

КОНЦЕПТУАЛЬНЫЕ ОСНОВЫ ПРОЕКТИРОВАНИЯ СЛОЖНЫХ ЖГУТОВ БОРТОВОЙ КАБЕЛЬНОЙ СЕТИ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ

© 2020

А. Н. Коптев доктор технических наук, профессор, профессор кафедры эксплуатации авиационной техники;
Самарский национальный исследовательский университет
имени академика С.П. Королёва;
eat@ssau.ru

А. Ю. Мясников начальник бригады «Бортовые кабельные сети»;
Самарский филиал конструкторского бюро ПАО «Туполев»;
lesha-myasnikov@yandex.ru

Приведена математическая постановка задачи синтеза образа сложных жгутов как составной части бортового комплекса оборудования летательных аппаратов. Данная задача возникает при проектировании бортовой кабельной сети отдельно взятого летательного аппарата. Описывается язык, который используется при формировании основы прикладных методов синтеза структур совокупности объектов, абстрагируясь от их конкретной природы, но учитывая их взаимное расположение и свойства, характеризующиеся различными признаками. Поставлена задача синтеза сложного жгута в замкнутой форме и предложен алгоритм её решения. Составлена матрица соотношений между совокупностью объектов и множеством их признаков. Применительно к простым жгутам бортовой кабельной сети введены признаки и описаны их качественные значения, характеризующие многообразие и сложность исследуемых объектов. На примере десяти простых жгутов кабины произвольного летательного аппарата приведён пример составления матрицы соотношений объектов и признаков, ранжированных в определённом порядке. На основе алгоритмов сравнения значений признаков сформулирован вывод об агрегировании объектов в классы, среди которых объединение простых жгутов в сложный наиболее целесообразно.

Бортовой комплекс оборудования; бортовая кабельная сеть; жгут; проектирование; мультимножество; кластерный анализ; классификация.

Цитирование: Коптев А.Н., Мясников А.Ю. Концептуальные основы проектирования сложных жгутов бортовой кабельной сети летательных аппаратов // Вестник Самарского университета. Аэрокосмическая техника, технологии и машиностроение. 2020. Т. 19, № 2. С. 19-30. DOI: 10.18287/2541-7533-2020-19-2-19-30

Введение

Возрастающая тенденция автоматизации управления летательными аппаратами (ЛА) требует создания интегрированных систем цифроаналогового управления, представляющих собой сложные бортовые комплексы оборудования (БКО), оснащённые современными автоматизированными средствами получения многообразной информации, её обработки и формирования процессов управления полётом ЛА, реализуемых соответствующим набором бортовых систем (БС). При создании сложных БКО важное значение приобретают вопросы организации процессов обмена информации и её передачи на управляющие и исполнительные устройства, выполненные по модульному принципу. Функционирование этих устройств невозможно обеспечить без создания интегрированных бортовых кабельных сетей (БКС).

В БКО современных ЛА функциональные возможности БС реализуются её схемой электрической принципиальной, которая является основой для задачи проектирования простых жгутов. Теория и практика её решения представлены авторами в работе [1].

Создание многофункциональных автоматизированных систем ЛА реализуется на основе наращивания и агрегирования БС, развития их функциональных возможностей за счёт интеграции на базе системного подхода. Методология системного подхода требует проводить исследования БКО как сложной системы и процессов их функционирования с учётом и во взаимосвязи следующих аспектов:

- системно-компонентного исследования состава БКО ЛА;
- системно-структурного исследования структуры и строения БС БКО;
- системно-функционального (исследование функций отдельных БС и их функциональных связей в БКО ЛА).

Для учёта перечисленных аспектов системный подход базируется на следующих принципах:

1. Любая БС БКО ЛА должна рассматриваться как совокупность взаимосвязанных блоков, подсистем.

2. Любая БС БКО ЛА должна рассматриваться, с одной стороны, как подсистема в БКО, а с другой стороны – как совокупность входящих в неё подсистем и блоков.

3. Исследование любой системы требует анализа всех её свойств и взаимосвязей.

Системный подход не содержит конкретных средств исследования объектов, а в основном разрабатывает принципы таких исследований, следствием применения которых явилось возникновение междисциплинарных научных направлений в изучении систем и процессов. К таким направлениям относятся: общая теория систем [2], системотехника [3], теория принятия решений [4] и др.

Каждое из перечисленных направлений решает специфические задачи оптимального проектирования. Предлагаемый в статье подход призван решить в рамках точного формализма задачу синтеза образа (модели) сложного жгута, который будет использоваться в качестве концептуальной основы проектирования сложных жгутов БКС.

