

УДК 681.3(07)

С.В. Ленков, С.А. Пашков, В.Н. Цыцарев, Ю.В. Березовская

*Военный институт Киевского национального университета имени Тараса Шевченко, Киев*

## АВТОМАТИЗИРОВАННАЯ СИСТЕМА ТЕХНИЧЕСКОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ СЛОЖНОГО ОБЪЕКТА РАДИОЭЛЕКТРОННОЙ ТЕХНИКИ: ПРИНЦИПЫ ПОСТРОЕНИЯ

*В статье производятся анализ и формализация процесса технического обслуживания и ремонта сложного объекта РЭТ. Определяются наиболее важные функции и структура автоматизированной системы технического обслуживания объекта РЭТ, формулируются основные принципы ее построения.*

**Ключевые слова:** техническое обслуживание, объект радиоэлектронной техники, автоматизированная система технического обслуживания.

### Вступление

Техническое обслуживание (ТО) является важнейшей составляющей процесса технической эксплуатации сложных объектов радиоэлектронной техники (РЭТ), направленной на поддержание требуемого уровня их надежности [1]. Под объектом РЭТ понимается техническое изделие, состоящее из большого числа разнотипных комплектующих элементов, большинство из которых является элементами электронной техники (полупроводниковые приборы, микросхемы, электрические разъемы и т.п.). В составе объекта РЭТ имеются также механические, электромеханические, гидравлические и др. элементы (двигатели, приводы и т.д.). Типичными примерами объекта РЭТ могут служить радиолокационная станция, элементы зенитно-ракетного комплекса и т.п.

Суть ТО заключается в превентивной замене (или ремонте) отдельных элементов объекта, которые находятся в предотказовом состоянии. Благодаря ТО происходит “разрежение” потока отказов объекта и вследствие этого повышается уровень его безотказности.

Принято различать два основных подхода к организации проведения ТО (иногда их называют принципами): “ТО по ресурсу” и “ТО по состоянию” [2]. При ТО по ресурсу превентивные замены элементов производятся по мере выработки ими установленного ресурса. Величина этого ресурса задается таким образом, чтобы минимизировать количество не предотвращенных отказов. При ТО по состоянию вначале производится определение технического состояния (ТС) элемента, и только после этого принимается решение о том, требуется или нет его замена. Очевидно, что ТО по состоянию потенциально более эффективно по сравнению с ТО по ресурсу, так как при ТО по состоянию используется более полная и достоверная информация о ТС объекта. При проектировании объекта РЭТ одновременно должна проектироваться и система ТО, кото-

рая понимается как совокупность нормативных и организационных требований и технических средств, предназначенных для обеспечения проведения операций ТО на объектах данного типа.

Для определения ТС объекта РЭТ в его составе, практически всегда, создается система технического диагностирования (СТД).

Для современных объектов РЭТ характерным является весьма высокий уровень автоматизации СТД – без этого просто оказывается невозможно обеспечить требуемый уровень ремонтпригодности объекта. Поэтому естественным образом ставится вопрос об автоматизации не только процесса диагностирования, но и процесса ТО, так как вряд ли представляется возможным реализовать принцип ТО по состоянию без соответствующих средств автоматизации.

В настоящей статье делается попытка сформировать облик автоматизированной системы технического обслуживания (АСТО), определить основные функции, которые должны осуществляться в рамках АСТО, обосновать в общем виде ее возможную структуру.

Для этого вначале рассматриваются необходимые для дальнейшего изложения понятия и определения, разрабатывается формализованное описание объекта РЭТ и процессов ТО, которое используется при расчетах, выполняемых в АСТО.

### Основной раздел

#### Состав и структура объекта РЭТ

Объект РЭТ имеет в большинстве случаев иерархическую конструктивную структуру. Все действия (операции) по текущему ремонту и ТО осуществляются на уровне конструктивных элементов. Иерархическую конструктивную структуру объекта будем представлять в виде графа  $G = \langle E, V \rangle$ , где  $E$  – множество вершин, представляющих конструктивные элементы объекта, а  $V$  – множество ребер, определяющих иерархическую соподчиненность эле-

ментов. Граф  $G$  имеет древовидную структуру, примерный вид графа показан на рис. 1. Отдельные конструктивные элементы будем обозначать  $e_i$ , где индекс  $i$  однозначно идентифицирует данный элемент. Элементы, в составе которых имеются другие элементы, условимся называть *составными*. Если состав элемента не детализируется (не определяются его внутренние элементы), то такой элемент бу-

дем называть *простым*. Очевидно, что простой элемент в действительности может представлять собой достаточно сложное устройство, просто в данный момент его внутренняя структура нас не интересует. Составные элементы на рис. 1 изображены прямоугольниками, простые – кружками.

Множество всех простых элементов будем обозначать  $E_0$ .

