

ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ПРОЕКТИРОВАНИЯ КОМПОНЕНТОВ БОРТОВОЙ КАБЕЛЬНОЙ СЕТИ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ

© 2023

А. Ю. Мясников начальник бригады «Бортовые кабельные сети»; Самарский филиал акционерного общества «Туполев» – конструкторское бюро;
lesha-myasnikov@yandex.ru

Статья посвящена теоретическим аспектам проектирования компонентов бортовой кабельной сети летательного аппарата. Подчеркнута особенность бортовой кабельной сети как технического средства обеспечения работоспособности бортовых систем. Определён состав исходной и разрабатываемой технической документации на бортовую кабельную сеть летательного аппарата. Описана взаимосвязь этапов проектирования бортовой кабельной сети с этапами проектирования летательного аппарата. Постановка общей задачи создания компонентов бортовой кабельной сети представлена как ряд частных подзадач более низкого уровня сложности. В основе метода решения задачи принят ряд преобразований, выполняемых с исходной документацией в целях разработки технической документации для внедрения бортовой системы в комплекс бортового оборудования. Исходная документация смоделирована методом построения графа, задающего отношения между вершинами и дугами. Ряд последовательных преобразований предложенной модели жгута с использованием аппарата топологии и теории множеств позволил сформировать модель компонентов бортовой кабельной сети летательного аппарата, дающей детальное представление о его будущей конструкции. Предложенный научный подход к проектированию компонентов бортовой кабельной сети летательных аппаратов создаёт предпосылки к минимизации эвристической составляющей в процессе проектирования компонентов бортовой кабельной сети летательного аппарата.

Комплекс бортового оборудования; проектирование бортовой кабельной сети; трассы жгутов; топология; множество

Цитирование: Мясников А.Ю. Теоретические аспекты проектирования компонентов бортовой кабельной сети летательных аппаратов // Вестник Самарского университета. Аэрокосмическая техника, технологии и машиностроение. 2023. Т. 22, № 4. С. 86-98. DOI: 10.18287/2541-7533-2023-22-4-86-98

Введение

Неотъемлемой частью любого современного летательного аппарата (ЛА) является комплекс бортового оборудования (КБО), решающий задачи организации ведения внешней и внутренней радиосвязи, обеспечивающий навигацию и функционирование систем автоматического управления полётом и посадки ЛА, работы силовой установки, функционирования систем жизнеобеспечения экипажа посредством различных бортовых систем (БС). Бортовая кабельная сеть (БКС) играет ключевую роль в обеспечении работоспособности всех БС КБО ЛА, так как функционирование БС без электрических связей невозможно. БКС ЛА посредством жгутов электрических проводов обеспечивает возможность действия КБО ЛА, направленного на удовлетворение функциональных потребностей для реализации полёта ЛА.

Существующие иерархичные и итерационные этапы проектирования и конструирования компонентов БКС ЛА берут свое начало с этапа анализа исходных данных о внедряемой системе (ВС) и дальнейшего их преобразования в целях формирования электрических связей БС, интегрированной в КБО конкретного ЛА. При этом коллективами конструкторских бюро (КБ) решаются задачи адаптации исходной документации разработчиков систем под облик конкретного КБО ЛА, учитывающий способы ор-

ганизации на борту ЛА электропитания и управления блоками (элементами) БС, а также осуществления связей информационного обмена с сопрягаемыми БС.

Современная практика проектирования компонентов БКС основана на ограничениях, сформулированных в Государственной и отраслевой нормативно-технической документации (НТД). Среди разработчиков ЛА методы и средства проектирования отличаются особенностями конкретного ЛА и его КБО, внутренними стандартами и методическими указаниями КБ разработчика ЛА как результат накопленного опыта предыдущих поколений, который трудно формализуем.

Отсутствие в современных системах автоматизированного проектирования (САПР) модулей инженерного анализа [1; 2] и синтеза компонентов БКС ЛА сводит достоинства электрических САПР к автоматизации рутинных операций и не позволяет повысить темпы и качество проектирования, низкие показатели которых являются следствием значительной доли эвристической составляющей в деятельности КБ разработчиков ЛА.

Проведённые исследования и особенности объекта проектирования

Проведённый в работах [3 – 5] анализ состояния теории и практики проектирования и конструирования БКС ЛА выявил ряд проблем в методах и средствах проектирования, которые отражаются на качестве и сроках не только самого проектирования, но и последующего конструирования и производства БКС ЛА, а следовательно и в целом ЛА. Совокупность таких проблем привела к многолетней задержке вывода на рынок компанией Airbus пассажирского лайнера А380 [6] и многомиллионной упущенной выгоде.

