

Повышение требований к наземной тепловой обработке негерметичных космических аппаратов в части имитации солнечного излучения делает актуальными замену водоохлаждаемых высокоомощных ламп на маломощные (до 10 кВт) воздухоохлаждаемые серийно выпускаемые лампы солнечного спектра и дальнейшее исследование в области построения методических основ создания имитаторов Солнца на базе этих ламп.

Представленная модель позволит оперативно прогнозировать результаты изменения настроек и параметров оптической системы ИСИ, а также проводить

параметрическую оптимизацию с использованием разных целевых функций.

Библиографические ссылки

1. Крат С. А., Филатов А. А., Христич В. В. Тепловакуумные испытания космического аппарата: опыт создания имитатора солнечного излучения на основе современных газоразрядных ламп высокого давления // Вестник СибГАУ. 2010. Вып. 2 (28). С. 73.

2. XBO Theatre Lamps [Electronic resource] // Technology and Applications. URL: www.osram.com (data of visit 13.04.2010).

S. A. Krat, A. A. Filatov, V. V. Dvirnyj, V. V. Hristich, A. K. Shatrov

PHOTONIC SCHEMES MODELLING AND PARAMETRICAL OPTIMIZATION OF THE SUN SIMULATOR FOR THERMAL WORKING OF UNTIGHT SPACECRAFTS

The authors consider questions of severization of requirements to spacecraft land thermal working regarding sunlight imitation in connection with production of untight spacecraft of new generation. A model of construction of photonic scheme of the Sun simulator in the software package is considered, with its subsequent parametric optimization.

Keywords: thermal vacuum tests, sunlight simulator, radiation source, photonic scheme, parametric optimization, XBO-lamps.

© Крат С. А., Филатов А. А., Двирный В. В., Христич В. В., Шатров А. К., 2011

УДК 629.7.017.1

В. В. Лукасов, Н. В. Никушкин

РЕШЕНИЕ ЗАДАЧИ ПО ПОДДЕРЖКЕ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЯ ЭКИПАЖЕМ ВОЗДУШНОГО СУДНА В ПОЛЕТЕ ПРИ ВОЗНИКНОВЕНИИ АВАРИЙНОЙ СИТУАЦИИ

Предложена методика оказания помощи экипажу воздушного судна при выходе из аварийной ситуации в полете с использованием вероятностного метода.

Ключевые слова: авиационная техника, экипаж, аварийная ситуация, признак, вероятность появления состояния, вероятность проявления признака.

Анализ инцидентов, авиационных происшествий и катастроф, произошедших с летательными аппаратами (ЛА), показывает, что все они происходят по вине человека или техники. При подготовке и выполнении полета на человека или технику влияют различные факторы, которые в ряде случаев приводят к тяжелым последствиям.

Рассмотрим эти факторы.

На авиационную технику влияют качество серийного производства, качество выполнения требований летной и технической эксплуатации, своевременное и полное проведение технического обслуживания и ремонта (ТОиР) и техника пилотирования воздушного судна, и другие факторы.

На экипаж оказывают влияние обученность, регулярность выполнения полетов, качество подготовки к полету, физическое и психологическое состояние членов экипажа и ряд других факторов.

К отказам и неисправностям может привести как сама авиационная техника, так и ее эксплуатация на земле и в воздухе.

Из опыта эксплуатации летательных аппаратов известно, что проявление одного отказа, неисправности или ошибочного действия не приводят к тяжелым последствиям, и только одновременное сочетание или последовательное наложение их могут спровоцировать аварийную ситуацию.

За десятки лет эксплуатации накоплен большой статистический материал, который дает возможность проанализировать, сделать выводы, определить причины, принять меры по предупреждению аналогичных случаев или своевременных действий, приводящих к выходу из аварийной ситуации.

При выполнении полета экипаж заинтересован в возможности самостоятельно определить причину, предвидеть дальнейший ход развития аварийной си-

туации и принять единственное правильное решение, т. е. экипаж в любой ситуации должен быть готовым к самостоятельным правильным действиям.

Каждая неисправность или отказ проявляется в виде одного или нескольких признаков, которые не всегда явно указывают на них.

В полете возможны два варианта развития событий при аварийной ситуации:

– проявление признака или несколько признаков, которые дают полное представление о состоянии воздушного судна, т. е. явно указывают на неисправность или отказ;

– проявление признака или несколько признаков, по которым трудно однозначно сказать, какой отказ или неисправность возникли. В этом случае невозможно принять правильное решение, а значит, любое действие или бездействие только усугубит аварийную ситуацию.

