств эксплуатационного контроля (СЭК) ВС можно рассматривать как основу системы непрерывного и полного информационного обеспечения процессов ТОиР ВС [11-15]. При этом за счет использования современных компьютерных технологий обеспечивается возможность более эффективного использования выдаваемой СЭК информации в интересах контроля, диагностирования и организации ремонта.

СЭК должна информационно обеспечивать эффективное решение следующих задач [1-18]:

- определения работоспособности систем ВС;
- поиска мест отказов с глубиной, необходимой для восстановления работоспособности отказавшей функциональной системы, т.е. до конструктивно сменной единицы (КСЕ);
- локализации отказов в КСЕ до конструктивного элемента, поддающегося замене в процессе ремонта;
- прогнозирования показателей текущего технического состояния ВС и его систем с определением объема и сроков профилактических работ;
- контроля за соблюдением летным экипажем установленных правил эксплуатации бортовых систем и условий безопасности в полете (контроль действий экипажа);
- оценки работоспособности (функционирования) бортовых систем и действий экипажа при расследовании причин авиационных происшествий и инцидентов;
- накопления и статистической обработки информации с целью долгосрочного прогнозирования состояний ВС, обобщения опыта эксплуатации (по работе функциональных систем и действиям экипажа) и планирования работ по управлению техническим состоянием;
- метрологического обеспечения измерительных систем и устройств ВС.

Технологической основой построения СЭК является дополнение средств эксплуатационного контроля и формирование информационно-диагностической системы (ИДС) ВС (рис. 1).



Рисунок 1 – Обобщенная структура информационно-диагностической системы встроенного контроля состояния воздушного судна

На рис. 1 показано, что при технической эксплуатации ВС одним из обязательных видов работ является инструментальный контроль технического состояния ВС. В процессе контроля происходит взаимодействие двух объектов – контролируемой составной части ВС, являющегося объектом контроля (ОК), и средства контроля (СК).

В информационную систему контроля, помимо ОК и СК, также входит канал передачи информации (канал связи), по которому в соответствии с определенной технологией (в ряде случаев – реализованной с использованием специального программного обеспечения) осуществляется взаимодействие ОК и СК.

Главной отличительной особенностью ИДС является то, что в ней должно обеспечиваться постоянное совмещение и накопление разобщенной во времени и пространстве информации о техническом состоянии объектов и систем ВС с последующим комплексным анализом накопленного материала, что существенно расширяет функциональность СЭК [6, 12-18].

В ИДС все структурные элементы контроля должны информационно связываться между собой. Диагностическая информация и результаты ее обработки с использованием современных информационных технологий должны накапливаться в базах данных и базах знаний, являющихся основой для текущей оценки технического состояния ВС и его систем, а также прогнозирования изменения технического состояния и планирования работ по техническому обслуживанию и восстановлению. Обмен информацией внутри ИДС и с внешними устройствами должен осуществляться с помощью современной аппаратуры передачи данных.

ИДС должна иметь базовую структуру, позволяющую максимально унифицировать и стандартизировать как технические средства (включая их программное и информационное обеспечение), так и сами процедуры контроля технического состояния ВС. Состав и структуру ИДС необходимо определять с учетом контролепригодности систем ВС, развитости внутренней информационно-измерительной системы.

По своему функциональному содержанию ИДС ВС должна представлять собой вза-

имосвязанную совокупность различных средств. В состав базового варианта ИДС, как правило, должны входить устройства отработки, накопления и передачи диагностической информации, содержащие следующие основные компоненты СЭК:

- бортовую автоматизированную систему контроля, объединяющую все бортовые источники информации о техническом состоянии;
- наземные устройства обработки информации;
- наземные автоматизированные средства контроля оборудования, как без демонтажа его с борта ВС (НАСК₁), так и для ремонта демонтированного оборудования (НАСК₂);
- отдельные образцы контрольно-проверочной аппаратуры и ремонтно-технологические стенды (автоматизированные рабочие места);
- средства неразрушающего контроля, и другие элементы.

Совокупность СЭК объединяется в встроенные системы контроля (ВСК), обеспечивающие возможность оценки точности параметров функционирования ВС, а также располагающие широкими возможностями для комплексной обработки результатов в интересах обеспечения ТОиР.

