

*П. А. Будко*

Доктор технических наук, профессор, ученый секретарь ПАО «Интелтех»

*А. М. Винограденко*

Кандидат технических наук, доцент, докторант кафедры Технического обеспечения связи и автоматизации Военной академии связи

*С. В. Кузнецов*

Главный конструктор ООО «Информтехпроект»

## СИСТЕМЫ АВТОМАТИЧЕСКОГО КОНТРОЛЯ РАДИОЭЛЕКТРОННОГО ОБОРУДОВАНИЯ

**АННОТАЦИЯ.** Проведен анализ функционирования существующих систем автоматического контроля технического состояния радиоэлектронного оборудования. Приведены принципы построения, характеристики систем автоматического контроля технического состояния радиоэлектронного оборудования, а также методы контроля. Показаны обобщенные структурные схемы систем автоматического контроля различного назначения, а также современное состояние и перспективы развития систем автоматического контроля радиоэлектронного оборудования.

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** системы автоматического контроля, радиоэлектронное оборудование, техническое состояние, объекты контроля

### Введение

В условиях высокой динамики поставок в Вооруженные Силы Российской Федерации (ВС РФ) современных видов вооружения, военной и специальной техники (ВВСТ), увеличения их сложности, перехода на контракты полного жизненного цикла (ЖЦ), а также на фоне всеобщего развития процессов информатизации Вооруженных Сил и формирования единого информационного управляющего пространства (ЕИУП) России, вопросы автоматизации контроля технического состояния (ТС) наблюдаемых объектов становятся особо актуальными.

Системы автоматического контроля (САК) радиоэлектронного оборудования (РЭО) появились в результате прогресса в области автоматизации радиоизмерений и представляют в настоящее время отдельную отрасль техники, как привило, интегрированную в систему управления сложных технических объектов (СЛО). В связи с увеличением числа модульных конструкций, беспилотных летательных аппаратов (БПЛА), робототехнических комплексов назем-

ного (НРТК) и морского (МРТК) базирования, повышением их автономности и усложнением оборудования, предусматривается создание контуров управления, решающих отдельные задачи (контуров освещения наземной, воздушной, надводной и подводной обстановки, ПВО, РЭБ и др.) в рамках боевой информационно-управляющей системы (БИУС), в том числе, и по автоматическому контролю их ТС, что предполагает полную интеграцию всех информационных средств и оружия [1].

САК позволяет осуществить практически полную автоматизацию процесса контроля работоспособности и поиска неисправностей РЭО, уменьшить время восстановления и сократить количество обслуживающего персонала. При этом значительно повышается достоверность и объективность контроля, накапливается необходимая информация для прогнозирования постепенных отказов [1–4].

В зависимости от вида связи с проверяемой аппаратурой и целевого назначения САК РЭО можно разделить на три большие группы [1]: внешние, встроенные, комбинированные.

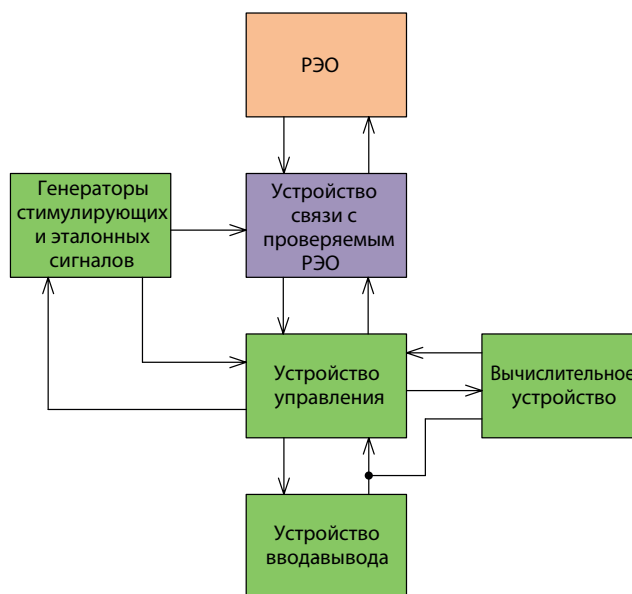


Рис. 1. Упрощенная блок-схема внешней САК

Внешние САК применяют для проверки РЭО средней сложности, связь внешних САК с проверяемой аппаратурой осуществляется по каналам передачи данных (радио- или проводным каналам) (рис. 1). Внешние САК являются в большинстве случаев универсальными, т. е. пригодными для проверки различных видов аппаратуры.

