

ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ПРОСТЫХ ЖГУТОВ БОРТОВОЙ КАБЕЛЬНОЙ СЕТИ ЛЕТАТЕЛЬНОГО АППАРАТА

© 2019

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

Раскрывается состав конструкторской документации на бортовую кабельную сеть летательного аппарата. В общем виде определена постановка задачи проектирования жгутов. Описаны основные этапы проектирования бортовых кабельных сетей летательных аппаратов на вербальном уровне, а также в виде логических схем алгоритмов и граф-схем алгоритмов. Приводятся некоторые теоретические аспекты проектирования бортовых кабельных сетей летательных аппаратов. Вводятся понятия топологического пространства, топологической структуры и непрерывного отображения конструкции жгута в конструкцию летательного аппарата. Проведённые геометрические исследования простого жгута бортовой кабельной сети привели к необходимости рассмотрения жгутов как геометрического комплекса в рамках комбинаторной топологии. Дан пример построения таблицы соединений простого жгута на бортовую систему ультракоротковолновой связи летательного аппарата. Подчеркиваются правила и требования к информативности таблицы соединений простого жгута на бортовую систему летательного аппарата. Упоминается о необходимости компоновки простых жгутов в сложный, состоящий из десятков или даже сотен простых жгутов, для облегчения процесса монтажа бортовой кабельной сети.

Летательный аппарат; бортовой комплекс оборудования; бортовая кабельная сеть; простой жгут; проектирование; топология.

Цитирование: 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

Введение

Успешное функциональное применение любого типа летательного аппарата (ЛА) в значительной степени зависит от работоспособности бортового комплекса оборудования (БКО). Стоимость БКО составляет от 50 до 75% стоимости изготовления ЛА [1], а отказ некоторых составляющих БКО на особо ответственных этапах и режимах лётной эксплуатации может привести к катастрофическим последствиям.

БКО ЛА состоит из множества бортовых систем (БС), разработчиком которых являются специализированные конструкторские бюро, проектирующие ЛА по заданию Главного конструктора (ГК). Бортовая кабельная сеть (БКС) ЛА задана для каждой БС с одной стороны в виде структурных схем, определяющих основные функциональные части (блоки), их назначение, а с другой – в виде схем соединений основных элементов (блоков), служащих для определения их взаимосвязи. Сама БС представляет собой множество блоков, установленных на ЛА в соответствии с требованиями разработчиков системы и ГК. Количество блоков для каждой системы различно и строго определяется разработчиком систем. Одной из задач внедрения систем в БКО на рассматрива-

емый тип ЛА является анализ и преобразование технической документации разработчиков БС в конструкторскую документацию ГК.

Одной из особо важных составляющих БКО ЛА являются распределённо-коммутационные устройства (РКУ), представляющие собой распределительные коробки, щитки управления, панели автоматов защиты сети, и бортовая кабельная сеть, являющаяся составной частью токораспределительной информационной сети. БКС представляет собой совокупность устройств, передающих информационные и командные сигналы, а также электрическую энергию (питание) от системы генерирования к потребителям. БКС играет значительную роль в обеспечении надёжности функционирования всего БКО, решает жизненно важные задачи токораспределительной системы самолёта и отвечает за качество всех видов связей (энергетических, информационных, системно-технических) и их функционирование не только в нормальных условиях, но и в критических ситуациях. Штатная работа авиационного и радиоэлектронного оборудования напрямую зависит от качества БКС. Более того, статистика отказов авионики показывает, что 15-20% всех отказов приходится на покупные изделия (электронные блоки), а 80-85% – на всю бортовую электрическую сеть [2].

В настоящее время проектирование БКС полностью определяется опытом и знаниями конструктора, т.е. эвристическими решениями. В то же время часть конструкторских работ автоматизирована, например, создание спецификаций, ведомости покупных изделий и т.д.

