

Все изложенное идеально справедливо лишь для точечных источников излучения. Но в реальной практике источники имеют конечные размеры. Для предложенных в работе [1] ксеноновых ламп OSRAM «точечный источник излучения» – это конусообразная дуга длиной в 13 мм. Здесь возникает вопрос об отклонениях лучей светового потока в силу этого отличия, и должен быть проведен дальнейший расчет с учетом возможных отклонений. Современные компьютерные программы для оптических расчетов позволяют с достаточной точностью вводить такие параметры источника излучения, как форма дуги и пространственное распространение потока. В результате,

расчетные модели, как правило, подтверждаются на практике.

Библиографические ссылки

1. Крат С. А., Филатов А. А., Христин 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. Бронштейн И. Н., Семендяев К. А. Справочник по математике для инженеров и учащихся втузов. М. : Наука, 1986.

S. A. Krat

THEORETICAL BASES OF COMPOSITING TECHNIQUE OF LIGHT STREAMS FROM SEPARATE SOURCES OF RADIATION FOR SC LAND WORKING OFF

In the article the author proves the requirement of association of light streams, from separate radiation sources, at thermal vacuum working off of SC and presents a theory of calculation of the streams summation scheme, for construction of optical system of the Sun simulator.

Keywords: radiation source, summation scheme, thermal vacuum tests, the Sun simulator, optical system.

© Крат С. А., 2011

УДК 681.7.069.2

С. А. Крат, А. А. Филатов, В. В. Двирный, В. В. Христин, А. К. Шатров

МОДЕЛИРОВАНИЕ И ПАРАМЕТРИЧЕСКАЯ ОПТИМИЗАЦИЯ СВЕТООПТИЧЕСКОЙ СХЕМЫ ИМИТАТОРА СОЛНЦА ДЛЯ ТЕПЛОВОЙ ОТРАБОТКИ НЕГЕРМЕТИЧНЫХ КОСМИЧЕСКИХ АППАРАТОВ

Рассмотрены вопросы повышения требований к наземной тепловой отработке космических аппаратов (КА) в части имитации солнечного излучения в связи с выпуском негерметичных КА нового поколения. Поставленные задачи решены за счет создания эффективной системы излучения, построенной на базе современных серийно выпускаемых ламп солнечного спектра. Рассмотрено построение модели светооптической схемы имитатора Солнца в программном пакете Zemax с последующей ее параметрической оптимизацией.

Ключевые слова: тепловакуумные испытания, имитатор солнечного излучения, источник излучения, светооптическая схема, параметрическая оптимизация, ХВО-лампы.

На современном этапе создания КА, требующем улучшения их технических характеристик и увеличения срока активного существования (САС) (до 10–15 лет) планируется производство спутников на основе бесконтейнерных аппаратов с пассивной системой терморегулирования (СТР). Создаются КА с использованием сотовых панелей с встроенными тепловыми трубами, специальных радиационных поверхностей и большого количества обогревателей. Надежность таких КА высока, так как отсутствуют критичные, с точки зрения надежности элементы, приводящие к отказам (гермоконтейнеры, жидкостные контуры и т. д.).

С производством негерметичных КА нового поколения (далее по тексту НКА) связано усовершенствование испытательной базы для наземной экспериментальной отработки (НЭО) и проводятся мероприятия по повышению точности и качества условий космиче-

ского пространства, воспроизводимых действующими имитационными установками.

Одним из основных этапов наземной экспериментальной отработки КА считаются тепловакуумные испытания, которые проводятся на специально оборудованном стенде, оснащенном имитатором солнечного излучения (ИСИ).

Недостаточность методической базы построения оптических систем и компоновок ИСИ, низкие КПД существующих систем ИСИ предполагают дополнительные исследования в этой области, а создание НКА повышает требования к точности воспроизводимых имитаторами условий.

Здесь рассмотрены вопросы построения эффективной системы излучения имитатора Солнца в составе стенда для НЭО ОАО «ИСС» ТБК-120.

