

## ДИАГНОСТИКА СЛОЖНЫХ СИСТЕМ КОМПЛЕКСОВ ТЕХНИЧЕСКИХ СРЕДСТВ ПО ЭЛЕКТРОМАГНИТНОЙ ОБСТА- НОВКЕ

к.т.н. А.В. Гнатов

(представил д.т.н., проф. Б.Ф. Самойленко)

*Предложен принцип контроля и диагностирования по параметрам электромагнитной обстановки.*

**Постановка проблемы.** Поддержание высокой надежности сложных систем радиотехнических и электротехнических средств (РТ и ЭТС) командных пунктов (КП), узлов связи (УС), комплексов вооружения в Вооруженных силах Украины (ВСУ) и их готовности к использованию невозможно без хорошо развитых средств контроля и диагностирования их состояния и последующего восстановления (замены) отказавших компонентов. Это обусловлено тем, что эти технические комплексы относятся к системам длительного использования и отличаются большой сложностью, содержат десятки и сотни тысяч элементов. Поэтому даже при сравнительно малой интенсивности отказов элементов ( $10^{-6} - 10^{-8}$  [1]) суммарная интенсивность отказов систем РТ и ЭТС может быть достаточно велика, что требует разработки и широкого внедрения средств контроля, диагностирования и восстановления.

Теоретическое решение этих вопросов в последние годы развивалось в рамках одного из направлений технической кибернетики – *технической диагностики*, которую часто еще называют технической или машинной медициной. Но при выборе методов и параметров диагностирования электромагнитная обстановка (ЭМО) и электромагнитные помехи (ЭМП) не брались во внимание, а если и учитывались, то как второстепенный фактор. Эта задача в технической диагностики еще не развита, её решение может составить новое научное направление технического диагностирования.

**Анализ литературы.** Техническая диагностика как наука сложилась благодаря трудам большой группы советских и зарубежных ученых. Пионерской работой в этой области была статья С.В. Яблонского и И.А. Чегиса "О тестах для электрических схем", опубликованная в 1955 году, в которой впервые вводились понятия, связанные с диагностированием технического состояния дискретных объектов [1]. Затем в 60 и 70-е годы теоретический фундамент технической диагностики закладывался в работах

П.П. Пархоменко, Е.С. Согомоняна, В.В. Карийского и других.

В последнее десятилетие быстрое развитие методов и средств технической диагностики стимулировалось резким обновлением элементов базы средств автоматики и вычислительной техники, в том числе и сложных системах РТ и ЭТС комплексов вооружения и военной техники, и, в первую очередь, внедрением микропроцессорных комплектов больших интегральных схем (БИС), сверхБИС и т.д. При этом наиболее перспективными здесь являются исследования, связанные с созданием контролепригодных и самопроверяемых устройств и систем. Этому направлению технической диагностики, его теоретическим и практическим аспектам посвящены, например, работы [2 – 4]. Но, опять же, несмотря на достаточно бурное развитие направления – техническая диагностика в науке, ещё не учитывается (как диагностический объект) такой фактор, как электромагнитные помехи оборудования.

**Цель данной статьи:** раскрыть основные особенности диагностики сложных технических комплексов, принципы её организации, а также предложить принципиально новый способ технической диагностики, основанный на использовании электромагнитной обстановки оборудования и его электромагнитных помех в сложных системах РТ и ЭТС вооружения и военной техники ВСУ.

**Основная часть.** Под сложной системой технических средств (ССТС), находящейся на вооружении в ВСУ, будем понимать определённый объект (комплекс вооружения), который состоит из большого количества радиотехнических, электротехнических средств, радиоэлектронной и электронно-вычислительной техники, которые связаны между собой общностью процесса функционирования для достижения определённых целей. Например, это КП, пункты управления, УС, различные комплексы вооружения и военной техники. В состав перечисленных объектов входит большое количество технических средств, систем и подсистем, которые отдельно обладают достаточно малой вероятностью отказов, которая при их совместном функционировании значительно возрастает (особенно в режиме боевой работы рассматриваемого объекта, так как при этом работают *все* его системы в штатном своем режиме и сбой в работе даже одной может привести к отказу всего объекта):

$$P(A) = \prod_{i=1}^n P(A_i), \quad (1)$$

где  $P(A)$  – вероятность безотказной работы системы;  $P(A_i)$  – вероятность безотказной работы  $i$ -го элемента системы.

