

Информационные технологии

УДК 681.3

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МЕТОДА БАЙЕСА ДЛЯ ОБРАБОТКИ СТАТИСТИЧЕСКИХ ДАННЫХ РЕЗУЛЬТАТОВ ИСПЫТАНИЙ ОПТИКО-ЭЛЕКТРОННОГО ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯ

Е.А. Ахполова¹, С.П. Орлов²

¹ ФГУП ГНП РКЦ «ЦСКБ-Прогресс»
Россия, 443009, г. Самара, ул. Земеца, 18

² Самарский государственный технический университет
Россия, 443100, г. Самара, ул. Молодогвардейская, 244
E-mail: orlovsp1946@gmail.com; ahpolova_elen@mail.ru

Рассматривается проблема обеспечения надежности оптико-электронных преобразователей для дистанционного зондирования Земли с борта космического аппарата. Предлагается технология контроля при изготовлении блока оптико-электронного преобразователя.

Разработана методология оценки наиболее критических мест в технологическом процессе. Методология базируется на обобщенной формуле Байеса и позволяет принимать оперативные решения о функциональной работоспособности оптико-электронного преобразователя информации по результатам испытаний. Описан программно-аппаратный комплекс, управляющий испытаниями прибора. Он содержит специализированные комплексы, обеспечивающие вибрационное воздействие на прибор, работу прибора при циклически меняющихся температурах, электро-термотоктовую тренировку контролируемого блока.

Ключевые слова: оптико-электронный преобразователь, испытания приборов, обработка статистических данных, обобщенная формула Байеса, программно-аппаратный комплекс.

Введение

Дистанционное зондирование Земли (ДЗЗ) позволяет получать объективную информацию о состоянии земной поверхности. Данные, полученные с систем ДЗЗ, могут быть использованы в различных отраслях науки, промышленности, в сельском хозяйстве, в транспортных системах, на военных объектах.

Основным блоком системы получения изображения является оптико-электронный преобразователь (ОЭП) информации на матрицах приборов с зарядовой связью (ПЗС). Прибор позволяет принимать и преобразовывать движущееся световое изображение в цифровой сигнал, а затем обрабатывать и передавать оптические сигналы на приемник. Оптико-электронный прибор представляет собой сложную схему различных взаимосвязанных радиоэлементов и оптических модулей [1].

В процессе производства, эксплуатации и хранения оптико-электронного

Елена Анатольевна Ахполова, ведущий инженер, аспирант.

Сергей Павлович Орлов (д.т.н., проф.), заведующий кафедрой «Вычислительная техника».

преобразователя в нем могут появляться и накапливаться неисправности, тем или иным образом влияющие на его работоспособность. Некоторые из них приводят к тому, что объект перестает отвечать предъявляемым к нему требованиям нормативно-технической или конструкторской документации.

Методика контроля и обработки результатов

Наиболее простым и экономически выгодным является контроль технологических процессов на всех этапах производства. Хорошо организованный контроль обеспечивает высокий процент выхода годной продукции, способной выполнять поставленные задачи на всем протяжении заявленного срока службы. Для контроля и диагностики радиоэлектронных приборов космических аппаратов используются измерительно-вычислительные комплексы [2].

Для оптико-электронного преобразователя основной задачей является надежное получение изображения на ПЗС и передача электрического сигнала на приемник информации. Обработка электрических сигналов осуществляется с помощью узлов на печатных платах, смонтированных на раму ОЭП. Современные печатные узлы содержат значительное число компонентов, связь между которыми осуществляется электрическими цепями, заложенными топологией платы.

Контроль электрических параметров на каждом этапе технологического процесса изготовления ОЭП позволяет выявить наиболее часто встречающиеся неисправности в работе блока:

- отсутствие сигнала;
- отклонение напряжения от номинального значения.

Причинами подобных отклонений, как правило, являются обрыв цепи, замыкание цепи либо ошибки в проектировании печатного узла. Неисправности такого рода должны выявляться и устраняться на первых этапах диагностирования.

Статистические данные, полученные по результатам электрических проверок, позволяют оценить наиболее уязвимые места в технологическом процессе изготовления, а также создать упрощенную модель анализа развития событий при эксплуатации блока.