Вопросам оптимизации процессов проектирования БКС ЛА посвящены работы [7 – 12]. Проведённые в них исследования теории и практики решения задач проектирования БКС ЛА показали лишь частные их решения. На сегодняшний день в научных работах практически не уделяется внимание проблемам и задачам синтеза компонентов БКС. Многие работы посвящены решению задач, возникающих на заключительных этапах создания БКС, а именно конструированию, производстве и монтаже жгутов электрических проводов на ЛА, выступающих в роли главных компонентов БКС ЛА. Отсутствие алгоритмов и научно-обоснованной методики проектирования электрических схем, таблиц соединений, монтажно-трассовых схем и создаваемых на их основе производственной и технологической документации для изготовления электрожгутов не позволяет сделать заключение об оптимальных решениях задач проектирования и конструирования компонентов БКС ЛА.

Компоненты БКС ЛА, как и любое техническое средство, характеризуются главной существенной особенностью – характером их действия [13].

С общих позиций характер действия компонентов БКС ЛА, а именно жгутов электрических проводов, заключается в передаче сигналов, электроэнергии и информации с минимизацией преобразований P с целью исключения различий между входом I_p и выходом O_p , являющихся представлением начала и конца электрического проводника соответственно (рис. 1).

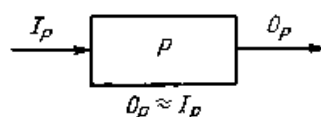


Рис. 1. Модель функционального предназначения компонентов бортовой кабельной сети как технического средства

Применительно к ЛА, где в замкнутых и ограниченных пространствах существуют электромагнитные поля различной природы происхождения, которые генерируются как самими электрическими проводниками, так и радиоэлектронной аппаратурой, задача сохранения уровней питающих сигналов и параметров передачи информации является особо актуальной.

Это предъявляет повышенные требования к проектированию, конструированию и производству компонентов БКС ЛА, трудно поддающихся сравнению с работой по созданию кабельно-жгутовых устройств наземных объектов [14].

Постановка задачи проектирования компонентов бортовой кабельной сети летательного аппарата

Практика проектирования компонентов БКС ЛА нацелена на получение конструкторской документации (КД), описывающей проекты жгутов электрических проводов, удовлетворяющих комплексу требований НТД. Учитывая проведенный многокритериальный анализ практики проектирования ЛА [3 – 5] и выявленную значительную зависимость этапов проектирования компонентов БКС ЛА от этапов проектирования непосредственно ЛА, представленных на рис. 2, постановка общей задачи проектирования компонентов БКС ЛА может быть представлена комплексом подзадач более низкого уровня сложности, чем первоначальная задача.



Рис. 2. Взаимосвязь этапов проектирования летательного аппарата с основными этапами проектирования компонентов бортовой кабельной сети

Условия задачи в общем виде поставлены математически следующим образом: на основе заданной схемы электрической принципиальной (Э3) БС построить множество соединений x (компонентов БКС БС, реализующих её схему Э3) в заданном монтажном пространстве M ЛА с учётом требований НТД и существующей компоновки блоков БС. Эта формулировка связана с решением комплекса специфических подзадач, представление которых в общем виде порождает дерево решений [15], представленное на рис. 3.

Разбиение задач на подзадачи необходимо для того, чтобы с учётом требований и ограничений уменьшить размерность первоначальной задачи. Задача проектирования жгутов в данной работе решается в процессе последовательных изменений представлений, последняя замкнутая формулировка даёт непосредственное решение задачи в целом.

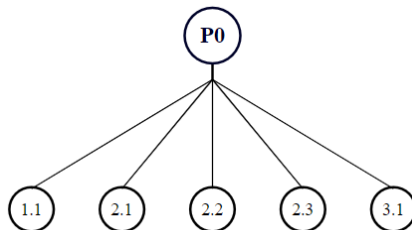


Рис. 3. Дерево решений задачи проектирования жгута

Задача организации электрических связей ВС в КБО ЛА в вербальной форме заключается в построении электрических связей с привязкой этих связей к системе электроснабжения (СЭС) ЛА и вложении некоторой конструкции, реализующей эти связи в конструкцию ЛА с использованием операций преобразования подобия, не влияющих на первоначально заданную электрическую связь.

Формальную постановку общей задачи проектирования компонентов БКС ЛА предлагается изложить с общих позиций топологии. В этом случае под конструкцией ЛА в нашей задаче будем понимать монтажное пространство M , математической моделью которого является топологическое пространство X . Таким образом, постановка общей задачи проектирования компонентов БКС ЛА в замкнутой форме заключается в построении в заданном топологическом пространстве X кривых Жордана, удовлетворяющих основным постулатам теоремы о вложении [16].

