

# ІНФОРМАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ, СИСТЕМНИЙ АНАЛІЗ ТА КЕРУВАННЯ

УДК 622.64-531.6

Г.Г. Сергеев, канд. техн. наук, доц.

Севастопольский национальный технический университет,  
г. Севастополь, Украина, e-mail: george.sergeev@gmail.com

## ОЦЕНКА ВРЕМЕНИ ПОИСКА НЕИСПРАВНОГО ЭЛЕМЕНТА В ЭЛЕКТРОННЫХ СИСТЕМАХ СРЕДСТВАМИ ДИАГНОСТИЧЕСКОГО КОМПЛЕКСА „МАРС“

G.G. Sergeev, Cand. Sci. (Tech.), Associate Professor

Sevastopol National Technical University, Sevastopol, Ukraine,  
e-mail: george.sergeev@gmail.com

## ESTIMATION OF DEFECTIVE ELEMENT SEARCH DURATION IN ELECTRONIC SYSTEMS BY MEANS OF DIAGNOSTIC COMPLEX “MARS”

**Цель.** Рассмотрение новой методики для оценки времени локализации места неисправности в радиоэлектронной аппаратуре. Данная методика позволит объективно определить допустимые пределы времени ремонта типовых элементов замены.

**Методика.** В качестве базового средства диагностики и ремонта рассматривается программно-аппаратный комплекс „МАРС“, разработанный НТП „Укрaviaзаказ“ (г. Киев). В статье рассмотрены вопросы актуальности задачи в целом, проведен анализ публикаций по теме работы.

**Результаты.** Показано, что время технологического цикла локализации неисправного элемента есть аддитивная функция трех параметров: времени загрузки тестового набора из базы данных в память ПЭВМ и передачи его в контроллер БКУ „МАРС“, времени „стартового“ прогона испытуемого типового элемента замены (ТЭЗ), необходимого для входа в рабочий режим его функционирования, а также времени съема осциллограмм и моделирования функциональных элементов. Время загрузки – стохастическая величина, которая зависит от характеристик компьютера. Время входа в режим – детерминировано и определяется параметрами тестового набора. Время работы алгоритма, основанного на съеме осциллограмм и моделировании работы элементов, стохастическое и может быть рассчитано на основании информации о вероятности отказов элементов схемы на этапе старения. Приведены результаты экспериментов, которые подтверждают возможность прогнозирования времени ремонта в допустимых пределах.

**Научная новизна.** Предложен новый метод оценки времени технологического цикла ремонта радиоэлектронной аппаратуры при условии использования комплекса „МАРС“ как средства диагностики.

**Практическая значимость.** Прогнозирование времени диагностики в допустимых пределах позволяет аргументированно определять нормы выработки в ремонтных подразделениях и обосновывать стоимость ремонтно-восстановительных работ.

**Ключевые слова:** *электроника, диагностика, автоматизация, неисправность, технологический цикл, ремонт, восстановление, наработка на отказ*

**Актуальность.** В настоящее время большинство автоматизированных систем, в том числе в горнодобывающей промышленности, представляют собой сложные радиоэлектронные системы, построенные по блочно-модульному принципу. До недавнего вре-

мени ремонт таких систем осуществлялся простой заменой неисправного типового элемента замены (ТЭЗ), а сам ТЭЗ утилизировался. В настоящее время многие производители ТЭЗ находятся за границами Украины, поэтому стоимость запасных частей чрезвычайно высока. В связи с этим задача диагностики, ремонта и настройки ТЭЗ электронного оборудова-

© Сергеев Г.Г., 2012

ния является актуальной, важной и экономически целесообразной. Однако, процесс поиска отказавшего элемента является чрезвычайно трудоемким, а время локализации места неисправности или настройки ТЭЗ целиком определяется знаниями, умениями и интуицией инженера-ремонтника.

