

УДК 621.396.96

Ю.В. Севостьянов, С.М. Каратеев, А.И. Кремешный, А.П. Корниенко, В.Н. Чернявский

*Харьковский университет Воздушных Сил имени Ивана Кожедуба, Харьков*

## ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ОТКАЗОВ АВИАЦИОННОЙ РАДИОЭЛЕКТРОННОЙ АППАРАТУРЫ КАК СИСТЕМЫ В ЦЕЛОМ

*Рассматривается подход к перспективной системе диагностики и контроля работоспособности авиационного радиоэлектронного оборудования.*

**Ключевые слова:** система диагностики и контроля, работоспособность, авиационное радиоэлектронное оборудование, летательный аппарат, отказ, неисправность, контрольный сигнал, статистические данные, электронно-вычислительная машина, режимы работы.

### Введение

#### Постановка проблемы и анализ литературы.

В настоящее время в мире проектируются, изготавливаются и используются летательные аппараты различного назначения. Эти аппараты выполняют задачи различного рода, начиная от военного назначения, заканчивая перевозкою грузов и пассажиров. Все летательные аппараты включают в свой состав радиоэлектронное оборудование, которое в свою очередь включает в себя системы и комплексы, предназначенные для решения задач радиолокации, радионавигации, радиосвязи, управления воздушным движением. В зависимости от выполняемых задач радиоэлектронными системами, предъявляются требования к надёжности работы данных систем в целом в жёстких климатических условиях. А это работоспособность авиационного радиоэлектронного оборудования при низких и высоких температурах окружающего воздуха, функционирование авиационных радиоэлектронных систем в области работы низкого и высокого атмосферного давлений, быстротой изменения давлений и температур, повышенной влажности, вибрации [2 – 5].

В процессе эксплуатации летательных аппаратов, а соответственно и радиоэлектронных систем в целом, происходят отказы данных систем, как на земле, так и в полёте. Радиоэлектронные системы, выполняющие наиболее важные задачи, связанные с безопасностью полётов, неоднократно резервируются дублирующими системами [2 – 5]. Однако, во первых, дублировать до бесконечности системы не представляется возможным, во вторых, как показывает практика, существует вероятность отказов и дублирующих систем. На рис. 1 изображён график зависимости вероятности отказов радиоэлектронной аппаратуры летательных аппаратов во время своего назначенного жизненного цикла. Данная зависимость показывает три временных этапа, во время прохождения которых происходят отказы радиоаппаратуры с большой и малой интенсивностью [3].

На первом этапе происходят отказы радиоэлектронной аппаратуры с высокой интенсивностью [3]. Это вызвано с временем приработки  $t_{\text{прир.}}$ , в течении которого новая радиоэлектронная аппаратура, изготовленная на заводе – изготовителе, проходит заводские стендовые испытания. На втором этапе  $t_{\text{эспл.}}$  Происходит техническая эксплуатация радиоэлектронной аппаратуры на аэродромах базирования данного летательного аппарата. Второй этап характеризуется малой интенсивностью отказов радиоэлектронной аппаратуры. На третьем этапе  $t_{\text{стар.}}$  происходит старение аппаратуры, он сопровождается высокой интенсивностью отказов, как и на первом этапе приработки [3].

Для выявления причин обнаруженных отказов авиационной радиоэлектронной аппаратуры, существуют различные системы диагностики и контроля. А это: встроенные системы контроля (ВСК) работоспособности радиоэлектронных систем, способные выявить отказ данных систем до блока включительно, сервисная аппаратура, способная определить причину отказа данной аппаратуры вплоть до функционально-конструктивного модуля (ФКМ) (печатной платы), универсальная аппаратура (осциллографы, мультиметры, частотомеры и другие приборы), способные определить отказ вплоть до элемента системы. Однако, данные современные системы диагностики и контроля не способны проводить прогнозирование отказов авиационных радиоэлектронных систем, что приводит к некоторому затруднению в обслуживании авиационных радиоэлектронных систем [3].