Статистические методы технической диагностики позволяют одновременно учитывать признаки различной физической природы, так как они характеризуются безразмерными величинами – вероятностями их появления при различных состояниях системы. Так метод, основанный на обобщенной формуле Байеса (1), несмотря на свои недостатки (большой объем предварительной информации, «угнетение» редко встречающихся диагнозов) позволяет надежно и эффективно оценить работоспособность изделия [3]:

$$P(D_i / K^*) = \frac{P(D_i) \cdot P(K^* / D_i)}{\sum_{s=1}^n P(D_s) \cdot P(K^* / D_s)}, \quad (1)$$

где $P(D_i / K^*)$ – вероятность диагноза D_i после того, как стали известны результаты по комплексу признаков K ;

$P(D_i)$ – вероятность диагноза D_i , определяемая по статистическим данным;

$P(K^* / D_i)$ – вероятность появления комплекса признаков K при диагнозе D_i .

Для комплекса признаков, состоящего из v признаков, диагностически независимых друг от друга, $P(K^* / D_i)$ определяется как

$$P(K^* / D_i) = P(k_1^* / D_i)P(k_2^* / D_i) \dots P(k_v^* / D_i),$$

где $P(k_v^* / D_i)$ – вероятность реализации каждого конкретного признака при существовании диагноза D_i .

Так как блок ОЭП представляет собой сложную взаимосвязь радиоэлементов и оптических модулей, для наглядности упростим задачу. Рассмотрим наиболее часто встречающиеся неисправности в работе составных частей (ячеек) блока на этапе предварительной диагностики, принимая за отсутствие сигнала состояние D_1 , а за отклонение напряжения от номинального значения – состояние D_2 . При проведении проверки электрических параметров ячеек блока ОЭП чаще всего наблюдаются следующие признаки: k_1 – обрыв цепи; k_2 – ошибка в проектировании.

При нормальной работе блока (состояние D_3) признак k_1 не наблюдается, а признак k_2 наблюдается в 5 % случаев. На основании экспериментально полученных статистических данных известно, что 70 % ячеек блока вырабатывают ресурс в нормальном состоянии, 20 % ячеек имеют состояние D_1 , а 10 % ячеек – состояние D_2 . Известно также, что признак k_1 встречается при состоянии D_1 в 75 % случаев, а при состоянии D_2 – в 85 % случаев. Признак k_2 при состоянии D_1 встречается в 25 % случаев, а при состоянии D_2 – в 15 % случаев. Сведем эти данные в диагностическую таблицу.

Диагностическая таблица

D_i	$P(k_1/D_i)$	$P(k_2/D_i)$	$P(D_i)$
D_1	0,75	0,25	0,15
D_2	0,85	0,15	0,1
D_3	0	0,05	0,75

Найдем сначала вероятности состояния печатных узлов, когда обнаружены оба признака k_1 и k_2 . Для этого, считая признаки независимыми, применим формулу (1).

Вероятность состояния $P(D_1 / k_1 k_2)$ равна

$$P(D_1 / k_1 k_2) = \frac{0,15 \cdot 0,75 \cdot 0,25}{0,15 \cdot 0,75 \cdot 0,25 + 0,1 \cdot 0,85 \cdot 0,15 + 0,75 \cdot 0 \cdot 0,05} = 0,69.$$

Аналогично получим $P(D_2 / k_1 k_2) = 0,31$; $P(D_3 / k_1 k_2) = 0$.

Определим вероятность состояния печатного узла, если обследование показало, что обрыв цепи не наблюдается (признак k_1 отсутствует), наблюдается неисправность в работе по причине ошибки при проектировании (то есть наблюдается признак k_2). Отсутствие признака k_1 есть признак наличия \bar{k}_1 (противоположное состояние), причем $P(\bar{k}_1 / D_i) = 1 - P(k_1 / D_i)$.

Тогда

$$P(D_1 / \bar{k}_1 k_2) = \frac{0,15 \cdot 0,25 \cdot 0,25}{0,15 \cdot 0,25 \cdot 0,25 + 0,1 \cdot 0,15 \cdot 0,15 + 0,75 \cdot 1 \cdot 0,05} = 0,19;$$

аналогично $P(D_2 / \bar{k}_1 k_2) = 0,05$; $P(D_3 / \bar{k}_1 k_2) = 0,76$.