Постановка задачи

Основной проблемой синтеза сложных жгутов при использовании перечисленных направлений является их настройка на решение частных задач, при которых наложены ограничения на возможные значения входных данных. Это связано с проблемой формирования ограничений на исходные данные. Таким образом, необходимо чётко выделить частную задачу, для которой алгоритм будет гарантированно находить решение с приемлемой точностью и сложностью. В настоящее время в большинстве случаев процесс проектирования или синтеза образа сложного жгута БКС ЛА имеет два чётко выделенных этапа, называемых проектированием простых и сложных жгутов. Оба этих этапа требуют от исполнителей высокой квалификации и опыта системно-агрегативного проектирования. В условиях отсутствия времени на изучение проблемы исследования агрегативных моделей синтезируемых сложных жгутов и их итерационного уточнения возникают большие затраты времени на процесс производства компонентов БКС, на их доводку, а также на обоснование показателей качества и эффективности монтажа БКС на ЛА.

Основным принципиальным отличием строгих решений от эвристических является процедура поиска взаимосвязанных компонентов решения, которая начинается в условиях отсутствия соответствующего алгоритма и каких-либо сведений о существовании решения и его единственности. При этом в процессе поиска, как правило, производится дополнительный сбор информации, вносятся изменения, связанные с требованиями руководящих технических материалов (РТМ).

Изложенные выше недостатки выдвигают необходимость разработки качественно новых методов решения задач проектирования сложных жгутов путём моделирования

как отдельных сторон проектирования, так и построения алгоритма, переводящего процесс проектирования в класс строгих решений.

В данной работе предлагается метод синтеза образа сложного жгута, основанный на использовании понятия образа, введённого У. Гненандером [5]. Предложенные им определения образа как формального описания объекта в рамках точного формализма будут использованы в качестве концептуальной основы для синтеза и анализа образа (модели) сложного жгута. Введение понятия «наблюдение» при соблюдении нижеописанных принципов позволяет получить формальное описание объекта – сложного жгута.

Образ сложного жгута строится из спроектированных простых жгутов, которые представляют собой образующие жгутов каждой БС и, как следствие, БКО в целом. При этом образующие являются, с одной стороны, частью сложного жгута, а с другой стороны – образующей, обладающей внутренней структурой. Построение в подобразах образующих для конкретных БС БКО и использование в качестве правил РТМ, ограничивающих способы их объединения между собой, позволяют на следующем шаге построить из подобразов регулярные компоненты сложных жгутов – жгуты конкретных БС, представляющие их комбинаторные структуры или, с общих позиций, регулярные конфигурации. Регулярные конфигурации являются идеальной конструкцией, т.е. некой выделенной частью, идентифицируемой относительно заданного множества исходных простых жгутов, которые в рамках точного формализма теории синтеза образов У. Гненандера будем называть непроеизводными объектами.

Чтобы представить сложный жгут БКС, используя эти конфигурации, необходимо выполнить их объединение по определённым правилам. На этом этапе каждый сложный жгут получает своё представление через подобразы (конфигурации) и определённые операции. Например, на первом этапе заданы классы образующих, обладающих определённым составом (провода, электрические соединители, элементы защиты, средства идентификации) и свойствами, обеспечивающими электрические связи между компонентами БС, удовлетворяющие ГОСТ, ОСТ и РТМ [6] на БКС ЛА, а также ряду специфических требований, реализуемых на этапе проектирования (трассировка на ЛА, анализ размещения оборудования БС и др.). На втором этапе разработка конструкций сложных жгутов должна проводиться исходя из требований обеспечения минимальной трудоёмкости цикла монтажа БКС на борту ЛА и других тактико-технических требований к БКС.

Задача синтеза сложного жгута

Предлагается в качестве концептуальной основы моделирования объектов использовать концепцию объектно-классификационного моделирования (ОКМ) [7]. При этом объектом является образ сложного жгута, рассматриваемый в рамках точного формализма. Образ обладает определёнными свойствами, мера которых устанавливается показателем этого свойства, а для каждого из них определяется множество значений, присваиваемых ему в результате оценивания объекта. Собственные (внутренние) свойства объектов, а также показатели этих свойств определяются параметрами. Внешние свойства, представляющие собой свойства среды, связаны некоторым отношением с параметрами монтажного пространства ЛА, которые влияют на параметры жгута и определяются как факторы.