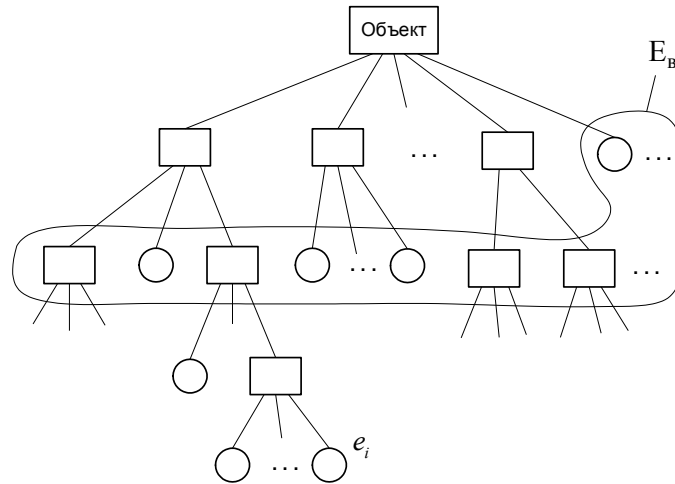


Рис. 1. Дерево конструктивной структуры объекта РЭТ

Надежностную структуру объекта РЭТ будем полагать последовательно-параллельной. Элементы, входящие в составной элемент считаются соединенными в смысле надежности последовательно. Каждый отдельный конструктивный элемент может представлять собой резервированную группу элементов (группу однотипных элементов, соединенных в смысле надежности параллельно).

Восстановление работоспособности объекта осуществляется путем замены отказавших элементов, причем заменяться могут как простые элементы, так и элементы старшего конструктивного уровня. Заменяются, как правило, элементы, требующие для этого наименьших затрат времени. Множество *восстанавливаемых* элементов будем обозначать  $E_v$  ( $E_v \subset E$ ).

На практике часто используется понятие типовых элементов замены (ТЭЗ) – элементов, максимально приспособленных для быстрой их замены. Очевидно, что ТЭЗы составляют лишь небольшую часть множества  $E_v$ , так как невозможно сделать ТЭЗами все восстанавливаемые элементы.

Техническому обслуживанию в процессе эксплуатации подвергается относительно небольшая часть наименее надежных элементов. Множество *обслуживаемых* элементов будем обозначать  $E_{то}$ . Обслуживаемыми могут быть как простые элементы, так и элементы старших конструктивных уровней ( $E_{то} \subset E$ ).

### Понятие определяющего параметра

ТС объекта РЭТ полностью определяется ТС всех его простых элементов. Для определения ТС элемента вводится понятие определяющего параметра [3]. Под *определяющим параметром* (ОП) понимается физический или функциональный параметр, значение которого определяет работоспособность элемента. Элемент считается отказавшим, если значение ОП выходит за некоторые допустимые пределы<sup>1</sup>. В общем случае состояние элемента характеризуется множеством параметров, изменение которых может привести к его отказу. Однако в большинстве случаев можно выделить один или небольшое число превалирующих параметров, знание которых достаточно полно характеризует реальное техническое состояние элемента.

Обозначим  $x_i$  значение ОП, характеризующего ТС некоторого элемента  $e_i \in E_0$ . Величина  $x_i$  является случайной и зависит от времени (наработки)  $t$ . Функция  $x_i(t)$  описывает случайный процесс деградации (износа, старения, разрегулировки)  $i$ -го элемента. Для изделий электронной техники процесс  $x_i(t)$  может быть немонотонным [5].

Будем исходить из того, что для ОП  $x_i(t)$  известна область допустимых значений

<sup>1</sup> Вопросы определения этих пределов здесь не рассматриваются. См., например, [4].

$D_i = [x_i^{\min}, x_i^{\max}]$ . При выходе значения  $x_i(t)$  за пределы этой области, наступает отказ элемента  $e_i$ . Если область  $D_i$  задана, то удобно вместо  $x_i(t)$  использовать нормированный процесс деградации  $u_i(t)$ , который принимает значения в интервале  $[0,1]$ .

На рис. 2 показан характерный вид случайной

функции  $u_i(t)$  и их связь с функцией плотности вероятности случайной наработки до отказа  $f_i(t)$ . На рисунке также показан уровень ТО  $u_{\text{ТО}}$ , при достижении этого уровня  $i$ -й элемент подлежит ТО (замене). Величину  $u_{\text{ТО}}$  следует задавать таким образом, чтобы минимизировать потери, связанные с отказом элемента.