Построение дерева решений поставленной задачи

В связи с необходимостью адаптации исходной документации на ВС к требованиям и особенностям конкретного ЛА и его КБО, вербальная постановка задачи внедрения ВС на борт заключается:

- в компоновке (размещении) элементов (блоков) ВС в монтажном пространстве ЛА;
- организации электрических связей между элементами БС и элементами других взаимодействующих БС из состава КБО, необходимых для функционирования данной БС, на основе заданной технической документации разработчика ВС.

Первая подзадача является отдельным специфическим направлением деятельности КБ разработчика ЛА, практическое и теоретическое решение этой задачи рассмотрению в данной работе не подлежит, однако результат размещения элементов БС в монтажном пространстве, безусловно, учитывается при разработке КД на БКС ЛА.

Подзадача организации электрических связей является ключевой в вопросах проектирования компонентов БКС. Сформулируем для этой подзадачи перечень необходимых действий разработчика ЛА для их последующего перевода в формальный вид и теоретического решения:

1. Построение связей между элементами БС на принципиальном уровне.

1.1. Адаптация исходной документации в целях организации внешних взаимосвязей с сопрягаемыми БС, также организации электропитания, управления и сигнализации внедряемой системы на конкретном КБО с СЭС конкретного ЛА.

2. Построение связей между элементами БС с учётом фактического размещения элементов на борту ЛА.

2.1. Учёт технологических требований, предъявляемых к БКС, путём введения специальных устройств, а именно технологических электросоединителей и распределительно-коммутиционных устройств (РКУ), обеспечивающих технологичность (легкосъёмность) БКС ЛА.

2.2. Учёт электромагнитной совместимости (ЭМС) внедряемых связей.

2.3. Организация мероприятий по обеспечению заданных показателей надёжности электрических связей, от которых зависит работоспособность БС.

3. Представление информации о связях БС для изготовления и размещения в монтажном пространстве ЛА жгутов электрических проводов.

3.1. Разработка таблиц соединений и спецификаций для изготовления жгутов электрических проводов.

3.2. Формирование базы данных с информацией о массово-габаритных характеристиках жгутов электрических проводов для последующей её передачи смежным подразделениям КБ разработчика ЛА в целях определения габаритов конструкции жгутов электрических проводов и их размещения в модели монтажного пространства ЛА.

В замкнутом виде задача внедрения БС на борт ЛА заключается в следующих подзадачах:

1. Построение графа электрических связей схемы БС как отношений вершин и ребер (дуг), определяющей связи между элементами БС.

1.1. Преобразование построенного графа путём введения дополнительных вершин и дуг, регламентирующих связи элементов БС с СЭС, либо сопрягаемыми БС.

2. Преобразование графа электрических связей в топологический граф.

2.1. Представление дуги топологического графа как модели жгута электрических проводов с позиций теории мультимножеств.

3. Преобразование топологического графа в граф отношений. Формирование матрицы смежности и дополнение её отличительными признаками, характеризующими каждую вершину и дугу графа. Свод информации в табличную форму записи, являющейся интерпретацией таблицы соединений.

Таким образом, решение задачи создания модели БКС БС заключается в нахождении последовательности решений подзадач, каждая формулировка которой подразумевает использование конкретных математических аппаратов.

Теоретические методы решения задачи

Синтез образа (модели) жгутов электрических проводов БС представим графом $G=(V, l)$ (рис. 4), вершинами V которого служат элементы БС (блоки), а ребрами l – электрические проводники, соединяющие эти вершины согласно схеме электрической принципиальной абстрактной БС. У дуги инцидентные вершины (конечные точки) различны.

Построение модели БКС БС требует проведения ряда преобразований такого графа электрических связей, одним из преобразований является вложение этих связей в пространство ЛА с учётом свойств и ограничений, присущих ЛА и компоновке его оборудования.

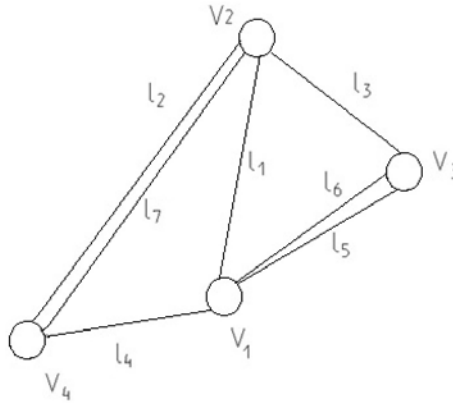


Рис. 4. Граф $G = (V, l)$ электрических связей абстрактной бортовой системы

На данном этапе о пространстве ЛА условимся говорить как о топологическом пространстве, не имеющем метрику. Это необходимо для пояснения фундаментальных свойств преобразования одного пространства в другое и понятия непрерывности, в рамках которой рассматривается функция $f(x)$ каждого электрического проводника, то есть можно говорить, что числовая прямая R^1 рассматривается как отдельный провод простого жгута и как пространство, наделённое топологической структурой.