ВСК отдельных систем, узлов и агрегатов ВС органически должны входить в бортовую автоматизированную систему контроля (БАСК), обеспечивающую получение основной информации о техническом состоянии ВС и его оборудования на всех этапах жизненного цикла. БАСК, как правило, должна предоставлять возможность проведения полетного контроля работоспособности систем ВС, соблюдение условий безопасности полетов с запоминанием этой информации для использования на земле, реализации поиска неисправности с точностью до КСЕ, и ряд других функций. Как показали результаты проведенных исследований, БАСК должна обеспечивать:

- регистрацию и последующую обработку параметров, характеризующих техническое состояние ВС;
- сигнализацию о наличии отказа;
- сигнализацию о рабочем состоянии;
- сигнализацию о необходимости проведения предупредительных работ для обеспечения заданной эффективности функционирования;
- прогнозирование работоспособности на заданный интервал времени;
- поиск отказавших КСЕ, замена которых возможна путем войскового ремонта в условиях эксплуатирующей организации;
- оценка технического состояния систем ВС в интересах сбора информации об его изменениях в процессе функционирования;
- отображение и документирование результатов контроля и диагностирования.

Указанные функции должны реализовываться как для составных частей (деталей, узлов и агрегатов), так и для ВС в целом. При этом должны быть обеспечены: высокая контролепригодность с использованием БАСК, обработка и анализ информации о техническом состоянии деталей, узлов и агрегатов с обеспечением полноты контроля, глубина поиска отказов, а также стандартизация и унификация средств контроля.

Как правило, все системы встроенного контроля должны иметь собственную систему самоконтроля и обеспечивать достоверность принятия решений об отказах. В качестве показателей достоверности самоконтроля авторами предложены следующие вероятностные показатели:

- условная вероятность «ложного отказа» ОК ($P_{ЛО}$);
- условная вероятность «необнаруженного отказа» ОК ($P_{НО}$).

Условная вероятность «ложного отказа» ОК $P_{ЛО}$ может быть оценена по частоте появления такого события

$$P_{ЛО} = \frac{m_{ЛО}}{n_p}, \quad (1)$$

где $m_{ЛО}$ – количество событий «ложного отказа»; n_p – общее количество проверок работоспособного ОК.

Оценка условной вероятности «необнаруженного отказа» ОК $P_{НО}$ рассчитывается как

$$P_{НО} = \frac{m_{НО}}{n_{НР}}, \quad (2)$$

где $m_{НО}$ – количество событий «ложного отказа»; $n_{НР}$ – общее количество проверок работоспособного ОК.

Вероятность полноты встроенного контроля равна

$$\eta = \frac{\lambda_K}{\lambda_{П}}, \quad (3)$$

где λ_K – интенсивность отказов деталей, узлов и агрегатов, охваченных контролем; $\lambda_{П}$ – общая интенсивность отказов деталей, узлов и агрегатов.

Экспериментальная оценка достоверности результатов ВСК должна выполняться в реальных условиях эксплуатации при воздействии различных климатических и механических факторов, повышенных и пониженных напряжений питания по результатам многократных независимых проверок различных образцов ОК, с соблюдением мер техники безопасности и регламентов, установленной на ВС. Результаты проверки, как правило, совмещают со следующими пунктами программы испытаний ВС:

- оценка работоспособности БАСК при воздействии внешних дестабилизирующих факторов;
- оценка параметров электропитания БАСК.

Условные вероятности «ложных отказов» и «необнаруженных отказов» оцениваются путем имитации в аппаратуре неисправностей, коротких замыканий, обрывов цепи. При применении ВСК накапливаются данные о количестве «ложных отказов» и «необнаруженных отказов». В процессе сбора статистических данных выполняются:

- контроль работоспособности в объеме заданных алгоритмов самоконтроля;
- подтверждение действительного состояния работоспособности (неработоспособности) изделия с использованием средств измерений общего назначения, КПА

в соответствии с действующей эксплуатационной документацией.