Встроенные САК функционально связаны с основной аппаратурой. В состав встроенных САК входят встроенные приборы и датчики (сенсоры), генераторы стимулирующих сигналов, коммутаторы, блоки обработки данных, устройства регистрации и индикации результатов контроля, входящие в единую сенсорную сеть. По видам САК делятся на несколько классов (в зависимости от типа объектов контроля, по функционалу САК, по объему контроля и др.), но в большинстве случаев они являются специализированными, т. е. пригодными для проверки одного вида аппаратуры. В таких системах последовательность проверки параметров устанавливается при разработке аппаратуры и в дальнейшем не изменяется. В универсальных встроенных САК имеется возможность изменения программы контроля.

Комбинированные САК представляют собой сочетание внешней и встроенной систем контроля. Встроенная система контроля обеспечивает

проверку общей работоспособности РЭО в процессе функционирования и выдает информацию об основных параметрах отдельных блоков аппаратуры. Поиск неисправностей в РЭО и комплексная всесторонняя проверка [2, 3] производятся с помощью внешней системы контроля.

### Анализ альтернативных САК РЭО

В настоящее время, процесс, происходящий в развитии измерительных систем, переходит на качественно новый уровень, характеризующийся следующими особенностями:

внедрением процессорной техники на уровень первичных преобразователей (сенсоров), что дает возможность перенести часть вычислительной нагрузки на уровень первичных измерительных и исполнительных приборов и снизить интенсивность межсетевых обмена;

использованием технологий открытого взаимодействия, дающих принципиальную возможность получить доступ к диагностической информации, управлению системой из любой ее точки по цифровой шине, по радиоканалу и др., при этом каждый датчик или исполнительный механизм превращается в своеобразный сервер данных и может накапливать и хранить информацию, а также управлять некоторыми контурами управления в системе;

реализацией альтернативных алгоритмов измерения и обмена, позволяющих повысить надежность системы;

на основе диагностической информации, поступающей от первичных преобразователей, система может прогнозировать изменение характеристик и отказы, как отдельных узлов, так и системы в целом.

За счет усложнения своей организации сенсоры приобретают новые эксплуатационные качества: упрощается обслуживание, снижаются эксплуатационные и ремонтные расходы, уменьшается время подготовительных работ перед началом эксплуатации, повышается надежность и точность измерения. В сенсорах может быть обеспечена непрерывная самодиагностика и доступность для контроля, настройки и коррекции непосредственно на РЭО.

### Принципы построения САК РЭО

К числу основных принципов построения САК РЭО относят [5]:

1) САК должны обеспечивать получение информации о состоянии РЭО в необходимом количестве и качестве для обеспечения наблюдаемости его ТС. По результатам наблюдения должны своевременно вырабатываться управляющие воздействия, которые обеспечивают необходимый запас устойчивости РЭО, качество их функционирования, создают необходимый запас их техногенной, экологической и экономической безопасности.

2) Принцип достаточности регламентирует выбор минимального числа датчиков, сопровождающих работу РЭО и обеспечивающих наблюдаемость его ТС. При этом выходной сигнал датчиков может быть представлен в широком диапазоне амплитуд и частот с последующей обработкой его на ЭВМ (обнаружением, фильтрацией, линеаризацией, коррекцией амплитудно-фазовых характеристик и т. д.).

3) Принцип информационной полноты отражает ограниченность наших знаний об окружающем мире и в общем виде может быть сформулирован так, что помимо известных нам диагностических признаков выделяют остаточный «шум», характеристики которого также используют для диагностики. При достаточно общих условиях такая система признаков почти ортогональна, то есть каждый из признаков отражает свой класс неисправностей.

4) Принцип инвариантности регламентирует выбор и селекцию таких диагностических признаков, которые инвариантны к конструкции оборудования и форме связи с параметрами ее ТС, что обеспечивает применение стандартных процедур без эталонной диагностики и прогнозирования ресурса РЭО, и, соответственно, быстрые темпы разработки и внедрения САК, переводя их в разряд стандартных систем обеспечения безопасности оборудования и процессов.

5) Принцип самодиагностики всех измерительных и управляющих каналов САК реализуется подачей специальных стимулирующих сигналов в цепь датчика и компьютерного анализа этого сигнала на выходе системы. Таким образом, проверяется функционирование всего тракта САК от датчика до компьютерной программы и средств отображения результатов контроля. Реализация этого принципа обеспечивает легкий пуск систем в эксплуатацию, простоту обслуживания и ремонта отдельных каналов, высокую метрологическую и функциональную надежность системы, ее выживаемость и приспособляемость к постоянно меняющимся условиям.