Общая постановка задачи проектирования

Проектирование БКС ЛА можно описать как итерационный процесс в рамках заданной иерархии его выполнения с использованием технической документации разработчиков бортовых систем. На её базе создаётся техническая система как логическая основа действия технического средства или мегакомплекса, в котором ключевую роль играют многочисленные простые соединения от одного адреса к другому [3].

Проектирование конструкторской документации (КД) для создания БКС базируется на реализации требований к разработке, определяемых отраслевыми стандартами (ОСТ), и связано следующими этапами:

1) этап создания схемы электрической принципиальной, создаваемой на основе схемы электрических соединений разработчика системы, в которой изображаются межблочные связи этой системы. Схема электрическая принципиальная дополняет эти межблочные связи питанием и управлением, а также, при необходимости, сопрягаемыми системами;

2) этап создания схемы электрических соединений, на которой изображают все блоки и РКУ БС, их входные и выходные элементы (электрические соединители в виде разъёмов, клеммовых колодок и т.д.) с информацией о конкретных местах размещения, а также соединения между этими элементами согласно схеме электрической принципиальной;

3) этап создания таблицы соединений, включающих в себя табличное описание простых жгутов (нескольких проводов, проходящих от устройства до устройства).

Логическая схема этого процесса представляет собой следующие этапы (рис. 1). В таблице соединений для каждого жгута, проходящего в конкретной зоне (отсеке) ЛА или в выбранной трассе, указывается его индивидуальный номер, информация о длине, типе провода, выбранного для каждого соединения, а также о районах расположения соединяемых устройств. Для каждой зоны фюзеляжа (или номера отсека, выбранного в соответствии с принятой на объекте разбивкой на зоны) существует своя таблица соединений, имеющая отличительный признак в виде конструктивной подгруппы.

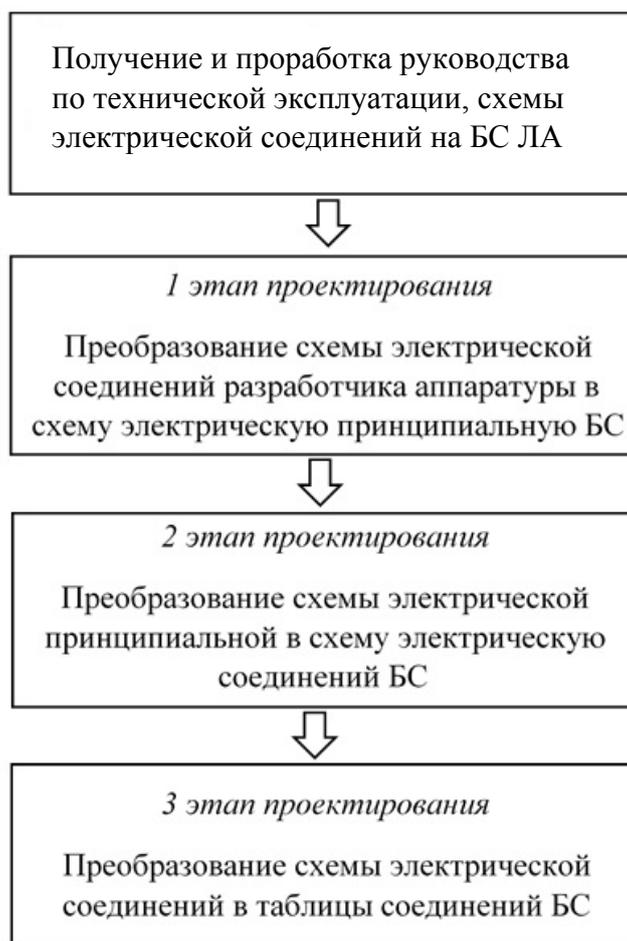


Рис. 1. Логическая схема этапов проектирования КД на БКС

Схемная и монтажная части спроектированного простого жгута подлежат проверке на соответствие ОСТ и должны соответствовать критериям технологичности монтажа жгута на борту, сформулированным как стопроцентная завершённость по всем этапам его создания.