Обоснование выбора источника излучения для ИСИ ТБК-120 приведено в работе [1]. Суть построения системы излучения на базе метода «совмещенных фокусов» заключается в формировании квазипараллельного потока имитации солнечного излучения заданного диаметра с энергетической мощностью, равной сумме энергетических мощностей отдельных источников излучения, посредством совмещения фокусов отдельных рефлекторов-эллипсоидов и отрицательной линзы-конденсора.

На базе метода «совмещенных фокусов» выполнен аналитический габаритный расчет системы излучения ИСИ ТБК-120. Однако такой расчет позволяет лишь в первом приближении оценить реализацию оптической системы, поскольку источники излучения оцениваются как точки, распространяющие излучение равномерно по всем направлениям, а ход лучей рассматривается вблизи оптической оси системы. В реальной оптической системе источник излучения имеет конечные размеры, характерные распределение мощности излучения в дуге лампы и пространственное распространение силы света. Такая оптическая система обладает искажениями проекций в виде аберраций (изображение одной точки имеет вид расплывчатого пятна) и дисторсий (нарушение геометрического подобия). Точный аналитический расчет системы с учетом этих факторов является сложным и громоздким, а зачастую просто невозможным. Современная программа для оптического проектирования ZEMAX позволяет проводить анализ реальных оптических систем с большим количеством компонентов и учетом вышеназванных факторов.

Далее будут рассмотрены вопросы моделирования и оптимизации выполненного габаритного расчета на базе вычислительной модели по критериям максимума эффективности и минимума неравномерности с применением программного пакета ZEMAX.

Основной проблемой, усложняющей моделирование данной оптической системы, явилась проблема задания источника излучения, моделирующего реальные характеристики лампы OSRAM XBO 10000 OFR – неравнояркость дуги и пространственное распределение силы света [2]. Моделирование источника, отличного от стандартных источников ZEMAX, требует создания специальной динамической библиотеки, задающей эти характеристики.

Анализ представленных в [2] характеристик лампы показал, что распределение яркости в объеме источника обладает круговой симметрией. Таким образом, описать неравнояркость источника можно с помощью двух функций – в плоскости XZ и по оси Y .

При аппроксимации функций распределения яркости в координатных осях пакета ZEMAX выяснилось, что в плоскости XZ распределение яркости можно описать следующей функцией:

$$B(r) = A_1 + B_1r + C_1r^2 + D_1r^3 + E_1r^4 + F_1r^5, \\ r = \sqrt{x^2 + z^2},$$

где $A_1 = 0,986\ 47$; $B_1 = 0,516\ 69$; $C_1 = -3,194\ 46$; $D_1 = -3,964\ 73$; $E_1 = 13,011\ 85$; $F_1 = -7,250\ 73$.

По оси Y

$$B(y) = A_2 + B_2y + C_2y^2 + D_2y^3 + E_2y^4 + F_2y^5 + G_2y^6,$$

где $A_2 = 1,017\ 52$; $B_2 = 0,478\ 44$; $C_2 = -30,676\ 5$; $D_2 = 128,915\ 51$; $E_2 = -228,483\ 74$; $F_2 = 187,279\ 52$; $G_2 = -58,430\ 25$.

В соответствии с созданными функциями на языке C++ составлен, скомпилирован и внедрен исходный код для динамической (DLL) библиотеки ZEMAX. Теперь интенсивность каждого луча в зависимости от того, из какого места объема источника он формируется, нормируется яркость, определяемая функциями $B(r)$ и $B(y)$. Другими словами, каждая точка в объеме источника получила свою индивидуальную яркость, но ее кривая силы света не поменяла свою форму. Тогда построенная модель представляет собой цилиндрический неравнояркий источник света (рис. 1).

ИСИ ТБК-120 с источником, моделирующим лампу OSRAM XBO 10000 OFR, приведен на рис. 2.