6) Принцип структурной гибкости и программируемости обеспечивает реализацию оптимальной параллельно-последовательно структуры ИДС, исходя из критериев необходимого быстродействия при минимальной стоимости. Системы с параллельной сосредоточенной структурой (VME-VXI) имеют максимальное быстродействие при максимальной стоимости. Системы с последовательной распределенной структурой имеют минимальное быстродействие при минимальной стоимости. Системы с последовательно-параллельной структурой занимают промежуточное положение. Главным недостатком применения параллельных систем во взрывопожароопасных объектах является большой расход кабеля, стоимость которого соизмерима со стоимостью САК. Выбор структуры системы (степени параллельности) требуют оценки ее необходимого быстродействия. Последнее определяется скоростью деградации ТС РЭО.

7) Принцип коррекции неидеальностей измерительных трактов вычислительными методами на ЭВМ — нелинейности датчиков, амплитудно-фазовых характеристик преобразовательных трактов и др., что обеспечивает высокую точность и стабильность метрологических характеристик САК.

8) Принцип дружелюбности интерфейса при максимальной информационной емкости обеспечивает восприятие оператором состояние СЛО в целом и получение целеуказывающего предписания на ближайшие неотложные действия. Осуществление этого принципа возможно только при наличии ЭВМ, комплексно отражающими ТС РЭО и его свойств в автоматическом режиме и под управлением оператора, средств мультимедиа и встроенной экспертной системы, диагностирующей состояние РЭО и всего СЛО в целом.

9) Принцип многоуровневой организации обеспечивает работу с системой специалистам разных уровней квалификации. Количество уровней САК определяется сложностью РЭО, его принадлежностью и местом расположения.

### Методы контроля

Работоспособность РЭО может контролироваться несколькими методами, определяющими готовность ее к действию с различной степенью достоверности. Применение того или иного метода определяется назначением контролируемой РЭО, ее сложностью и надежностью, а иногда и техническими возможностями. Основные методы контроля приведены в [5–9].

Основными методами контроля работоспособности РЭО являются функциональный, допусковый, диагностический и прогнозирующий.

*Функциональный контроль* является наиболее распространенным методом автоматической оценки работоспособности РЭО. При этом, обычно, на вход проверяемого устройства подается возмущающий сигнал, а реакции на него оцениваются по срабатыванию исполнительных устройств или по сигналам на рабочих индикаторах проверяемой аппаратуры. При функциональном контроле количественные характеристики выходных параметров РЭО не измеряются, поэтому достоверность его ограничена, но из-за простоты реализации он широко используется на практике.

*Допусковый контроль* производится количественными измерениями выходных параметров аппаратуры по принципу «годен-негоден» или «ниже-годен-выше». Этот метод позволяет с большей достоверностью получить информацию о работоспособности РЭО и ее выходных параметрах, определяющих технические характеристики аппаратуры.

При *диагностическом контроле* обнаруживают неисправные узлы и блоки аппаратуры, а иногда

и отдельные элементы, являющиеся причиной появления отказов. Применение этого метода повышает готовность РЭО, сокращает время ее восстановления. Примером реализации метода диагностического контроля может служить автоматизированный программно-аппаратный комплекс контроля и диагностики (АПАК КД), предназначенный для измерений параметров, контроля функционирования, контроля ТС, поиска мест и определения причин отказов РЭО в ходе эксплуатации [10] и, имеющий возможность интеграции в ЕИУП.

Как известно [11], коэффициент готовности аппаратуры определяется выражением:

$$K_r = \frac{T_o}{T_o + T_b},$$

где  $T_o$  — среднее время наработки аппаратуры на отказ;  $T_b = t_{\text{пн}} + t_{\text{ун}}$  — среднее время восстановления аппаратуры;  $t_{\text{пн}}$  — среднее время, затрачиваемое на поиск одной неисправности;  $t_{\text{ун}}$  — среднее время, затрачиваемое на устранение одной неисправности.

Для повышения коэффициента готовности необходимо уменьшать время восстановления аппаратуры, которое, в основном, определяется величиной  $t_{\text{пн}}$ . Разработано несколько методов оптимизации процесса поиска неисправностей [12, 13]: метод «половинного разбиения» (средней точки); метод «время-вероятность»; информационные методы поиска, метод синдромов, метод распознавания образов и многие другие.

При методе «половинного разбиения» неразветвленные участки схемы делят пополам, производя каждую последующую проверку по середине оставшейся непроверенной части схемы.