В рамках концепции ОКМ математическая модель – это образ проектируемого объекта, создаваемый с помощью символьной системы для описания исследуемых объектов, всех его атрибутов и процесса их изменений во времени при рассмотрении различных требований к нему.

В наиболее общем виде условия рассматриваемой задачи математически могут быть записаны следующим образом: построить в заданном мультимножестве X модель X_i объекта, удовлетворяющего множеству заданных требований, выступающих в качестве ограничений $K(x)$.

Примером такой постановки может служить сформулированная в неявном виде задача У. Гренандера: на множестве заданных образующих X , символом для определённого элемента которого будет служить $x, x \in X$, построить такие объекты O (образы, модели), которые удовлетворяют формуле (статическая модель)

$$O \Rightarrow (G, P, F, t), \quad (1)$$

где G – символ идентификатора объекта; P – символ описания параметров объекта; F – символ функции объекта; t – символ, связанный с описанием объекта в определённый момент времени.

При этом задание пространства X означает, в общем случае, одновременное (но не явное) задание структуры этого пространства и разрешённых операций над ним. Знание X является определяющим в исходных данных.

Первоначально полученную замкнутую формулировку задачи можно перевести в другую форму, чтобы с учётом ограничений $K(x)$ изменить пространство X и улучшить таким образом представление частной задачи. Задача проектирования (синтеза) решается именно в процессе последовательных изменений её представлений. Последняя замкнутая формулировка и её решение даёт непосредственно решение задачи в целом, а его представление, которое используется при конструировании, задаётся в виде формул (моделей) или графически (планарный граф).

Изменение представлений O является процессом изменения его состояния во времени под воздействием множества операций проектирования I . Этот процесс полностью определяется следующим описанием:

$$\tilde{O} = F(G, P, I, t). \quad (2)$$

Ниже будут рассмотрены формальные средства и конкретные выражения для варианта представления частной задачи в замкнутой форме путём введения атрибутов объектов в формальное моделирование проектирования. В качестве атрибутов будут использованы идентификаторы, параметры, методы и функции. При этом описание любого атрибута A также включает в себя описание своих атрибутов, включающих идентификатор G (код имени атрибута), синтаксическую форму описания (структурное описание образа множеством P структурных параметров) и функциональное (семантическое) значение Z (его предметную интерпретацию), т.е. любой атрибут A как его существенная деталь представляется моделью

$$A = F(G, P, Z, t). \quad (3)$$

Для решения конкретных задач, отвечающих большому количеству требований к БКС (назначение, конструктивность, защита, технологичность и др.), необходимы другие варианты представления задачи в замкнутой форме, в которой описание Z значения атрибута определяет тип значения, размерность значения, его предметную интерпретацию и символику значения. Эти задачи решаются в процессе последовательных

изменений представлений, каждое из которых даёт непосредственное решение задачи. В частности, представление задачи проектирования (синтеза) сложного жгута в замкнутой форме в рамках моделей (1), (2), (3) формируется следующим образом.

Пространство X содержит атрибуты объекта O_i , которые являются его идентификатором G_i и однозначно указывают на конкретный объект O_i , выделяя его из множества подобных с другими идентификаторами. Как правило, идентификатор K_i представляет собой набор значений классификационных признаков, т.е. классификационных атрибутов A_1, \dots, A_n .

Задача ОКМ состоит в том, чтобы найти общие методы построения комплексных математических моделей объектов, представленных в пространстве всех своих атрибутов, т.е. найти формальные средства и конкретные выражения для моделей (1), (2), (3).

Решение этой задачи связано с получением нового объекта, который, в свою очередь, связан с заданной совокупностью производных элементов и их операторов при заданных правилах объединения. Получение нового объекта следует закону образования новых объектов (сложных жгутов) из заданной совокупности простых жгутов, выходящих в виде их образующих и отвечающих тактико-техническим требованиям к БКС. С общих позиций теории синтеза образа модель сложного жгута строится из простых жгутов, представленных символами, несущими различную информацию об их свойствах. В рамках общей модели (1) с помощью символов описываются объекты проектирования (простые и сложные жгуты). В результате получаем терм – n -арный оператор, позволяющий связывать образующие (простые жгуты) между собой в n термов. Такое определение термина сложного объекта – сложного жгута – через термины простых жгутов является рекурсивным, так как априорно существуют исходные термины, являющиеся объектами – простыми жгутами. Среди этих исходных объектов в общем случае некоторые из них выбираются в качестве базы некоторой константы сложного жгута, а другие из совокупности или класса являются термами (переменными). Множество образующих X определяется как объединение непересекающихся классов этих образующих $X^\alpha, X^\alpha \subset X$, где α – индекс класса образующих