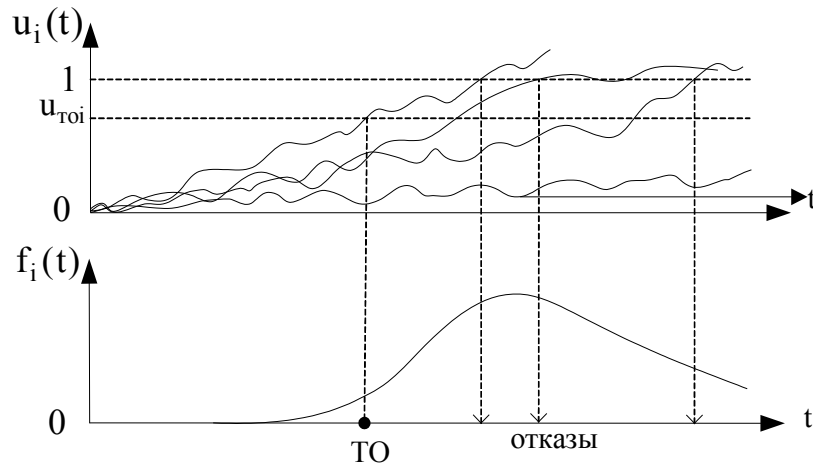


Рис. 2. Процесс деградации определяющего параметра

Для описания поведения ОП в [5] была разработана обобщенная модель деградации элемента на основе применения марковского процесса диффузионного типа. Полученная модель была названа вероятностно-физической моделью (ВФ-модель), так как в ней естественным образом устанавливается связь между вероятностными характеристиками случайной наработки до отказа элемента и вероятностными характеристиками случайного процесса деградации физического параметра  $u_i(t)$ .

Для изделий электронной техники (составляющих большинство элементов объекта РЭТ), в [5] в качестве модели отказов было получено диффузионное немонотонное распределение (DN-распределение). Функция плотности вероятности наработки до отказа  $i$ -го элемента в случае DN-распределения определяется следующим выражением:

$$f_i(t) = \frac{\sqrt{\mu_i}}{v_i t \sqrt{2\pi t}} \exp\left[-\frac{(t - \mu_i)^2}{2v_i^2 \mu_i t}\right], \quad (1)$$

где  $\mu_i$  – математическое ожидание наработки до отказа;

$v_i$  – коэффициент вариации.

Замечательной особенностью DN-распределения является то, что его параметры  $\mu_i$  и  $v_i$  связаны с параметрами процесса деградации  $u_i(t)$  следующими простыми соотношениями [3]:

$$\mu_i = 1/a_i; \quad v_i = v_{a_i}, \quad (2)$$

где  $a_i$  и  $v_{a_i}$  – математическое ожидание и коэффициент вариации скорости деградации нормированного ОП.

Таким образом, в качестве модели поведения ОП в АСТО можно использовать простую линейную модель следующего вида:

$$\tilde{u}_i(t) = \tilde{a}_i t, \quad (3)$$

где  $\tilde{u}_i(t)$  – прогнозируемое значение ОП;

$\tilde{a}_i$  – оценка средней скорости деградации ОП, полученная по результатам его измерений.

Итак, мы ввели понятие ОП и установили, что, если имеется возможность измерять значения ОП в процессе эксплуатации, и если по результатам измерений удастся получить оценки средней скорости деградации параметра  $\tilde{a}_i$  и коэффициента вариации  $\tilde{v}_{a_i}$ , тогда можно прогнозировать отказы элемента, используя DN-распределение. Это открывает возможности для нахождения оптимальных параметров ТО по состоянию для элементов, для которых существуют измеряемые ОП.

Однако далеко не для всех элементов существуют ОП, и для еще меньшей их части имеется возможность их измерять. Поэтому на этапе конструирования объекта, когда одновременно проектируется и АСТО, необходимо проведение анализа надежных свойств элементов с целью выявления из них наименее надежных элементов, которые следует включить в множество обслуживаемых элементов

$E_{то}$ . В множество  $E_{то}$  целесообразно включать ненадежные элементы с наименьшими значениями коэффициента вариации  $v_{ai}$ . На этом же этапе можно решать вопрос о необходимости дополнительных исследований для определения ОП для отдельных критически важных и одновременно недостаточно надежных элементов.

В множество  $E_{то}$  в первую очередь необходимо включить элементы, для которых существуют ОП и имеется возможность их измерять (обозначим это множество  $E_{то1}$ ). Для элементов  $e_i \in E_{то1}$  можно осуществлять ТО по состоянию. Все остальные элементы из  $E_{то}$ , для которых ОП отсутствуют, или нет возможности их измерять, обозначим  $E_{то2}$  ( $E_{то2} = E_{то} \setminus E_{то1}$ ). Для элементов  $e_i \in E_{то2}$  можно осуществлять ТО только по ресурсу, так как кроме ресурса (наработки) нет другой информации об их ТС.

Таким образом, будем считать, что множество обслуживаемых элементов  $E_{то}$  состоит из двух частей – подмножеств  $E_{то1}$  и  $E_{то2}$  ( $E_{то} = E_{то1} \cup E_{то2}$ ;  $E_{то1} \cap E_{то2} = \emptyset$ ).

#### Диагностические параметры и диагностическая модель объекта

В процессе эксплуатации объекта РЭТ осуществляется его диагностирование с целью контроля работоспособности (КР) или поиска неисправности (ПН) в случае, если объект неработоспособен. Диагностирование объекта осуществляется средствами СТД, которая, как мы уже отмечали, является обязательной составной частью АСТО. Состояние работоспособности или неработоспособности (неисправности) объекта определяется по совокупности его *диагностических параметров* [6].