Метод «время-вероятность» основывается на знании интенсивности отказов и среднего времени, затрачиваемого на проверку различных участков схемы. Метод дает значительный выигрыш во времени при поиске отказов с высокой интенсивностью и неэффективен при поиске отказов с малой интенсивностью.

Информационные методы поиска основаны на применении теории информации к процессу отыскания неисправностей в сложных радиоэлектронных системах (РЭС). Процесс поиска неисправностей рассматривается как процесс снятия неопределенности состояния контролируемой РЭО. Количество информации, получаемое при проведении одного шага проверки, равно:

$$H_k = -[P_k \log_2 p_k + (1 - p_k) \log_2 (1 - p_k)],$$

где:  $P_k$  — вероятность безотказной работы РЭО по  $K$ -му параметру.

Последовательность программы поиска неисправностей составляется из условия:

$$H_{x-1} > H_x > H_{x+1}.$$

При методе синдромов проверкой охватывается вся контролируемая аппаратура в целом и ее отдельные элементы, до уровня которых отыскиваются неисправности. В процессе анализа каждый результат проверки «годен» — «не годен» относится к определяемому синдрому (признаку). Библиотека таких «синдромов» составляется предварительно, программируется и вводится в запоминающее устройство системы контроля. Преимущество метода заключается в том, что для проверки РЭО не требуется подачи стимулирующих сигналов.

Сущность метода распознавания образов заключается в разделении  $m$ -мерного пространства значений выходных параметров РЭО на  $P$  подпространств признаков неисправностей. Этот метод так же, как и метод синдромов, реализуется с помощью ЭВМ.

Среди существующих разработок следует отметить методы интервальных оценок, методы теории нечетких или размытых множеств, методы, основанные на использовании технологий экспертных систем, искусственных нейронных сетей, методах когнитивных информационных технологий, байесовские интеллектуальные технологии и сети, методы энтропийных потенциалов и др. Подробный обзор приведен, например, в работах [14].

При *прогнозирующем контроле* периодически проверяются выходные параметры и основные блоки РЭО, чтобы, исходя из накапливаемой информации о состоянии аппаратуры, предсказать, какой узел или блок явится причиной отказа на определенном временном интервале. Своевременное предотвращение отказов позволяет существенно повысить надежность действия РЭО. Основу профилактического контроля составляют метод граничных испытаний и статистические методы прогнозирования отказов: методы Байеса; с применением карт Шухарта (для контроля независимых параметров) или карт Хотеллинга (при контроле коррелированных параметров) и др. [15].

На практике используются все методы автоматического контроля работоспособности ап-

паратуры, однако наибольшее распространение получил метод допускового контроля в сочетании с диагностическим контролем и прогнозированием отказов аппаратуры.

### Характеристики САК

Свойства любой САК определяются рядом характеристик. Наиболее общими из них являются [9, 16]:

- достоверность результатов контроля;
- эффективность САК;
- надежность;
- вес и габаритные размеры;
- общее количество контролируемых параметров;
- полнота контроля;
- точность измерения параметров;
- возможность и точность прогнозирования состояния проверяемой РЭО;
- наличие и вид самоконтроля;
- возможность автоматического включения резервных блоков.

Достоверность результатов контроля характеризует способность системы контроля правильно отражать реальное состояние проверяемой РЭО и является важнейшей технической характеристикой любой САК.

Понятие эффективности контроля в настоящее время не является однозначным. Одни авторы [17] под эффективностью системы понимают отношение даваемого ею эффекта к затратам. Другие при определении эффективности учитывают точностные характеристики системы и суммарные затраты на контроль [18]. Некоторые авторы [19] связывают эффективность с вероятностью выполнения системой поставленной задачи. В общем случае под эффективностью САК понимается качественная оценка решения общей задачи контроля с достоверностью не ниже заданной в течение заданного времени.

Полнота контроля характеризует, какой процент из общего числа параметров, определяющих работоспособность аппаратуры, охваченной контролем:

$$P_k = \frac{N_k}{N_\Sigma},$$

где:  $N_k$  — число параметров, охваченных контролем;  $N_\Sigma$  — общее число параметров, характеризующих работоспособность РЭО.

### Структура САК РЭО

Обобщенная структурная схема САК РЭО приведена на рис. 2. Реальная система контроля должна содержать только те блоки, которые позволяют обеспечить соответствие ее характеристик требованиям эксплуатации. В общем случае в состав САК РЭО входят следующие устройства [4, 5, 8, 9, 20–22]:

- устройство связи с проверяемой РЭО;
- генераторы стимулирующих и эталонных сигналов;
- преобразующие устройства;
- вычислительное устройство (ВУ);
- устройство управления;
- устройство ввода-вывода.