$$X = \bigcup_{\alpha} X^\alpha. \quad (4)$$

Образующие сложного жгута – это простые жгуты. Некоторые первичные элементы $x(x \in X)$ простых жгутов являются атрибутами, носителями информации об образующей (о простом жгуте), об её параметрах, свойствах, которые в различных задачах в замкнутой форме будут представляться моделью (3), определяемой первичными высказываниями. Каждая образующая обладает свойством или функцией, которые в рассматриваемых задачах могут быть двух типов. Первый тип свойств – это признаки, и поэтому образующие являются многопризнаковыми объектами с повторяющимися элементами – электрическими проводниками. Кроме этого фактора, как показала задача проектирования простых жгутов [1], одним из решающих факторов являются расстояния, которые играют важную роль в представлении этих объектов, получаемых в результате их внедрения в конструкцию сложного жгута. Все эти факторы, а также второй тип свойства образующей, охватывающий её связи между образующими, потребовали для синтеза (проектирования) сложного жгута в рамках моделей (1), (2), (3) ввести новое математическое понятие – мультимножество. Применение этого понятия при проектировании простых жгутов позволило эффективно решить задачи группирования и представления компонентов БКС – электрических проводов.

Сформулируем определение, которое по существу даёт представление простого жгута: «мультимножество A , порождаемое основным множеством $U = \{x_1, x_2, \dots, x_n\}$, все элементы x_i которого различны, называется совокупностью (семейством) групп одинаковых элементов». Определение функции кратности может быть представлено как

$$k_A(x) = \begin{cases} k > 0 - \text{целое, если } x \in A, \\ 0, \text{ если } x \notin A. \end{cases} \quad (5)$$

Наряду с функцией кратности k_A рассматривается характеристическая функция χ_A мультимножества A , которая принимает значения

$$\chi_A(x) = \begin{cases} 1, \text{ если } x \in A, \\ 0, \text{ если } x \notin A. \end{cases} \quad (6)$$

Функция кратности k_A , задающая однозначное отображение $k_A: U \rightarrow \mathbb{Z}_+$ основного множества U в множество неотрицательных целых чисел $\mathbb{Z}_+ = \{0, 1, 2, \dots\}$, является одним из краеугольных понятий теории мультимножеств. Характеристическая функция мультимножества χ_A задаёт отображение $\chi_A: U \rightarrow \mathbb{Z}_{01}$ множества U в бинарное множество $\mathbb{Z}_{01} = \{0, 1\}$. Множество U служит областью определения функций k_A и χ_A , а множества \mathbb{Z}_+ и \mathbb{Z}_{01} – соответственно областями значений этих функций.

Если все мультимножества семейства $A = \{A_1, A_2, \dots, A_n\}$ образуются из элементов одного и того же множества $G = \{x_1, x_2, \dots, x_n\}$, то множество G будем называть порождающим множеством или доменом для семейства A [8].

Таким образом, в качестве представления простого жгута может использоваться компактная форма записи

$$A = \{k_A(x) \cdot x \mid x \in G, k_A(x) \in \mathbb{Z}_+\}. \quad (7)$$

В проблеме синтеза образа сложного жгута рассматривается совокупность простых жгутов $A = \{A_1, A_2, \dots, A_k\}$, удовлетворяющих большому числу требований, т.е. обладающих определёнными свойствами, выражающимися различными типами этих свойств – признаками. Признакам, характеризующим свойства объектов, ставится в соответствие множество количественных и качественных значений. В рассматриваемом случае объектом является сложный жгут, построенный из совокупности простых жгутов, представленных в евклидовом пространстве $E^3 = R^3 d_{E_3}$ с метрикой Евклида d_{En} :

$$d_{En}(x, y) = \sqrt{\sum_{i=1}^n (x_i - y_i)^2}, \quad (8)$$

которая позволяет оценивать близость или удалённость простых жгутов.

Операции над мультимножествами лежат в основе группирования простых жгутов для построения сложного жгута. В частности, в составе сложного жгута группа X_i простых жгутов, представленных мультимножествами A_i , может быть получена как объединение мультимножеств $X_i = \bigcup_{i \in I_i} A_i$, описывающих его образующие (простые жгуты). Группа X_i представляет состав сложного жгута.

