

УДК 681.518

МЕТОДИКА ПРОЕКТИРОВАНИЯ НАЗЕМНОГО АВТОМАТИЗИРОВАННОГО СРЕДСТВА КОНТРОЛЯ И ДИАГНОСТИКИ СЛОЖНЫХ РАДИОТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ

Васильев А.В., к.т.н., E-mail: mail@vega.su,
Виноградный А.В., к.т.н., доцент, E-mail: mail@vega.su
Данилов В.И., к.т.н., E-mail: vega5010@mail.ru,
МГТУ МИРЭА, Концерн радиостроения «Вега», Москва, Россия

Аннотация. Приводится методика по созданию наземной автоматизированной системы контроля (НАСК) демонтированных блоков радиотехнической системы. Показано, что состав аппаратных средств и программного обеспечения (ПО) НАСК определяется составом и характеристиками объектов контроля (ОК). Приведено описание критерия оптимизации состава аппаратных средств и программного обеспечения НАСК. Выполнено описание принципов построения методик контроля технического состояния ОК и алгоритмов диагностики.

Ключевые слова: автоматизированная система контроля; объект контроля; контролируемый параметр; алгоритм диагностики; эффективность диагностирования.

DESIGN TECHNIQUE FOR GROUND COMPUTER-AIDED TEST AND DIAGNOSTIC FACILITIES OF COMPLICATED RADIO SYSTEMS

Vasilyev Alexandr V., PhD. E-mail: mail@vega.su,
Vinogradny Alexandr V., PhD., ass.proff., E-mail: mail@vega.su,
Danilov Valery I., PhD., E-mail: vega5010@mail.ru,
MSTU MIREA, Radio Engineering Corporation “Vega”, Moscow, Russia

Abstract. The article deals with the technique to implement the ground computer-aided test system (GCATS) of disassembled radio system units. It shows that the GCATS hardware and software configuration is defined by the units under test (UUT) composition and characteristics. It describes the criterion of defining the optimum of GCATS hardware and software configuration. The principles to build-up the techniques for UUT technical state test and algorithms of technical diagnosis have been described.

Keywords: Computer-aided test system; unit under test; test parameter; algorithm of technical diagnosis; diagnostic efficiency.

В ходе разработки сложных авиационных радиотехнических систем (РТС) одновременно должно выполняться проектирование средств эксплуатационного контроля (ЭК), включающих встроенные средства контроля (ВСК), бортовые средства контроля (БСК), наземные средства контроля недемонтированных блоков (НАСК–1) и наземные автоматизированные средства контроля демонтированных блоков (НАСК–2), контрольно-проверочную аппаратуру (КПА). Средства ЭК должны обеспечивать эффек-

тивность диагностирования объектов контроля (ОК) при оптимальных затратах на их разработку, изготовление, эксплуатацию и ремонт.

Одним из средств ЭК является наземное автоматизированное средство контроля демонтированных блоков (НАСК–2), используемое при выполнении регламентных работ и ремонте ОК. НАСК–2 решает задачи по автоматизированному контролю технического состояния объектов контроля и поиска места отказа демонтированного ОК с глубиной до типового элемента замены (ТЭЗ).

Состав аппаратных средств и ФПО НАСК–2 определяется составом и характеристиками объектов контроля, проверяемых при её помощи (структура аппаратных средств и программного обеспечения НАСК-2 представлена на рисунках 1 и 2).

Отбор состава ОК выполняется проверкой определенных условий. При наличии в составе ОК ТЭЗ, выполняется дополнительный анализ по отдельным признакам. Иначе если в составе ОК отсутствуют ТЭЗ, но для его проверки требуются высокоточные приборы, которые отсутствуют в составе БСК, то также выполняется дополнительный анализ по отдельным признакам.