Вычислим вероятности состояний в том случае, когда оба признака отсутствуют. Аналогично предыдущему получим

$$P(D_1 / \bar{k}_1 \bar{k}_2) = \frac{0,15 \cdot 0,25 \cdot 0,75}{0,15 \cdot 0,25 \cdot 0,75 + 0,1 \cdot 0,15 \cdot 0,85 + 0,75 \cdot 1 \cdot 0,95} = 0,04,$$

$$P(D_2 / \bar{k}_1 \bar{k}_2) = 0,05, \quad P(D_3 / \bar{k}_1 \bar{k}_2) = 0,94.$$

Из проведенных расчетов можно сделать вывод, что при наличии признаков k_1 и k_2 с вероятностью 69 % имеется состояние D_1 , то есть наблюдается отсутствие сигнала. При отсутствии обоих признаков наиболее вероятна нормальная работа печатного узла (вероятность составляет 94 %).

Причиной отсутствия сигнала при проведении проверки электрических параметров ячейки может быть выход из строя радиоэлемента либо «непропай» вывода элемента. Дефекты, вызванные неисправными элементами, составляют небольшую долю. Это обусловлено прежде всего организацией надежного входного контроля комплектующих изделий. Таким образом, для обеспечения надежной работы блока ОЭП необходимо проводить контроль качества монтажа печатного узла, организовывать техническую диагностику на начальном этапе технологического процесса.

Программно-аппаратный комплекс

Сбор и регистрация результатов испытаний – наиболее длительный и трудоемкий процесс, при этом ставится задача хранения и многофакторной аналитической обработки большого объема статистических данных для выявления наиболее уязвимых участков технологического процесса монтажа и испытаний блока ОЭП.

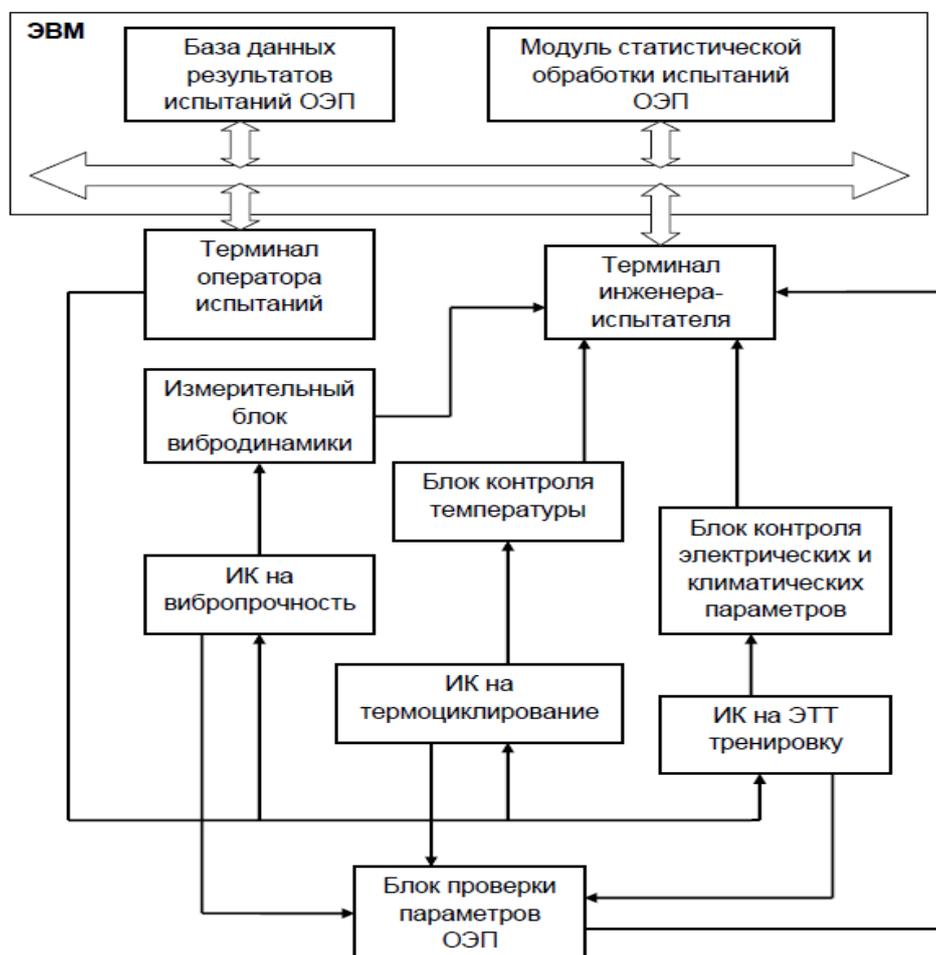
Для повышения производительности и возможности в полном объеме выполнять подобные действия разработан программно-аппаратный комплекс на основе быстродействующей ЭВМ (см. рисунок).