В практике эксплуатации авиационной техники наметилась тенденция перехода к эксплуатации ифогрессивными методами [2 – 5], которая связана с существенным изменением традиционных методов обслуживания и поиском способов, обоснования (пока в большинстве случаев эмпирических) мероприятий, направленных на повышение готовности техники к полётам, обеспечение их регулярности и безопасности.

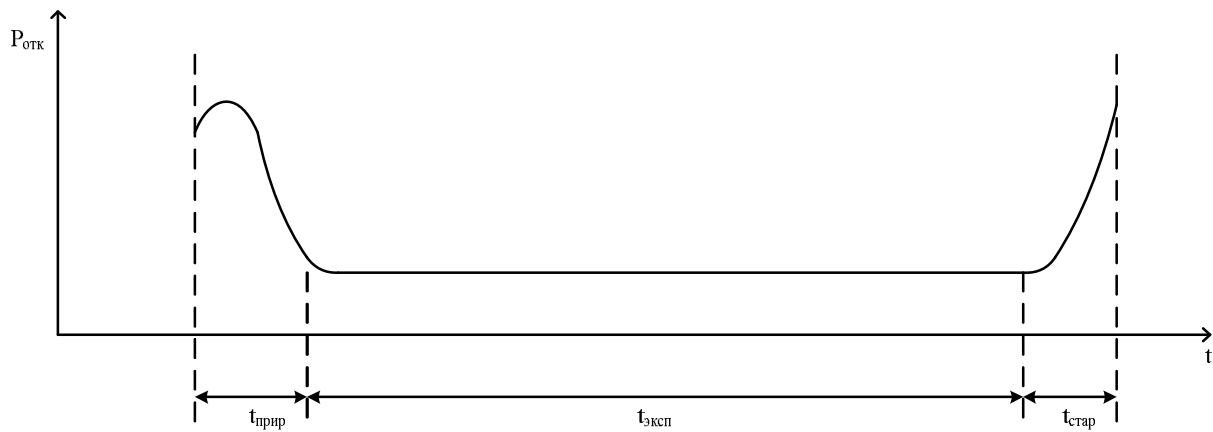


Рис. 1. Залежність ймовірності відмов радіоелектронних систем від часу життєвого циклу

В спеціальній літературі [2 – 5] все чаще публікуються статті, присвячені опису переваг так званого методу експлуатації авіаційної техніки по стану [3]. Одним із суттєвих ознак, положених в основу класифікації методів експлуатації авіаційної техніки, є тип використовуваної інформації про відмови блоків, вузлів, елементів систем. Інформація про технічний стан, на основі якої визначають моменти проведення робіт по управлінню технічним станом, включає два компоненти: дані, накоплені до моменту вибору правил управління (априорна інформація); дані, отримані в момент вибору таких правил (апостеріорна інформація).

Якщо використовується тільки априорна інформація, то правила управління технічним станом фіксовані по всім своїм параметрам (періодичність, обсяг і т. п.). Саме на основі такого принципу побудована планово-предупредительна система експлуатації.

Урахування апостеріорної інформації дозволяє зробити правила управління технічним станом авіаційних радіоелектронних систем (АРЭС) більш гнучкими, в цьому випадку, окремі їх параметри можуть бути змінені в залежності від характеру отриманої інформації. Система експлуатації, яка використовує вказані правила, належить до класу систем експлуатації по стану.

**Ціль роботи** – розробка пропозицій до обґрунтування розглянутого підходу перспективної системи діагностики очікуваних відмов і контролю робоспособності авіаційного радіоелектронного обладнання, заснованого на інтегруванні існуючих і перспективних засобів контролю і електронно – обчислювальної техніки.