Синтез жгута электрических проводов рассматривается на основе понятия непрерывного отображения. Условия его выполнения упомянуты автором в работе [3]. С формальных позиций отображение f в монтажном пространстве M есть соединение монтажных точек P и Q этого пространства, которое в абстрактном представлении есть отрезок L на числовой оси, то есть множество всех чисел, расположенных между двумя монтажными точками P и Q . Строгое представление этого отрезка в составе жгута электрических проводов есть его образ $f(L)$ при непрерывном отображении f , которое представляет электрический проводник, а именно его криволинейный путь прохождения от точки a_i до точки b_i , связанный с конструкцией ЛА (рис. 5).

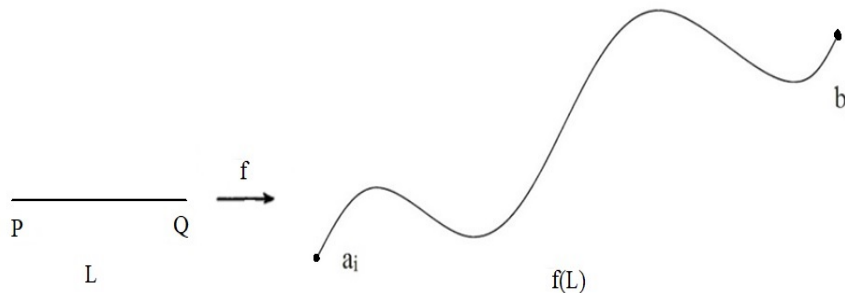


Рис. 5. Топологический образ отрезка L в виде кривой $f(L)$

Эта кривая, полученная как образ отрезка L , относится к узкому классу кривых линий, называемых кривая Жордана [16] – это фигура гомеоморфная электрическому проводнику.

Таким образом, топологический образ любого отрезка из графа электрических связей может быть представлен как набор кривых Жордана в виде топологического графа G' в пространстве соединений A , которое выделено из монтажного пространства M ЛА без учёта метрики (рис. 6).

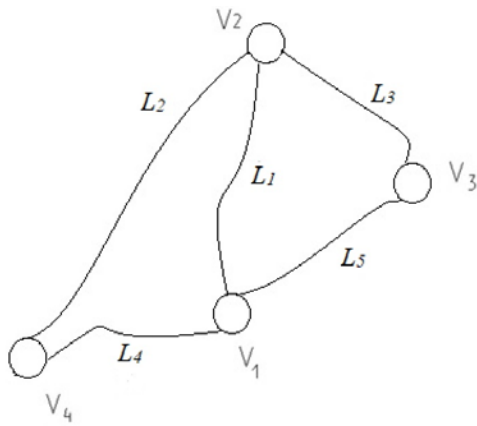


Рис. 6. Топологический граф G' в пространстве A

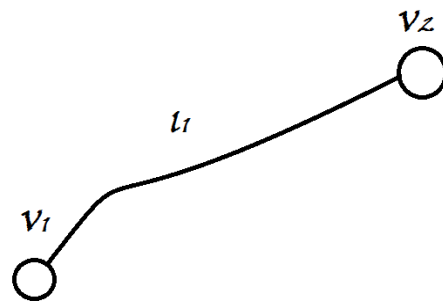


Рис. 7. Идеальная топологическая модель простого жгута l_1

Для конкретизации и детализации информации о соединениях с целью дальнейшего внесения этой информации в таблицы соединений жгутов электрических проводов БС рассмотрим на примере идеальной модели жгута – дуги l_1 на рис. 7, соединяющей вершины V_1 и V_2 топологического графа G' все электрические проводники (провода), входящие в l_1 .

Каждая точка электрического проводника в топологическом пространстве может быть представлена как множество точек, близко расположенных к данной точке. Применительно к рассматриваемым задачам это определение корректно отображает особенность элементов БС, которые содержат в себе $n \geq 1$ электрических соединителей, в свою очередь также являющихся вариантом \mathcal{E} -окрестности для каждой клеммы электрического соединителя (точки O) – при варьировании значения \mathcal{E} -положительного числа как множества всех точек плоскости R^2 , расстояние которых до O меньше \mathcal{E} (рис. 8).

Аналогично данное понятие окрестности точки может быть применено не только для вершин электрических проводников, но и в местах его крепления к конструкции ЛА. Варьируя величиной окрестности точки топологического пространства, можно интерпретировать конец и начало проводника как отсек ЛА, блок, электросоединитель или клемма электросоединителя.