Поэтому техническая диагностика такого объекта становится чрез-

вычайно актуальной, но при этом надо учитывать ряд особенностей.

Следует также отметить тот факт, что неполадки обнаруженные по результатам диагностики сложной системы технических средств необходимо локализовать, а неисправные компоненты заменить исправными. А это требует определенного времени ( $T_B$ ). Чем меньше  $T_B$ , тем выше значение коэффициента готовности ( $K_G$ ):

$$T_B = T_{OB} + T_L + T_3, \quad (2)$$

где  $T_B$  – время восстановления;  $T_{OB}$  – время обнаружения;  $T_L$  – время локализации;  $T_3$  – время замены.

$$K_G = \frac{T_{OB}}{T_{OB} + T_B}, \quad (3)$$

где  $K_G$  – коэффициент готовности.

### **Особенности диагностики сложных технических комплексов.**

Эффективность любой системы контроля и диагностики в первую очередь зависит от того, насколько глубоко и полно учтена специфика диагностируемого объекта. Это в полной мере относится и к сложным системам РТ и ЭТС командных пунктов, УС, комплексов вооружения в ВСУ.

Проанализируем основные особенности ССТС как объектов контроля и диагностирования (КД).

ССТС – это сложный технический комплекс, состоящий из большого числа систем и подсистем. Другими словами, ССТС является объектом контроля и диагностирования чрезвычайно больших масштабов, поскольку имеет сотни и тысячи контролируемых параметров.

В состав ССТС входят как цифровые, так и аналоговые системы, содержащие как аппаратные, так и программные средства; в них используется различная элементная база – интегральные микросхемы, реле, датчики и т.д. Это создает дополнительные трудности при контроле и диагностировании.

ССТС, находящиеся на вооружении в ВСУ, отличаются многообразием режимов эксплуатации, к числу которых относится хранение (нахождение в выключенном состоянии), дежурный режим, когда во включенном состоянии находится часть систем, боевая работа, во время которой все системы работают с полной нагрузкой. Эти обстоятельства обуславливают необходимость наличия различных средств контроля и диагностирования.

В состав ССТС входит большое число ЭВМ – от универсальных суперкомпьютеров до встроенных микроЭВМ, выполняющих функции локальных контроллеров на нижних уровнях иерархии управления. Часть из них может объединиться в сети, что позволяет перераспределять ре-

шаемые задачи при отказах. Таким образом, с одной стороны, ЭВМ являются сложным объектом контроля и диагностирования, а с другой, они сами могут использоваться в качестве средств КД.

В работе ССТС практически все время принимает участие человек, который выполняет функции оператора – важного звена средств автоматизации. Оператор участвует в проведении операции контроля и диагностирования, принимает решение о техническом состоянии систем. В то же время он также должен рассматриваться как объект контроля и диагностирования, поскольку может допускать ошибочные действия, приводящие к нарушению функционирования ССТС.

Отдельные компоненты ССТС – пункты контроля и управления, пусковые установки могут находиться на большом удалении друг от друга, что затрудняет автоматическое проведение процесса контроля и диагностирования, сбор информации о техническом состоянии и требует развитых телемеханических средств, позволяющих передавать необходимую информацию между объектами.

ССТС, как правило, являются объектами длительного использования. Повышенные требования к надежности и готовности объясняются большими материальными затратами на их создание и эксплуатацию и катастрофическими последствиями, которые могут иметь место при отказе ССТС.

Следовательно, рассмотренные причины обуславливают жесткие требования к техническим характеристикам средств контроля и диагностирования, которые должны обеспечить оперативное обнаружение нарушения функционирования (потери работоспособности) ССТС, локализацию дефекта с высокой достоверностью и заданной точностью (разрешающей способностью).