### Основний матеріал

При експлуатації по стану найбільш характерним є випадок, коли стан ідентифікується за результатами аналізу сукупності

фізически вимірюваних параметрів (електричних напруг, струмів, опорів, потужностей). Однак такий підхід не є єдиним. Можна поглянути і ширше на експлуатацію авіаційної техніки по стану, якщо її характер назвати наработкою (або календарним часом експлуатації), робоспособністю складових її частин або техніки в цілому і значеннями вимірюваних параметрів в процесі експлуатації. Тоді експлуатацію по стану можна будувати таким чином, щоб різні профілактичні, регламентні і ремонтні роботи, призначати в залежності від інформації про наработку техніки, її робоспособності або від значень контролюваних і вимірюваних параметрів в процесі експлуатації. Якщо стан техніки характеризується наработкою і робоспособністю (неробоспособністю) складових її частин, то моделі управління станом базуються на теорії відновлення. Якщо ж стан авіаційної техніки характеризується вимірюваними параметрами, то для обґрунтування програми експлуатації авіаційної техніки застосовується теорія управляваних випадкових процесів.

Перехід до експлуатації по стану пов'язаний з рішенням таких наукових проблем, як вибір моделі АРЭС, визначення способів і засобів ідентифікації її стану, алгоритмів перетворення інформації про стан в форму, прийнятну для використання в алгоритмах управління, можливість реалізації прийнятих рішень і т. п. Центральною з цих проблем є знаходження правил управління технічним станом.

В сучасних складних авіаційних системах найбільш швидко впроваджуються результати технічного прогресу і останні досягнення наукової думки [1–5].

В оглянутому минулому питанні алгоритмізації експлуатації (технічного обслуговування) систем не приділялось достаточної уваги, однак з ростом складності систем і значимості фактора часу при підготовці їх до застосування ці

вопросы стали выдвигаться на передний план. Алгоритмизация обслуживания включает в себя последовательность выполнения различных операций по контролю, профилактических и восстановительных работ с учетом имеющихся сил и средств и паркового состава техники, планирование вопросов обучения обслуживающего персонала и другие мероприятия. Алгоритмизация обслуживания должна учитывать безотказность, долговечность, ремонтпригодность и сохраняемость техники, ее характеристики, а также подготовленность (обученность) обслуживающего персонала.

На практике стремятся выбрать такую алгоритмизацию обслуживания системы, чтобы минимизировать средние затраты на ее техническое обслуживание и обеспечить при этом эффективность применения системы не ниже заданной. Здесь, в принципе, возможна и двойственная задача. Алгоритмизация обслуживания выбирается из условия максимального уровня эффективности применения системы при фиксированных затратах (например, выделенных ассигнованиях, количестве обслуживающего персонала).

На рис. 2 предложена перспективная система контроля работоспособности и диагностики АРЭС. Перспективная система контроля и диагностики АРЭС включает в свой состав комплекты универсальной и сервисной контрольно-измерительной аппаратуры (КИА) и электронно-вычислительную машину (ЭВМ), которая соединена с комплектами КИА жгутной магистралью связи параллельного типа. Магистраль связи параллельного типа даёт возможность вести обмен данными между ЭВМ и комплектами КИА за очень короткие промежутки времени. Для проведения диагностики отказов АРЭС с какой – то заданной вероятностью, необходимо задать априорные статистические данные о интенсивностях потоков отказов каждого  $i$  – го типа радиоэлемента системы (полупроводникового элемента диодного типа, полупроводникового элемента транзисторного типа, резистивного, индуктивного, ёмкостного типов), схемы электрические принципиальные в электронном виде, которые дают информацию о электрическом соединении каждого  $i$ -го элемента данного типа АРЭС (радиолокационной, радионавигационной или другой любой). Эти статистические данные вводятся оператором в репрограммированное запоминающее устройство (РПЗУ) через устройство ввода – вывода (УВВ) данных ЭВМ. Центральный процессор (ЦП) выдаёт сигналы управления на все электронные узлы ЭВМ (оперативное запоминающее устройство (ОЗУ), РПЗУ, УВВ), по которым УВВ преобразовывает вводимую оператором информацию в машинный код и передаёт прямой адресацией на ЦП и РПЗУ. ОЗУ служит для временного хранения промежуточной информа-