Вершина V_1 , являющаяся моделью блока БС, с теоретико-множественной позиции представляет собой некое конечное множество элементов $V_i = \{S_1, S_2, \dots, S_n\}$, где S – это электрический соединитель, причем один и тот же элемент S_i может присутствовать в V_i многократно. В этом случае речь идёт не просто о конечных множествах, а о мультимножествах [17].

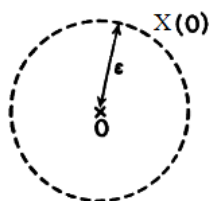


Рис. 8. Понятие \mathcal{E} -окрестности для точки O топологического пространства X

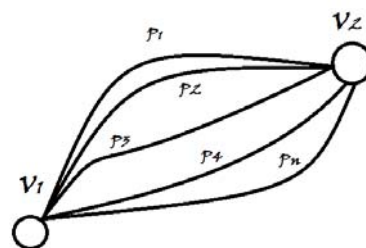


Рис. 9. Представление дуги l_1 как мультимножество элементов p

Электрические соединители S также являются мультимножествами $S = \{k_1, k_2, \dots, k_n\}$, где k – повторяющиеся элементы (клеммы), которые в электрических соединителях присутствуют многократно (как правило, в электрических разъёмах количество клемм $k \geq 2$).

Дуга l_1 , представляющая образ электрического соединения двух блоков (вершин) БС, является мультимножеством $L_i = \{p_1, p_2, \dots, p_n\}$, элементы p которого представляют собой электрические проводники, соединяющие клемму k_i одного электросоединителя S_i вершины V_1 с клеммой k_j другого электросоединителя S_j вершины V_2 (рис. 9).

Таким образом, рассмотрение вершин и дуг топологического графа с теоретико-множественной позиции даёт нам представление элементов топологического графа – дуг и вершин как семейства мультимножеств, отношения между которыми могут быть заданы трёхместным предикатом P в виде матрицы смежности (табл. 1).

Эти данные с учётом всех значений признаков и атрибутов, присущим этим объектам, могут быть представлены более детально в табл. 2.

Таблица 1. Матрица смежности топологического графа G'

	L_1	L_2	L_3	L_4	L_5
V_1	1	1	0	1	0
V_2	1	1	1	0	0
V_3	0	0	1	0	1
V_4	0	1	0	1	0

Таблица 2. Матрица смежности дуги L_1 топологического графа G'

Номер дуги	Номер проводника	Откуда идёт	Куда поступает
L_2	p_1	V_1	V_2
	p_2	V_1	V_2
	p_3	V_1	V_2
	p_4	V_1	V_2

Комплект КД на БКС, сформированный из массива схемных и текстовых документов, с общих позиций представляет собой формальные описания мультимножеств. Содержание этих документов отражается с помощью лексических единиц, которые характеризуют особенности каждого из них как многопризнаковых объектов. Введение признаков как атрибутов объекта продиктовано необходимостью отличать объекты друг от друга.

Дополняя сведения о таких соединениях такими данными, как тип провода, сечение провода и длина, проектировщики БКС ЛА составляют табличную форму записи, используемую в производстве жгутов электрических проводов. Такая табличная форма записи в КД на БКС составляет таблицу соединений. Задача разработки таблицы соединений жгутов электрических проводов является замыкающей в задаче синтеза компонентов БКС БС.

Разработка алгоритма и пример построения моделей компонентов бортовой кабельной сети

Приведённый в данной статье метод решения задачи синтеза компонентов БКС БС представляет собой алгоритм, описывающий следующий порядок действий:

1. Построение математической модели (графа электрических связей) на основе схемы электрической принципиальной ЭЗ БС.
2. Построение топологического графа на основе топологического преобразования (отображение) электрических связей.
3. Выделение из топологического графа дуги, соединяющей две вершины. Анализ вершин и дуги простого жгута и представление их с теоретико-множественных позиций мультимножествами.
4. Инициализация значений всех признаков и атрибутов, присущих как вершинам, так и проводникам, и последующая их запись в табличную форму.
5. Анализ проекта жгута и оценка его соответствия требованиям НТД.

Рассмотрим применение вышеизложенных методов на примере проектирования жгутов электрических проводов системы раннего предупреждения приближения к земле (СРППЗ) среднемагистрального самолёта.

Граф электрических связей системы СРППЗ, вершинами которого служат элементы СРППЗ, а рёбрами – связи между этими элементами, представлен на рис. 10.

Преобразование графа G в топологический граф G' на рис. 11 соотносит каждой вершине графа G выделенную точку трёхмерного монтажного пространства M ЛА.