При распределении интенсивности в плоскости, перпендикулярной оптической оси линзы щита (рис. 3), мощность каждого источника принята равной 1/7 Вт, т.е. суммарная мощность светового щита равна 1 Вт. Тогда значение мощности, приходящееся на детектор, позволяет автоматически получить значение эффективности части схемы, предшествующей этому детектору.

Распределение интенсивности излучения в плоскостях параболического зеркала и планшета и распределение интенсивности в поперечных сечениях плоскости контроля излучения показаны на рис. 4, 5.

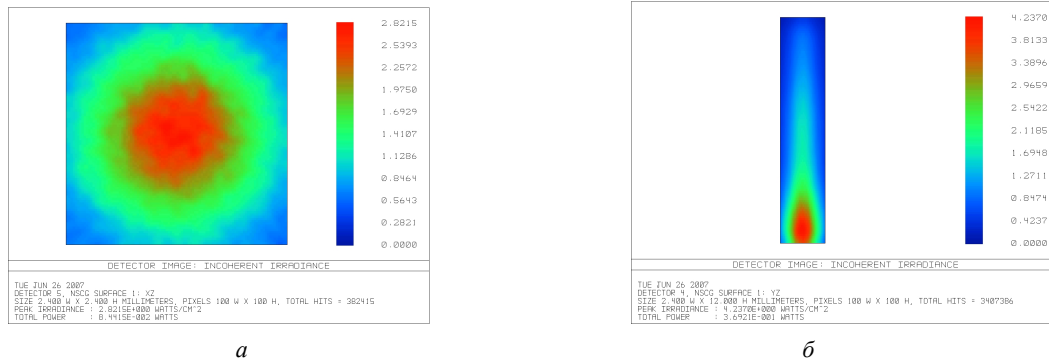


Рис. 1. Распределение яркости для неравнояркого источника – дуги лампы XBO 10000 W/HS OFR: а – в плоскости XZ ; б – в плоскости YZ