Решение перечисленных выше задач в настоящее время базируется на эвристических решениях, требующих большого опыта коллектива специалистов.

В то же время внедрение современной вычислительной техники требует формализации и алгоритмизации процессов проектирования.

Теоретические основы проектирования простых жгутов

Вербальная постановка задачи проектирования БКС и их компонентов – жгутов электрических проводов (в дальнейшем – жгуты) представляет эту задачу в разомкнутой форме, т.е. представление задачи на обычном языке с его избыточностью и многозначностью.

Прагматика и семантика задачи проектирования требуют её представления в формализованном виде, в замкнутой форме.

В наиболее общем виде условие задачи проектирования жгутов может быть сформулировано следующим образом: построить простые жгуты G , удовлетворяющие множеству заданных ограничений $K(x)$, в заданном пространстве X (задано топологическое пространство). В дальнейшем будут рассматриваться не только трёхмерные R^3 ,

но и одномерные R^1 (трасса плоскости) и двумерные R^2 пространства. Как правило, в заданных пространствах при решении конкретной задачи будут выделяться отдельные подпространства (A, B, \dots или иное пространство M). Разрешёнными операциями над пространством X , в частности, является Канторовская классификация множеств и их изучение с точки зрения возможности приведения их во взаимно-однозначное соответствие отношения между точками множества (топологическая структура, непрерывные отображения).

С учётом ограничений $K(x)$ уменьшим пространство X с целью улучшения таким образом представления задачи. Задано пространство X (множество монтажных точек x_1, x_2, \dots, x_n), в котором выделены два топологических подпространства A и B с множеством точек целых чисел $A = \{1, 2, \dots, n\}$ и $B = \{1, 2, \dots, n\}$. С теоретико-множественной точки зрения $A - B = B - A = \emptyset$. Таким образом, заданные отношения между A и B равносильны тому, что $A \subseteq B$ и $B \subseteq A$, т.е. $A = B$ [4].

Однако такое представление простого жгута достаточно грубо и не даёт познания истинных топологических свойств жгута.

Построение топологической структуры, отражающей истинные свойства простого жгута, базируется на концепции непрерывности, в рамках которой рассматривается функция $f(x)$ каждого провода. Числовая прямая R^1 рассматривается как отдельный провод простого жгута и как пространство, наделённое топологической структурой.

Синтез простого жгута G рассматривается на основе понятия непрерывного отображения. Тогда простой жгут – направленное из топологического подпространства A в топологическое подпространство B непрерывное отображение f , которое удовлетворяет следующим двум условиям, характеризующим простой жгут и соответствующим основным структурным ограничениям на его построение:

– каждой монтажной точке x , которой с общих позиций числу a_i в пространстве A соответствует одна и только одна монтажная точка b_i в пространстве B : $b_i = f(a_i)$, с позиций топологии и теории поверхностей [5] – условие отображения;

– действительная функция в пространстве X $f(x)$ или в монтажном пространстве A $f(a)$ представляет собой отображение некоторого подпространства числовых прямых R^1 в то же пространство R^1 :

$$x \rightarrow f(x) \quad \text{или} \quad a \rightarrow f(a). \quad (1)$$

Если говорить о непрерывном отображении, то это можно сформулировать как преобразование точки x в точку $f(x)$, что для рассматриваемых физических подпространств трансформируется в топологическое отображение.

Введённые выше классификация Кантора и понятия топологического пространства, топологической структуры и непрерывного отображения позволяют сделать заключение о гомеоморфности точечного отображения $f: A \rightarrow B$.

Тогда выполняются два условия, имеющих важное значение для проектирования простого жгута:

1. Отображения (1) представляют взаимно однозначные соответствия ($A = B$).
2. Соответствие f и обратное соответствие f^{-1} непрерывны (условие непрерывности).

Способ выбора соответствия для случая проектирования простого жгута при этом является единственным. Оно включает все соответствия, формирующие простой жгут, т.е. все соединения монтажных точек подпространств A и B .

