

Из проведенного анализа следует, что непосредственные расчеты энергетических показателей генератора весьма трудоемки из-за громоздких выкладок и невозможности аналитического решения системы уравнений (17), (18).

Поэтому в каждом конкретном случае целесообразно прибегнуть к численным методам с использованием вычислительной техники.

На основании приведенного примера можно сделать вывод о возможности значительного повышения электрического КПД генератора по сравнению с обычными усилителями мощности, КПД которых на высоких частотах не превышает 40–60 %.

Библиографический список

1. Дмитриков, В. Ф. Высокоэффективные формирователи гармонических колебаний / В. Ф. Дмитриков, Н. Б. Петяшин, М. А. Сиверс. М. : Радио и связь, 1988.
2. Хмельницкий, Е. П. Работа лампового генератора на расстроенный контур / Хмельницкий. М. : Связьиздат. 1962.
3. Артым, А. Д. Усилители классов D и ключевые генераторы в радиосвязи и радиовещании / А. Д. Артым. М. : Связь, 1980.

A. M. Miheenko, S. S. Abramov, I. I. Rezvan

TO THE POSSIBILITY ANALYSIS OF POWER EFFICIENCY OF GENERATING DEVICES INCREASE FOR ON-BOARD RADIO-ELECTRONIC TOOLS

In an offered material the generalized analysis of the key generator of high frequency which allows to estimate power indicators of the generator in a wide range of frequencies and scheme parameters is done.

Keywords: on-board radio tools, D-class generator, power efficiency of the generator.

© Михеенко А. М., Абрамов С. С., Резван И. И., 2009

УДК 681.3

И. В. Ковалев, Ю. А. Нургалева, С. Н. Грищенко, А. В. Усачев

К ПРОБЛЕМЕ ВЫБОРА СТРУКТУРЫ АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ЛЕТАТЕЛЬНЫМИ АППАРАТАМИ

Рассмотрена постановка задачи, а также этапы и процедуры формирования структуры автоматизированной системы управления летательными аппаратами. Рациональный вариант структуры системы выбран с использованием оптимизационных и имитационных моделей.

Ключевые слова: система управления, летательный аппарат, структура, выбор варианта.

Важной проблемой при создании систем управления, и в частности, автоматизированных систем управления летательными аппаратами (АСУ ЛА) является выбор их структуры, которая определяет состав элементов системы с соответствующими взаимосвязями и с учетом динамики их функционирования [1].

Анализ различных подходов к формированию структуры подобных систем [2–4] показал, что задачи формирования могут быть разбиты на две группы. К первой относятся задачи, связанные с формированием топологической структуры системы, состоящей в определении состава, территориального расположения и типа управляющих узлов на всех уровнях иерархии системы и каналов связи между ними. Ко второй группе относятся проблемы формирования функциональной структуры системы, т. е. распределение функций управления между узлами системы, включая объект управления и распределение технических средств по узлам системы.

Таким образом, проблема формирования структуры АСУ ЛА включает формирование структуры управляемой системы, т. е. определение оптимального состава и взаимосвязей ее элементов, оптимального разбиения множества управляемых объектов на отдельные подмножества, обладающие заданными характеристиками; формирование структуры управляющей системы, т. е. выбор числа уровней и подсистем (иерархии управления), способов согласования целей подсистем различных уровней; оптимальное распределение выполняемых функций между уровнями и узлами системы; выбор структуры системы передачи, обработки и обмена информации.

Решение задач, связанных с рациональным построением структур АСУ ЛА, требует создания методологических основ формализации элементов и системы в целом, методов декомпозиции системы на подсистемы, построения формализованных моделей и методов формирования структуры АСУ ЛА, многомашинных комп-

лексов и сетей связи. В работе основное внимание уделяется развитию методологии формирования структуры автоматизированных систем управления летательными аппаратами на базе сочетания оптимизационных и имитационных моделей, позволяющих учитывать динамику функционирования системы управления и ее элементов на этапе выбора структуры.