Украинские НТП предлагают ряд универсальных систем диагностики и ремонта, которые позволяют в значительной степени автоматизировать процесс тестирования и диагностики ТЭЗ различной степени сложности. В частности, в данной работе рассматривается автоматизированный ремонтный модуль „МАРС“ [1]. Применение этого диагностического средства позволяет избежать необходимости создания специализированных отладочных стендов для каждого типа ТЭЗ. Анализ инструментальных возможностей „МАРС“, алгоритма отыскания неисправного элемента позволяет сделать вывод о том, что этот процесс может быть завершен в срок, значительно в меньшей степени зависящий от субъективных факторов. Однако до настоящего времени методика оценки времени диагностики с использованием универсального стендового оборудования в научной печати не представлялась.

**Анализ публикаций по теме работы.** Вопросам неразрушающего контроля, диагностики и локализации места неисправности в радиоэлектронной аппаратуре посвящен ряд работ [2–4]. Однако, основное внимание в них уделяется вопросам качества монтажа при выпуске новых изделий, а не локализации неисправного элемента в отказавшем ТЭЗ. На основе анализа ряда последних разработок [5,6] можно с уверенностью утверждать, что создание интеллектуальной системы поддержки принятия решений при локализации неисправного элемента поверхностного монтажа и обрывов дорожек печатных плат возможна с использованием существующих технологий. Подходящая разработка позволит существенно снизить влияние человеческого фактора, что должно повысить эффективность и экономические показатели производственного процесса.

**Целью данной работы** является оценка времени технологического цикла локализации места неисправности в цифровых и цифро-аналоговых ТЭЗ, что может служить основой для определения норм выработки и оценки сроков ремонта изделия в целом. Предполагается, что в качестве базового средства диагностики применяется комплекс „МАРС“, краткие технические характеристики которого представлены в [1]. Базовая методика локализации места неисправности в цифровых и цифро-аналоговых ТЭЗ была рассмотрена в работе [5].

Для оценки времени технологического цикла  $t^f$  воспользуемся соотношением

$$t^f = t^{init} + t^{start} + t^{oscm}, \quad (1)$$

где  $t^{init}$  – время, необходимое для загрузки тестового набора из базы данных в память ПЭВМ и передачи

его в контроллер БКУ „МАРС“;  $t^{start}$  – время „стартового“ прогона испытываемого ТЭЗ, необходимого для входа в рабочий режим его функционирования;  $t^{oscm}$  – время съема осциллограмм и моделирования функциональных элементов. В свою очередь  $t^{init} = t^{load} + t^{send}$ , где  $t^{load}$  – время загрузки тестового набора в память ПЭВМ. Эксперименты показали, что  $t^{load}$  – случайная величина, распределенная по нормальному закону с параметрами  $\mu=127$ с и  $\sigma=35$ с.  $t^{send}$  – детерминированная величина, значение которой можно вычислить на основании выражения

$$t^{send} = \frac{N^d \times \left\lfloor \frac{w^d}{8} \right\rfloor + 14 \times N^a}{v}, \quad (2)$$

где  $N^d$  и  $N^a$  – количество цифровых и аналоговых тестовых воздействий соответственно;  $w^d$  – количество цифровых контактов ТЭЗ;  $v=12$ МБит/с – скорость передачи данных через интерфейс USB. Время вхождения в режим  $t^{start}$  можно рассчитать с помощью выражения

$$t^{start} = L \times \left( \sum_{i=1}^{N^d} t_i^{wr} + N^a \times t^{DAC} \right), \quad (3)$$

где  $L$  – количество повторений стартового цикла (определяется автором тестового набора);  $t_i^{wr}$  – задержка импульса чтения после импульса записи при выдаче цифрового тестового воздействия  $i$ ;  $t^{DAC} = 20$  мкс – время срабатывания цифро-аналогового преобразователя.