Принцип реализации системы контроля и диагностирования. Анализ особенностей ССТС как объектов КД, вытекающих из этого анализа требований к системам контроля и диагностирования (СКД), позволяют сделать вывод о том, что эти СКД ССТС, в свою очередь, являются весьма сложными системами. Эти системы являются ядром *систем управления техническим состоянием (СУТС) ССТС* (рис. 1), задачей которых является не только распознавание технического состояния компонентов ССТС, но и управление этим состоянием путем программного рестарта алгоритмов при возникновении сбоев, переключения на резервные каналы и выбора работоспособных конфигураций при отказах, замены дефектных блоков обслуживающим техническим персоналом и т.д.

При реализации гибких стратегий управления техническим состоянием СУТС после идентификации отказа производится анализ его влияния на готовность систем ССТС к использованию, оценивается воз-

возможность выполнения задач с «накоплением» дефектов, определяется оптимальные последовательности и сроки проведения ремонтно-восстановительных работ.

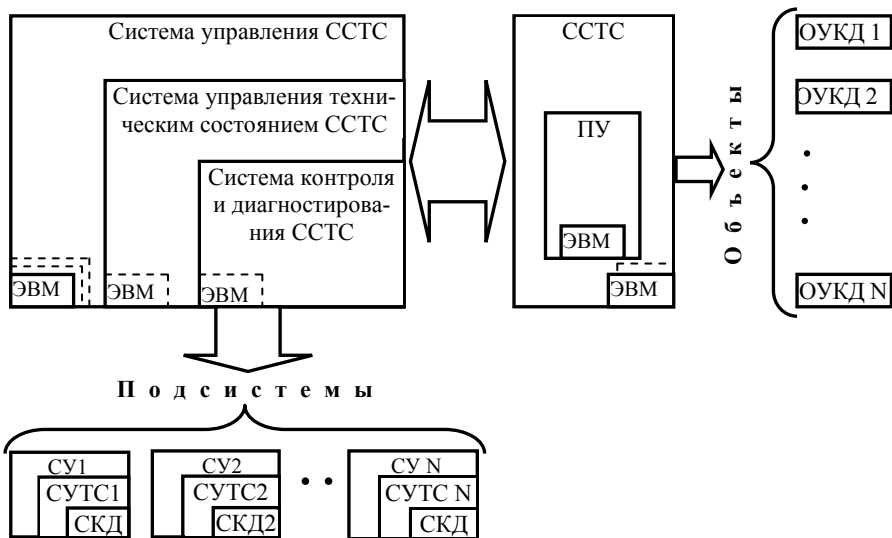


Рис. 1. Место системы контроля и диагностирования в системе управления CCTC

В свою очередь, СУТС является одной из подсистем общей системы управления (СУ) CCTC, которая кроме задач управления техническим состоянием осуществляет другие управленческие функции (выбор режимов работы, управление технологическими процессами их реализации и т.д.). Все рассмотренные управляющие системы также, как и другие системы CCTC, могут иметь в своем составе ЭВМ.

Необходимо отметить, что выполнение основных функций СУ CCTC, СУТС и СКД может осуществляться как раздельными, так и едиными техническими средствами, т.е. на основе централизованной структуры. В такой структуре реализуется принцип функциональных подсистем, каждая из которых имеет свои задачи, программные средства и средства аппаратной поддержки.

Возможен и другой подход к декомпозиции систем и объектов управления, контроля и диагностирования (ОУКД) CCTC. Он отличается тем, что СУ CCTC, СУТС и СКД делятся на  $N$  подсистем, осуществляющих управление, контроль и диагностирование отдельных объектов ОУКД $_i$ ,  $i = 1, N$  (рис. 1).

Рассмотрим конкретные варианты структурной организации систем

контроля и диагностирования применительно к ССТС, на примере комплекса вооружения ВСУ, состоящего из пункта контроля и управления и пусковой установки. Обмен информацией между ними осуществляется с использованием телемеханической системы (ТМС).

В первом случае (рис. 2) реализуется система тестового контроля и диагностирования с *централизованным* принципом построения. Она содержит единые средства генерации тестовых воздействий (ГТВ), формирования ожидаемых реакций (ФОР) и анализа (БА). Каждый из объектов контроля и диагностирования ОКД<sub>1</sub>, ..., ОКД<sub>N</sub> имеет индивидуальные средства преобразования выходных реакций ПВР<sub>1</sub>,  $i = 1, \dots, N$ .