Задача определения простых жгутов по их признаку в отдельные непересекающиеся множества требует формального задания этих признаков для обеспечения информативности в части определения целесообразности включения простых жгутов в сложный.

Введём мультимножество A_i (простые жгуты всех БС в конкретно взятой зоне ЛА), принадлежащее семейству мультимножеств $A = \{A_1, A_2, \dots, A_n\}$ (простые жгуты всех БС ЛА в каждой зоне ЛА), где n – число зон или технических отсеков в соответствии с разбивкой зон на каждом конкретном ЛА.

Формальное представление признаков

Совокупности простых жгутов описываются m дискретными признаками Q_1, \dots, Q_m , имеющими конечное число $q_s^{e_s}, e_s = 1, \dots, h_s, s = 1, \dots, m$ качественных или количественных значений, объединяемых в классы.

Соотношения между совокупностью объектов $J = \{J_1, J_2, \dots, J_n\}$ и множеством их признаков $Q = \{Q_1, Q_2, \dots, Q_m\}$ удобно выражать с помощью матрицы $C = |c_{nm}|$ (табл. 1). Строки этой матрицы соответствуют объектам, столбцы – признакам, а элементы матрицы являются значениями признаков. Таким образом, каждая строка матрицы C характеризует свойства рассматриваемого объекта, а каждый столбец даёт информацию об объектах, обладающих данным свойством.

Таблица 1. Матрица C объектов J и значений признаков Q

Объекты	Признаки			
	Q_1	Q_2	...	Q_m
J_1	q_{11}	q_{12}	...	q_{1m}
J_2	q_{21}	q_{22}	...	q_{2m}
...
J_n	q_{n1}	q_{n2}	...	q_{nm}

Сходства и различия рассматриваемых объектов широко используются в различных методах классификации. Широко применяемым методом исследования естественных группировок большого числа объектов и связей между ними является кластерный анализ [9], в результате которого исходная совокупность объектов агрегируется в небольшое количество групп. В кластерном анализе объединение объектов в группы производится исходя из их сходства или различия, которое оценивается степенью близости объектов в метрических пространствах признаков.

Применяются два основных способа классификации объектов:

– прямая классификация, которая состоит в перечислении объектов, составляющих класс;

– непрямая классификация, которая производится на основе перечисления свойств, характеризующих класс.

Прямая классификация осуществляется непосредственным отнесением объектов в заданные классы. При непрямо́й классификации классы выделяются по некоторым признакам или их сочетаниям, которые определяют особенности, общие для каждого класса, и отличают классы друг от друга. Кластерный анализ относится к числу непрямо́х методов классификации [8].

Преодолеть трудности классификации многопризнаковых объектов (простых жгутов) для последующего определения их к конкретному сложному жгуту возможно с помощью представления многопризнаковых объектов с использованием формализма мультимножеств, который позволяет одновременно учесть все комбинации значений количественных и качественных признаков, таких как:

– грубое расположение соединяемых устройств (принадлежность одному из бортов ЛА обоих адресов простого жгута (например, левый борт, правый борт, по оси), либо различные адреса для одного жгута, т.е. переход жгута с одного борта на другой);

– расположение соединяемых устройств: номер шпангоута, стрингера или нервюры;

– наименование соединяемых устройств: позиционное обозначение блока БС;

– наименование разъёма на блоках: позиционный номер или обозначение разъёма из схемы электрической принципиальной;

– сечение провода: сечение до 1 мм^2 включительно, используемое для проводов низкой токовой нагрузки (до 10А), или сечение свыше 1 мм^2 , используемое для проводов высокой токовой нагрузки (свыше 10А);

– тип провода (одинарный без экрана, одинарный экранированный, двойной экранированный (витая пара) или тройной экранированный (витая тройка)).

При формировании образующих примем, что не существует неоднозначности в классификации объектов к тому или иному признаку, связанной с разной степенью принадлежности объекта к классу, то есть отсутствует градация «несомненно» и «возможно» при классификации исследуемого объекта.

Пример построения матрицы значений и признаков

Для составления практического примера матрицы $C = |c_{mn}|$ введём обобщённую шкалу признаков или атрибутов – множество $Q = \{Q_1, Q_2, \dots, Q_m\}$, состоящее из m дискретных признаков. Примем $m = 6$.

В качестве значений признаков q_s^k будем рассматривать качественные значения k , которые в зависимости от группы признаков будут принимать различные значения.