Понятие диагностического параметра (ДП) и введенное выше понятие ОП, по сути, ничем не отличаются – в обоих случаях предполагается измерение некоторой физической величины  $x_i(t)$  и сравнение ее с границами области допустимых значений  $D_i$ . Отличие состоит здесь только в целях и возможностях применения параметров. ОП  $x_i(t)$  измеряется с целью его прогнозирования на некоторый будущий момент времени  $t + \theta$ , в то время как ДП  $x_i(t)$  измеряется с целью определения состояния элемента в текущий момент времени  $t$ .

ОП, как мы уже отмечали, существуют далеко не для всех элементов, и даже если ОП известен, далеко не всегда имеется возможность его измерить.

В качестве ДП обычно используется какой-либо функциональный параметр, его измерение так же может быть связано с дополнительными затрата-

ми, однако на эти затраты приходится идти, если они «жизненно» необходимы. ОП вводятся, как правило, для простых элементов, а ДП – для элементов более высоких конструктивных уровней, ДП охватывает контролем сразу несколько простых или составных элементов.

ОП используются преимущественно для целей ТО, а ДП – для целей диагностирования, хотя четкого разграничения здесь нет. Никто не запрещает использовать ОП для диагностирования, а ДП – для целей ТО.

При проектировании СТД обязательно строится диагностическая модель объекта [6], с помощью которой формально описывается процесс диагностирования. Диагностическая модель устанавливает зависимость результата диагностирования  $R$  от ТС объекта. ТС объекта РЭТ будем представлять множеством  $S = \{s_i\}$ , где  $s_i$  –  $i$ -е состояние объекта. Будем полагать, что  $s_0$  – это исправное состояние объекта, а  $s_i$  при  $i > 0$  –  $i$ -неисправное состояние. Если ограничиться учетом только одиночных неисправностей, то состояние  $s_i$  можно трактовать как отказ  $i$ -го простого элемента  $e_i \in E_0$ . Результат диагностирования  $R$  определяется по совокупности значений ДП. Множество всех ДП объекта обозначим  $\Pi = \{\pi_i\}$ , где  $\pi_i$  – обозначение  $i$ -го ДП<sup>2</sup>. Результат измерения ДП  $\pi_i$  будем представлять переменной  $R_{ij}$ , которая принимает значение  $R_{ij} = 0$ , если параметр «в допуске», или  $R_{ij} = 1$ , если параметр «не в допуске».

Множество  $\Pi$  формируется по функциональной схеме объекта, на которой определены так называемые контрольные точки, с которыми связываются отдельные ДП. Задача определения контрольных точек и, следовательно, множества  $\Pi$  – это отдельная важная задача, которая всегда решается при проектировании СТД, ее касаться мы не будем. Отметим только, что от выбора множества  $\Pi$  существенно зависят главные характеристики СТД – полнота и глубина диагностирования.

Классической формой представления диагностической модели для объектов РЭТ является таблица функций неисправностей [9], вид которой показан на рис. 3. Столбцы таблицы соответствуют отдельным состояниям объекта  $s_i \in S$ , строки – отдельным элементарным проверкам. Подразумевается, что в результате выполнения элементарной проверки определяется значение отдельного ДП  $\pi_i \in \Pi$ . В клетках  $(i, j)$  таблицы, находящихся на пересечении столбца  $s_j$  и строки  $\pi_i$ , записыв-

<sup>2</sup> В множество  $\Pi$  могут быть включены и ОП.

вается значения результата  $R_{ij}$ , получаемого при контроле ДП  $\pi_i$  в состоянии объекта  $s_j$ . Заполнение таблицы осуществляется по функциональной схеме объекта, на которой указаны контрольные точки и связанные с ними ДП.

ДП	Состояния объекта					
	$s_0$	$s_1$	...	$s_j$	...	$s_{ S }$
$\pi_1$	$R_{1,0}$	$R_{1,1}$	...	$R_{1,j}$	...	$R_{1, S }$
...						
$\pi_i$	$R_{i,0}$	$R_{i,1}$	...	$R_{i,j}$	...	$R_{i, S }$
...						
$\pi_{ П }$	$R_{ П ,0}$	$R_{ П ,1}$	...	$R_{ П ,j}$	...	$R_{ П , S }$

Рис. 3. Форма таблицы функций неисправностей

По таблице функций неисправностей строятся тесты диагностирования: тест контроля работоспособности  $\Pi_{кр}$  и тест поиска неисправности  $\Pi_{ин}$  [9]. Тесты  $\Pi_{кр}$  и  $\Pi_{ин}$  строятся как минимальные подмножества ДП, обеспечивающие соответственно КР и ПН с требуемой глубиной ( $\Pi_{кр} \subset \Pi$ ). По полученным тестам разрабатываются соответствующие алгоритмы КР и ПН. Вопросы построения тестов и алгоритмов диагностирования выходят за рамки данной статьи, они подробно рассмотрены в [7 – 10].