Примером САК может служить устройство комплексного контроля РЭО (рис. 3), работа которого основана на использовании методов неразрушающего контроля, а именно, на комплексировании измерительной информации, поступающей в реальном режиме времени от тепловизора, датчика напряженности магнитного поля, датчика напряжения (контактный метод) и датчика влажности [20–22].

Устройство связи содержит аппаратуру для передачи контролируемых и стимулирующих сигналов по радиолиниям (сигналы телеуправления — телесигнализации (ТУ-ТС)) или по кабельным (медножильным, оптическим) линиям связи коммутаторы сигналов.

Генераторы стимулирующих и эталонных сигналов вырабатывают необходимые для кон-

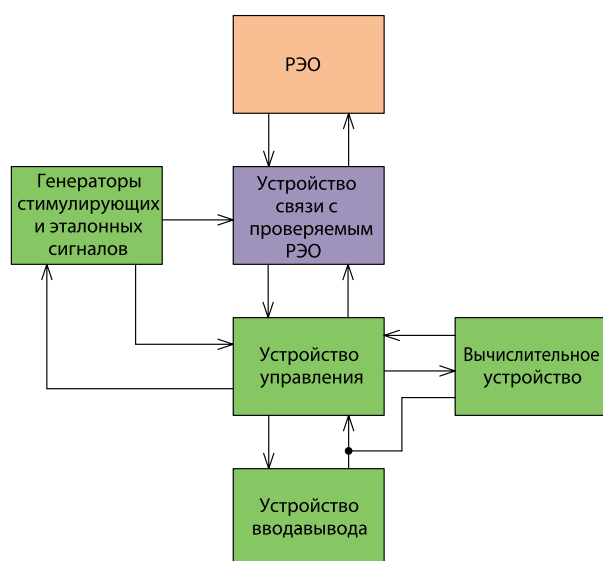


Рис. 2. Обобщенная структурная схема САК

троля входные стимулирующие (возбуждающие) сигналы и эталонные величины сигналов, с которыми сопоставляются результаты измерений. Они подразделяются на генераторы электрических напряжений и токов, генераторы частоты, импульсов и т. д.

Вычислительное устройство производит обработку информации о состоянии проверяемого РЭО по заданной программе.

Устройство ввода-вывода хранит программы контроля, определяет режим работы других блоков САК и осуществляет индикацию (отображение) результатов контроля.

Опыт применения АСК в ракетно-космической отрасли показал тенденции к росту автоматизации все большего количества процессов при контроле ТС и испытаниях космических аппаратов. В настоящее время наиболее полно автоматизирован информационный обмен, частично — обработка информации и менее всего — принятие решений. Технически телеметрирование и телеконтроль реализуются с помощью РЭО, образующего информационно-телеметрические средства. В обобщенном виде состав и взаимосвязи этих средств изображены на рис. 4.

Датчики размещаются на борту ОК и для остальных систем играют роль источников информации о нем [9].

Основным потребителем информации является система анализа, реализующая конечные цели телеметрирования и телеконтроля. Результаты анализа служат основой принятия решения, поэтому системой отображения и документирования они выводятся на средства отображения. Датчики и система анализа соединяются между собой системой связи и согласования, которая обеспечивает их взаимодействие. Информационно-вычислительные средства являются основными неотъемлемыми частями в составе современных и перспективных телеметрических средств и обеспечивают существенное улучшение их тактико-технических и эксплуатационно-технических характеристик.

Современные измерительные системы отличаются функциями, которых нет у совокупности средств измерений, размещенных в разных точках ОК, например, метрологическим самоконтролем и автоматической коррекцией погрешности, поэтому, с целью повышения достоверности результатов контроля, в устройства САК вводят цепи самоконтроля [23]. Частичная самопроверка САК осуществляется в процессе функционирования,