Геометрическое исследование полученной фигуры жгута производится при топологических преобразованиях, которые требуют при решении задачи проектирования жгута G введения ряда понятий, таких как кривая линия, отражающая ряд его геометрических и физических параметров, и кривая поверхность.

С формальных позиций отображение $f(a)$ в подпространствах A и B , пространства X или для рассматриваемого случая монтажного пространства M есть соединение монтажных точек P и Q этого пространства, которое в абстрактном представлении есть отрезок на числовой оси, т.е. множество всех чисел, расположенных между двумя монтажными точками P и Q . Обозначим его через L (рис. 2).

Строгое представление этого отрезка в составе жгута есть его образ $f(L)$ при непрерывном отображении f , которое представляет электрический проводник, т.е. криволинейный путь прохождения тока от точки a_i до точки b_i , связанный с конструкцией ЛА.

Благодаря непрерывности две точки отрезка L переходят в две близкие точки кривой $f(L)$ (рис. 3). Эта кривая, полученная как образ отрезка L , относится к узкому классу кривых линий, называемых кривыми Жордана [6]. Это фигура, гомеоморфная электрическому проводнику.

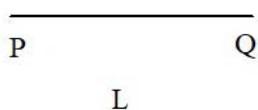


Рис. 2. Отрезок L , соединяющий монтажные точки P и Q

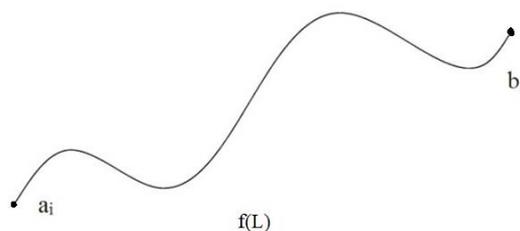


Рис. 3. Топологический образ отрезка L в виде кривой $f(L)$

При проектировании простого жгута процесс получения кривой линии и электрического проводника будет называться отображением f модели проводника – отрезка в монтажное пространство ЛА, ассоциированное с топологическим пространством. Объединение кривых в жгут и его представление в конструкции ЛА (трёхмерное пространство R^3) требует решение задачи о вложении конструкции из одномерных кривых. Решение задачи в данной работе опирается на теорему, утверждающую, что конечная система (жгут проводов), состоящая из точек и связывающих их одномерных отрезков, сколь сложным строением она не обладала, всегда может быть вложена в пространство R^3 , т.е. размещена без дополнительных пересечений отрезков [6]. Трансформация этой теоремы для вложения жгута в конструкцию ЛА потребовала введения двойных точек или, в случае крепления жгута к конструкции, понятий двойной точки и точек перегиба [5]. Это является необходимым условием для того, чтобы при проектировании жгута были учтены соответствующее число двойных точек, двойных касательных и точек перегиба. Это условие существенно связано с расстоянием точки множества подпространства A до подпространства B . Кроме того, необходимо учесть так называемые технологические припуски, которые формируются в рамках решения задачи о расстояниях. Поэтому, чтобы получить расстояния между подмножествами

A и B , необходимо ввести метрическое пространство, в котором существует для любых двух точек $x, y \in X$ определённое число $d(x, y) \geq 0$, в котором выполняются ряд свойств. Одним из свойств является свойство $d(x, y) + d(y, z) \geq d(x, z)$ (неравенство треугольника). При этом вводится множество технологических параметров T , состоящих из всех положительных чисел, связанных с припусками на расстояние.

В рамках теории поверхностей решается задача топологических инвариантов и рассмотрение групп гомологий, которые создают общие условия проектирования простого жгута как геометрического комплекса.

Условия построения комплекса и, как следствие, простого жгута следующие:

1) если проводник x^1 принадлежит комплексу C , то комплексу, как следствие, принадлежит каждый соседний проводник;

2) если проводники x_1^1 и x_2^2 или группа проводников x_k^i одновременно принадлежат комплексу C , то множество их общих пересечений (креплений) также является симплексом, принадлежащим C .