Постановка задачи. Под структурой системы, а именно АСУ ЛА, понимается организация системы из отдельных элементов с их взаимосвязями, которые определяются распределением функций и целей, выполняемых системой. Таким образом, структура – это способ организации целого из составных частей. Структура системы отражает строение и внутреннюю форму организации, относительно устойчивые взаимоотношения и взаимосвязи элементов системы. Сложные системы обладают большим числом элементов, свойств, связей между элементами, поэтому единое описание структурных аспектов системы является сложной теоретической и практической задачей.

Задачи формирования структуры тесно взаимосвязаны с задачами оптимизации функционирования систем. Характер взаимодействия между управляющими подсистемами и распределение функций между ними во многом определяются принятыми принципами и алгоритмами управления, степенью централизации при выработке управляющих воздействий и при их осуществлении, согласованностью целей подсистем различного уровня и другими факторами.

В общем случае проблемы оптимизации функционирования иерархических систем управления тесно связаны с проблемами выбора состава узлов системы, числа уровней управления, распределения функций и т. д. Поэтому возникает задача формирования оптимальной структуры, включающей выбор принципов и алгоритмов функционирования системы. Эти проблемы тесно взаимосвязаны, поскольку с изменением структуры меняется система целевых функций и внутренние связи.

Учет динамики функционирования АСУ ЛА на этапе формирования ее структуры приводит к необходимости совместного использования оптимизационных и имитационных моделей, поскольку для формализации динамики функционирования системы управления для большей части практических задач могут быть использованы лишь методы имитационного моделирования.

При этом возникают проблемы рационального сочетания таких моделей для получения оптимальных (рациональных) вариантов построения структуры АСУ ЛА. Подобный подход приводит к специфическим итеративным процедурам поиска рациональных вариантов структуры системы с использованием оптимизационных и имитационных моделей, позволяющих в процессе формирования конструировать, оценивать и отбирать рациональные варианты структуры.

В работах [5; 6] указывается, что при оптимизации структуры сложных систем, задачи формирования, учитывающие динамику функционирования элементов системы, только в простейших случаях могут быть решены аналитическими методами. Использование имитационных моделей позволяет учесть на этапе анализа и форми-

рования структуры АСУ ЛА не только статические взаимосвязи между элементами системы, но и динамические аспекты функционирования системы.

Возникающие при этом задачи приводят к моделям, в которых критерии, подлежащие оптимизации, и ограничения, накладываемые на параметры системы, задаются в произвольном виде: вербально, графиками, моделирующими алгоритмами, таблицами данных, полученных экспериментально, и пр., т. е. задаются неаналитически.

Учет динамических и стохастических аспектов функционирования АСУ ЛА на этапах анализа и формирования их структур приводит к необходимости совместного использования оптимизационных и имитационных моделей. Это объясняется тем, что для формализации динамических и стохастических аспектов функционирования элементов АСУ ЛА и их совокупностей могут быть использованы лишь имитационные модели.

Метод решения. С математической точки зрения рассматриваемые задачи относятся к классу задач математического программирования, в которых ряд ограничений задан не в явном виде, а алгоритмически.

Предлагается следующий алгоритм решения задачи формирования структуры АСУ ЛА. Обозначим через β' множество вариантов структур, допустимых по ограничениям на атрибуты, заданные в аналитической форме, а через β'' – множество вариантов структур, допустимых по ограничениям на атрибуты, заданные алгоритмически, т. е. выполнение этих ограничений может быть проверено лишь в ходе имитационного моделирования. Тогда пространство допустимых вариантов структур $\beta = \beta' \cap \beta''$.

Модели задач формирования в зависимости от способа задания целевой функции и пространства допустимых вариантов структуры АСУ ЛА β могут быть разбиты на классы, где целевая функция может быть задана либо аналитически, либо алгоритмически. При этом пространство β может быть задано аналитически, алгоритмически, аналитически и алгоритмически.

В зависимости от класса модели формирования могут быть использованы различные процедуры поиска оптимального варианта структуры, отличающиеся друг от друга способом генерации вариантов структуры, правилами проверки аналитически и алгоритмически заданных атрибутов и способом перехода к следующему шагу.

Для решения задач формирования структуры АСУ ЛА предлагается оптимизационно-имитационный подход, основанный на совместном использовании оптимизационных и имитационных моделей в процессе поиска оптимальных вариантов структуры.