В его состав входят ИК – специализированные испытательные комплексы, обеспечивающие соответствующие условия работы ОЭП:

- вибрационное воздействие на ОЭП;
- работу ОЭП при циклически изменяющихся температурах;
- электротермотоковую (ЭТТ) тренировку контролируемого блока.

Байесовская методика реализуется в программном модуле статистической обработки испытаний ОЭП. Результаты хранятся в базе данных и используются в последующих испытаниях. ЭВМ имеет интерфейсы связи с терминалами оператора испытаний и инженера-испытателя.

В настоящее время анализ и принятие решения о надежном функционировании опико-электронного преобразователя осуществляется оператором испытаний при сравнении полученных данных с заданными параметрами работоспособности прибора. В случае возникновения нештатной ситуации при проведении испытаний изделия необходимо проанализировать возможные причины неисправности, оперативно принять решение о необходимости проведения доработки, а также об объеме испытаний в зависимости от объема проведенной доработки.



Структура программно-аппаратного комплекса

Заключение

Описанный программно-аппаратный комплекс позволит распараллеливать процесс получения, обработки и анализа полученной информации. При этом результаты испытаний заносятся в базу данных. Регистрация информации о нештатных ситуациях при функционировании ОЭП и причинах возникновения отклонений в работе прибора позволяет сократить время на проведение анализа возможных отказов. Внедрение предложенной методики и программно-аппаратного комплекса при испытаниях ОЭП для космических аппаратов позволит повысить надежность и срок работы аппарата на орбите.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Ахполова Е.А., Орлов С.П.* Измерительно-вычислительная система для контроля оптоэлектронных преобразователей // Компьютерные технологии в науке, практике и образовании (КТ-2012): Труды XI Междунар. межвузовской науч.-практич. конф. – Самара: Самар. гос. техн. ун-т, 2012. – С. 160-162.

2. *Ахполова Е.А.* Измерительно-вычислительный комплекс при проведении технологических отбраковочных испытаний оптико-электронного преобразователя // Актуальные проблемы ракетно-космической техники: Труды III Всеросс. научно-технич. конф. – Самара: СамНЦ РАН, 2013. – С. 319-323.
3. *Биргер И.А.* Техническая диагностика. – М.: Машиностроение, 1978. – 240 с.

Статья поступила в редакцию 11 февраля 2014 г.

USE OF THE BAYESIAN METHOD FOR STATISTICAL DATA PROCESSING OF OPTOELECTRONIC CONVERTER TESTS RESULTS

E.A. Ahpolova¹, S.P. Orlov²

¹ State Research-and-Production Space Rocket Centre «TsSKB-Progress»
18, Zemetza st., Samara, 443009, Russia

² Samara State Technical University
244, Molodogvardeyskaya st., Samara, 443100, Russia

The report considers the problem of reliability of optoelectronic converters for remote sensing of the Earth from aboard the spacecraft. It is proposed to control technology in the manufacture of optoelectronic unit converter.

A methodology to assess the most critical areas in the process is proposed. The methodology is based on a generalized Bayesian formula and allows you to make operational decisions on functional performance optoelectronic converter information on the test results. Proposed the hardware - software system that controls the unit by diagnostic tests. It contains a specialized complex, which provides: vibration impact on device, operation of the device at a cyclically varying temperatures and elektrotermocurrent controlled training unit.

Keywords: *optoelectronic converters, device tests, statistical data processing, generalized Bayesian formula, hardware-software system.*