Проводники в комплексе C формально объединены в жгут G , образующий электрические цепи по сложению

$$C(G) = \left(\sum m_k x_k^i \right), \quad (2)$$

где коэффициенты m_k – произвольно выбранные целые числа, обозначающие количество проводников в простом жгуте.

Формальная сумма – это лишь удобный вид записи. При этом сумма проводников определяется как сумма линейных форм.

В рамках точного формализма образ простого жгута характеризует собой состав отрезков I_i , полученных из принципиальной схемы той или иной БС, которые назовём образующими $A = \bigcup A^\alpha$, где A^α – непересекающиеся отрезки жгута G . При решении задачи построения жгута G , связанного с монтажным пространством ЛА, необходимо построить множество S отображений $s: A \rightarrow A$, которое образует множество преобразований подобия S . При этом любое $s \in S$ преобразует A^α в себя при любом индексе класса образующих α и множество S не влияет на связи.

Структурное объединение этих образующих выполняется по заданным правилам \mathcal{R} (система правил или ограничений), определяющим регулярную (соответствующую заданным требованиям) структуру жгута G . Множество образующих жгута G для БС, получаемых с помощью множества \mathcal{R} , будем обозначать через $b(\mathcal{R})$, которое будет характеризовать регулярность образа жгута G . Показатели связей каждой образующей задаются целыми числами, поставленными в соответствие индексу класса α и взятыми из схемы электрических соединений БС для соответствующей клеммы разъёма или других соединителей.

Образующие α_i жгута G со связями в двух подпространствах X, Y монтажного пространства M объединяются с помощью одного или нескольких соединений жгута с конструкцией ЛА. Это порождает ряд вершин x_i' кратчайшего пути от x к y , где $x \in X, y \in Y$. Длина кратчайшего пути будет определяться с учётом точек крепления жгута по соотношению [7]

$$l(x_i') = c(x_i', x_i) = l(x_i). \quad (3)$$

При некоторой фиксированной клемме разъёма соединения с блоками БС в её цепи будут включаться вершины соединения с конструкцией x_i' . При этом соотношение (3) будет выполняться для более чем одной вершины x_i , т.е. для всех электрических проводников простого жгута G , состоящего из множества $b(\mathcal{R})$, идентифицированного с помощью правила идентификации R [8]. С помощью этого правила будем различать в жгуте электрические проводники, образующие классы эквивалентности $b(\mathcal{R})$. Отдельные проводники, представляющие класс эквивалентности, будем называть изображениями $I(c)$, а множество всех изображений, представляющих простой жгут, проидентифицированное по определённым правилам R , является его идеальной моделью:

$$T = \frac{b(\mathcal{R})}{R}. \tag{4}$$

При этом используется простое правило идентификации, которое в рассматриваемом случае задаётся при помощи равенства между компонентами жгута.

Простой жгут из T является идеальным изображением. Получение реального жгута связано с различными видами деформации.

Получение таблицы соединений на простой жгут

Рассмотрим в качестве примера проектирование КД на БКС для конкретной БС, например, системы ультракоротковолновой (УКВ) связи из состава радиосвязного оборудования ЛА. Формальное представление последовательностей этапов проектирования является графом или граф-схемой алгоритма (рис. 4).