Этапы аналитико-имитационной процедуры формирования базового множества структур АСУ ЛА с заданным набором атрибутов для многоатрибутивного выбора лучшего варианта структуры следующие:

Этап 1. Генерация варианта структуры системы X_i , $i = 1, \dots, m$ с заданным набором атрибутов A_j , $j = 1, \dots, l$.

Этап 2. Проверка допустимости варианта структуры по аналитически заданным атрибутам. Если $X_i \in \beta$, то происходит переход к этапу 3, иначе – к этапу 1.

Этап 3. Проведение машинного эксперимента с имитационной моделью системы η_{X_i} для допустимого по аналитически заданным атрибутам варианта структуры

X_i . Модель η отображает функционирование моделируемой системы для различных вариантов структуры. Между этапами 1 и 3 организуется информационный интерфейс для передачи данных об исследуемом варианте структуры X_i .

Этап 4. Проверка допустимости варианта структуры X_i алгоритмически заданным атрибутам. Если $X_i \in \beta$, то происходит переход к этапу 5, иначе – к этапу 1.

Этап 5. Запоминание варианта структуры, допустимого по аналитически и алгоритмически заданным атрибутам.

Этап 6. Проверка того, все ли варианты структуры проанализированы. Если нет, то происходит переход к этапу 1. В противном случае – выдача полученных результатов и окончание работы алгоритма.

В работе рассматриваются вопросы применения имитационного моделирования и оптимизационно-имитационного подхода к решению задач формирования структур АСУ ЛА как к распределенным информационно-управляющим системам. АСУ ЛА представляет собой распределенные в пространстве многофункциональные совокупности стационарных и подвижных элементов с развитыми техническими средствами приема, передачи и обработки информации.

В общем случае, АСУ ЛА обладают следующими характерными особенностями: распределенностью, подвижностью элементов, наличием зон доступности, быстродействием, недопустимостью потерь информации, живучестью системы. Перечисленные особенности значительно усложняют задачу построения моделей и алгоритмов формирования структуры системы.

Проблема структурного построения АСУ ЛА включает определение элементов и подсистем в пространстве; выбор комплекса технических средств, обеспечивающих выполнение функций управления с учетом пространственного размещения комплекса и доступности узлов; распределение множества выполняемых функций по узлам системы с учетом взаимосвязи по технологии обработки информации и управления. При этом должны быть выполнены различные требования к качеству управления в системе.

Задача состоит в рациональном отображении множества взаимосвязанных функций, выполняемых системой управления, на множество взаимосвязанных узлов с соответствующими техническими средствами с учетом затрат на создание или реконструкцию системы, затрат на эксплуатацию и функционирование, требований оперативности управления, надежности технических средств, живучести и глобальности системы управления и других характеристик.

Возникающие при этом математические постановки задач формирования структуры системы могут быть формализованы с использованием дискретных переменных различного уровня детализации системы. Анализ задач формирования структуры АСУ ЛА показал, что для них целесообразно выделять следующие уровни детализации построения системы: выбор состава и топологии наземных пунктов управления, выбор варианта их защищенности от внешних воздействий и выбор комплексов технических средств в узлах, выбор варианта распределе-

ния функций и задач управления между выбранными узлами управления и техническими средствами.

Данная задача представляет собой сложную комбинаторную проблему, решение которой на практике затруднено из-за ее большой размерности. С учетом этой особенности задачи предложена и реализована итеративная схема взаимодействия моделей и алгоритмов при формировании топологической и функциональной структуры АСУ ЛА (см. рисунок).

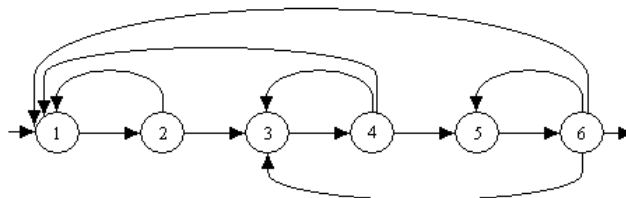


Схема взаимодействия моделей и алгоритмов при формировании топологической и функциональной структуры АСУ ЛА: 1–6 – блоки

На первом этапе (блок 1) решается задача выбора структуры АСУ ЛА с учетом затрат на организацию управляющих узлов, доступность и глобальность управления различными классами ЛА. Для определения допустимости сформированного варианта структуры АСУ ЛА по алгоритмически заданным атрибутам предназначена имитационная модель (блок 2).