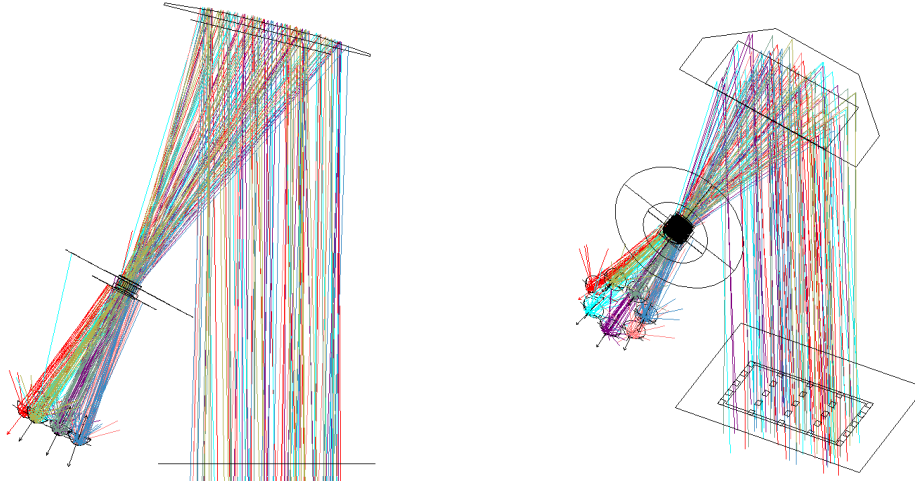


Рис. 2. Вид светооптической схемы с источником, моделирующим лампу OSRAM XBO

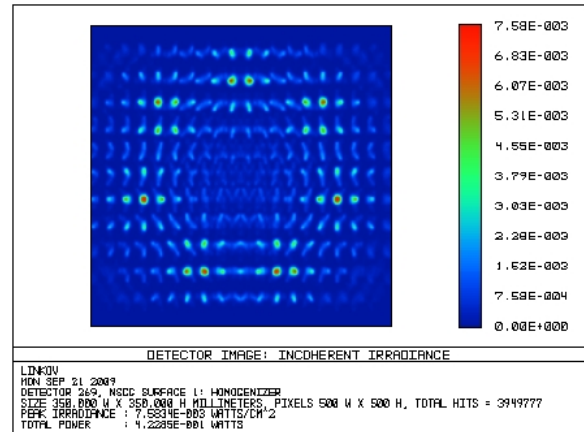
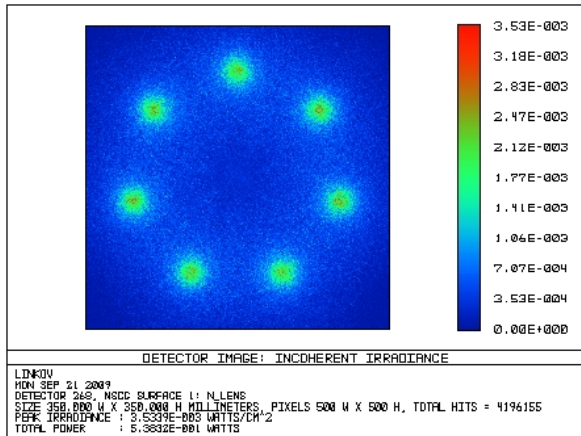


Рис. 3. Распределение интенсивности в плоскости, перпендикулярной оптической оси линзы цита и расположенной непосредственно перед отрицательной линзой (слева) и непосредственно за иллюминатором (справа), размер детектора 350 × 350 мм

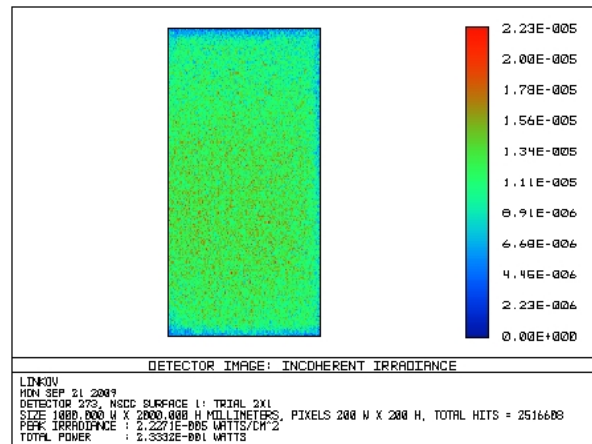
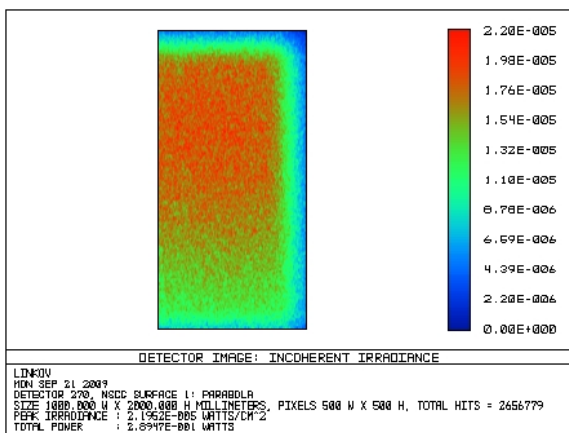


Рис. 4. Распределение интенсивности в плоскости параболического зеркала (слева) и в плоскости контроля излучения (справа), размер детектора 1 000×2 000 мм