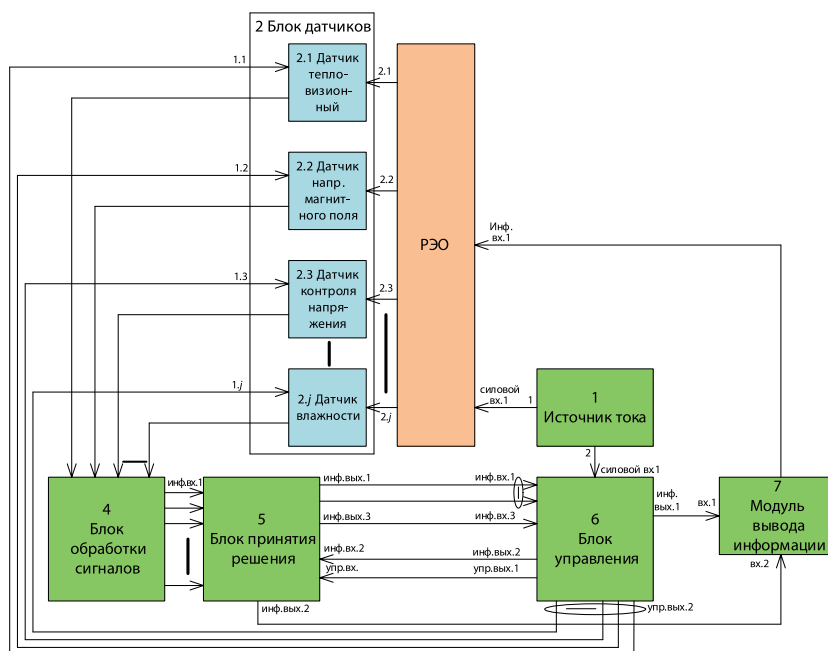


Рис. 3. Функциональная схема устройства комплексного контроля ТС РЭО

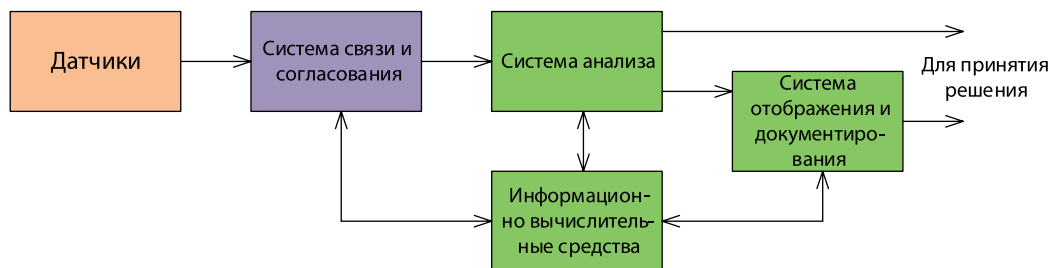


Рис. 4. Структурная схема информационно-телеметрических средств

а полная самопроверка производится перед началом работы, в режиме профилактики перед началом работы, в режиме профилактики или после получения отрицательного результата проверки. Кроме того, в устройстве САК может быть функция формирования приоритетов при передаче информации от датчиков (сенсоров) в вычислительное устройство (блок принятия решения).

В настоящее время разрабатываются главным образом комбинированные САК для контроля отдельных видов РЭО. Имеются попытки создать универсальные комбинированные САК, которые после незначительного изменения в структурной схеме путем замены или добавления некоторых стандартных блоков (генераторов сигналов, коммутаторов, датчиков и т. д.) могут быть использованы для проверки различных радиоэлектронных комплексов.

### Современное состояние и перспективы развития САК РЭО

В последние годы в нашей стране и за рубежом ведутся работы по исследованию, разработке, производству и эксплуатации САК РЭО. Эти системы различны по назначению, сложности, стоимости, принципам программирования, управления и обработки информации, а также техническому уровню их выполнения.

Зарубежный опыт показывает, что применение *CALS*-технологий (*Continuous Acquisition and Life-Cycle Support* — информационная поддержка жизненного цикла РЭО на всех его стадиях, основанная на использовании единого информационного пространства) позволяет кардинальным образом повысить достоверность, эффективность и др. показатели качества САК [8].

Увеличение количества применяемых устройств с беспроводным интерфейсом, к которым относятся не только средства связи, но и устройства, объединенные в сети промышленного и исследовательского (сенсорные сети) назначения, и их миниатюризация ведут к перспективе появления беспроводных сетей, состоящих из очень большого (до десятков тысяч и более) количества узлов, также, способствующих повышению оперативности оценки ТС ОК.

Современные САК РЭО встраиваются (интегрируются) в аппаратуру или придаются ей. Они выполняются на программно-логических интегральных схемах (ПЛИСах) с использованием микропроцессорной техники. Перспективным многие годы считается метод автоматического самоконтроля [5, 20]. Согласно основному принципу данного метода, контрольное оборудование должно проектироваться одновременно с действующими элементами аппаратуры на каждом этапе разработки РЭС.

По аналогичным методам в ведущих космических державах разрабатываются системы контроля оборудования космических кораблей, которые могут работать без вмешательства человека многие годы [24], своевременно включая необходимый резерв.