### Структура и функции АСТО

АСТО практически всегда создается как расширение автоматизированной СТД (АСТД). Это не значит, что АСТО должна создаваться после завершения проектирования АСТД (хотя и такое не исключено). Идеальным вариантом является совместное проектирование АСТД и АСТО. Необходимость такого подхода диктуется, во-первых, тем, что часть функций, реализуемых АСТД и АСТО, являются общими (получение и накопление информации о ТС объекта, хранение данных о критериях допускового контроля, отображение информации о текущем ТС объекта, и др.). Поэтому естественной является реализация этих функций одними и теми же техническими средствами. И, во-вторых, тем, что специфические функции АСТО (прогнозирование ТС объекта, оптимальное планирование операций ТО) являются естественным продолжением функций АСТД. Наконец, важным доводом для максимального интегрирования АСТД и АСТО является то, что у получаемой с помощью этих систем информации один и тот же потребитель – оператор (обслуживающий персонал), осуществляющий все действия по текущему ремонту (восстановлению) и ТО объекта.

На рис. 4 изображена обобщенно структура процесса ТО и ремонта (ТОиР), осуществляемого с применением АСТО. Мы здесь не рассматриваем вопросы технической и программной реализации АСТО, а только выделяем в ней главные функциональные части – это собственно АСТД (выступающая теперь как подсистема АСТО); автоматизированная система принятия решений ТО (АСПР ТО) и база данных (БД). АСТД и АСПР ТО рассматриваются здесь как программные системы, осуществляющие обработку информации, которая поступает, с одной стороны, от датчиков ТС объекта, и, с другой стороны, от оператора. В БД вводится (одноразово при инсталляции системы) информация о составе и структуре объекта (граф  $G$ ), о показателях надежности элементов (априорная информация), составе датчиков ТС, информация о допусках параметров (ОП и ДП) и другая служебная информация. В процессе эксплуатации в БД накапливается (и документируется) информация о ТС объекта и выполненных ранее операциях ТОиР.

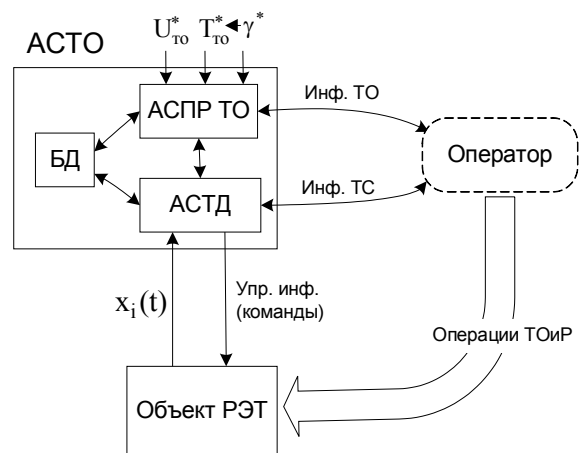


Рис. 4. Структура процесса ТОиР с использованием АСТО

АСТО может работать в одном из следующих трех режимов:

1) «Режим КР». Это режим повседневной работы. Этот режим включается автоматически при каждом включении аппаратуры. КР осуществляется непрерывно в процессе применения объекта по назначению;

2) «Режим ПН». В этот режим АСТО переводится оператором после того, как на дисплее отобразится информация о том, что объект находится в неработоспособном состоянии. После перехода в этот режим запускается процесс ПН. Применение по назначению объекта невозможно;

3) «Режим ТО». Этот режим включается оператором в заранее запланированное время, когда объект не применяется по назначению. В АСПР производятся расчеты объема и содержания работ ТО, которые должны быть выполнены в данное

время, расчет рекомендуемого времени следующего ТО. Результаты расчетов отображаются на дисплее АСТО.

Рассмотрим более детально процессы, протекающие в этих режимах.

**В режиме КР** от датчиков, расположенных территориально в конструктивных элементах объекта, информация считывается АСТД (при каждом включении аппаратуры, и затем периодически при контроле ТС объекта) и сохраняется в БД. В БД накапливаются временные ряды данных

$$\{ \langle x_i(t_k), t_k \rangle \},$$

где  $t_k$  – время контроля;

$x_i(t_k)$  – измеренное значение  $i$ -го параметра в момент времени  $t_k$ .

Одновременно осуществляется предварительная обработка данных, включающая формирование результатов измерения ДП:

$$R_{ij} = 0, \text{ если } x_i(t_k) \in D_i, \text{ и} \\ R_{ij} = 1, \text{ если } x_i(t_k) \notin D_i.$$

При этом применяются специальные алгоритмы, обеспечивающие защиту от ошибочных измерений и минимизацию вероятностей пропуска отказа или ложной тревоги. Непрерывно контролируются только ДП  $\pi_i \in \Pi_{кр}$ , по ним формируется признак ТС объекта в целом. Информация о текущем ТС объекта отображается на дисплее. В случае обнаружения отказа объекта оператор переводит АСТД в режим поиска неисправности.