ции, получаемая в результате работы процессора. Также процессор ЭВМ через УВВ выдаёт сигналы управления на узлы универсальной и сервисной КИА при проверке АРЭС. ЭВМ перспективной системы диагностики и контроля работоспособности АРЭС на первом этапе работы функционирует по логической схеме "ИЛИ". Это значит, что система, по желанию оператора, выбирает одну из подсистем АРЭС для проверки. На рис. 3 представлена схема электрическая функциональная канала выбора подсистемы АРЭС на диагностику электронно – вычислительной машины перспективной системы контроля работоспособности и диагностики АРЭС. Данная схема состоит из логической схемы дизъюнкции "ИЛИ", имеющей в данном случае четыре входа, четырёх компараторов, четырёх блоков, которые содержат информационные базы данных об интенсивностях потоков отказов радиоэлементов, из которых состоит данная подсистема РЭС, выбранная на диагностику. Базы данных элементов АРЭС, как отмечалось выше, представляют собой электронные данные об электрических параметрах данных элементов, статистические характеристики отказов (интенсивность потоков отказов данного типа элемента, среднестатистическое время наработки на отказ), схемы электрические принципиальные блоков АРЭС, которые показывают, как электрически соединены элементы в системе. По электрическим соединениям элементов ЭВМ производит расчёт прогнозируемого времени, в данных условиях эксплуатации АРЭС, до отказа. Одной из важных устройств перспективной системы контроля работоспособности и диагностики является контроллер выбора подсистем (комплексов) АРЭС на диагностику. Данное устройство изображено на рис. 3 и выполняет функцию программного подключения подсистем АРЭС к ЭВМ. Для выполнения данной задачи элемент "ИЛИ" подключает соответствующую подсистему АРЭС к первым входам сравнивающих устройств (компараторов). Ко вторым входам компараторов подключены базы данных, в которых заложена информация о подсистемах АРЭС. Для определённой подсистемы имеется своя индивидуальная база данных со своим компаратором. Количество компараторов и баз данных будет зависеть соответственно от количества подсистем АРЭС, которые планируется диагностировать. Управление компараторами, логическим элементом "ИЛИ" осуществляется программно командами, формируемыми ЭВМ. Перспективную систему контроля работоспособности и диагностики АРЭС можно описать математическим аппаратом. Данный математический аппарат описывает способность индивидуального прогнозирования работоспособности оборудования сложных систем, который использует метод комплексных огибающих, взятый из статистической теории связи [2].



Рис. 2. Перспективная система контроля работоспособности и диагностики АРЭС.  
Схема электрическая структурная

При этом будут использованы алгоритмы, следующие из минимизации одного из наиболее распространенного в теории радиолокации и связи критерия среднего риска:

$$\rho = \int_{\Lambda} \int_{\Lambda^*} v \left( \bar{\lambda}, \hat{\lambda} \right) \rho \left( \bar{\lambda}, \hat{\lambda} \right) d\bar{\lambda} d\hat{\lambda} = \min, \quad (1)$$

где  $v$  – функция потерь, которая характеризует погрешность определения прогнозируемого времени

выхода из строя АРЭС,  $\rho \left( \bar{\lambda}, \hat{\lambda} \right)$  – совместная плот-

ность вероятности параметров  $\bar{\lambda}$  (прогнозируемое время наработки элемента АРЭС на отказ) и их оценок  $\hat{\lambda}$ . Для широкого класса функций потерь одной из основных характеристик оптимальной системы является апостериорная плотность вероятности  $P(\bar{\lambda} / \bar{u})$ , где  $\bar{u} = \bar{u}(t)$  – совокупность наблюдаемых параметров. Для симметричных распределений в условиях существенной априорной неопределенности оптимальные оценки интересующих параметров  $\bar{\lambda}$  могут быть получены в рамках метода максимального правдоподобия [2]:

$$P(\bar{u} / \bar{\lambda}) = \max, \quad (2)$$

При фильтрации временных  $\bar{\lambda}(t)$  процессов, принципиально, как было сказано выше, необходимо использование каких-либо априорных сведений. Однако, основные наиболее существенные операции, входящие в состав оптимальных алгоритмов, обычно выполняемых на этапе первичной обработки процессов  $\bar{u}(t)$ , могут быть получены на этапе поиска максимума функционала правдоподобия [2 – 5] значений