Наиболее опасны аварийные ситуации второго варианта и, именно, с такими чаще приходится встречаться в полете.

Используя расчетные данные одного из методов теории вероятностей, можно оказать помощь командиру (пилоту) в принятии решения в сложной ситуации. Для этого воспользуемся методом Байеса, который имеет возможность охватывать, взаимосвязывать, обрабатывать и получать результат от большого количества переменных параметров в различных условиях обстановки.

Чтобы применить этот метод, необходимо определить независимые случайные величины (для нас это факторы, отрицательно влияющие на выполнение полетного задания), закономерные повторения их в количественном значении, на основе статистических данных и по формуле Байеса рассчитать вероятность возникновения конкретной аварийной ситуации.

Формула Байеса имеет вид

$$P(S_i / k_j) = P(S_i) \frac{P(k_j / S_i)}{P(k_j)}, \quad (1)$$

где $P(S_i)$ – вероятность появления состояния S_i , определяемая по статистическим данным; $P(k_j / S_i)$ – вероятность проявления признака аварийного состояния k_j у объектов с состоянием S_i ; $P(k_j)$ – вероятность проявления признака аварийного состояния k_j во всех объектах независимо от состояния объекта.

Обобщенная формула Байеса относится к случаю, когда обследование проводится по комплексу признаков K , включающему признаки k_1, k_2, \dots, k_n . Каждый из признаков k_j имеет τ_j разрядов ($k_{j1}, k_{j2}, \dots, k_{j\tau_j}, \dots, k_{j\tau_j}$). В результате обследования становится известной реализация признака

$$K_j^* = k_{j\tau_j} \quad (2)$$

и всего комплекса признаков K^* (индекс* означает конкретное значение (реализацию) признака). Формула Байеса для комплекса признаков имеет вид

$$P(S_i / K^*) = P(S_i) P(K^* / S_i) / P(K^*), \quad (i = 1, 2, \dots, n), \quad (3)$$

где $P(S_i / K^*)$ – вероятность диагноза S_i после того, как стали известны результаты обследования по комплексу признаков K ; $P(S_i)$ – вероятность появления состояния S_i (по предшествующей статистике).

В практических задачах, особенно при большом числе признаков, применяется условие независимости признаков даже при наличии существенной корреляции между ними.

Вероятность проявления комплекса признаков K^* определяется по выражению

$$P(K^*) = \sum_{S=1}^n P(S_C) P(K^* / S_C), \quad (4)$$

где S_C – сочетание неисправных состояний.

Для комплекса признаков обобщенная формула Байеса может быть записана в виде

$$P(S_i / K^*) = \frac{P(S_i) P(K^* / S_i)}{\sum_{S=1}^n P(S_C) P(K^* / S_C)}, \quad (5)$$

а

$$\sum_{i=1}^n P(S_i / K^*) = 1, \quad (6)$$

т. е. одно из состояний обязательно реализуется, а реализация одновременно двух состояний невозможна.

Теорема гипотез является основой для применения, но прямое ее использование не дает требуемого результата. Чтобы достичь его, необходимо ее развить, углубить путем преобразования, трансформации обобщенной формулы Байеса, определением условий применения, построением требуемых расчетных математических моделей, составлением алгоритма поиска неисправностей.

Раскрывая теорему гипотез, определим возможные варианты сочетаний признаков и неисправных состояний:

I – проявление одного признака в одной аварийной ситуации;

II – проявление одного признака в двух аварийных ситуациях;

III – проявление двух признаков в одной аварийной ситуации;

IV – проявление двух признаков в двух аварийных ситуациях;

V – проявление двух признаков в трех аварийных ситуациях;

VI – проявление трех признаков в двух аварийных ситуациях.

В каждом варианте необходимо рассматривать предполагаемые аварийные ситуации с учетом их возможного проявления. Для этого целесообразно определить условия, при которых признаки будут рассматриваться как случаи I, а неисправные состояния как вариации II.

Условия предопределяют необходимость выполнения следующих операций:

1. Выполнение расчета по случаям:

I а) – при одновременном проявлении всех признаков;

I б) – при неявном проявлении (не проявлении) первого признака. Неявное проявление признака означает, что признак слабо выражен;

I в) – при неявном проявлении (не проявлении) второго признака;

I г) – при неявном проявлении (не проявлении) обоих признаков.

2. Рассмотреть в каждом случае вариации II для следующих состояний:

II а) – для первого рассматриваемого неисправного состояния (S_1);

II б) – для второго рассматриваемого неисправного состояния (S_2);

II в) – для третьего рассматриваемого неисправного состояния (S_3).