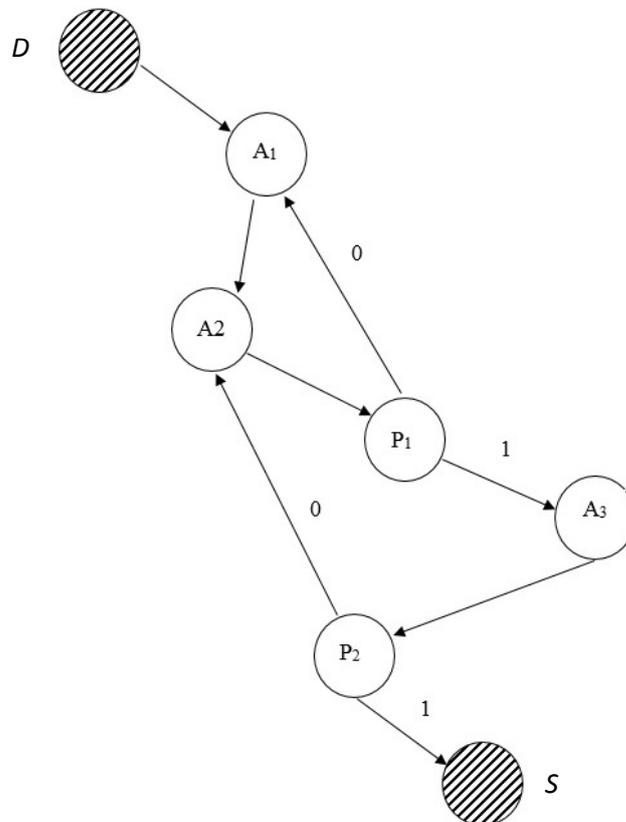


Рис. 4. Граф-схема алгоритма

Представление графа может быть определено в символьной форме. Обозначим получение исходных данных буквой D , а этапы проектирования как функциональные операторы A_1, A_2, A_3 . Конечный оператор обозначим буквой S . В связи с тем, что проектирование БКС ЛА носит итерационный характер, не исключены возвраты к предшествующим этапам, их уточнение и корректировка. Эти итерации введём в качестве логических операторов P_1, P_2 .

Если условие логического оператора P_1 или P_2 выполнено, то следующим выполняется оператор, в который ведёт дуга с символом 1 ; если условие не выполнено, то переход происходит по дуге с символом 0 . В качестве логического оператора P_1 примем соответствие выполненных соединений в схеме электрической соединений по отношению к схеме электрической принципиальной. В качестве логического оператора P_2 примем соответствие выполненной таблицы соединений по отношению к схеме электрических соединений.

Вместо граф-схем, требующих изображения в виде картинки, можно использовать более компактную форму записи, если записывать операторы в порядке их выполнения [9]. Если условие выполнено, то следующим выполняемым оператором будет оператор, записанный справа от P_i . Если условие не выполнено, то начинает выполняться оператор, к которому идёт стрелка от оператора P_i . Возможна и более компактная запись. Если условие не выполнено, то после оператора ставится стрелка вверх, над которой пишется номер этого оператора, а перед оператором, к которому должна была идти эта стрелка, ставится стрелка концом вниз, отмеченная тем же номером:

$$D \downarrow_1 A_1 \downarrow_2 A_2 P_1 \uparrow^1 A_3 P_2 \uparrow^2 S. \quad (5)$$

Подобный способ записи алгоритмов управления имеет название логических схем алгоритмов (ЛСА). Отсутствие достаточно эффективных инженерных методов синтеза и минимизации логических схем, учитывающих специфические возможности, представляемые той или иной функционально полной системой и характерными особенностями логических элементов различных типов, приводит к следующему. Проектировщик, обладающий определёнными навыками, знаниями и инженерной интуицией, сталкивается с внушительными количествами ограничений и запретов и в связи с этим получает не минимальные, а в определённой степени минимизированные логические схемы, т.е. некие абстрактные модели, описывающие функционирование системы.

Поскольку рассматриваемая БС, а именно УКВ радиосвязь, имеет простейшую логику включения, защиту от коротких замыканий и управление, то наличие реальных логических элементов ограничивается контакторами включения приёмопередатчика к питающему напряжению и дублирование этого питания для обеспечения повышенной надёжности питающих цепей. Таким образом, переход от ЛСА к логической схеме, а впоследствии к принципиальной схеме, не вызывает затруднений.