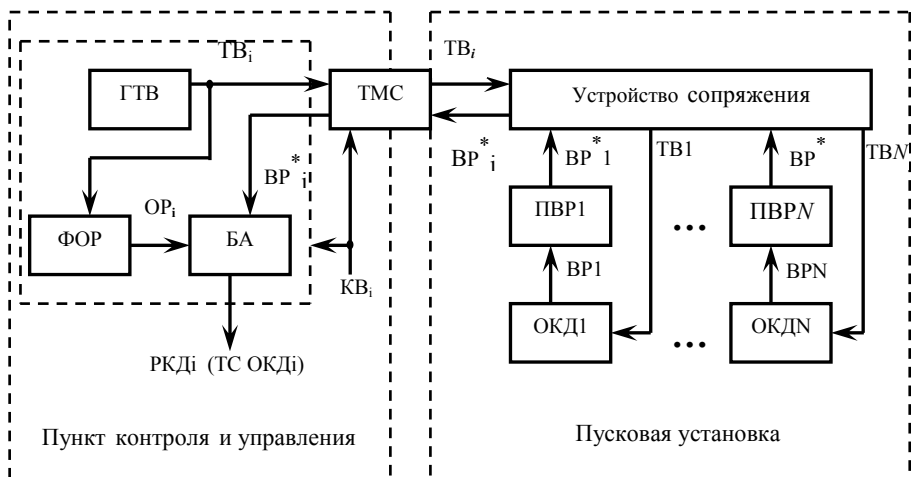


Рис. 2. Структурная схема системы тестового КД ССТС с централизованным принципом построения

Указанные средства взаимодействуют посредством ТМС и устройства сопряжения, расположенного на пусковой установке, через которое с пункта контроля и управления на ОКД<sub>1</sub> подаются тестовые воздействия  $ТВ_i$ , а в обратном направлении – преобразованные выходные реакции  $ВР_i^*$ . Настройка систем контроля и диагностирования на работу с соответствующим объектом производится с помощью координирующих воздействий  $КВ_i$ . При подаче такого воздействия ТМС и устройства сопряжения организуют канал связи между требуемым объектом и средствами КД, расположенными на пункте контроля и управления и программно настроенными на работу с выбранным объектом. По результатам контроля и диагностирования  $i$ -го ОКД формируется результат  $РКД_i$  и выдается информация об его техническом состоянии.

На рис. 3. показан другой вариант организации КД, а именно, систе-

мы контроля и диагностирования с *децентрализованной* структурой. В этом случае каждый из объектов имеет свои индивидуальные средства рабочего и тестового контроля и диагностирования ( $ОС_p КД_i$ ,  $i = 1, N$ ). На пункте контроля и управления расположен блок анализа БА, который по результатам контроля и диагностирования объектов  $РКД_i$  формирует обобщенный результат – информацию о техническом состоянии комплекса в целом.

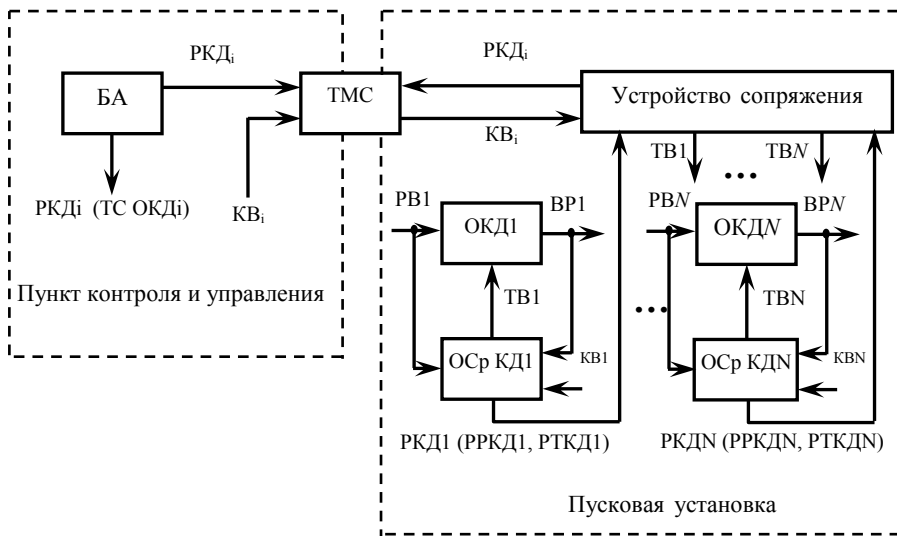


Рис. 3. Структурная схема обобщенной системы КД ССТС с децентрализованными средствами

Алгоритм взаимодействия рассмотренных средств достаточно подробно описан в [1].