Эти условия применяют только для того варианта, в котором одновременно имеется два и более признака, две и более аварийной ситуации.

Каждую аварийную ситуацию необходимо рассматривать по всем четырем случаям:

I а), I б), I в) и I г) – проявления или не проявления признаков.

Для удобства и большей наглядности предлагается строить диагностическую матрицу общего вида (табл. 1), которая состоит из столбцов, где размещены конкретные признаки, а в последнем – вероятности $P(k_j/S_i)$, и строк, в которых содержатся значения вероятности аварийных ситуаций.

Для получения необходимых расчетных зависимостей из обобщенной формулы Байеса используйте данные таблицы.

Рассмотрим получение выражений для наиболее сложного V варианта.

V вариант – проявление двух признаков (k_1 и k_2) в трех неисправных состояниях (S_1, S_2 и S_3).

V вариант будем рассматривать в 4 случаях при проявлении или не проявлении двух признаков, и в 3 вариациях, т. е. для трех неисправных состояний.

Вариация II а) для первой аварийной ситуации (S_1):

для случая I а) – одновременное проявление двух признаков (k_1 и k_2) в аварийной ситуации S_1 . Используя обобщенную формулу Байеса (5), получим выражение $P(S_1/k_1k_2)$:

$$P(S_1/k_1k_2) = \frac{P(S_1)P(k_1/S_1)P(k_2/S_1)}{P(S_1)P(k_1/S_1)P(k_2/S_1) + P(S_2)P(k_1/S_2) \times P(k_2/S_2) + P(S_3)P(k_1/S_3)P(k_2/S_3)} \quad (7)$$

В числителе имеется произведение значения $P(S_i)$ – вероятность появления аварийной i -ой ситуации (применительно к рассматриваемому случаю S_1) $P(S_1)$, на значение $P(K^*/S_i)$ – вероятность проявления комплекса признаков (для нашего случая одновременное проявление признаков k_1 и k_2), в аварийной ситуации (для рассматриваемого случая S_1) – $P(k_1k_2/S_1)$ или $P(k_1/S_1) P(k_2/S_1)$.

Исходя из этих обозначений в числителе получим выражение $P(S_1) P(k_1k_2/S_1)$ или $P(S_1) P(k_1/S_1) P(k_2/S_1)$.

В знаменателе имеется сумма произведения значения $P(S_c)$ – вероятность появления сочетаний аварийных ситуаций (для рассматриваемого случая S_1, S_2 и S_3 – определяют количество слагаемых) – $P(S_1), P(S_2)$ и $P(S_3)$, на значение $P(K^*/S_c)$ – вероятность проявления комплекса признаков (в рассматриваемом случае – одновременное проявление признаков – k_1 и k_2), в сочетании аварийных ситуаций (S_1, S_2 и S_3) – $P(k_1/S_1) P(k_2/S_1) + P(k_1/S_2) P(k_2/S_2) + P(k_1/S_3) P(k_2/S_3)$.

В результате в знаменателе получаем выражение

$$P(S_1) P(k_1/S_1) P(k_2/S_1) + P(S_2) P(k_1/S_2) P(k_2/S_2) + P(S_3) P(k_1/S_3) P(k_2/S_3).$$

После сведения рассмотренных выражений, получим расчетную зависимость 7.

Аналогичными действиями получены выражения для случая I б) – при неявном проявлении первого признака в аварийной ситуации S_1 – $P(S_1/\bar{k}_1k_2)$; для случая I в) – при неявном проявлении второго признака в аварийной ситуации S_1 – $P(S_1/k_1\bar{k}_2)$; для случая I г) – при неявном проявлении обоих признаков в аварийной ситуации S_1 – $P(S_1/\bar{k}_1\bar{k}_2)$.

Проделав подобные действия с вариацией II б), получим выражение для второй аварийной ситуации (S_2) и с вариацией II в) – для третьей аварийной ситуации (S_3).

Каждое полученное выражение вида (7) представляет собой одну, из всего многообразия аварийных ситуаций, математическую модель, ту, которая может возникнуть на борту воздушного судна в какой-то определенный момент.