Расчет времени  $t^{oscm}$  будем проводить на основании следующих положений. Для локализации неисправного элемента монтажа необходимо, как минимум, снять все осциллограммы на его выводах и выполнить моделирование его работы. Время съема одной осциллограммы можно оценить как

$$t^{osc} = 3 \times \left( \sum_{i=1}^{N^d} t_i^{wr} + \sum_{i=1}^{N^d} (t^{DAC} + m_i \cdot t^{ADC}) + t^{rec} \right) + t^{or},$$

где  $m_i$  – количество аналоговых каналов ПАНЧ, задействованных в тестовом воздействии  $i$ ;  $t^{ADC} = 25$ мкс – время срабатывания АЦП и аналогового мультиплексора ПАНЧ;  $t^{rec}$  – время возврата результатов тестирования в ПЭВМ через интерфейс USB;  $t^{or}$  – время реакции оператора, необходимое для перестановки цифрового сенсора с одной контактной площадки на другую. Экспериментально было установлено, что  $t^{or}$  – случайная величина, распределенная по нормальному закону с параметрами  $\mu=2,1$ с и

$\sigma=0,7c$ . Для оценки времени возврата данных  $t^{rec}$  будем использовать выражение

$$t^{rec} = \frac{\sum_{i=1}^{N^d} \left( p_i \cdot \left[ w^d / 8 \right] \right) + 14 \times N^a}{\vartheta}, \quad (4)$$

где  $p_i$  – вероятность, того, что неисправность приведет к расхождению с образцовой реакцией ТЭЗ на тестовое воздействие  $i$ . Количество элементов  $E$ , подлежащих моделированию в ПО „МАРС“, до момента локализации места неисправности можно оценить при следующих допущениях: вероятность отказа элемента поверхностного монтажа не зависит от факта отказов соседних элементов; вероятность отказа отдельного элемента описывается нормальным законом (этап старения). Тогда, на основании анализа алгоритма, изложенного в [6],

$$E = \frac{\sum_{i=1}^M \frac{1}{\sigma_i \sqrt{2 \cdot \pi}} \int_0^{t_i^{ycm}} e^{-\frac{t_i^{ycm} - t_i^{cp}}{2\sigma_i^2}} dt^{ycm} \cdot l_i}{M},$$

где  $\sigma_i$  и  $t_i^{cp}$  – паспортные данные для определения отказов элемента печатного монтажа на этапе старения;  $t_i^{ycm}$  – время, прошедшее от установки элемента на печатную плату;  $l_i = \max_j(l_i^j)$  – максимальная длина кратчайшего пути от какого-либо вывода элемента  $l_i^j$  до выхода ТЭЗ, на котором обнаружено расхождение реакции с эталоном;  $M$  – количество элементов печатного монтажа на диагностируемом ТЭЗ. Таким образом, среднее время локализации и моделирования может быть рассчитано как

$$t^{oscm} = \bar{E} \cdot (\bar{k} \cdot t^{osc} + t^m), \quad (5)$$

где  $\bar{k}$  – среднее число выводов элементов печатного монтажа, а  $t^m$  – время работы блока моделирования ПО „МАРС“. Очевидно, что время работы блока моделирования определяется длиной тестового воздействия, сложностью логической функции элемента и числом выводов. Однако, учитывая особенности его реализации, величину  $t^m \approx 3$  с, при условии, что  $N^d < 100000$ .

В таблице приведены результаты экспериментов, отражающие расхождение  $\Delta$  между величиной  $t^f$ , рассчитанной по формуле (1), и реальным временем локализации места неисправности в цифровых (I) и цифро-аналоговых ТЭЗ (II).