В шкале признака Q_1 значения признака q_1 будут принимать значения:

left – при принадлежности левому борту начала и конца простого жгута;

right – при принадлежности правому борту начала и конца простого жгута;

$l \rightarrow r$ – при переходе простого жгута с левого на правый борт;

$r \rightarrow l$ – при переходе простого жгута с правого на левый борт.

В шкале признака Q_2 значения признака q_2 будут принимать следующий вид:

0–2 – при расположении простого жгута в пределах от шпангоута №0 до шпангоута №2;

2–4 – при расположении простого жгута в пределах от шпангоута №2 до шпангоута №4 и так далее до границы зоны ЛА, в которой анализируются объекты.

Наличие двух и более «соседних» признаков будет указывать на путь от нижней границы одного признака до верхней границы другого признака.

В шкале признака Q_3 значение признака q_3 будет соответствовать позиционному обозначению блока или устройства, заданному разработчиками конструкторской документации в соответствии с ГОСТ18675-2012 [10].

В шкале признака Q_4 значение признака q_4 может принимать вид согласно позиционному обозначению разъёма блока или устройства из схемы электрической принципиальной на БС, например «X1», «X2».

В шкале признака Q_5 значение признака q_5 будет принимать следующий вид:

m – при сечении проводов в жгутах не более 1 мм^2 ;

b – при сечении хотя бы одного провода в жгутах более 1 мм^2 .

В шкале признака Q_6 значение признака q_6 будет принимать следующий вид:

single – при одинарных проводах в жгутах;

esingle – при одинарных экранированных проводах в жгутах;

ecouple – при экранированных витых парах в жгутах;

etriples – при экранированных витых тройках в жгутах.

В качестве примера построим матрицу объектов и значений признаков и заполним её десятью простыми жгутами из таблиц соединений различных БС, проходящих в зоне кабины произвольного ЛА (табл. 2).

Таблица 2. Матрица значений признаков для простых жгутов в зоне A_1

Объекты	Признаки					
	Q_1	Q_2	Q_3	Q_4	Q_5	Q_6
Жгут №1	<i>left</i>	0-2;2-4	05236-H1, 11711-A16	«X1», «X2»	m, b	<i>single</i> › <i>ecouple</i>
Жгут №2	<i>left</i>	4-6;6-8;8-10	02250-A1, 05471-A5	«X2», «X3»	m	<i>ecouple</i>
Жгут №3	<i>right</i>	0-2;2-4	04885-B7, 08974-N8	«X1», «X4»	m	<i>etriples</i>
Жгут №4	<i>left</i>	0-2;2-4	03171-A5, 11711-A16	«X2», «X4»	b	<i>single</i>
Жгут №5	<i>left</i>	0-2;2-4; 4-6;6-8;8-10	02103-A7, 05471-A5	«X2», «X3»	m	<i>single</i>
Жгут №6	<i>right</i>	0-2;2-4	10085-A5, 03312-E2	«X1», «X1»	b	<i>single</i>
Жгут №7	<i>left</i>	0-2;2-4; 4-6;6-8;8-10	11034-H1, 11442-A1	«X3», «X5»	m	<i>ecouple</i>
Жгут №8	<i>right</i>	0-2;2-4	18322-H1, 08974-A8	«X3», «X1»	m	<i>ecouple</i>
Жгут №9	<i>right</i>	0-2;2-4	11711-A16, 16933-A2	«X2», «X1»	b	<i>single</i>
Жгут №10	$l \rightarrow r$	0-2;2-4; 4-6;6-8;8-10	11034-H1, 16201-A1	«X1», «X1»	m	<i>ecouple</i>

Отметим, что признаки $Q_1, Q_2, Q_3, Q_4, Q_5, Q_6$ в данной матрице имеют определённый уровень значимости, который характеризует ранг этих признаков.

Признаки Q_5, Q_6 косвенно характеризуют группу электромагнитной совместимости (ЭМС) у данных жгутов. Одиночные провода *single* сечением более 1 мм^2 b как правило являются питающими для блоков БС с токовой нагрузкой более 10 А, т. е. они относятся к жгутам электропитания постоянного тока (вторая группа проводов в соответствии с ОСТ 1 00406-80) [11]. Одиночные провода *single* сечением менее 1 мм^2 m могут относиться как к проводам, осуществляющим управление по разовым командам напряжением от 6 до 27 В по линиям с низкоомной нагрузкой (третья группа прово-

дов), так и к питающим проводам постоянного тока с низкой токовой нагрузкой (вторая группа проводов). Тройные витые провода *etruple* используются для линий связи переменного тока (первая группа проводов).