Рис. 1. Структура аппаратных средств НАСК-2

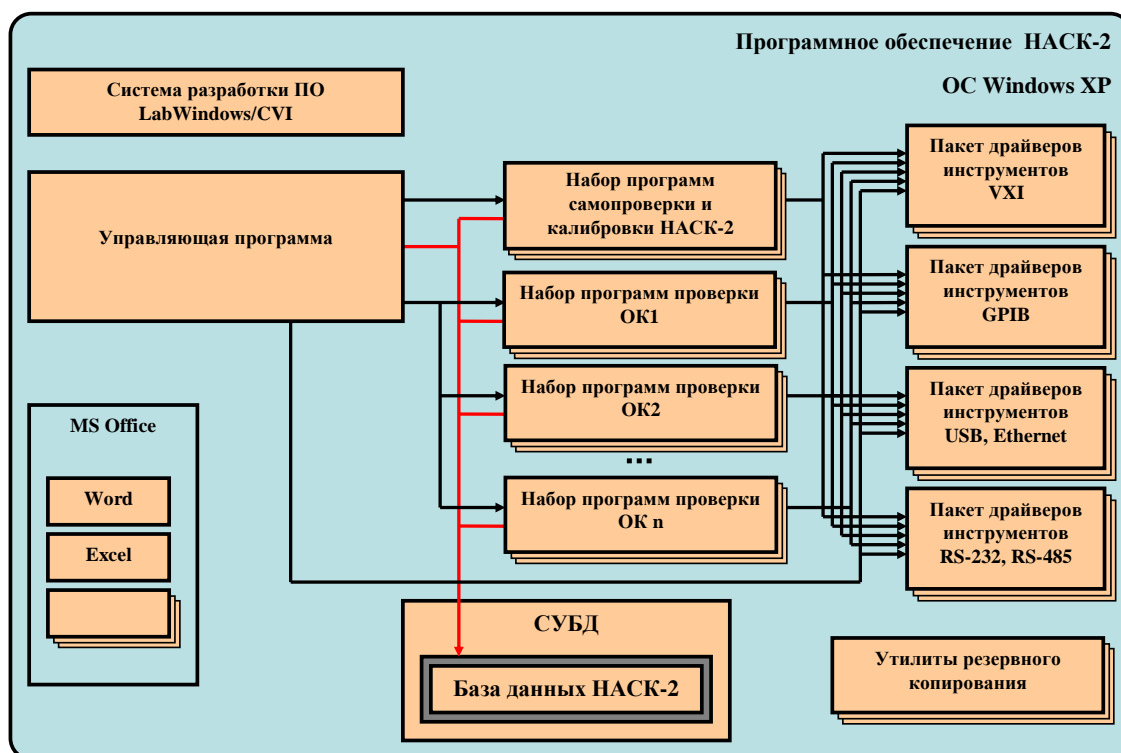


Рис. 2 Структура программного обеспечения HASK-2

При этом анализе i -й ОК ($i=1 \dots N$) из состава РТС не включается в состав проверяемых на HASK-2 при выполнении следующих условий:

ОК может быть проверен с заданной эффективностью с использованием ВСК и БСК;

высокая трудоемкость демонтажа и монтажа ОК на месте его эксплуатации или крупные габариты ОК (стойки, электродвигатели и др.) (предполагает проверку с использованием ВСК и БСК);

отношение наработки ОК на отказ к заданной наработке изделия превышает заданную величину;

выполнения соотношения $C_{ai_i} + C_{инт_i} + C_{всп_i} \gg n_i \cdot C_{ок}$ (n_i – количество ОК i -го типа, планируемых к эксплуатации),

где $C_{инт_i}$ – оценка стоимости набора тестовых последовательностей (НТП) i -го ОК;

C_{ai_i} – оценка стоимости адаптера интерфейса (АИ) i -го ОК;

$C_{всп_i}$ – оценка стоимости вспомогательных устройств i -го ОК;

$\tilde{N}_{i\bar{e}}$ – оценка стоимости ОК.

При невыполнении условий проверок ОК вносится в состав проверяемых на НАСК–2.

После формирования состава проверяемых на НАСК–2 ОК выполняется проверка выполнения условия

$$C_y + \sum_{i=1}^{N^*} C_{mm_i} + \sum_{i=1}^{N^*} C_{au_i} + \sum_{i=1}^{N^*} C_{всн_i} \leq C_{зад} \quad (1)$$

где C_y – оценка стоимости НАСК–2 без АИ и НТП; N^* – количество выбранных для проверки на НАСК–2 ОК; $C_{зад}$ – заданная стоимость изготовления НАСК–2.

