

РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИЧНЫХ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ЖГУТОВ БОРТОВЫХ КАБЕЛЬНЫХ СЕТЕЙ

© 2016 С.В. Биктулов

Ульяновский филиал конструкторского бюро ПАО «Туполев»

Статья поступила в редакцию 21.10.2016

В статье дается описание технологии автоматизированного получения технологичных электрических жгутов бортовой кабельной сети на основе цифровой логической информации, полученной из ECAD. Формирование технологичных электрических жгутов выполняется на основе анализа логической информации и работы с изолированными подграфами. Анализ и формирование технологичных жгутов проводится в программах ms. Access и Netdraw.

Ключевые слова: САПР, бортовая кабельная сеть (БКС), проектирование технологичных жгутов, графы, изолированные подграфы, сетевой анализ, Routed Systems Designer, ProEngineer, ECAD, netdraw, самолет, проверка схем, контроль ошибок, ТУПОЛЕВ.

Сокращения:

ECAD – Electronic Computer-Aided Design

RSD – Routed Systems Designer

БД – база данных

БКС – бортовая кабельная сеть

БРЭО – бортовое радиоэлектронное оборудование

ВВФ – внешние воздействующие факторы

Жгут – электрический жгут

КБ – конструкторское бюро

КД – конструкторская документация

ЛА – летательный аппарат

Позиция – электрическая позиция

САПР – система автоматизированного проектирования

Соединитель – электрический соединитель

Схемы соединений – электрические
схемы соединений

Цепи – электрические цепи

ЭМС – электромагнитная совместимость

Целью работы является получение электрических жгутов, удовлетворяющих граничным условиям технологичного жгута.

Для решения поставленной цели и получения технологичных жгутов определим граничные условия.

В качестве граничных условий рассмотрим следующие основные параметры:

- количество соединителей (2-35 для ТУ204);
- количество цепей (1-350 для ТУ204);
- принадлежность цепей к одной группе ЭМС (обеспечение требований ОСТ 1 00406-80);
- размещение большинства позиций жгута на одном борту (левый, правый, по оси);
- транспортабельность;
- возможность выполнения монтажа жгута на борту изделия а, также удобство монтажа;
- защита жгута от ВВФ (учет места прокладки жгута).

ВВЕДЕНИЕ

Конструкция жгутов, входящих в состав БКС, должна обеспечить технологичность монтажа на изделии с минимальным объемом работ по заделке соединителей непосредственно на борту изделия.

Жгут является технологичным, если его можно изготовить на плазу с дальнейшей транспортировкой и монтажом на борту ЛА.

Достаточно сложно выполнить 3D моделирование жгутов, имеющих в своем составе сборные позиции, затрудняется автоматизация процесса проектирования жгутов и БКС в целом, выполнение анализа и учета требований и ограничений, предъявляемых к жгутам.

Актуальной проблемой является автоматизированное получение структурированной информации о трассовой схеме и конструкции изделия.

Биктулов Сергей Владимирович, инженер-конструктор 2 кат., магистр. E-mail: xrulezz@mail.ru

ФОРМИРОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИЧНЫХ ЖГУТОВ

Формирование технологичных жгутов выполняется на основе цифровой логической информации полученной со схем соединений.

Логическая информация формируется на основе схем соединений разработанных в ECAD - (RSD, CreoSchematics), для проектирования электрических схем используется набор параметров, разработанный в УФКБ ПАО «ТУПОЛЕВ» для элементов схем. Справочники содержат типы проводов, кабелей, соединителей и других элементов.

Перед началом формирования технологичных жгутов автоматизированными средствами ms. Access выполняется анализ логической информации на ошибки.

В процессе анализа выявляется ряд серьезных ошибок, которые не всегда способны выявить автоматические проверки ECAD. Перечень выявляемых ошибок:

- неправильно подключены цепи к соединителям вилка/розетка;
- неправильно указано место установки соединителя;
- неправильно указан тип соединителей;
- неправильно заложены провода и кабели (по свивке);
- неправильно подключены провода и кабели (по взаимосвязям оборудования) и т.д.

ВЫДЕЛЕНИЕ ПСЕВДО ЖГУТОВ

Для практического решения задачи логическая информация представляется в виде графа. Математические методы работы с графами хорошо изучены и нашли широкое применение.

На первом этапе по логической информации выполняется нахождение отдельных изолированных подграфов (псевдо жгутов). Задача формирования состава жгута, как правило, первична по отношению к задаче формирования его геометрии, хотя возможны исключения. Отдельный псевдо жгут является прототипом жгута и представляет

собой множество взаимосвязанных между собой позиций.

По логической информации внешней программой, выполняется нахождение n-ого числа псевдо жгутов.

Полученные псевдо жгуты напрямую отражают работу разработчиков схем соединений по формированию жгутов.

Логическая информация с привязкой позиций к псевдо жгутам средствами ms. Access автоматически импортируются в рабочий файл программы для анализа сетей – netdraw. В программе netdraw [1] логическая информация псевдо жгутов визуализируется в виде не связанных подграфов. Вершинами графа являются электрические позиции, а ребрами графа - электрические связи (рис. 1).

Программа netdraw позволяет обрабатывать 32767 вершин и их взаимосвязи [2], жгуты БКС содержат порядка 4000-4500 позиций.

Программа является универсальной и включает широкий функционал для проведения анализа, в том числе по любым пользовательским атрибутам и параметрам взаимосвязей (см. рис. 2).