В блоках 3, 4 для выбранной совокупности пунктов управления и их взаимосвязей определяются варианты построения узлов и связей между ними, обеспечивающие повышение живучести системы, определяемой вероятностью выполнения системой функций управления с учетом возможных неблагоприятных внешних воздействий.

Для детального учета вероятностных характеристик функционирования сгенерированных вариантов построения и обеспечения живучести системы предназначен комплекс имитационных моделей (блок 4), который позволяет анализировать функционирование системы при различных величинах интенсивности и для различных законов распределения выхода из строя элементов системы (узлов управления, каналов связи и др.).

В соответствии с общей методологией формирования структуры сложных систем генерирование управляющих узлов или пунктов управления для детального анализа и выбора осуществляется с помощью моделей оптимизации (блок 3). В работе для решения задачи оптимизации используется модифицированный метод многоатрибутивного принятия решений на базе процедуры TOPSIS [2].

На последующих этапах синтеза (блоки 5, 6) для найденного множества узлов управления и вариантов их реализации, работающих с объектами различных классов, и заданных функций управления по каждому классу объектов определяется оптимальное распределение задач взаимосвязанных подсистем по уровням и узлам системы и выбирается состав комплекса технических средств. Функции управления задаются в виде множества задач, выполняемых различными подсистемами (контурами) управления.

Задача синтеза функциональной структуры системы формализуется как нелинейная задача математического

программирования с целочисленными переменными (блок 5). Для определения характеристик и выделения вариантов построения отдельных контуров управления в блоке 5 используется известная модель оптимизации структуры контура управления.

Исследование динамики функционирования полученных вариантов структуры АСУ ЛА проводится с помощью имитационной модели (блок 6).

Топологическая структура АСУ ЛА определяет взаимное расположение и количество пунктов управления (ПУ) системы для заданных классов ЛА. Задача формирования топологической структуры АСУ ЛА заключается в следующем: для заданных множеств ЛА различных классов $E_{ЛА}$, множества участков возможной доступности L , графика движения G_k и программы работ Π_k ЛА каждого класса необходимо найти минимальную по затратам на создание совокупность ПУ, чтобы при этом выполнялись требования к управляемости и коэффициенту доступности для заданных классов ЛА, загрузке ПУ, специальные требования к системе (например, доступность на одном витке ЛА не менее чем двумя ПУ, минимально допустимое время нахождения ЛА в зоне какого-либо ПУ и т. д.). В результате решения данной задачи формирования определяется, какие ПУ необходимы в системе и с какими классами ЛА они будут взаимодействовать.

Для формализации задачи формирования топологической структуры АСУ дополнительно введем следующие обозначения: N_k – количество ЛА k -го класса; θ_{kl} – время доступности ЛА k -го класса на l -м участке возможной доступности; c_j – затраты на создание j -го ПУ; $\tau_{k \min}$ – минимально допустимая продолжительность одного сеанса связи для ЛА k -го класса; R_k – минимальное число ПУ, необходимых для управления ЛА k -го класса; $L_{\mu k}$ – множество смежных участков доступности из L_k с непрерывным временем доступности для ЛА k -го класса; H_k – коэффициент доступности ЛА k -го класса, который определяется отношением общего времени доступности ЛА k -го класса $\tau_k = \sum_{j \in J_k} \tau_{kj}$ ко времени

нахождения ЛА k -го класса над заданной территорией.

Введем следующие переменные:

$$z_j = \begin{cases} 1, & \text{если в системе будет использован } j\text{-й ПУ;} \\ 0 & \text{в противном случае;} \end{cases}$$

$$y_l = \begin{cases} 1, & \text{если в системе будет использован} \\ & l\text{-й участок возможной доступности;} \\ 0 & \text{в противном случае.} \end{cases}$$

Модель формирования топологической структуры системы имеет вид

$$\sum_{j \in J} c_j z_j \rightarrow \min \quad (1)$$

при следующих ограничениях:

на коэффициент доступности для каждого класса ЛА

$$\sum_{l \in L_k} \theta_{kl} y_l / \tau_k \geq H_k, \quad k \in K; \quad (2)$$

на минимальное количество ПУ, необходимых для управления каждым классом ЛА,

$$\sum_{j \in J} z_j \geq R_k, \quad k \in K; \quad (3)$$

на минимальное количество ПУ, необходимых для управления каждым классом ЛА,

$$\sum_{l \in L_{\mu k}} \theta_{kl} y_l \geq \tau_{k \min}. \quad (4)$$

Выражения (2–4) задают множество β' . Множество β'' задается при ограничениях на управляемость каждого класса ЛА и на загрузку пунктов управления. Аналитическая часть задачи формирования, т. е. выражения (1–4), представляет собой линейную целочисленную модель математического программирования, и варианты структуры могут быть получены с помощью известных методов [5].

Решение задачи оптимизации при выборе структуры АСУ ЛА производилось с использованием процедуры TOPSIS. Для этого в работе на основе данной процедуры был разработан следующий алгоритм:

Шаг 1. Задать относительную важность w каждой из k целевых функций.

Шаг 2. Определить $PIS(f^*)$ и $NIS(f^*)$, решая следующие задачи:

$$f^* = \{f_1^*, f_2^*, \dots, f_k^*\},$$

$$f^- = \{f_1^-, f_2^-, \dots, f_k^-\},$$

где $f_j^* = \max_{x \in X} f_j(x)$ для $\forall j \in J$ и $f_i^* = \min_{x \in X} f_i(x)$ для $\forall i \in I$; $f_j^- = \min_{x \in X} f_j(x)$ для $\forall j \in J$ и $f_i^- = \max_{x \in X} f_i(x)$ для $\forall i \in I$; $f_j(x)$, $j \in J$ – цель для максимизации типа «выгода»; $f_i(x)$, $i \in I$ – цель для минимизации типа «стоимость»; $k \in K$, $K = I \cup J$. Тогда f^* является вектором решения, который состоит из индивидуальных наилучших возможных решений для всех целей и называется PIS . Аналогично, f^- является вектором решения, который состоит из наихудших возможных решений для всех целей и называется NIS .

Шаг 3. Решить следующую задачу:

$$\min d^{PIS}(x),$$

$$\max d^{NIS}(x),$$

$$x \in X,$$

где

$$d^{PIS} = \left\{ \sum_{j \in J} w_j \left[\frac{f_j^* - f_j(x)}{f_j^* - f_j^-} \right]^2 + \sum_{i \in I} w_i \left[\frac{f_i(x) - f_i^*}{f_i^- - f_i^*} \right]^2 \right\}^{1/2};$$

$$d^{NIS} = \left\{ \sum_{j \in J} w_j \left[\frac{f_j(x) - f_j^-}{f_j^* - f_j^-} \right]^2 + \sum_{i \in I} w_i \left[\frac{f_i^- - f_i(x)}{f_i^- - f_i^*} \right]^2 \right\}^{1/2};$$

w_t , $t = 1, 2, \dots, k$ – относительная важность целей; d^{PIS} и d^{NIS} – расстояния до наилучшего идеального решения и наихудшего идеального решения соответственно.

Шаг 4. Найти $(d^{PIS})^*$, $(d^{NIS})^*$, $(d^{PIS})^*$, $(d^{NIS})^*$, решая следующую задачу:

$$(d^{PIS})^* = \min_{x \in X} d^{PIS}(x), \text{ и решение } -x^{PIS},$$

$$(d^{NIS})^* = \max_{x \in X} d^{NIS}(x), \text{ и решение } -x^{NIS},$$

$$(d^{PIS})^* = d^{PIS}(x^{NIS}),$$

$$(d^{NIS})^* = d^{NIS}(x^{PIS}).$$

Шаг 5. Найти функции принадлежности $\mu_1(x)$ и $\mu_2(x)$:

$$\mu_1(x) = \begin{cases} 1 & \text{если } d^{PIS}(x) < (d^{PIS})^*, \\ \frac{(d^{PIS})^* - d^{PIS}(x)}{(d^{PIS})^* - (d^{PIS})^*} & \text{если } (d^{PIS})^* \leq d^{PIS}(x) \leq (d^{PIS})^*, \\ 0 & \text{если } d^{PIS}(x) > (d^{PIS})^*. \end{cases}$$

$$\mu_2(x) = \begin{cases} 1 & \text{если } d^{NIS}(x) > (d^{NIS})^*, \\ \frac{d^{NIS}(x) - (d^{NIS})^*}{(d^{NIS})^* - (d^{NIS})^*} & \text{если } (d^{NIS})^* \leq d^{NIS}(x) \leq (d^{NIS})^*, \\ 0 & \text{если } d^{NIS}(x) < (d^{NIS})^*. \end{cases}$$