По результатам выполненного алгоритма преобразований в перечисленных этапах проектирования получены простые жгуты, описанные в таблице соединений (рис. 5).

Таблица соединений включает в себя описание простых жгутов (одного или нескольких проводов, проходящих от устройства до устройства), удовлетворяющих требованиям электромагнитной совместимости [10]. Для каждой зоны фюзеляжа (или номера отсека, выбранного в соответствии с принятой на объекте разбивкой на зоны) существует своя таблица соединений, имеющая отличительный признак в виде конструктивной подгруппы. При этом номер жгута определяет принадлежность жгута к схеме, отсеку объекта и порядковый номер жгута в данной схеме.

Данные провода			Номер обознач. провода	Откуда идет			Куда поступает			Примечание			
Марка	сечение мм ²	длина м		устройство	элемент заделка	контакты	устройство	элемент заделка	контакты				
				Жгут 0529-320-01			Масса провода 1,264 кг						
БПДО	0,5	15,0	F29A4	Блок ДРП-1Ф №1 4 шп. лев. борт	СНЦ23-10/ 18Р-6-В	3	Блок КРБЗА №1 21 шп. пр. борт	СНЦ23-32/ 27Р-6-В	11				
БИФЭЗ-Н	0,5	15,0	F29A7							7	6		
2x0,35			F29A8							8	7		
БИФЭЗ-Н		15,0	F29A5							1	6		
2x0,35			F29A5							2	9		
БПДО	0,5	15,0	F29A9							4	30		
БПДО	0,5	15,0	F29A10							6	29		
БПДО	0,5	1,5	FM29A							5	Корпус	2-1*	

Рис. 5. Таблица соединений простого жгута

В таблице соединений для каждого жгута, проходящего в конкретной зоне (отсеке) или в выбранной трассе, указывается его индивидуальный номер, информация о длине, сечении, о типе (марке) провода, выбранного и рассчитанного для каждого соединения по падению напряжения (так как с увеличением длины электрического провода увеличивается его сопротивление), а также о районах расположения соединяемых устройств. Однако задание точной длины для каждого проводника с учётом технологических припусков на длину невозможно без определения пути прохождения этого проводника, т.е. пути обхода им запретных зон и огибания конструктивных элементов конструкции ЛА. Этот путь называют трассой жгутов или базовыми линиями прокладки жгутов. Как правило, для определения трассы жгутов выпускается КД в виде монтажно-трассовых схем или электронной трёхмерной модели жгутов. Впоследствии длина каждого провода в таблице соединений может быть дополнительно уточнена на последующих этапах в процессе разработки КД на БКС ЛА

Заключение

На основе теоретических положений проектирования компонентов простых жгутов – электрических проводников – с использованием кривых линий $f(L)$ как образа отдельных отрезков, соединяющих две точки в заданном топологическом пространстве (монтажное пространство ЛА), и с использованием понятия отрезка и узкого класса кривых линий (кривых Жордана) [6] сформулировано понятие образа простого жгута – его математической модели. Однако теория и практика проектирования простых жгутов отвечает лишь на часть вопросов теоретической и практической составляющей проектирования БКС, поскольку при установке (монтаже) БКС ЛА простые жгуты одной БС объединяются с десятками и сотнями простых жгутов различных БС БКО, образуя так называемые сложные жгуты. Компоновка сложных жгутов является отдельной, сложной и актуальной задачей для оптимизации проектирования, конструирования и производства БКС ЛА.