Для обеспечения независимости проверок средствами самоконтроля в процессе испытаний не учитываются следующие отказы:

- зависимые отказы;
- отказы, вызванные нарушением руководства по эксплуатации;
- вызванные воздействием внешних факторов, непредусмотренных ТЗ;
- устраняемые в процессе доработок, эффективность которых очевидна или подтверждена экспериментально при дальнейших испытаниях.

Продолжительность времени самоконтроля определяется индивидуально для каждого режима программы самоконтроля. На основании проведенных экспериментальных исследований, к средствам контроля ВС предъявляются следующие требования:

- полнота контроля оборудования ВС (вероятность обнаружения отказов при идеальных средствах контроля), проверяемых с помощью БАСК при подготовках к полету должна быть не менее 0.95;
- вероятность обнаружения отказов с учетом реальных БАСК – не менее 0.85 (оценивается при испытаниях);
- должны обнаруживаться 100% состояний ОК, связанных с потерей работоспособности любой КСЕ (детали, узла, агрегата), выявляться все состояния, приводящие к аварийным последствиям;
- появление «ложного отказа» не должно превышать 20% всех результатов «не годен» при контроле ВС;
- коэффициент глубины поиска отказов (глубина диагностирования) оборудования ВС с помощью БАСК должен составлять не менее 0.9 с подробностью до одной КСЕ, т. е.

$$\Gamma_{II} = \frac{\lambda_{II}}{\lambda_{общ}}, \quad (4)$$

где λ_{II} – сумма интенсивностей отказов тех элементов образца, для которых место отказа определяется с подробностью не хуже, чем до n ($n=1,2,\dots$) КСЕ.

На сегодняшний день целесообразно расширение перечня применяемых в авиации средств эксплуатационного контроля и формирование на их основе информационно-диагностической системы воздушных судов.

Состав и структуру информационно-диагностической системы необходимо определять с учетом контролепригодности систем ВС, а также развитости внутренней информационно-измерительной системы. В состав базового варианта ИДС, как правило, должны входить устройства обработки, накопления и передачи диагностической информации.

Для обеспечения требуемой достоверности результатов применяемой встроенной системы контроля следует использовать оценки вероятностных показателей «ложного отказа» и «необнаруженного отказа» объектов контроля, а также полноты встроенного контроля.

Библиография :

1. ГОСТ 18322-78. Система технического обслуживания и ремонта техники. Термины и определения. М., 2007. 12 с.
2. ОСТ 5430048-87. Система ТО и ремонта АТ. Эксплуатационная и ремонтная технологичность. Основные положения. М., 1987. 14 с.
3. Данеев А.В., Воробьев А.А., Куменко А.Е., Лебедев Д.М., Мاستин А.Б. Методика формирования комплекса средств управления сложной организационно-технической системой // Вестник Бурятского государственного университета. 2010. № 9. С. 263-268.
4. Коломиец Л.В., Федоров М.В., Богомолов А.В., Мережко А.Н., Солдатов А.С., Есев А.А. Метод поддержки принятия решений по управлению ресурсами при испытаниях авиационной техники // Информационно-измерительные и управляющие системы. 2010. Т. 8. № 5. С. 38-40.
5. Фещенко К.Б., Козлов В.Е., Богомолов А.В., Волобуев А.П., Рудаков С.В. Методика оценивания продолжительности метрологического обслуживания измерительных приборов и аппаратных средств в условиях разомкнутых метрологических цепей // Информационно-измерительные и управляющие системы. 2007. Т. 5. № 1. С. 54-60.
6. Барковский С.С. Контроль конфигурации летательных аппаратов государственной авиации: риски, метод, технология // Вестник Казанского государственного технического университета им. А.Н. Туполева. 2009. № 1. С. 16-18.
7. Фещенко К.Б., Рудаков С.В., Козлов В.Е., Волобуев А.П., Богомолов А.В. Математическая модель динамики средней численности приборов и аппаратов медицинского назначения в условиях разомкнутого цикла метрологического обслуживания // Биомедицинская радиоэлектроника. 2006. № 5-6. С. 99-103.
8. Данеев А.В., Воробьев А.А., Лебедев Д.М. Алгоритмы управления сложными организационно-техническими системами // Известия Иркутской государственной экономической академии. 2010. № 4. С. 83-86.
9. Макаренко В.Г., Богомолов А.В., Рудаков С.В., Подорожняк А.А. Технология построения инерциально-спутниковой навигационной системы управления транспортными средствами с нейросетевой оптимизацией состава вектора измерений // Мехатроника, автоматизация, управление. 2007. № 1. С. 39-44.
10. Аджемов С.С., Виноградов А.Н., Чиров Д.С. Формирование базы знаний по результатам радиомониторинга в целях решения задачи классификации радиоканалов // Т-Comm: Телекоммуникации и транспорт. 2009. № 56. С. 9-13.
11. Барзилович В.Ю. Модели технического обслуживания сложных систем. М. Высшая школа, 1982. 231 с. 12.
12. Рудаков И.С., Рудаков С.В., Богомолов А.В. Методика идентификации вида закона распределения параметров при проведения контроля состояния сложных систем // Информационно-измерительные и управляющие системы. 2007. Т. 5. № 1. С. 66-72.
13. Макаренко В.Г., Подорожняк А.А., Рудаков С.В., Богомолов А.В. Инерциально-спутниковая навигационная система управления транспортными средствами // Проблемы управления. 2007. № 1. С. 64-71.