Шаг 6. Найти:

$$\max \alpha,$$

$$\mu_1(x) \geq \alpha \text{ и } \mu_2(x) \geq \alpha,$$

$$x \in X.$$

Шаг 7. Если решение удовлетворяет лицу, принимающее решение (ЛПР), то остановка. Однако ЛПР может пожелать изменить относительную важность целевых функций и (или) функции принадлежности, тогда нужно

возвратиться к шагам 1 или 5.

Анализ результатов. С помощью разработанных систем поддержки принятия решений при выборе структуры АСУ летательными аппаратами [7, 8] был проведен ряд компьютерных экспериментов по формированию и оптимизации топологической структуры распределенной АСУ ЛА.

Рассмотрим пример формирования АСУ ЛА, которая включает совокупность наземных пунктов управления, осуществляющих управление ЛА трех классов $E_{ЛА} = \{E_{ЛА}^k / k = \overline{1, 3}\}$, имеющих стационарные орбиты с постоянными периодами обращения.

Задана следующая исходная информация: множество возможных ПУ $E_{ПУ} = \{e_j / j = \overline{1, 7}\}$; затраты на создание j -го ПУ (табл. 1); множество участков возможной доступности и времена доступности ЛА k -го класса на l -м участке θ_{kl} (табл. 2); количество ЛА каждого класса $N_k (k = \overline{1, 3})$ и множество возможных ПУ для каждого класса ЛА $m_k (k = \overline{1, 7})$.

Кроме того, заданы ограничения на глобальность $H_k (k = \overline{1, 3})$, минимальное количество пунктов управления, необходимых для управления ЛА k -го класса $M_k (k = \overline{1, 3})$, минимальная продолжительность управляющего взаимодействия для ЛА k -го класса $\tau_{k \min} (k = \overline{1, 3})$ (табл. 3).

Таблица 1

Стоимость построения ПУ

ПУ	1	2	3	4	5	6	7
Стоимость	30	50	40	45	50	55	35

Таблица 2

Времена доступности ЛА на участках возможной доступности

Класс ЛА	Участки возможной доступности								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	10	5	6						
2				5	6	6			
3							5	6	6

Таблица 3

Ограничения и полное время полета над территорией

Класс ЛА	H_k	M_k	$\tau_{k \min}$	Время управления τ_k
1	0,6	1	9	15
2	0,7	2	10	12
3	0,6	3	9	14

В результате расчета получаем следующее решение:

Класс ЛА	Участки доступности L_k	Пункты управления m_k
1	1, 3	1, 3
2	5, 6	3, 4
3	7, 8, 9	3, 6, 7

Таким образом, пункты управления 2 и 5 могут быть удалены из системы управления без ущерба для выполнения заданных функций.

Итак, на основании проведенного анализа задач формирования структуры автоматизированных систем управления летательными аппаратами выявлена необходимость поиска рациональных вариантов структуры АСУ ЛА с использованием оптимизационных и имитационных моделей. Это позволяет в процессе формирования

конструировать, оценивать и отбирать рациональные варианты структуры АСУ ЛА. Разработанная оптимизационно-имитационная процедура формирования структуры АСУ ЛА, включающая оптимизационные и имитационные модели, позволяет в итеративном режиме решать задачу выбора структуры АСУ ЛА. При этом разработана аналитико-имитационная процедура формирования базового множества структур АСУ ЛА, включающая имитационную модель отсева вариантов структур по ал-

горитмически заданным ограничениям на атрибуты. Сформированное базовое множество с заданным набором атрибутов позволяет применять методы многоатрибутивного принятия решений при решении задачи выбора лучшего варианта структуры АСУ ЛА. Проведены исследования методов многоатрибутивного принятия решений с целью их использования в оптимизационно-имитационной процедуре выбора структуры АСУ ЛА. Разработан алгоритм метода многоатрибутивного принятия решений на базе процедуры TOPSIS, обеспечивающий решение задачи выбора лучшего варианта построения пунктов управления АСУ ЛА. Программно реализована система поддержки принятия решений, показавшая на модельном примере эффективность оптимизационно-имитационного подхода к формированию структуры АСУ ЛА.