Таблица

Результаты экспериментов

Тип ТЭЗ	Кол-во	$\Delta_{min}$ , с	$\Delta_{med}$ , с	$\Delta_{max}$ , с
I	48	325	624	1412
II	17	282	843	1762

Анализ выражений (1–5) показывает, что оптимизация времени технологического цикла возможна либо за счет сокращения длины функционального теста, либо за счет совершенствования алгоритма локализации места неисправности, то есть

$$\begin{cases} N^a + N^d \rightarrow \min \\ E \rightarrow \min \end{cases}$$

В настоящее время в ПО „Марс“ используется авторская методика, в основе которой лежит представление о тестовом наборе как совокупности этапов проверки функциональных submodule в составе ТЭЗ. В этом случае, адаптивный алгоритм исключает из исполнения проверочные воздействия, которые не искажают реакции ТЭЗ и не приводят к нарушению стационарного режима при его циклическом повторении. На рисунке представлены результаты экспериментов по измерению времени локализации неисправности для ТЭЗ различной сложности с использованием „полного“ тестового набора и адаптивного алгоритма.

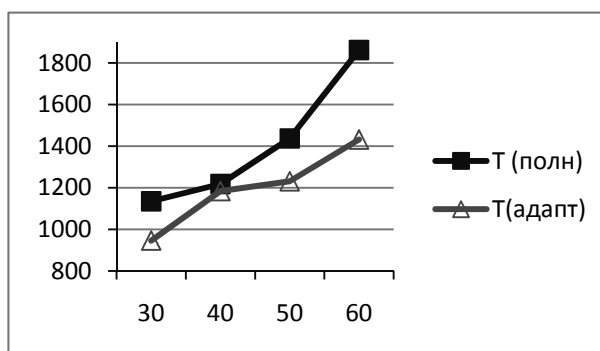


Рис. Время локализации неисправности для ТЭЗ различного уровня сложности

**Выводы по работе.** Предложенная в данной работе методика оценки времени локализации неисправности в цифровых и цифро-аналоговых ТЭЗ может служить основой для определения норм выработки и оценки сроков ремонта изделия в целом.

Рассмотренный подход строится на предположении о том, что в ТЭЗ имеется только один неисправный элемент поверхностного монтажа. Время замены элемента, лакировки и сушки печатной платы также не рассматривается.

В работе показано, что наибольший вклад во время поиска неисправности вносит передача осциллограмм в память управляющей ЭВМ. В связи с этим использование адаптивного алгоритма, исключаящего из циклического повторения тестовые наборы, не

влияющих на результат диагностического вывода, в целом, является оправданным.

### Список литературы / References

1. Сергеев Г.Г. МАРС – новый комплекс для диагностики и ремонта радиоэлектронного оборудования ВСВСУ / Сергеев Г.Г., Иванов В.М. // Сьома наукова конференція „Новітні технології – для захисту повітряного простору“. – Харків: ХУПС, 2011. – 79 с.

Sergeyev, G.G. and Ivanov, V.M. (2011), “The new complex for repair and diagnostic of electronic equipment “MARS” // *Proc. Of the 7th Scientific Conference “New technologies for air space protection”*, Kharkiv.

2. Медведев А.М. Сборка и монтаж электронных устройств. / Медведев А.М. – М.: Техносфера, 2007.

Medvedev, A.M. (2007), *Sborka i montazh elektronnykh ustroystv* [Assemblage and Installation of Electronic Devices], Technosfera, Moscow, Russia.

3. Гафт С. Стратегия контроля качества при переходе к бессвинцовым технологиям. / Гафт С., Матов Е. – Электроника НТБ. – 2005. – №5, С. 24–27..

Gaft, S. and Matov, Ye. (2005), “Quality assurance strategy at transition to lead-free technologies”, *NTB Electronika*, no.5. pp. 24–27.

4. Насонов А. Электрическое тестирование изделий высокой надёжности / Насонов А. // Печатный монтаж. – 2008. – № 5. – С. 32–34.

Nasonov, A. (2008), “Electric testing of products of high reliability”, *Pechatnyi montazh*, no.5, pp. 32–34.

5. Сергеев Г.Г. Оптимизация процесса поиска причины отказа РЭА в условиях дефицита информации / Г.Г. Сергеев, А.Л. Овчинников // Информационные технологии и компьютерная инженерия. – Винница: Изд-во ВНТУ, 2007. – №3(10) С. 45–49.