14. Бухтияров И.В., Усов В.М., Дворников М.В., Кукушкин Ю.А., Богомолов А.В., Чернуха В.Н. Технология биоадаптивного управления функционированием средств обеспечения жизнедеятельности человека в условиях измененной газовой среды // Безопасность жизнедеятельности. 2004. № 5. С. 32-36.
15. Гузий А.Г., Богомолов А.В., Кукушкин Ю.А. Теоретические основы функционально-адаптивного управления системами «человек-машина» повышенной аварийности // Мехатроника, автоматизация, управление. 2005. № 1. С. 39-48.
16. Рудаков С.В., Богомолов А.В. Методика расчета напряженности электростатического поля в изоляции многожильных кабелей // Безопасность в техносфере. 2013. № 1 (40). С. 39-43.
17. Дворников М.В., Кукушкин Ю.А., Богомолов А.В., Матюшев Т.В. Технология синтеза законов управления человеко-машинными системами, эксплуатируемыми в условиях высокого риска гипоксических состояний человека // Двойные технологии. 2014. № 1 (66). С. 8-11.
18. Воробьев А.А., Лебедев Д.М., Барковский С.С., Солдатов А.С. Методы планирования ресурсного обеспечения федеральных целевых программ // Двойные технологии. 2014. № 2 (67). С. 50-54

References:

1. GOST 18322-78. Sistema tekhnicheskogo obsluzhivaniya i remonta tekhniki. Terminy i opredeleniya. M., 2007. 12 s.
2. OST 5430048-87. Sistema TO i remonta AT. Eksploatatsionnaya i remontnaya tekhnologichnost'. Osnovnye polozeniya. M., 1987. 14 s.
3. Daneev A.V., Vorob'ev A.A., Kumenko A.E., Lebedev D.M., Mastin A.B. Metodika formirovaniya kompleksa sredstv upravleniya slozhnoi organizatsionno-tekhnicheskoi sistemoi // Vestnik Buryatskogo gosudarstvennogo universiteta. 2010. № 9. S. 263-268.
4. Kolomiets L.V., Fedorov M.V., Bogomolov A.V., Merezko A.N., Soldatov A.S., Esev A.A. Metod podderzhki prinyatiya reshenii po upravleniyu resursami pri ispytaniyakh aviatsionnoi tekhniki // Informatsionno-izmeritel'nye i upravlyayushchie sistemy. 2010. T. 8. № 5. S. 38-40.
5. Feshchenko K.B., Kozlov V.E., Bogomolov A.V., Volobuev A.P., Rudakov S.V. Metodika otsenivaniya prodolzhitel'nosti metrologicheskogo obsluzhivaniya izmeritel'nykh priborov i apparatnykh sredstv v usloviyakh razomknutykh metrologicheskikh tsepei // Informatsionno-izmeritel'nye i upravlyayushchie sistemy. 2007. T. 5. № 1. S. 54-60.
6. Barkovskii S.S. Kontrol' konfiguratsii letatel'nykh apparatov gosudarstvennoi aviatsii: riski, metod, tekhnologiya // Vestnik Kazanskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta im. A.N. Tupoleva. 2009. № 1. S. 16-18.
7. Feshchenko K.B., Rudakov S.V., Kozlov V.E., Volobuev A.P., Bogomolov A.V. Matematicheskaya model' dinamiki srednei chislennosti priborov i apparatov meditsinskogo naznacheniya v usloviyakh razomknutogo tsikla metrologicheskogo obsluzhivaniya // Biomeditsinskaya radioelektronika. 2006. № 5-6. S. 99-103.
8. Daneev A.V., Vorob'ev A.A., Lebedev D.M. Algoritmy upravleniya slozhnymi organizatsionno-tekhnicheskimi sistemami // Izvestiya Irkutskoi gosudarstvennoi ekonomicheskoi akademii. 2010. № 4. S. 83-86.
9. Makarenko V.G., Bogomolov A.V., Rudakov S.V., Podorozhnyak A.A. Tekhnologiya postroeniya inertsiyal'no-sputnikovoi navigatsionnoi sistemy upravleniya transportnymi sredstvami s neirosetevoi optimizatsiei sostava vektora izmerenii // Mekhatronika, avtomatizatsiya, upravlenie. 2007. № 1. S. 39-44.