Согласно ОСТ 1 00406-80 [11] допускается объединение в одном жгуте проводов двух смежных групп одного комплекса радиоэлектронного оборудования и однородных групп различных комплексов. Признаки Q_5, Q_6 умышленно занимают два последних места в ранжировании признаков, поскольку на ЛА, как правило, допустимы объединения различных групп ЭМС с использованием защитных экранов и плетёнок, которые снижают взаимовлияния несовпадающих групп ЭМС в одном жгуте по ОСТ 1 01025-82 [12].

Исходя из табл. 2 видно, что жгуты №1, №4, №6 проходят по левому борту, в районе от шпангоута №0 до шпангоута №4, причём жгут №1 и жгут №4 имеют общий адрес в виде блока с позиционным обозначением 11711-A16. Жгуты №2, №7, №5 вместе проходят путь от шпангоута №4 до шпангоута №10. Таким образом, все вышеперечисленные жгуты, имеющие близкие по значению геометрические признаки, могут быть помещены в один класс или группу. При условии выполнения требований ЭМС этой группы жгутов, а также соблюдения требований о максимальном значении суммарного диаметра и массы [6], все жгуты могут быть объединены в один сложный жгут.

Стоит отметить, что данная таблица содержит все признаки вышеперечисленных жгутов, но информация о совпадениях признаков для разных жгутов ещё не даёт готовый сложный жгут. Она позволяет сделать вывод о целесообразности объединения нескольких простых жгутов в один сложный жгут. Имеющийся и трудно формализуемый опыт коллективов конструкторских бюро может быть использован в качестве экспертной системы для принятия окончательного решения.

Заключение

Концептуальные основы проектирования сложных жгутов летательного аппарата заключаются в применении объектно-классификационного моделирования для построения образа проектируемого сложного жгута. Кластерный анализ и формальное представление признаков объекта в виде матрицы объектов и их значений позволяет с помощью метода непрямо́й классификации сформировать определённые группы, объекты внутри которых являются образующими сложного жгута.

По результатам операций агрегирования объектов внутри сформированных групп построенное изображение в идеальных условиях, т.е. модель (образ) соответствует модели (1) и для отдельных типов значений – модели (3). Поведение образов сложного жгута в рамках модели (2) и других типов значений модели будет рассмотрено при дальнейшем решении комплексной проблемы проектирования этих жгутов.

Библиографический список

1. Коптев А.Н., Мясников А.Ю. Теоретические основы проектирования простых жгутов бортовой кабельной сети летательного аппарата // Вестник Самарского университета. Аэрокосмическая техника, технологии и машиностроение. 2019. Т. 18, № 4. С. 76-86. DOI: 10.18287/2541-7533-2019-18-4-76-86
2. Перегудов Ф.И., Тарасенко Ф.П. Основы системного анализа. Томск: Издательство научно-технической литературы, 2001. 396 с.
3. Клир Дж. Системология. Автоматизация решения системных задач. М.: Радио и связь, 1990. 540 с.

4. Черноуцкий И.Г. Методы принятия решений: учеб. пособие. СПб.: БХВ-Петербург, 2005. 416 с.
5. Гренандер У. Лекции по теории образов. Синтез образов. Т. 1. М.: Мир, 1979. 384 с.
6. РТМ 1.4.1028-2003. Изготовление и контроль электрожгутов. М.: ОАО НИАТ, 2003. 193 с.
7. Устенко А.С. Теоретические основы структурного проектирования алгоритмических процессов для автоматизации контроля и управления космическими средствами военного назначения. Дис. ... д-ра техн. наук. Барнаул, 1986. 530 с.
8. Петровский А.Б. Пространства множеств и мультимножеств. М.: Едиториал УРСС, 2003. 248 с.
9. Дорофеюк А.А. Алгоритмы автоматической классификации // Автоматика и телемеханика. 1971. № 12. С. 78-113.
10. ГОСТ 18675-2012. Документация эксплуатационная и ремонтная на авиационную технику и покупные изделия для неё. М.: Стандартиформ, 2013. 225 с.
11. ОСТ 1 00406-80. Совместимость электромагнитная комплексов радиоэлектронного оборудования самолётов и вертолётот. Общие требования. М.: Стандартиформ, 1982. 11 с.
12. ОСТ 1 01025-82. Экранирование проводов, жгутов, кабелей и металлизация самолётов (вертолётот). Общие технические требования. М.: Стандартиформ, 1983. 24 с.