**В режиме ПН** запускается процесс ПН, в результате которого на дисплее должна отобразиться информация об элементах, которые, возможно, являются неисправными. Решение задачи ПН осуществляется автоматически (программно) по информации, которая поступает от датчиков измеряемых ДП. При этом могут использоваться как безусловные, так и условные алгоритмы ПН [9]. Если используется принцип тестового диагностирования, то дополнительно могут вырабатываться управляющие команды, которые передаются объекту для включения/выключения генераторов тестов, сами тесты могут формироваться в АСТД.

По полученной информации оператор выполняет операции по замене (ремонту) элементов, на которые указала АСТД. Вследствие ограниченной глубины и достоверности контроля возможны неточные и ошибочные решения АСТД. В этих случаях оператор завершает ПН «вручную». Проверка успешности завершения работ по восстановлению объекта производится в режиме КР.

После восстановления работоспособности объекта оператор вводит в БД АСТО информацию об элементах, которые были заменены на новые. В БД

запоминается факт произошедшего отказа элемента – число отказов данного элемента  $n_{отки}$  увеличивается на единицу, производится пересчет средней наработки до отказа по формуле:

$$\tilde{T}_{срi} := \tilde{T}_{срi} \frac{N + n_{отки} - 1}{N + n_{отки}} + \frac{t - t_{0i}}{N + n_{отки}}, \quad (4)$$

где  $t_{0i}$  – время предыдущей замены (если таковая производилась) элемента данного типа на этой же позиции;

$N$  – условная величина, имеющая смысл объема статистики, по которой получены данные о надежности элементов, введенные в начале в БД (задается экспертом).

Величина  $t_{0i}$  после отказа обновляется автоматически:  $t_{0i} := t$ , где  $t$  – время отказа. При установке системы в переменных  $t_{0i}$  записывается время (дата) изготовления объекта.

**Режим ТО** включается в запланированный момент времени ТО. В АСПР запускаются расчеты, в результате выполнения которых:

- определяются объем и содержание работ ТО, которые надлежит сейчас выполнить (при необходимости на дисплей выводятся инструкции по выполнению операций ТО);
- производится пересчет данных, характеризующих ТС объекта после ТО;
- рассчитывается время следующего ТО.

На рис. 5 приведена структурная схема алгоритма, осуществляющего эти расчеты. Работа алгоритма кратко состоит в следующем.

Оператор 1 проверяет время наступления текущего ТО  $t_{ток}$ , где  $k$  – порядковый номер ТО, отсчитываемый от начала эксплуатации объекта. Оператор 2 устанавливает в исходное состояние вспомогательное множество  $\hat{E}_{то}$ , в котором будет формироваться список элементов, подлежащих ТО (вначале оно пусто). Оператор 3 выбирает из множества всех обслуживаемых элементов  $E_{то}$  элемент  $e_i$  (в произвольной последовательности).

Если элемент  $e_i$  обслуживается по состоянию ( $e_i \in E_{то1}$ ), выполняются операторы 5-6. Оператор 5 рассчитывает уточненные значения оценок средней скорости деградации ОП  $\tilde{a}_i(t_k)$  и коэффициента вариации  $\tilde{v}_i(t_k)$  по формулам:

$$a_i(t_k) = |u_i(t_k) - u_i(t_{k-1})| / (t_k - t_{k-1}); \quad (5)$$

$$\tilde{a}_i(t_k) = \tilde{a}_i(t_{k-1}) \frac{k-1}{k} + a_i(t_k) \frac{1}{k}; \quad (6)$$

$$\tilde{v}_i(t_k) = \tilde{v}_i(t_{k-1}) \frac{k-1}{k} + \frac{|a_i(t_k) - \tilde{a}_i(t_k)|}{\tilde{a}_i(t_k)} \frac{1}{k}, \quad (7)$$

где  $u_i(t_k)$  – измеренное в текущий момент времени  $t_k$  значение ОП элемента  $e_i$ ;  $a_i(t_k)$  – измеренное значение скорости деградации ОП.