Библиографический список

1. Цвиркун, А. Д. Имитационное моделирование в задачах синтеза структуры сложных систем (оптимизационно-имитационный подход) / А. Д. Цвиркун, В. К. Акинфиев, В. А. Филиппов. М.: Наука, 1985.
2. Тюпкин, М. В. Проблема синтеза структуры АСУ летательными аппаратами / М. В. Тюпкин, Р. Ю. Ца-

рев // Фундаментальные исследования. 2007. № 8. С. 36–38.

3. Ковалев, И. В. Оптимизационно-имитационный подход к синтезу автоматизированных систем управления / И. В. Ковалев, М. В. Тюпкин, Р. Ю. Царев, Ю. Д. Цветков // Программные продукты и системы. 2007. № 3. С. 73–74.

4. Пронин, Е. Г. Проектирование бортовых систем обмена информацией / Е. Г. Пронин, О. В. Могуева. М.: Радио и связь, 1989.

5. Вязгин, В. А. Математические методы автоматизированного проектирования / В. А. Вязгин, В. В. Федоров. М.: Высш. шк., 1989.

6. Ковалев, И. В. Формирование оптимальных по составу информационно-управляющих систем / И. В. Ковалев, Р. Ю. Царев, Ю. Д. Цветков, М. В. Тюпкин // Программные продукты и системы. 2007. № 4. С. 48–50.

7. Система анализа структуры информационного обеспечения распределенных систем обработки данных (программная система «Iware Analysis ver. 1.0») / И. В. Ковалев и др. М., 2007. Деп. в ВНИИЦ, № 50200701711.

8. Система имитационного моделирования телекоммуникационных систем реального времени (Программная система «AirCalc ver. 1.0») И. В. Ковалев и др. М., 2008. Деп. в ВНИИЦ, № 50200701805.

I. V. Kovalev, Ju. A. Nurgaleeva, S. N. Gritsenko, A. V. Usachev

PRELIMINARIES TO CHOOSING AN AUTOMATED CONTROL SYSTEM STRUCTURE OF AIRCRAFTS

The problem statement, steps and formation procedures of the automated control system structure of aircraft are considered. The rational variant of the system structure using optimization and simulation models is selected.

Keywords: control system, aircraft, structure, variant choosing.

© Ковалев И. В., Нургалева Ю. А., Гриценко С. Н., Усачев А. В., 2009

УДК 629.78.002.3

В. И. Халиманович, В. А. Харламов, Р. А. Ермолаев, А. Е. Михеев, А. В. Гирн

ИСПЫТАНИЯ ЛАБОРАТОРНЫХ ОБРАЗЦОВ ТЕРМОРЕГУЛИРУЮЩИХ ПОКРЫТИЙ УГЛЕПЛАСТИКОВЫХ ЭЛЕМЕНТОВ КОСМИЧЕСКИХ АППАРАТОВ

Проведены исследования терморегулирующих покрытий углепластиковых элементов конструкций космических аппаратов, полученных ионно-плазменным напылением. Выявлены режимы получения покрытий, которые удовлетворяют требованиям по терморадикационным характеристикам.

Ключевые слова: космический аппарат, терморегулирующие покрытия, ионно-плазменное напыление.

В процессе эксплуатации космический аппарат (КА) периодически и неравномерно освещается Солнцем, подвергается воздействию потоков заряженных частиц. Происходит неравномерный нагрев и электростатическое заряджение поверхностей КА. Неравномерный нагрев при-

водит к искажению формы конструкций из углепластика, имеющего анизотропные коэффициенты теплового расширения и теплопроводность. Это может приводить к ухудшению коэффициента усиления и диаграмм направленности антенных систем и ухудшению ориентации сол-