CONCEPTUAL FRAMEWORK OF DESIGNING COMPLEX BUNDLES OF AIRCRAFT ON-BOARD CABLE NETWORK

© 2020

A. N. Koptev Doctor of Science (Engineering), Professor, Professor of Aircraft Maintenance Department;
Samara National Research University, Samara, Russian Federation;
eat@ssau.ru

A. Yu. Myasnikov Head of Team "Onboard Cable Networks";
Samara Branch of Design Office of JSC "Tupolev", Samara, Russian Federation;
lesha-myasnikov@yandex.ru

The article presents mathematical formulation of the problem of synthesizing the image of complex harnesses as an integral part of the on-board complex of aircraft equipment. This problem arises in the design of the on-board cable network of each individual aircraft. The article describes the language that we use to form the basis of applied methods for synthesizing the structures of a set of objects, irrespective of their specific nature, but taking into account their relative position and their properties that are characterized by various features. The article poses the problem of synthesizing a complex bundle in a closed form and proposes an algorithm for solving it. In the work, a matrix of relations between the set of objects and the set of their attributes is compiled. As applied to simple on-board cable bundles, features are introduced and their qualitative values are described that characterize the variety and complexity of the objects under study. Using the example of ten simple cabin harnesses of an arbitrary aircraft, an example is given of compiling a matrix of relations between objects and features, ranked in a certain order. Based on algorithms for comparing the values of attributes, a conclusion is drawn on the aggregation of objects into classes, among which the combination of simple bundles into a complex one is most appropriate.

On-board equipment complex; on-board cable network; harness; design; multiset; cluster analysis; classification.

Citation: Koptev A.N., Myasnikov A.Yu. Conceptual framework of designing complex bundles of aircraft on-board cable network. *Vestnik of Samara University. Aerospace and Mechanical Engineering*. 2020. V. 19, no. 2. P. 19-30. DOI: 10.18287/2541-7533-2020-19-2-19-30

References

1. Koptev A.N., Myasnikov A.Yu. Development of ordinary harness for aircraft onboard cable networks. *Vestnik of Samara University. Aerospace and Mechanical Engineering*. 2019. V. 18, no. 4. P. 76-86. (In Russ.). DOI: 10.18287/2541-7533-2019-18-4-76-86
2. Peregudov F.I., Tarasenko F.P. *Osnovy sistemnogo analiza* [System Analysis Basics]. Tomsk: Nauchno-tekhnicheskaya Literatura Publ., 2001. 396 p.
3. Klir G.J. Architecture of systems problem solving. New York: Plenum Press., 1985. 539 p. DOI: 10.1007/978-1-4757-1168-4
4. Chernorutskiy I.G. *Metody prinyatiya resheniy: ucheb. posobie* [Decision-making techniques]. SPb.: BKhV-Peterburg Publ., 2005. 416 p.
5. Grenander U. Pattern synthesis. Lecture in Pattern Theory. V. 1. New-York: Springer-Verlag, 1976. 517 p.
6. RTM 1.4.1028-2003. Production and inspection of electrical harnesses. Moscow: NIAT Publ., 2003. 193 p. (In Russ.)
7. Ustenko A.S. *Teoreticheskie osnovy strukturnogo proektirovaniya algoritmicheskikh protsessov dlya avtomatizatsii kontrolya i upravleniya kosmicheskimi sredstvami voennogo naznacheniya. Diss. d-ra tekhn. nauk* [Theoretical foundations of the structural design of algorithmic processes for the automation of control and management of military space assets. Doctoral dissertation (Engineering)]. Barnaul, 1986. 530 p.
8. Petrovskiy A.B. *Prostranstva mnozhestv i mul'timnozhestv* [Spaces of sets and multisets]. Moscow: Editorial URSS Publ., 2003. 248 p.
9. Dorofeyuk A.A. Algorithms of automatic classification (Review). *Avtomatika i Telemekhanika*. 1971. No. 12. P. 78-113. (In Russ.)
10. GOST 18675-2012. Design documentation for aircraft and furnished equipment operation and maintenance. Moscow: Standartinform Publ., 2013. 225 p. (In Russ.)
11. OST 1 00406-80. Electromagnetic compatibility of avionics systems of fixed- and rotor-wing aircraft. General requirements. Moscow: Standartinform Publ., 1982. 11 p. (In Russ.)
12. OST 1 01025-82. Shielding of wires, harnesses, cables and aircraft (helicopter) bonding. General technical requirements. Moscow: Standartinform Publ., 1983. 24 p. (In Russ.)