параметров  $u(t)$ , которые представляют собой электрические сигналы, в которых закодированы параметры  $\lambda$ , при наличии коррелированных помех, будет использован функционал правдоподобия вида:

$$\left| Y_{\text{вых}}(\bar{\lambda}) \right| = \left| \sum_{n=1}^M \sum_{m=1}^M \int_0^T \dot{U}(t_1) \int_0^T W_{mn}(t_1, t_2) \times \dot{S}(t_1, t_2, \bar{\lambda}) dt_2 dt_1 \right| = \max, \quad (3)$$

где  $n$  – количество блоков АРЭС, диагностируемые при проверке;  $m$  – количество однотипных элементов в одном блоке;  $t_1, t_2$  – заданные оператором временные позиции начала и конца прогнозирования АРЭС;  $W_{mn}$  – режекторная фильтровая функция, обратная функции  $S$ ;  $S$  – сигнальная функция, в которой содержатся прогнозируемые текущие параметры времени наработки на отказ  $\lambda$  [1–5].

Коррелированные помехи представляют собой параметры  $\lambda^*$  других однотипных или неоднотипных элементов, которые в данный момент времени не диагностируются. При случайном воздействии коррелированных (совпадающих с оригиналом по времени, похоже на оригинал по параметрам и форме) помехи  $\lambda^*$ , в данном случае, отличить от действительных  $\lambda$  невозможно. В данном случае режекторная фильтровая функция  $W_{mn}$  обеспечит защиту основного канала диагностики, который выбран оператором для диагностирования от воздействия соседних каналов, которые на диагностируются, на основной канал. Если по каким-либо причинам случайно помехи  $\lambda^*$ , от соседних каналов, попадут в основной канал диагностики, режекторная фильтровая функция  $W_{mn}$  не обеспечит защиту основного канала диагностики, и помехи  $\lambda^*$  будут приняты ЭВМ за полезный сигнал  $S$ , несущий полезные параметры  $\lambda$  [1 – 5].