Библиографический список

1. Кербер Л.Л. Компоновка оборудования на самолётах. М.: Машиностроение, 1976. 304 с.
2. Коптев А.Н., Миненков А.А., Марьин Б.Н., Иванов Ю.Л. Монтаж, контроль и испытания электротехнического оборудования ЛА. М.: Машиностроение, 1998. 295 с.
3. Дитрих Я. Проектирование и конструирование: Системный подход. М.: Мир, 1981. 456 с.
4. Столл Р. Множества. Логика. Аксиоматические теории. М.: Просвещение, 1968. 231 с.
5. Прасолов В.В. Элементы комбинаторной и дифференциальной топологии. М.: МЦНМО, 2004. 352 с.
6. Комацу М. Многообразие геометрий. М.: Знание, 1981. 208 с.
7. Кристофидес Н. Теория графов. Алгоритмический подход. М.: Мир, 1978. 432 с.
8. Гренандер У. Лекции по теории образов. Синтез образов. Т. 1. М.: Мир, 1979. 384 с.
9. Захаров В.Н., Поспелов Д.А., Хазацкий В.Е. Системы управления. Задание. Проектирование. Реализация. М.: Энергия, 1977. 424 с.
10. ОСТ 1 00406-80. Совместимость электромагнитная комплексов радиоэлектронного оборудования самолётов и вертолётот. Общие требования. М.: Стандартиформ, 1982. 11 с.

DEVELOPMENT OF ORDINARY HARNESS FOR AIRCRAFT ONBOARD CABLE NETWORKS

© 2019

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 is devoted to one of the most important components of the onboard complex of aircraft equipment - the onboard cable network. The contents of the design documentation for the aircraft onboard cable network are disclosed. The statement of the problem of designing harnesses is defined in general terms. The main stages of designing aircraft onboard cable networks are described on the verbal level, as well as in the form of logical algorithms and graph-algorithms. Some theoretical aspects of designing aircraft onboard cable networks are presented. The concepts of topological space, topological structure, and continuous mapping of the harness structure into the aircraft structure are introduced. Geometric research of an ordinary cable harness of the onboard cable network led to the need to consider the harnesses as a geometric complex in the framework of combinatorial topology. An example of compiling a table of connections of ordinary harnesses for the aircraft onboard system of ultra-short wave communication is given. The rules and requirements for the information content of the table of connections of an ordinary harness to the aircraft on-board system are emphasized. Mention is made of the need to integrate ordinary harnesses into a complex one consisting of tens or even hundreds of ordinary harnesses to simplify the process of installation of the onboard cable network in the aircraft.

Aircraft; onboard equipment set; aircraft cable networks; ordinary harness; development; topology.

Citation: 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. DOI: 10.18287/2541-7533-2019-18-4-76-86

References

1. Kerber L.L. *Komponovka oborudovaniya na samoletakh* [Arrangement of equipment on airplanes]. Moscow: Mashinostroenie Publ., 1976. 304 p.
2. Koptev A.N., Minenkov A.A., Mar'in B.N., Ivanov Yu.L. *Montazh, kontrol' i ispytaniya elektrotekhnicheskogo oborudovaniya LA* [Assembly, monitoring and testing of aircraft electrical equipment]. Moscow: Mashinostroenie Publ., 1998. 295 p.
3. Dierych Ja. *System i konstrukcja*. Warszawa: Wydawnictwa Naukowo-Techniczne, 1978. 456 p.
4. Stoll R.R. *Sets, logic, and axiomatic theories*. San Francisco: W.H. Freeman & Co Ltd, 1975. 233 p.
5. Prasolov V.V. *Elementy kombinatornoy i differentsial'noy topologii* [Elements of combinatorial and differential topology]. Moscow: MTsNMO Publ., 2004. 352 p.
6. Komatsu M. *Mnogoobrazie geometriy* [Geometry manifold]. Moscow: Znanie Publ., 1981. 208 p.
7. Christofides N. *Graph Theory: An Algorithmic Approach*. New-York: Academic Press, 1975. 415 p.
8. Grenander U. *Pattern synthesis. Lecture in Pattern Theory. V. 1*. New-York: Springer-Verlag, 1976. 517 p.
9. Zakharov V.N., Pospelov D.A., Khazatskiy V.E. *Sistemy upravleniya. Zadanie. Proektirovanie. Realizatsiya* [Control systems. Assignment. Design. Implementation]. Moscow: Energiya Publ., 1977. 424 p.
10. 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.)