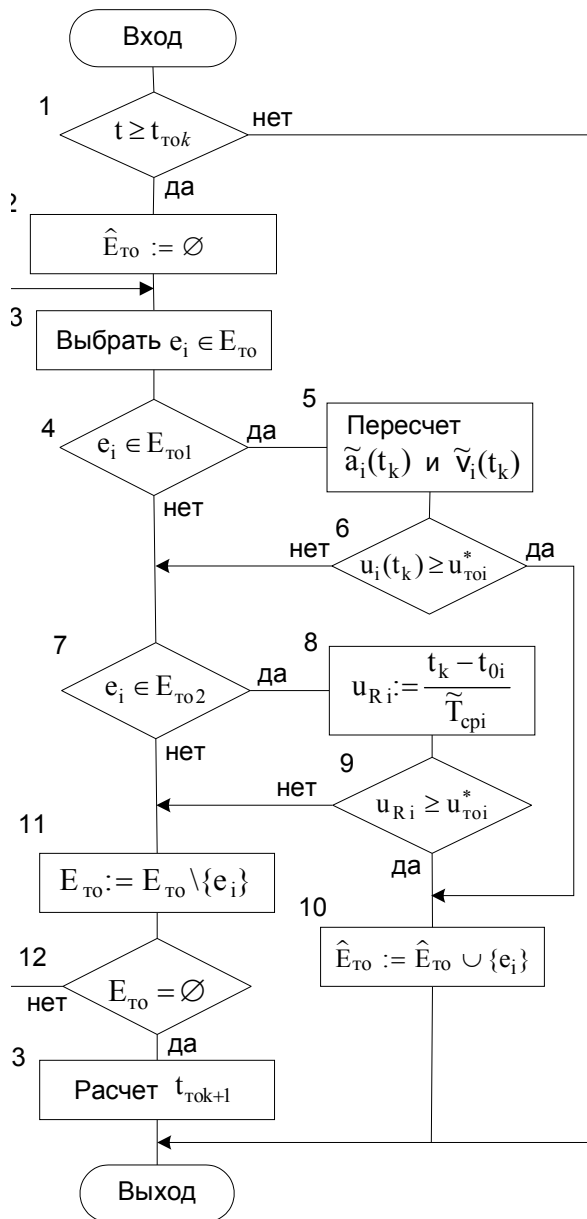


Рис. 5. Структурная схема алгоритма расчетов в режиме ТО

Формулы (5) – (7) рекуррентные, в качестве начальных значений (при  $k = 0$ ) в них принимаются:  $u_i(t_k) = 0$ ;  $\tilde{a}_i(t_k) = 1/\mu_i$ ;  $\tilde{v}_i(t_k) = v_i$ , где  $\mu_i$  и  $v_i$  – показатели безотказности элемента  $e_i$  (параметры DN-распределения).

Оператор 6 проверяет условие необходимости выполнения ТО для элемента  $e_i$ . Если условие выполняется ( $u_i(t_k) \geq u_{toi}^*$ ), выполняется оператор 10 который включает элемент  $e_i$  в список элементов, подлежащих ТО (в множество  $\hat{E}_{to}$ ). Оптимальные

пороговые значения  $u_{toi}^*$  определяются заранее (при проектировании АСТО) и сохраняются в БД.

Если элемент  $e_i$  обслуживается по ресурсу ( $e_i \in E_{to2}$ ), оператор 7 передает управление операторам 8, 9. Оператор 8 вычисляет величину  $u_{Ri}$ , которая имеет смысл относительной доли недоиспользованного среднего ресурса элемента  $e_i$ . Величина  $u_{Ri}$  рассчитывается по формуле:

$$u_{Ri} = (t_k - t_{oi}) / \tilde{T}_{cpi} \tag{8}$$

Оператор 9 проверяет условие необходимости проведения ТО элемента  $e_i$ . Если условие выполняется ( $u_{Ri} \geq u_{toi}^*$ ), оператор 10 включает элемент  $e_i$  в множество  $\hat{E}_{to}$ .

Операторы 11, 12 обеспечивают циклическое выполнение операторов 3 – 10 для всех потенциально обслуживаемых элементов  $e_i \in E_{to}$ . После завершения цикла оператор 13 производит расчет времени следующего ТО  $t_{tok+1}$ . Величина  $t_{tok+1}$  рассчитывается по-разному, в зависимости от выбранной стратегии ТО.

Если выбрана стратегия ТО с постоянной периодичностью, то величина  $t_{tok+1}$  определяется следующим простым способом:

$$t_{tok+1} = t_{tok} + T_{to}^* \tag{9}$$

где  $T_{to}^*$  – заданная оптимальная периодичность ТО.

Если выбрана стратегия ТО с адаптивным изменением периодичности ТО, то величина  $t_{tok+1}$  рассчитывается по формуле:

$$t_{tok+1} = t_{tok} + T_{to\ ad} \tag{10}$$

где  $T_{to\ ad}$  – адаптивная периодичность ТО, которая определяется приближенно по следующей эмпирической формуле [11]:

$$T_{to\ ad} = \gamma^* \cdot \min_{v_i} (t_{oi} + \tilde{T}_{cpi} - t_k), \tag{11}$$

где  $\gamma^*$  – коэффициент, оптимальное значение которого определяется экспериментально.

Параметры  $U_{to}^* = \{u_{toi}^*\}$ ,  $T_{to}^*$  и  $\gamma^*$  являются внешними по отношению к АСТО, их значения определяются для данного типа объектов РЭТ по результатам моделирования процессов ТО. Методика моделирования и определения оптимальных значений этих параметров рассматривается в [11].

## Выводы

В данной статье рассмотрены некоторые вопросы проектирования АСТО. На основе произведенного в статье анализа процессов ТОиР сложного

объекта РЭТ и предложенного подхода к его автоматизации можно сформулировать следующие принципы построения АСТО:

1. АСТО должна проектироваться параллельно с проектированием СТД объекта и должна быть максимально интегрирована с ней. В частности, измерительная система, через которую поступает информация о ТС объекта, должна быть общей у СТД и АСТО. Общими должны быть и технические средства (компьютер, БД, терминал и т.д.).