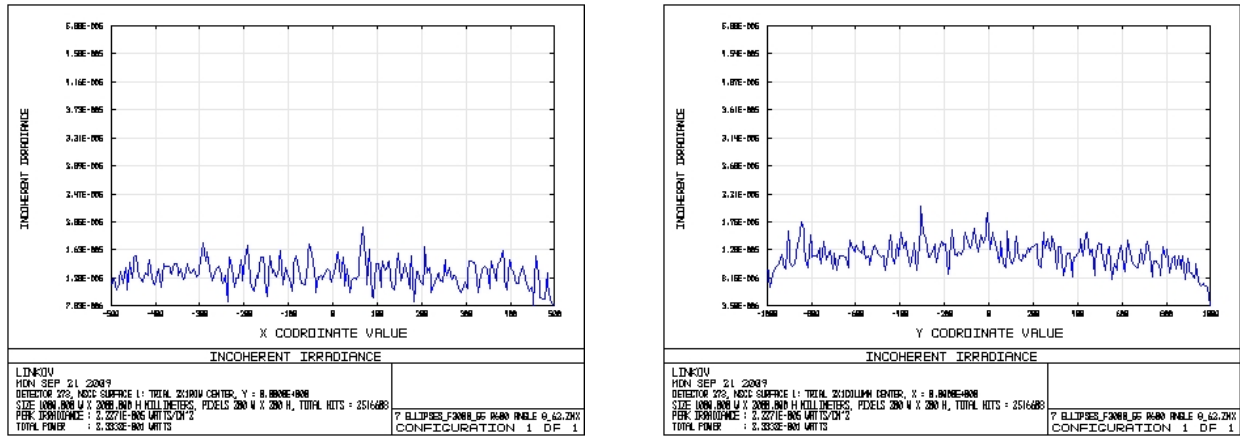


Рис. 5. Поперечные сечения (через центр детектора) распределения интенсивности в плоскости контроля излучения, размер детектора 1,0x2,0 м

Эффективность схемы от светового щита к планшету уменьшается (табл. 1).

Таблица 1

Потери в светооптической схеме

Элементы светооптической схемы	Мощность на детекторе, Вт
Световой щит	1
Перед отрицательной линзой	0,538
После смесителя	0,422
На параболическом зеркале	0,289
На планшете	0,233

Данные таблицы показывают, что основные потери происходят между световым щитом и отрицательной линзой, а также между смесителем и параболическим зеркалом. Причиной первых потерь является конечная эффективность эллиптического рефлектора, равная приблизительно 60 %. Причина вторых – вследствие того, что реальный источник не является точечным, расходимость за линзой несколько превышает числовую апертуру смесителя, и часть лучей теряется в смесителе, претерпевая полное внутреннее отражение от боковых граней элементов смесителя.

Для минимизации данных потерь и отысканию оптимальных параметров светооптической системы необходимо прибегнуть к параметрической оптимизации светооптической системы. Используемый источник излучения не является точечным источником, а кроме того, не является и равноярким. Данное обстоятельство делает аналитическое вычисление оптимальных параметров системы неоправданно сложным. Поэтому целесообразно воспользоваться возможностями современного программного обеспечения, позволяющего оптимизировать систему в непоследовательном режиме.

Параметрическая оптимизация светооптической схемы в программном пакете ZEMAX. Задача параметрической оптимизации представляет собой итерационный процесс отыскания минимума оценоч-

ной функции, в ходе которого параметры системы, объявленные переменными, изменяются.

В программном пакете ZEMAX используется оценочная функция следующего вида:

$$MF^2 = \frac{\sum W_i (V_i - T_i)^2}{\sum W_i},$$

где W_i – вес операнда; V_i – текущее значение операнда; T_i – целевое значение операнда.

Для оптимизации светооптической схемы была сконструирована следующая оценочная функция:

$$MF^2 = \frac{1}{460} \left[10 \left(\frac{P_V^{(1)} - P_T^{(1)}}{P_V^{(13)} - P_T^{(13)}} + \frac{P_V^{(5)} - P_T^{(5)}}{P_V^{(13)} - P_T^{(13)}} + \frac{P_V^{(21)} - P_T^{(25)}}{P_V^{(13)} - P_T^{(13)}} \right) + 20 \frac{P_V^{(11)} - P_T^{(11)}}{P_V^{(15)} - P_T^{(15)}} + 400(P_V^{1x2} - P_T^{1x2}) \right],$$

где $P_V^{(N)}$ – текущее значение мощности светового потока, приходящегося на N -ый детектор, $P_T^{(N)}$ – целевое значение мощности светового потока, приходящегося на N -ый детектор, P_V^{1x2} – текущее значение мощности светового потока, приходящееся на область 1×2 м, а P_T^{1x2} – целевое значение того же параметра. Для описания промежуточных результатов будем пользоваться следующими критериями: эффективностью светооптической схемы и неравномерностью в заданной области (рис. 6).