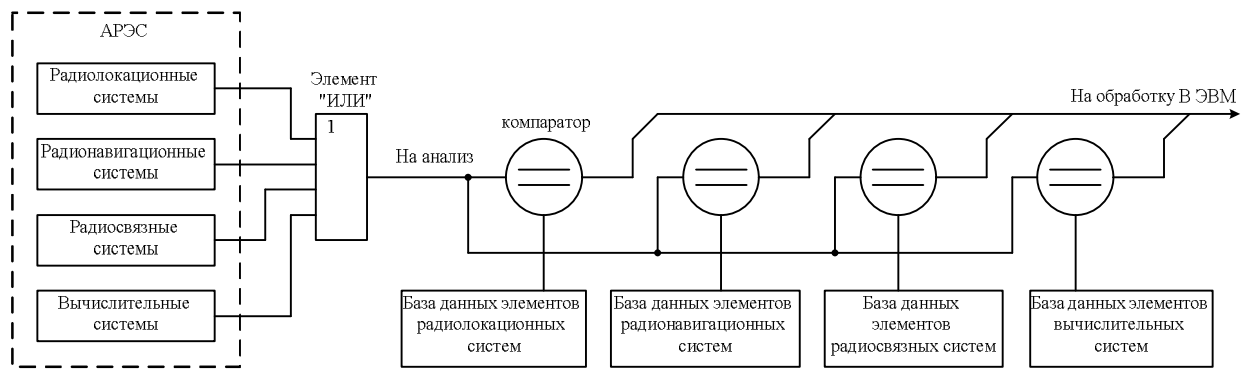


Рис. 3. Канал выбора подсистемы АРЭС на диагностику

## Выводы

На основании выше изложенного можно сделать вывод, что перспективная система контроля работоспособности и диагностики радиоэлектронных систем, применяемых на летательных аппаратах, с применением априорных данных интенсивностей потоков отказов на определённый тип единичных радиоэлементов, полученных статистическим путём, имеет возможность, с заданной вероятностью, предполагать возможное время отказа любого радиоэлемента АРЭС. По совокупности времени отказа некоторого количества радиоэлементов всей системы, можно предположить, с какой вероятностью и в какое время выйдет из строя вся система частично или полностью. Каким количеством контуров резервирования нужно резервировать данную систему, или совсем не нужно. При правильном подходе к диагностированию АРЭС это даёт возможность заранее менять отдельные радиоэлементы в системе. Тем самым предотвращать различного рода лётные происшествия, сопровождающиеся гибелью или травмированием людей, полным или частичным выходом из строя авиационной техники.

В дальнейшем данный материал можно использовать в качестве источника при проектировании перспективных систем прогнозирования отказов, применяемых для диагностики и контроля работоспособности авиационного радиоэлектронного оборудования.

## Список литературы

1. Волосяк В.К. Статистическая теория радиотехнических систем дистанционного зондирования и радиолокации / В.К. Волосяк, В. Ф. Кравченко. – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2008. – 704 с.
2. Авиация ПВО России и научно-технический прогресс. Боевые комплексы и системы вчера, сегодня, завтра / [В.К. Бабич, Л.Е. Баханов, Г.П. Герасимов и др.]; под ред. Е.А. Федосова. – М.: Дрофа. – 2004 – 710 с.
3. Конструкторско – технологическое проектирование электронной аппаратуры / К.И. Билибин, А.И. Власов, Л.В. Журавлёва и др. под общ. ред. В.А. Шахнова. – М.: Изд-во МГУ им. Н.Э. Баумана, 2002. – 528 с.
4. Дудник П.И. Многофункциональные радиолокационные системы / П.И. Дудник, А.Р. Ильчук, Б.Г. Татарский. – М.: Дрофа, 2007. – 282 с.
5. РЛС – информационная основа боевых действий многофункциональных самолётов. Системы и алгоритмы первичной обработки радиолокационных сигналов / [А.И. Канащенков, В.И. Меркулов, П.И. Дудник и др.]; под ред. А.И. Канащенкова. – М.: Радиотехника, 2006 – 510 с.

Поступила в редколлегию 25.03.2014

**Рецензент:** д-р техн. наук, проф. Ю.Н. Седышев, Харьковский университет Воздушных Сил им. И. Кожедуба, Харьков.

## ПРОГНОЗУВАННЯ ВІДМОВ АВІАЦІЙНОЇ РАДІОЕЛЕКТРОННОЇ АПАРАТУРИ ЯК СИСТЕМИ В ЦІЛОМУ

Ю.В. Севостьянов, С.М. Каратеев, О.І. Кремешний, А.П. Корнієнко, В.М. Чернявський

*Розглядається підхід до перспективної системи діагностики та контролю працездатності авіаційного радіоелектронного обладнання.*

**Ключові слова:** система діагностики та контролю, працездатність, авіаційне радіоелектронне обладнання, літальний апарат, відмова, несправність, контрольний сигнал, статистичні дані, електронно-обчислювальна машина, режими роботи.

## PROGNOSTICATION OF REFUSES OF AVIATION RADIO ELECTRONIC APPARATUS, AS SYSTEMS ON THE WHOLE

Y.V. Sevost'yanov, S.M. Karateev, O.I. Kremeshny, A.P. Kornienko, V.M. Chernyavskii

*Going near the perspective system of diagnostics and control of capacity of aviation radio electronic equipment is examined.*

**Keywords:** system of diagnostics and control, capacity, aviation radio electronic equipment, aircraft, refuse, disrepair, control signal, statistical information, електронно-вычислительная машина, office hours.