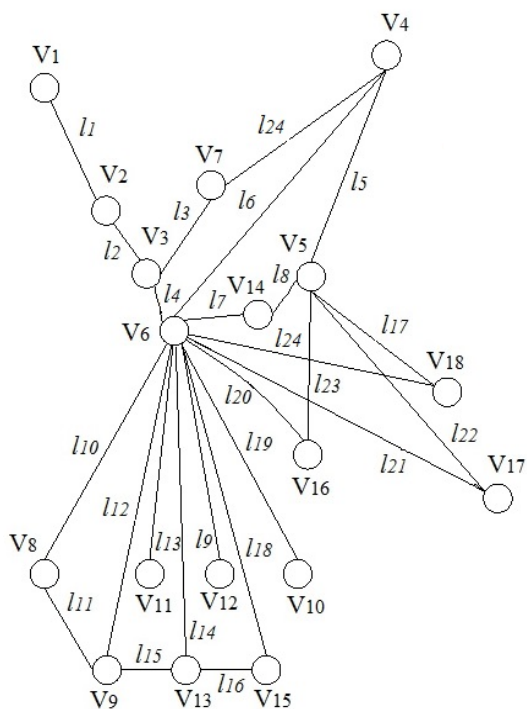


Рис. 10. Граф $G = (V, l)$ электрических связей системы раннего предупреждения приближения к земле

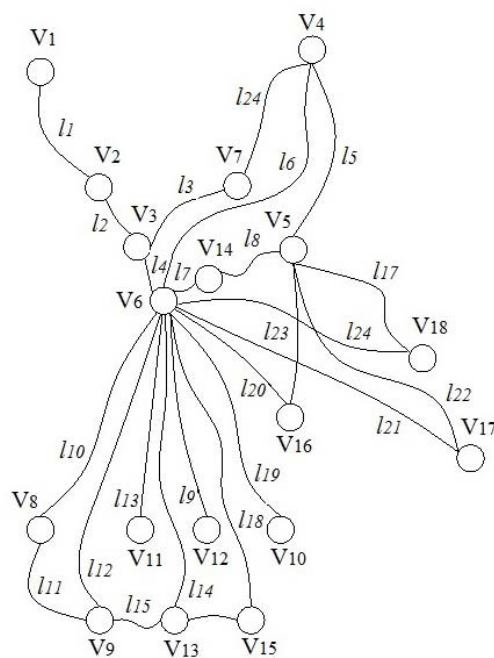


Рис. 11. Топологический граф G' электрических связей системы раннего предупреждения приближения к земле

Рассмотрение дуги L_1 с теоретико-множественных позиций формирует частично заполненную табл. 3.

Таблица 3. Модель таблицы соединений жгута бортовой системы

Номер провода	Откуда идёт			Куда поступает		
	Устройство	Элемент заделка	Контакт	Устройство	Элемент заделка	Контакт
p_1	V_1	S_i	k_i	V_2	S_j	k_j
p_2	V_1	S_i	k_i	V_2	S_j	k_j
p_3	V_1	S_i	k_i	V_2	S_j	k_j

Для полноценного заполнения табл. 3 по форме, являющейся основой для конструирования и производства реального жгута, введём в эту таблицу признаки, характеризующие физические сущности связей и устройств. Полученный результат приведён в табл. 4.

Таблица 4. Таблица соединений жгута системы раннего предупреждения приближения к земле среднемагистрального самолёта

Данные провода			Номер обозначения провода	Откуда идёт			Куда поступает		
Марка	Сечение, мм ²	Длина, м		Устройство	Элемент заделка	Контакт	Устройство	Элемент заделка	Контакт
Номер жгута – 14432-120-05, его масса – 0,530 кг									
БПДОУ	0,2	3,0	14432F1-8	024.57.44 -133 БК аппаратуры правый шп. 10	024.57.4 4-X2 СНЦ23- 55/33 Р- 6-а-В	18	Стеллаж 113 шп. 12-13	168.113 СНЦ23- 61/36 В-6- а-В	18
БПДОУ	0,2	3,0	14432F1-9			19			19
БПДОУ	0,2	3,0	14432F1-7			21			20
БПДОУ	0,2	3,0	14432F1-3			22			21

Данный пример иллюстрирует адекватность предложенных математических моделей компонентов БКС ЛА – жгутов электрических проводов для их последующего преобразования в конечную форму таблиц соединений, используемых в производстве жгутов семейства самолётов Ту-204/Ту-214.

Заключение

Практическая значимость разработанных и апробированных методов моделирования компонентов БКС заключается в формулировке и алгоритмизации основных положений научно обоснованной методики проектирования компонентов БКС ЛА с целью создания модулей инженерного синтеза и анализа САПР для совершенствования методов и средств проектирования компонентов БКС ЛА.