В качестве оптимизируемых параметров первоначально были выбраны следующие:

- радиус кривизны в осевой точке для кривой рефлектора R_0 ;
- коэффициент деформации кривой рефлектора k ;
- расстояние от центральной точки светового щита до вершины вогнутой поверхности L ;
- радиус кривизны отрицательной линзы R .

Промежуточные результаты оптимизации даны в табл. 2.

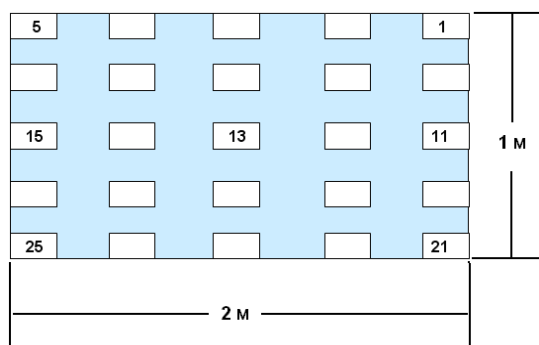


Рис. 6. Схема расстановки детекторов при анализе и оптимизации

На основе анализа данных табл. 2 в качестве рабочей была выбрана схема с параметрами:

$$R_0 = 108,1096; \quad R = 600;$$

$$k = -0,92928; \quad L = 2211.$$

Выбор данной схемы обусловлен выбором компромисса между эффективностью и неравномерностью. Для улучшения равномерности было решено незначительно изменить углы наклона рефлекторов, сохранив при этом эффективность схемы (табл. 3).

За счет оптимизации углов наклона удалось несколько улучшить равномерность, сохранив при этом эффективность схемы (табл. 4).

Таблица 2

Промежуточные результаты оптимизации

R_0 , мм	k	L , мм	R , мм	Эффективность, %	Неравномерность в области 1×2 м, %	Неравномерность в области 0,9×1,8 м, %
107,69	0,917763	2300	-264	19	13,7	4,8
107,7213	0,918854	2300	-300	22	15,6	4,7
107,804	0,921739	2300	-400	25	22,3	9,8
107,8809	0,924427	2300	-500	26	23,5	11,6
107,8927	0,92484	2300	-516	26	23,5	11,8
107,399	0,907654	1847	-424	22	18,4	7,0
107,7798	0,920896	2213	-457	22	19,2	6,6
107,9015	0,925146	2354	-474	22	20	7,5
108,0196	0,929283	2211	-600	23,8	19,1	6,4

Таблица 3

Углы наклона рефлекторов

№ рефлектора п/п	Координата вершины рефлектора X , мм	Координата вершины рефлектора Y , мм	Угол поворота рефлектора вокруг оси X , град.		Угол поворота рефлектора вокруг оси Y , град.	
			До оптимизации	После оптимизации	До оптимизации	После оптимизации
1	0,0	450,0	8,62	0	9,24	0
2	351,9	280,6	5,37	-6,73	5,75	-7,22
3	438,7	-100,2	-1,91	-8,41	-2,05	-9,01
4	195,3	-405,5	-7,77	-3,73	-8,33	-4,00
5	-195,3	-405,5	-7,77	3,73	-8,33	4,00
6	-438,7	-100,2	-1,91	8,41	-2,04	9,01
7	-351,9	280,6	5,37	6,73	5,75	7,21

Таблица 4

Характеристики окончательной схемы до и после оптимизации углов наклона рефлекторов

R_0 , мм	k	L , мм	R , мм	Углы наклона рефлекторов	Эффективность, %	Неравномерность в области 1×2 м, %	Неравномерность в области 0,9×1,8 м, %
108,0196	0,929283	2211	-600	До оптимизации	23,8	19,1	6,4
108,0196	0,929283	2211	-600	После оптимизации	23,8	16,4	7,6

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-