Sergeyev, G.G. and Ovchinnikov, A.L. (2007), “The optimization of the search process of a radio-electronic equipment failure in conditions of deficiency of the information”, *Information technology and computer engineering*, no.3(10), pp. 45–49.

6. Сергеев Г.Г. Новый подход к реализации программной системы одновременного тестирования дискретных и аналоговых устройств / Сергеев Г.Г. // Вимірювальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах. – Хмельницький, 2007. – №1. С. 60–63

Sergeyev, G.G. (2007), “New realization of program system of discrete and analog devices testing”, *Measuring and computer facilities in technological processes*, no.3(10), pp. 60–63.

**Мета.** Розгляд нової методики для оцінки часу локалізації місця несправності в радіоелектронній апаратурі. Дана методика дозволить об’єктивно визначити допустимі межі часу ремонту типових елементів заміни.

**Методика.** Як базовий засіб діагностики і ремонту розглядається програмно-апаратний комплекс „МАРС“, розроблений НТП „Укрaviaзаказ“ (м. Київ). У статті розглянуті питання актуальності завдання в цілому, проводиться аналіз публікацій по темі роботи.

**Результати.** Показано, що час технологічного циклу локалізації несправного елемента є адитивна функ-

ція трьох параметрів: часу завантаження тестового набору з бази даних в пам’ять ПЕВМ і передачі його в БКУ „МАРС“, часу „стартового“ прогону випробовуваного типового елемента заміни (ТЕЗ), необхідного для входу в робочий режим його функціонування, а також часу знімання осцилограм і моделювання функціональних елементів. Час завантаження – стохастична величина, яка залежить від характеристик комп’ютера. Час входу в режим – детерміновано і визначається параметрами тестового набору. Час роботи алгоритму, заснованого на зніманні осцилограм і моделюванні роботи елементів, стохастичне і може бути розраховано на підставі інформації про вірогідність відмов елементів схеми на етапі старіння. Приведені результати експериментів, які підтверджують можливість прогнозування часу ремонту в допустимих межах.

**Наукова новизна.** Запропоновано новий метод оцінки часу технологічного циклу ремонту радіоелектронної апаратури за умови використання комплексу „МАРС“ як засобу діагностики.

**Практична значущість.** Прогнозування часу діагностики в допустимих межах дозволяє аргументовано визначати норми вироблення в ремонтних підрозділах і обґрунтовувати вартість ремонтно-відновних робіт.

**Ключові слова:** електроніка, діагностика, автоматизація, несправність, технологічний цикл, ремонт, відновлення, напрацювання на відмову

**Purpose.** To analyze the new technique of estimation of malfunction unit localization process duration in radio-electronic equipment. It will allow assessing of admissible limits of time spend on repair.

**Methodology.** The hardware-software system “MARS” designed by NTP “Ukraviazakaz” (Kyiv city) was considered as basic means of diagnostics. The problem urgency in general has been put and earlier publications covering the problem have been considered.

**Findings.** The fact that the time spent on the localization of a malfunctioning unit is an additive function of tree determinants. The first is load time of test file from database to memory of computer. The second is time of start run of standard substitute element required to put it into operating mode. The third is time spent on taking off data from oscillograph, modeling and analyzing. The load time of test file and modeling and analyzing time are stochastic parameters. The experiments have showed that it is feasible to forecast the repair time with acceptable accuracy.

**Originality.** The new method of estimation of time required for electronics malfunctioning units localization and repair by means of the hardware-software system “MARS” has been offered.

**Practical value.** The accurate forecasting of time required for diagnostics allows grounding of performance standards determined for repair workers and cost of their work.

**Keywords:** electronics, diagnostics, automation, defect, routine cycle, repair, restoration, fault localization

Рекомендовано до публікації докт. техн. наук О.В. Скатковим. Дата надходження рукопису 04.07.11