При невыполнении этого условия выполняется уточнение исходных данных и уточнение состава проверяемых на НАСК–2 ОК повторно. При выполнении условия 1 формирование состава проверяемых на НАСК–2 ОК завершается.

Оптимизация состава аппаратных средств и ФПО НАСК–2 (М) может быть выполнена путем минимизации условной вероятности перепутывания гипотез о состоянии объектов контроля (P_{nep}) при ограничении условной вероятности необнаруженного отказа ОК (P_{np}) допустимым значением этой вероятности ($P_{np,дон}$) на множестве условий функционирования НАСК–2 (F)

$$M : P_{nep}^* = \min_F P_{nep}(X, F), \quad P_{np} \leq P_{np,дон} \quad (2)$$

где X – вектор измеренных параметров ОК.

Для решения этой задачи в первую очередь выполняется формирование множества контролируемых параметров с их характеристиками для каждого i –го ОК

$$Y_i = \{Y_{ij}\} = \bigcup_{j=1}^{J_i} Y_{ij}, \quad (3)$$

где $Y_{ij} = (y_{ij}^{\hat{m}}, y_{ij}^{\max}, y_{ij}^{\min}, \sigma_{y_{ij}})$ – характеристики j – го контролируемого параметра i – го ОК, включающие номинальное значение, максимальное и минимальное допустимые значения, допустимую погрешность измерения.

Состав контролируемых параметров должен обеспечить проверку всех функциональных характеристик ОК (включая проверку всех внешних интерфейсов), а также всех параметров на внутренних контрольных точках для достоверного поиска места отказа демонтированного блока с глубиной до ТЭЗ.

Для определения состава аппаратных средств НАСК–2 выполняется сопоставление множеств контролируемых параметров всех ОК. В результате сопоставления формируется обобщенное множество контролируемых параметров, не зависящее от ОК

$$Y_o = \{Y_j^o\} = \bigcup_{j=1}^J Y_j^o \quad (4)$$

В этом множестве исключены повторяющиеся параметры.

Здесь $Y_j^o = (y_j^{\min}, y_j^{\max}, y_j^{\text{нн}}, \sigma y_j)$ - обобщенные характеристики j -го контролируемого параметра, скорректированные с учетом ужесточения требований к аппаратным средствам.

Состав средств измерения НАСК-2 выбирается таким образом, чтобы обеспечить измерение J параметров с учетом обобщенных характеристик.

Аналогично, состав стимулирующих средств НАСК-2 выбирается с учетом анализа обобщенных входных параметров ОК.

Для разработки ФПО проверки ОК выполняется подготовка описаний методик и алгоритмов диагностики. Методика диагностики включает проверки для контроля технического состояния объектов контроля. Алгоритм диагностики включает проверки для поиска места отказа демонтированного блока с глубиной до типового элемента замены. Для некоторых простых ОК проверки в методике и алгоритме совпадают при отсутствии контрольных точек в нем.

Однако часть проверок для контроля технического состояния объектов контроля при поиске места отказа демонтированного блока с глубиной до типового элемента замены являются избыточными. В то же время для поиска места отказа ОК требуются дополнительные проверки, которые не нужны для контроля технического состояния объектов контроля. Исходя из этого выполняется выбор проверок для поиска места отказа ОК с минимальными затратами (временными и стоимостными). Это может быть выполнено решением задачи линейного целочисленного программирования [1]:

$$g(x) = \min \sum_{i=1}^m c_i x_i \quad (5)$$

$$\sum_{i \in S_{jk}} x_i > 0 \quad (6)$$

где x_i - бинарная переменная, сопоставленная проверке u_i , принимающая значение 1, если проверка выполняется, и значение 0 - в противном случае. Здесь $u_i \in U_k, i = 0, 1, \dots, I_k$. U_k - множество проверок для k -го ОК; c_i - затраты на выполнение проверки u_i ; m - количество проверок; S_{jk} - множество номеров проверок, которые позволяют различать отказы e_j, e_k . Здесь $e_j \in E_k, j = 0, 1, \dots, J_k$. E_k - множество видов технического состояния для k -го ОК;