Рассмотрение процесса синтеза (проектирования) компонентов БКС ЛА с топологических позиций и теории мультимножеств открывает новые возможности в автоматизации проектирования БКС ЛА. Использование понятие отрезка и узкого класса кривых линий, так называемых кривых Жордана [16], математически сформировало образ жгута электрических проводов. Дополнение предложенной топологической модели

конкретными признаками и атрибутами теории мультимножеств позволяет перейти от математической среды к конкретной физической структуре.

Многокритериальный анализ и синтез жгута, реализуемый в рамках предварительно выделенной группы путём введения операции объединения элементов этого жгута в законченную конструкцию, позволяет формализовать этот процесс, не потеряв при этом уникальность каждого многопризнакового объекта, обладающего информационными, энергетическими и массово-габаритными характеристиками. Это позволяет проводить инженерный анализ на предмет оценки соответствия жгута электрических проводов требованиям НТД на самых ранних этапах проектирования.

На основе приведённых в работе теоретических положений проектирования компонентов БКС впервые поставлена задача с использованием математического аппарата топологии, отражающей реальную деятельность коллективов КБ по внедрению БС в КБО ЛА и вложению конструкций жгутов электрических проводов в конструкцию ЛА.

Предложенные методы решения поставленной задачи охватывают весь комплекс задач по структурно-параметрическому проектированию компонентов БКС, то есть решению задачи визуализации и последующей обработки данных, присущих разрабатываемому объекту, в целях разработки КД для последующего конструирования и производства компонентов БКС ЛА.

Библиографический список

1. Информационное обеспечение, поддержка и сопровождение жизненного цикла изделия: справ.-учеб. пособие / под ред. В.В. Бакаева. М.: Машиностроение-1, 2005. 624 с.
2. Российская энциклопедия CALS. Авиационно-космическое машиностроение / под ред. А.Г. Братухина. М.: НИЦ АСК, 2008. 608 с.
3. 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
4. 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
5. Мясников А.Ю. Проектирование компонентов бортовых кабельных сетей с учётом требований технологичности // Онтология проектирования. 2023. Т. 13, № 3 (49). С. 368-379. DOI: 10.18287/2223-9537-2023-13-3-368-379
6. Grabowski R. When the result of CAD is failure (with some solutions). <https://www.upfrontezine.com/2015/11/when-the-result-of-cad-is-failure-with-some-solutions.html>
7. Биктулов С.В. Разработка технологичных электрических жгутов бортовых кабельных сетей // Известия Самарского научного центра РАН. 2016. Т. 18, № 4-3. С. 597-603.
8. Кириллов В.Ю., Слипаченко А.А. Проектирование бортовой кабельной сети перспективного летательного аппарата // Труды МАИ. 2012. № 59.
9. Низамов Р.А. Автоматизированное проектирование бортовой кабельной сети беспилотного летательного аппарата // Сборник тезисов докладов XLIII Международной молодёжной научной конференции «Гагаринские чтения – 2017» (5-19 апреля 2017 г., Москва). М.: Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет), 2017. С. 103.

10. Вахничев А.В. Проектирование бортовой кабельной сети летательных аппаратов с применением современных средств автоматизированного проектирования // Практическая силовая электроника. 2014. № 4 (56). С. 50-56.
11. Биктулов С.В., Чупахин Я.Н. Разработка высокотехнологичных бортовых кабельных сетей самолётов // Известия Самарского научного центра РАН. 2014. Т. 16, № 1-5. С. 1309-1315.
12. Молозин А.В., Чупахин Я.Н. Разработка, представление в электронном виде и сопровождение в производстве электрических схем самолёта // Известия Самарского научного центра РАН. 2013. Т. 15, № 4-4. С. 907-910.
13. Дитрих Я. Проектирование и конструирование: системный подход. М.: Мир, 1981. 456 с.
14. Федоров Е.Ю., Терещук В.С. Автоматизированная трассировка жгутов и проводов грузового автомобиля // Вестник Казанского государственного технического университета им. А.Н. Туполева. 2013. № 3. С. 60-64.
15. Кристофидес Н. Теория графов. Алгоритмический подход. М.: Мир, 1978. 432 с.
16. Комацу М. Многообразие геометрии. М.: Знание, 1981. 208 с.
17. Петровский А.Б. Пространства множеств и мультимножеств. М.: УРСС, 2003. 246 с.