Диагностическая матрица общего вида

Аварийные ситуации S_i	Вероятность проявления признака k_j			$P(S_i)$
	по k_1	по k_2	по k_3	
	$P(k_1/S_i)$	$P(k_2/S_i)$	$P(k_3/S_i)$	
S_1	$P(k_1/S_1)$	$P(k_2/S_1)$	$P(k_3/S_1)$	$P(S_1)$
S_2	$P(k_1/S_2)$	$P(k_2/S_2)$	$P(k_3/S_2)$	$P(S_2)$
S_3	$P(k_1/S_3)$	$P(k_2/S_3)$	$P(k_3/S_3)$	$P(S_3)$

Экипаж точно будет знать, какой отказ или неисправность возникла, что позволит принять единственно правильное решение: продолжить полет, прекратить выполнение полетного задания, выключить двигатель, или перейти на другой режим полета, идти на вынужденную посадку, продолжать полет с повышенным контролем параметров работы двигателей и систем, запросить экстренную посадку и т. д.

Для этого необходимо, в соответствии с предложенной методикой, иметь расчеты по возникновению отказов и неисправностей всех систем и агрегатов данного типа воздушного судна, составить программу по определению отказов и неисправностей и ввести ее в бортовую вычислительную машину.

В полете, путем введения проявившихся признаков в БЦВМ, командир получит информацию об истинном состоянии системы воздушного судна. Зная

его в данный момент, командир (пилот) принимает единственно правильное решение, выполняет необходимые операции и снижает риск или выводит воздушное судно из аварийной ситуации.

Библиографические ссылки

1. Решетов Д. Н., Иванов А. С., Фадеев В. З. Надежность машин. М. : Высш. шк., 1988.
2. Воробьев В. Г., Константинов В. Д. Техническая диагностика авиационного оборудования. М. : Транспорт, 2000.
3. Лукасов В. В. Метод поиска неисправностей и его использование в обеспечении надежности летательных аппаратов : дис. ... канд. техн. наук. Красноярск, 2006.

V. V. Lukasov, N. V. Nikushkin

SOLUTION OF A PROBLEM OF SUPPORT OF THE DECISION TO BE MADE BY A CREW TEAM WHEN AN EMERGENCY SITUATION OCCURS WHILE IN FLIGHT

The authors offer a method for support of the decision to be made by a crew team to avoid the emergency when such situation occurs while in flight, with the help of a probabilistic method.

Keywords: aircraft, crew, emergency, sign, probability of a state, probability of warning expression.

© Лукасов В. В., Никушкин Н. В., 2011

УДК 629.7.064.52

Е. А. Мизрах, Д. К. Лобанов

ДИНАМИЧЕСКИЙ СИНТЕЗ НАГРУЗОЧНЫХ УСТРОЙСТВ С РЕКУПЕРАЦИЕЙ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ В СЕТЬ ЭЛЕКТРОПИТАНИЯ ИСПЫТАТЕЛЬНОГО КОМПЛЕКСА ЭНЕРГОСИСТЕМ КОСМИЧЕСКОГО АППАРАТА*

Разработана методика динамического синтеза нагрузочных устройств с рекуперацией электроэнергии в сеть электропитания испытательного комплекса энергосистем космического аппарата.

Ключевые слова: энергосбережение, нагрузочное устройство, рекуперация.

Энергосистемы современных космических аппаратов (КА) работают, как правило, на постоянном токе и содержат первичные и вторичные источники электрической энергии для электропитания бортовых электротехнических систем. При наземных испытаниях вторичных источников электропитания (ВИЭП) КА большой мощности (свыше пяти киловатт) возникают проблемы с утилизацией энергии нагрузочных устройств. Авторами предложен один из вариантов решения этой проблемы – рекуперация потребленной энергии в сеть постоянного тока, питающую испытываемый вторичный источник электропитания [1].

Энергосберегающий испытательный комплекс (рис. 1) для наземных испытаний мощных ВИЭП КА

содержит в своем составе имитатор солнечной батареи (имитатор СБ), воспроизводящий выходные вольтамперную характеристику (ВАХ) и полное внутреннее сопротивление СБ; нагрузочное устройство рекуперационного типа (НУРТ), имитирующее вольтамперную характеристику и полное внутреннее сопротивление реальных бортовых потребителей.

НУРТ содержит непрерывный стабилизатор тока (НСТ) и импульсный стабилизатор тока (ИСТ) стабилизаторы тока, находящиеся в следующей взаимосвязи: НСТ стабилизирует выходной ток $I_{\text{ВИЭП}}$, а ИСТ, выполненный на основе импульсного преобразователя (ИП), стабилизирует ток через непрерывный регулирующий элемент (НРЭ).

*Работа выполнена при финансовой поддержке Федеральной целевой программы «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России» на 2009–2013 гг.