Ограничения 6 формируются на основе неравенств

$$|\varphi_0(e_i)\Delta\varphi_0(e_j)| > 0, \quad (7)$$

где $\varphi_0 : E^0 \rightarrow U^0$; Δ – символ симметрической разности множеств; E^0 – подмножество недопустимых видов технического состояния ОК множества E ; U^0 – подмножество недопустимых результатов проверок ОК множества оценок результатов проверок U^Z .

Очередность выполнения проверок, позволяющих обнаруживать отказы с минимальными затратами, влияет на средние затраты при обнаружении отказов по безусловному алгоритму с условной остановкой. Если работоспособное состояние и отказы образуют полную группу несовместных случайных событий, то средние затраты на обнаружение отказов определяются по формуле

$$C = \sum_{i=1}^m c_i \left[1 - \sum_{j=0}^{i-1} P(E_j^0) \right], \quad (8)$$

где $P(E_j^0)$ – вероятность отказов, обнаруживаемых при недопустимом результате проверки.

Последовательность выполнения проверок может быть определена решением задачи методом ветвей и границ [2] путем рекуррентного сокращенного перебора комбинаций проверок и выбора после каждого шага перспективной комбинации на основе результатов оценки нижней границы средних затрат на обнаружение отказов.

Эффективность проектирования оценивается расчетом показателей диагностирования, включающих [1]:

продолжительность диагностирования

$$T = \sum_{i=1}^n t_i p_i, \quad (9)$$

где t_i – средняя продолжительность диагностирования ОК в состоянии i ; p_i – априорная вероятность состояния i .

Вероятность правильного диагностирования вычисляется по формуле

$$D = \sum_{i=1}^n p_{i,i} = 1 - \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n p_{i,j}, \quad (10)$$

где $p_{i,i}$ – вероятность правильного определения состояния i изделия; $p_{i,j}$ – вероятность ошибки диагностирования вида (i, j) , $i \neq j$.

Вероятность ошибки диагностирования вида (i, j) , $i \neq j$ вычисляется, например, по формуле

$$P_{i,j} = P_i - \sum_{l=1}^k P_l P_{j,i,l} , \quad (11)$$

где k – число состояний средства диагностирования; p_i – априорная вероятность нахождения изделия в состоянии i ; p_l – априорная вероятность нахождения средства диагностирования в состоянии l ; $p_{j,i,l}$ – условная вероятность того, что в результате диагностирования изделие признается находящимся в состоянии j при условии, что оно находится в состоянии i и средство диагностирования находится в состоянии l .

Таким образом, предложенная методика проектирования наземных автоматизированных средств контроля демонтированных блоков позволяет определить облик рассматриваемых средств, которые обеспечивают минимизацию условной вероятности перепутывания гипотез о состоянии объектов контроля при ограничении условной вероятности необнаруженного отказа ОК допустимым значением этой вероятности на множестве условий функционирования НАСК-2. Общий вид НАСК-2 для системы связи представлен на рисунке 3.

Практическая значимость методики состоит в том, что на ее основе создано и успешно испытано наземное автоматизированное средство контроля демонтированных блоков системы связи, обеспечивающее эффективное техническое обслуживание демонтированных блоков за счет уменьшения сил и средств на их ремонт, а также уменьшения продолжительности ремонта ОК по сравнению с НАСК-2, спроектированных по другим методикам.



Рис. 3 Общий вид аппаратуры НАСК-2 для системы связи

Список литературы

1. Романович Ж. А. Диагностирование, ремонт и техническое обслуживание систем управления бытовых машин и приборов: Учебник / Ж. А. Романович, В. А. Скрыбин, В. П. Фандеев, Б. В. Цыпин.-М.: Издательско-торговая корпорация «Дашков и К°», 2009.
2. Коршунов Ю.М. Математические основы кибернетики: Учебное пособие для вузов. – 3-е изд., - М.: Энергоатомиздат, 1987.