10. Adzhemov S.S., Vinogradov A.N., Chirov D.S. Formirovanie bazy znaniy po rezul'tatam radiomonitoringa v tselyakh resheniya zadachi klassifikatsii radiokanalov // T-Comm: Telekommunikatsii i transport. 2009. № 56. S. 9-13.
11. Barzilovich V.Yu. Modeli tekhnicheskogo obsluzhivaniya slozhnykh sistem. M. Vysshaya shkola, 1982. 231 s.
12. Rudakov I.S., Rudakov S.V., Bogomolov A.V. Metodika identifikatsii vida zakona raspredeleniya parametrov pri provedeniya kontrolya sostoyaniya slozhnykh sistem // Informatsionno-izmeritel'nye i upravlyayushchie sistemy. 2007. T. 5. № 1. S. 66-72. 13.
13. Makarenko V.G., Podorozhnyak A.A., Rudakov S.V., Bogomolov A.V. Inertsial'no-sputnikovaya navigatsionnaya sistema upravleniya transportnymi sredstvami // Problemy upravleniya. 2007. № 1. S. 64-71.
14. Bukhtiyarov I.V., Usov V.M., Dvornikov M.V., Kukushkin Yu.A., Bogomolov A.V., Chernukha V.N. Tekhnologiya bioadaptivnogo upravleniya funktsionirovaniem sredstv obespecheniya zhiznedeyatel'nosti cheloveka v usloviyakh izmenennoi gazovoi sredy // Bezopasnost' zhiznedeyatel'nosti. 2004. № 5. S. 32-36.
15. Guzii A.G., Bogomolov A.V., Kukushkin Yu.A. Teoreticheskie osnovy funktsional'no-adaptivnogo upravleniya sistemami «chelovek-mashina» povyshennoi avariinosti // Mekhatronika, avtomatizatsiya, upravlenie. 2005. № 1. S. 39-48.
16. Rudakov S.V., Bogomolov A.V. Metodika rascheta napryazhennosti elektrostatischeeskogo polya v izolyatsii mnogozhil'nykh kabelei // Bezopasnost' v tekhnosfere. 2013. № 1 (40). S. 39-43.
17. Dvornikov M.V., Kukushkin Yu.A., Bogomolov A.V., Matyushev T.V. Tekhnologiya sinteza zakonov upravleniya cheloveko-mashinnymi sistemami, ekspluatiruemyimi v usloviyakh vysokogo riska gipoksicheskikh sostoyanii cheloveka // Dvoinye tekhnologii. 2014. № 1 (66). S. 8-11.
18. Vorob'ev A.A., Lebedev D.M., Barkovskii S.S., Soldatov A.S. Metody planirovaniya resursnogo obespecheniya federal'nykh tselevykh programm // Dvoinye tekhnologii. 2014. № 2 (67). S. 50-54