Анализ известных рассмотренных вариантов организации систем контроля и диагностирования позволяет прийти к следующим **заключениям**.

1. Первый из вариантов отличается существенно меньшими аппаратными затратами, поскольку основная часть средств КД является общей для всех объектов, однако требует больших временных затрат, вызванных необходимостью передачи выходных реакций от ОВК и тестовых воздействий на ОВК между пунктом контроля и управления и пусковой установкой.

2. Второй вариант требует больших аппаратных затрат, но отличается повышенной оперативностью контроля и диагностирования, поскольку с пусковой установки на пункт контроля и управления передаются только результаты КД объектов. Выбор того или иного варианта

организации систем контроля и диагностирования определяется спецификой рассматриваемой ССТС и требованиями, предъявляемыми к ней.

**Принципы диагностирования по электромагнитной обстановке оборудования.** Из приведенных выше выводов видно, что при выборе того или иного варианта организации систем контроля и диагностирования помимо учета особенностей (специфики) ССТС, необходимо идти на компромисс между стоимостью (аппаратными затратами), оперативностью, эффективностью, быстродействием и надежностью. А на особенно ответственных объектах компромиссов быть не может поэтому сложившаяся ситуация требует кардинально нового подхода в процессе контроля и диагностирования. В связи с этим предлагается проведение КД ССТС по их ЭМО, т.е. по создаваемым техническими средствами электромагнитным помехам.

Каждое техническое средство, входящее в состав ССТС обладает своими (присущими только ему) электромагнитными параметрами (напряженности электрических и магнитных полей, спектры излучения, уровни и диаграммы направленности, законы изменения перечисленных параметров во времени и т.д. [5]). Поэтому предлагается в качестве параметра диагностирования брать ЭМО ССТС.

Применяя КД по параметрам ЭМО можно значительно повысить эффективность и оперативность диагностирования, а следовательно и надежность самой системы. Ведь каждое техническое средство системы, как уже говорилось выше, обладает своими, индивидуальными, электромагнитными свойствами, и их изменение можно определить практически мгновенно, а, следовательно, и очень быстро выработать воздействие по приведению системы в нормальное рабочее состояние.

Конечно, диагностирование по ЭМО, в некоторых случаях, не позволяет с большой вероятностью определить техническое состояние рассматриваемой системы. Это зависит от глубины диагностирования, применяемых технических средств (оборудования) диагностирования, а также от поставленных перед контролем и диагностированием задач и специфики конкретной системы. Но при организации контроля и диагностирования по общепринятым принципам вероятность достоверного определения технического состояния системы гораздо ниже, чем при КД по ЭМО, не говоря уже о временных, аппаратных и материальных затратах. Это объясняется специфическими условиями эксплуатации, что зачастую присуще военной технике, и конструктивными особенностями оборудования конкретных систем, которые при определённых условиях (режимах работы) могут показать или в общем дать неверные данные. Например, наличие обратных связей в системах регулирования напряжения [6] и общего заземления способны в радиоэлектронной аппарату-



ре создать такой потенциал, который может быть принят, как рабочий сигнал, и привести систему контроля и диагностики к ложным выводам.

Хорошо бы было использовать децентрализованный принцип построения систем контроля и диагностирования совместно с предложенным – диагностирование по ЭМО. Это дало бы, в ряде случаев, неоспоримые преимущества в эффективности такого КД (получается двойная диагностика, притом по двум принципиально разным и независимым каналам). Но сложность заключается в том, что для построения такой системы необходимы большие затраты, так как диагностика проводится по разным принципам, следовательно используются разные параметры системы для диагностирования, что исключает построение систем КД на одних и тех же элементах (оборудовании). Кроме того, в ряде случаев нет необходимости в этом, так как, применяя КД по ЭМО, получаем результаты с высокой степенью достоверности [7], что исключает применение дополнительных средств (принципов) диагностирования.