THEORETICAL ASPECTS OF DESIGNING THE COMPONENTS OF AN AIRCRAFT ONBOARD CABLE NETWORK

© 2023

A. Yu. Myasnikov Chief of Brigade “Onboard Cable Networks”;
Samara Branch of Design Office of SC “Tupolev”, Samara, Russian Federation;
lesha-myasnikov@yandex.ru

The article presents theoretical foundations of designing the components of an aircraft onboard cable network, proposed as a methodology for solving the problems of designing onboard equipment. The composition of the initial and developed technical documentation for the aircraft onboard cable network is determined. The article also shows the relationship between the stages of designing the onboard cable network and the stages of designing the aircraft. The formulation of the general task of creating the components of an onboard cable network is presented as a number of particular subtasks of a lower level of complexity. The method for solving the problem is based on a number of transformations performed with the original documentation in order to develop technical documentation for the introduction of the onboard system into the complex of onboard equipment. A number of successive transformations of the proposed bundle model using the apparatus of topology and multiset theory made it possible to form a model of the components of the onboard cable network of an aircraft that gives a detailed view of its future design. The proposed scientific approach to the design of aircraft onboard cable network components created the prerequisites for minimizing the heuristic component in the process of designing aircraft onboard cable network components.

Aircraft equipment set; aircraft onboard cable network design; harness; topology; multiset

Citation: Myasnikov A.Yu. Theoretical aspects of designing the components of an aircraft onboard cable network. *Vestnik of Samara University. Aerospace and Mechanical Engineering*. 2023. V. 22, no. 4. P. 86-98.
DOI: 10.18287/2541-7533-2023-22-4-86-98

References

1. *Informatsionnoe obespechenie, podderzhka i soprovozhdenie zhiznennogo tsikla izdeliya: sprav.-ucheb. posobie / pod red. V.V. Bakaeva* [Information supply, support and maintenance of the product life cycle]. Moscow: Mashinostroenie-1 Publ., 2005. 624 p.
2. *Rossiyskaya entsiklopediya CALS. Aviatsionno-kosmicheskoe mashinostroenie / pod red. A.G. Bratukhina* [Russian encyclopedia CALS. Aerospace engineering / ed. by A.G. Bratukhin]. Moscow: NITs ASK Publ., 2008. 608 p.
3. 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
4. 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. (In Russ.). DOI: 10.18287/2541-7533-2020-19-2-19-30
5. Myasnikov A.Yu. Designing onboard cable networks components considering the manufacturability requirements. *Ontology of Designing*. 2023. V. 13, no. 3. P. 368-379. (In Russ.). DOI: 10.18287/2223-9537-2023-13-3-368-379
6. Grabowski R. When the result of CAD is failure (with some solutions). Available at: <https://www.upfrontezine.com/2015/11/when-the-result-of-cad-is-failure-with-some-solutions.html>.
7. Biktulov S.V. Development, electronic representation and overall experience of aircraft cable networks. *Izvestiya Samarskogo Nauchnogo Tsentra RAN*. 2016. V. 18, no. 4-3. P. 597-603. (In Russ.)
8. Kirillov V.Y., Slipachenko A.A. Design of onboard cable network of the perspective aircraft. *Trudy MAI*. 2012. No. 59. (In Russ.)
9. Nizamov R.A. Computer-aided design onboard cable network of unmanned aircraft. *Sbornik tezisev dokladov XLIII Mezhdunarodnoy molodezhnoy nauchnoy konferentsii «Gagarinskie Chteniya – 2017» (April, 5-19, 2017, Moscow)*. Moscow: Moscow Aviation Institute Publ., 2017. P. 103. (In Russ.)
10. Vakhnichev A.V. Design of aircraft onboard cable network using modern cad facilities. *Prakticheskaya Silovaya Elektronika*. 2014. No. 4 (56). P. 50-56. (In Russ.)
11. Biktulov S.V., Chupakhin Ya.N. Development of aircraft Hi-Tech onboard cable networks. *Izvestiya Samarskogo Nauchnogo Tsentra RAN*. 2014. V. 16, no. 1-5. P. 1309-1315. (In Russ.)
12. Molozin A.V., Chupakhin Y.N. Development, electronic representation and overall experience in the manufacture of electrical aircraft scheme. *Izvestiya Samarskogo Nauchnogo Tsentra RAN*. 2013. V. 15, no. 4-4. P. 907-910. (In Russ.)
13. Dietrych J. System i konstrukcja. Warszawa: Wydawnictwa Naukowo-Techniczne Publ., 1978. 403 p.
14. Fedorov E.Yu., Tereshchuk V.S. Automatic tracing of truck harness and wires. *Vestnik Kazanskogo Gosudarstvennogo Tekhnicheskogo Universiteta im. A.N. Tupoleva*. 2013. No. 3. P. 60-64. (In Russ.)
15. Christofides N. Graph theory: an algorithmic approach. New York: Academic Press, 1975. 400 p.
16. Komatsu M. *Mnogoobrazie geometrii* [Variety of geometries]. Moscow: Znanie Publ., 1981. 208 p.
17. Petrovskiy A.B. *Prostranstva mnozhestv i mul'timnozhestv* [Spaces of sets and multisets]. Moscow: URSS Publ., 2003. 246 p.