Однако существующие схемы построения систем контроля имеют ряд недостатков, которые иногда не позволяют обеспечить высокую достоверность и эффективность контроля.

Основными недостатками современных САК являются [9]:

- большая сложность;
- низкая надежность;
- недостаточная помехоустойчивость;
- отсутствие возможности самообучения.

В связи с этим проводятся большие работы по исследованию возможности, с одной стороны, упрощения систем контроля и повышения их надежности, с другой стороны — и повышения точности измерений.

Упрощение системы контроля может быть достигнуто в результате системного подхода к разработке основной и контрольной аппаратуры, для чего применяется описанный выше метод автоматического самоконтроля.

Исследуется возможность использовать для передачи информации неэлектрические сигналы с тем, чтобы повысить устойчивость систем к внешним электромагнитным воздействиям. Так, например, были созданы системы контроля, в которых передача и логическая обработка информации осуществлялись с помощью света. Кроме того, исследуются возможности построения систем контроля на основе пневмоники.

### Вывод

На данный момент при растущей сложности современных РЭС, увеличении числа контролируемых параметров, миниатюризации размеров элементов, а также низкого уровня использования систем, выполняющих функции прогнозирования и диагностирования предаварийного состояния, актуальными являются задачи прогнозирования отказов в рабочем режиме, снижения времени восстановления, уменьшения ресурсов сил и средств, требуемых для диагностирования. Это возможно достичь при использовании неразрушающих методов контроля и диагностики (радиоволновой, оптический, магнитный, вихретоковый, акустический, радиационный, тепловой, электрический и проникающими веществами), внедрение которых позволяет обнаруживать такие дефекты, которые при обычных методах контроля не выявляются [20].

В последнее время находят применение системы контроля, построенные на принципах искусственных нейронных сетей. [25]. Это позволяет значительно расширить логические возможности систем контроля и создать самообучающиеся системы контроля.

В перспективе системы автоматического контроля должны стать неотъемлемой частью самоорганизующихся систем, в которых они будут выполнять функции непрерывного диагностирования и саморемонта, а при наличии неустраняемого отказа выбирать оптимальный режим функционирования аппаратуры с ухудшенными характеристиками.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Охтилев П. А. Подход к оцениванию структурных состояний сложных организационно-технических объектов на основе обобщенных вычислительных моделей // П.

А. Охтилев, А. Д. Бахмут, А. В. Крылов, М. Ю. Охтилев, Б. В. Соколов // Научно-технические исследования в космических исследованиях Земли. — 2017. — Т. 9, № 5. — С. 73–82.