**Выводы.** Конечно, на параметры ЭМО системы влияет очень много факторов (как внешних, так и внутренних – наличие гальванических связей оборудования, общее заземление, применяемые средства защиты от ЭМП и т.д. [8]) и естественно возникает вопрос о достоверности полученных результатов. Но при этом необходимо учесть то, что в настоящее время техника в области электромагнитных полей обладает достаточно высокими селективными свойствами. Даже при малых напряженностях электромагнитных полей, можно с высокой достоверностью сказать (при одном и том же значении напряженности электромагнитного поля двух помех), какому устройству (прибору, системе) конкретная помеха принадлежит. Это в зависимости от конкретного случая и особенностей оборудования, достаточно легко определить по спектральным характеристикам ЭМП, по составу магнитной и электрической составляющей напряженности электромагнитного поля помех, по их побочным излучениям, по длине волны излучения, по диаграмме направленности излучения и т.д. То есть в настоящее время актуальным вопросом является не ошибки в определении помех, а насколько они соответствуют нормальному рабочему состоянию данного устройства, а если не соответствуют, то что является причиной этого.

Это и есть основа предложенного принципа контроля и диагностирования по параметрам электромагнитной обстановки. Конечно, сначала по общей картине ЭМО можно сказать о техническом состоянии системы. Далее вступает в действие фактор глубины контроля и диагностирования – до каких пор необходимо более детальное рассмотрение обстановки, чтоб определить техническое состояние компонентов системы. Уже в зависимости от глубины, поставленных задач диагностирования и

особенностей объекта выбирается соответствующее оборудование с его характеристиками по точности измерений для проведения диагностики. Соответственно, чем глубже диагностика, тем больше стоимость оборудования, но с другой стороны, это дает неоспоримые преимущества в определении проблемных мест, а значит, повышается оперативность и эффективность диагностики, что влечет за собой повышение надежности и оперативной готовности ССТС. А это является одним из основных факторов, который влияет на успешность боевой работы, поэтому однозначно отдается приоритет большей точности и глубине диагностики.

Для решения этой задачи необходимо описать электромагнитные процессы, которые возникают на оборудовании ССТС в ходе их работы, что авторы и представят в следующих работах.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Харченко В.С. Основы построения и проектирования АСУ техническим состоянием летательных комплексов. Часть 2. Введение в техническую диагностику систем летательных комплексов: Учебное пособие. – МО СССР, 1991. – 107 с.
2. Горяшко А.П. Синтез диагностируемых схем вычислительных устройств. – М.: Наука, 1987. – 288 с.
3. Беннеттс Р.Дж. Проектирование тестпригодных логических схем. – М.: Радио и связь, 1990. – 176 с.
4. Согомонян Е.С., Слабаков Е.В. Самопроверяемые устройства и отказоустойчивые системы. – М.: Радио и связь, 1989. – 208 с.
5. Самойленко Б.Ф., Гнатов А.В., Гнатова Щ.В. Методика оцінки електромагнітних завод для комплексу радіотехнічних засобів // Вісник НТУ "ХПИ". – Х.: ХПИ. – 2003. – № 7, Т. 3. – С. 40 – 44.
6. Князев А.Д. Конструирование радиоэлектронной и электронно-вычислительной аппаратуры с учетом ЭМС. – М.: Радио и связь, 1989. – 222 с.
7. Метод заданных токов для расчета импульсных электромагнитных полей / Е.С. Колечитский, А.И. Плис, В.И. Плис и др. – Известия АН Энергетика, 1993. – № 4. – С. 15 – 24.
8. Кравченко В.И., Болотов Е.А., Летунова Н.И. Радиоэлектронные средства и мощные электромагнитные помехи. – М.: Радио и связь, 1987. – 250 с.

Поступила 23.09.2004

**ГНАТОВ Андрій Вікторович**, кандидат технічних наук, викладач кафедри Харківського університету повітряних сил. В 1998 році закінчив Харківський військовий університет. Область наукових інтересів – електромагнітна сумісність електротехнічних засобів.