2. Построению АСТД должно предшествовать исследование, в результате которого должна быть разработана модель процесса ТО объекта РЭТ данного типа. С использованием этой модели должны быть произведены расчеты оптимальных параметров процесса ТО, которые затем должны быть «заложены» в АСТО. Такими параметрами являются: множество обслуживаемых элементов; уровни ТО для ОП элементов, которые должны обслуживаться по состоянию; периодичность контроля и др.

Может оказаться (теоретически), что в результате такого исследования будет выяснено, что создание АСТО для объекта данного типа нецелесообразно (по экономическим причинам или по причине недостаточного ожидаемого выигрыша в надежности объекта).

3. В основу модели процессов ТО должна быть положена ВФ-модель отказов обслуживаемых элементов (например,  $DN$ -распределение), так как только такая модель позволяет учитывать связь показателей надежности элементов с вероятностными характеристиками ОП.

4. АСТО должна строиться по принципу адаптивных систем. Адаптация ее должна заключаться в том, что параметры системы должны корректироваться в процессе эксплуатации с учетом информации о произошедших отказах объекта и фактических данных о поведении ОП элементов.

## Список литературы

1. ГОСТ 18322-78. Система технического обслуживания и ремонта техники. Термины и определения. Введ. с 01.01.1980.
2. Барзилович Е.Ю. Модели технического обслуживания сложных систем / Е.Ю. Барзилович. – М.: Высшая школа, 1982. – 231 с.
3. ГОСТ 27.005-97. Надежность в технике. Модели отказов. Основные положения. – Введ. 01.01.99. – 45 с.
4. Михайлов А.В. Эксплуатационные допуски и надежность в радиоэлектронной аппаратуре / А.В. Михайлов. – М.: Советское радио, 1970. – 216 с.
5. Стрельников В.П. Оценка и прогнозирование надежности электронных элементов и систем / В.П. Стрельников, А.В. Федухин. – К.: Логос, 2002. – 486 с.
6. ГОСТ 20911-89. Техническая диагностика. Термины и определения. Введ. 1991-01-01.
7. Надежность и эффективность в технике: справочн. – Т. 9. Техническая диагностика. – М.: Машиностроение, 1987. – 352 с.
8. Мозгалевский А.В. Техническая диагностика (непрерывные объекты): учеб. пособ. для вузов / А.В. Мозгалевский, Д.В. Гаскаров. – М.: Высш. школа, 1975. – 207 с.
9. Основы технической диагностики. Кн. 1. Модели объектов, методы и алгоритмы диагноза / под ред. П.П. Пархоменко. – М.: Энергия, 1976. – 476 с.
10. Глазунов Л.П. Проектирование технических систем диагностирования / Л.П. Глазунов, А.Н. Смирнов. – Л.: Энергоатом издат, 1982. – 168 с.
11. Прогнозування надійності складних об'єктів радіоелектронної техніки та оптимізація параметрів їх експлуатації імітаційних статистичних моделей. Монографія. / [С.В. Ленков, К.Ф. Боряк, Г.В. Банзак, В.О. Браун]; под. ред. С.В. Ленкова. – Одеса: Вид-во «ВМВ», 2014 – 248 с.

Поступила в редколлегию 23.01.2015

**Рецензент:** д-р техн. наук, проф. Г.В. Худов. Харьковский университет Воздушных Сил им. И. Кожедуба, Харьков.

### АВТОМАТИЗОВАНА СИСТЕМА ТЕХНІЧНОГО ОБСЛУГОВУВАННЯ СКЛАДНОГО ОБ'ЄКТУ РАДІОЕЛЕКТРОННОЇ ТЕХНІКИ: ПРИНЦИПИ ПОБУДОВИ

С.В. Ленков, С.А. Пашков, В.Н. Цицарев, Ю.В. Березовська

*В статті виробляються аналіз і формалізація процесу технічного обслуговування і ремонту складного об'єкту РЕТ. Визначаються найбільш важливі функції і структури автоматизованої системи технічного обслуговування об'єкту РЕТ, формулюються основні принципи її побудови.*

**Ключові слова:** технічне обслуговування, об'єкт радіоелектронної техніки, автоматизована система технічного обслуговування.

### CAS OF TECHNICAL MAINTENANCE OF DIFFICULT OBJECT OF RADIO ELECTRONIC TECHNIQUE: PRINCIPLES OF CONSTRUCTION

S.V. Lenkov, S.A. Pashkov, V.N. Sycarev, Yu.V. Berezovskaya

*An analysis and formalization of process of technical service and repair of difficult ob"ektu of RET is produced in the article. The most essential functions and structure of CAS of tehni-cheskogo maintenance of object of RET are determined, basic principles of its construction are formulated.*

**Keywords:** technical service, object of radio electronic technique, CAS of technical service.