2. **Охтилев М. Ю.** Интеллектуальные технологии мониторинга состояния и управления структурной динамикой сложных технических объектов / М. Ю. Охтилев, Б. В. Соколов, Р. М. Юсупов. — М.: Наука, 2006. — 410 с.
3. **Соловьев И. В.** Общие принципы управления сложной организационно-технической системой / И. В. Соловьев // Перспективы науки и образования. 2014. № 2 (8). С. 21–27. URL.: <https://pnojournal.worldpress.com>. ISSN2307–2447.
4. Байда Н. П., Разин В. М., Капицкий Я. И., Павленко Г. П., Танасейчук В. М. Системы автоматического контроля радиоэлектронной аппаратуры. // Известия Томского политехнического института им. С. М. Кирова. 1972. Т. 230. С. 74–80.
5. **Дмитриенко А. Г.** Техническая диагностика. Оценка состояния и прогнозирование остаточного ресурса технически сложных объектов. Уч. пос. / А. Г. Дмитриенко, А. В. Блинов, Д. В. Волков, В. С. Волков // Под ред. Д. И. Нефедьева, В. Б. Ципина. — Пенза, 2013. — 62 с.
6. **Лебедев М. Д.** Состояние и развитие автоматических систем контроля / М. Д. Лебедев. — Москва-Ленинград: Энергия, 1967. — С. 14–20.
7. Основы эксплуатации радиоэлектронной аппаратуры / Под ред. В. Ю. Лавриненко. — М.: Высшая школа, 1968. — 236 с.
8. **Посупонько Н. В.** Автоматизированные системы контроля, диагностики и прогнозирования. Уч. пособ. / Н. В. Посупонько. — Ростов-на-Дону, 2008. — 79 с.
9. **Козырев Г. И.** Методы контроля функционирования радиоэлектронных средств. Ч. 1. Основные понятия и принципы контроля функционирования радиоэлектронных средств / Г. И. Козырев, О. Л. Полончик // Под ред. Г. И. Козырева. — СПб.: ВКА им. А. Ф. Можайского, 2016. — 80 с.
10. **Винограденко А. М.** Моделирование централизованной автоматизированной системы управления техническим состоянием техники связи и АСУ / А. М. Винограденко, С. В. Кузнецов // Материалы трудов Всероссийской НТК «Расплетинские чтения — 2018», ГСКБ «Алмаз». — М., 2018. — С. 81–88.
11. **Половко А. М.** Основы теории надежности / А. М. Половко, С. В. Гуров. — СПб.: БХВ-Петербург, 2006. — 706 с.
12. **Цыпин Б. В.** Методы поиска неисправностей при диагностике машин и приборов. Уч. пос. / Б. В. Цыпин. — Пенза: Изд. Пензенского гос. ун-та, 1997. — 60 с.
13. **Расщепляев Ю. С.** Методы контроля состояния динамических систем в процессе их функционирования / Ю. С. Расщепляев, И. В. Бурлай, Н. В. Посупонько // НТП «Виразж-центр»; «Техника машиностроения». — М., 2007, № 3. — С. 56–61.
14. **Лазарев В. Л.** Системный подход к оценке состояний неопределенности. Особенности реализации для задач мониторинга и управления / В. Л. Лазарев, В. Л. Иванов // Вестник МАХ. — 2014, № 2. — С. 25–29.
15. **Клячкин В. Н.** Модели и методы статистического контроля многопараметрического технологического процесса / В. Н. Клячкин. — М.: Физматлит, 2011. — 196 с.
16. **Разумный В. М.** Оценка параметров автоматического контроля / В. М. Разумный. — М.: Энергия, 1975. — 80 с.
17. **Бурцев В. К.** О надежности и эффективности систем автоматического контроля и регулирования / В. К. Бурцев, Д. В. Свичарник // Приборостроение, 1963, № 6.
18. **Губенко О. А.** Повышение эффективности радиотехнических комплексов при оптимизации информационно-измерительных подсистем систем технической эксплуатации / О. А. Губенко, Н. В. Посупонько // Межвузовская НТК «Проблемы теории и практики построения радиотехнических систем и перспективные методы приема и обработки измерительной информации». Ростовский военный институт ракетных войск, 1998.
19. **Балаясников В. Н.** Пути повышения эффективности радиотехнических комплексов МО США / В. Н. Балаясников, И. И. Емельянов // Зарубежная радиоэлектроника, 1987, № 7. — С. 86–92.
20. **Будко П. А.** Реализация метода многоуровневого комплексного контроля технического состояния морского робототехнического комплекса / П. А. Будко, А. М. Винограденко, С. В. Кузнецов, В. К. Гойденко // Системы управления, связи и безопасности. — 2017, № 4. — С. 71–101. URL: <http://sccs.intelgr.com/archive/2017-04/04-Budko.pdf>
21. **Будко П. А.** Метод многомерного статистического контроля технического состояния радиоэлектронного оборудования на основе комплексирования показаний нескольких типов датчиков / П. А. Будко, А. М. Винограденко, В. К. Гойденко, Л. И. Тимошенко // Датчики и системы. — 2018, № 3 (223). — С. 3–11.
22. **Будко П. А.** Экспериментальные исследования кинетического метода контроля и диагностики технических средств / П. А. Будко, Н. П. Будко, А. И. Литвинов, А. М. Винограденко // Мехатроника, автоматизация, управление». — 2014, № 9 (162). — С. 53–58.
23. **Тауманов Р., Sapozhnikova K., Ionov A.** Topical metrology problems in the era of cyber-physical systems and Internet of Things. — 09006, “18<sup>th</sup> InternCongress of Metrology”, EDP sciences, Web of Conferences, Paris, France, ed C. Corleto, Sept. 19–21, 2017, 7 p. [https://cf-metrologie.edpsciences.org/articles/metrology/abs/2017/01/metrology\\_metr2017\\_09006.html](https://cf-metrologie.edpsciences.org/articles/metrology/abs/2017/01/metrology_metr2017_09006.html).
24. **Назаров А. В., Козырев Г. И., Шитов И. В. и др.** Современная телеметрия в теории и на практике. Учебный курс. СПб.: Наука и техника, 2007. — 672 с.
25. **Абрамов О. В.** Технология предупреждения отказов технических систем ответственного назначения / О. В. Абрамов // Материалы XII Всероссийского совещания по проблемам управления ВСПУ-2014. — М.: 2014. — С. 7540–7545.