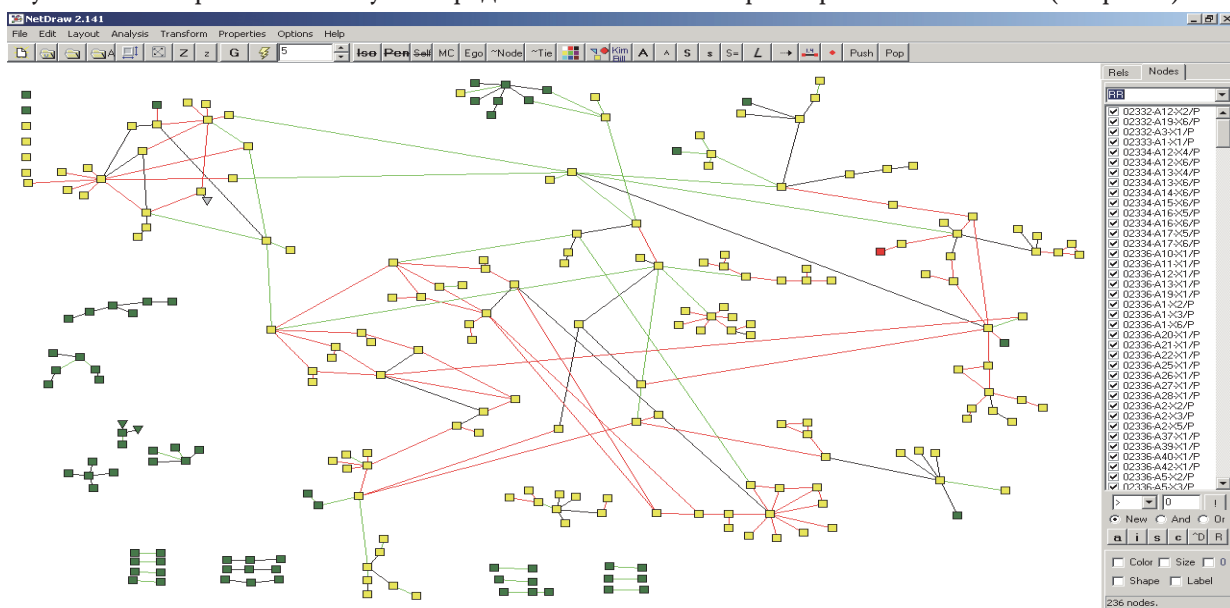


Рис. 1. Логическая информация в виде графа (дуги – электрические связи, вершины – позиции)

Key	Value
RR	03320-E5-X/P
TR	SNC23-10_18R-2-V
NR	Soedinitel
Kont	10
zKont	7
gK	Null
BT	L
MU	09-10
ZD	Nul
US	03320-E5
NU	Svetilnik
gE	3
Et	0
JG	n
pJG	0078

Атрибуты позиций

Relations:
<input checked="" type="checkbox"/> Svs
<input type="checkbox"/> Harn_z
<input type="checkbox"/> Harn_#
<input type="checkbox"/> N
<input type="checkbox"/> DL
<input type="checkbox"/> gE
<input type="checkbox"/> Razriv
<input type="checkbox"/> Chanel
<input type="checkbox"/> JG
<input type="checkbox"/> PriSam
<input type="checkbox"/> *slidi.vna

Атрибуты цепей

Рис. 2. Пользовательские атрибуты для позиций (вершин) и для цепей (дуг)

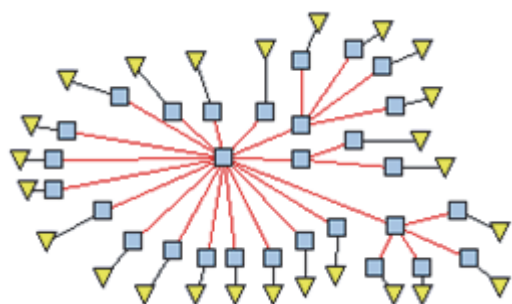


Рис. 3. Пример псевдо жгута

Практическая значимость заключается в визуализации всех взаимосвязей позиций одновременно, что в свою очередь позволяет снизить трудоемкость анализа схем соединений в несколько раз.

Единовременный обзор всех позиций и электрических связей между ними позволяет конструктору:

- быстро получать необходимую информацию;
- выявлять ошибки;
- при формировании технологических жгутов принимать оптимальные решения для выполнения работы.

ФОРМИРОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИЧНЫХ ЖГУТОВ

Формирование технологических жгутов выполняется на основе работы с псевдо жгутами, проводится композиция и декомпозиция псевдо жгутов (множеств, представленных в виде отдельных графов).

Полученные в результате автоматического выделения псевдо жгуты, содержат разное количество позиций и цепей. Исходя из граничных

условий технологических жгутов, псевдо жгуты можно разделить на две группы:

- удовлетворяющие граничным условиям технологического жгута;
- не удовлетворяющие граничным условиям технологического жгута;

На рис. 3 представлен пример псевдо жгута.

Псевдо жгуты, не удовлетворяющие граничным условиям технологического жгута можно разделить на три группы:

- с большим количеством соединителей и цепей (рис. 4);
- с допустимым количеством соединителей и цепей (рис. 5);
- с малым количеством соединителей и цепей (рис. 6).

ДЕКОМПОЗИЦИЯ ПСЕВДО ЖГУТОВ

Декомпозиции подвергаются:

- псевдо жгуты, содержащие большое количество позиций и цепей;
- псевдо жгуты, содержащие допустимое количество позиций и цепей, но не удовлетворяющие остальным граничным условиям;

Указанные псевдо жгуты необходимо разбить на n -ое число псевдо жгутов удовлетворяющих граничным условиям.

Декомпозицию данных псевдо жгутов на несколько малых псевдо жгутов выполняют за счет следующих технических способов:

- «резки» цепей (установка технологического соединителя);
- перераспределения цепей (в случаях, когда существует такая возможность);

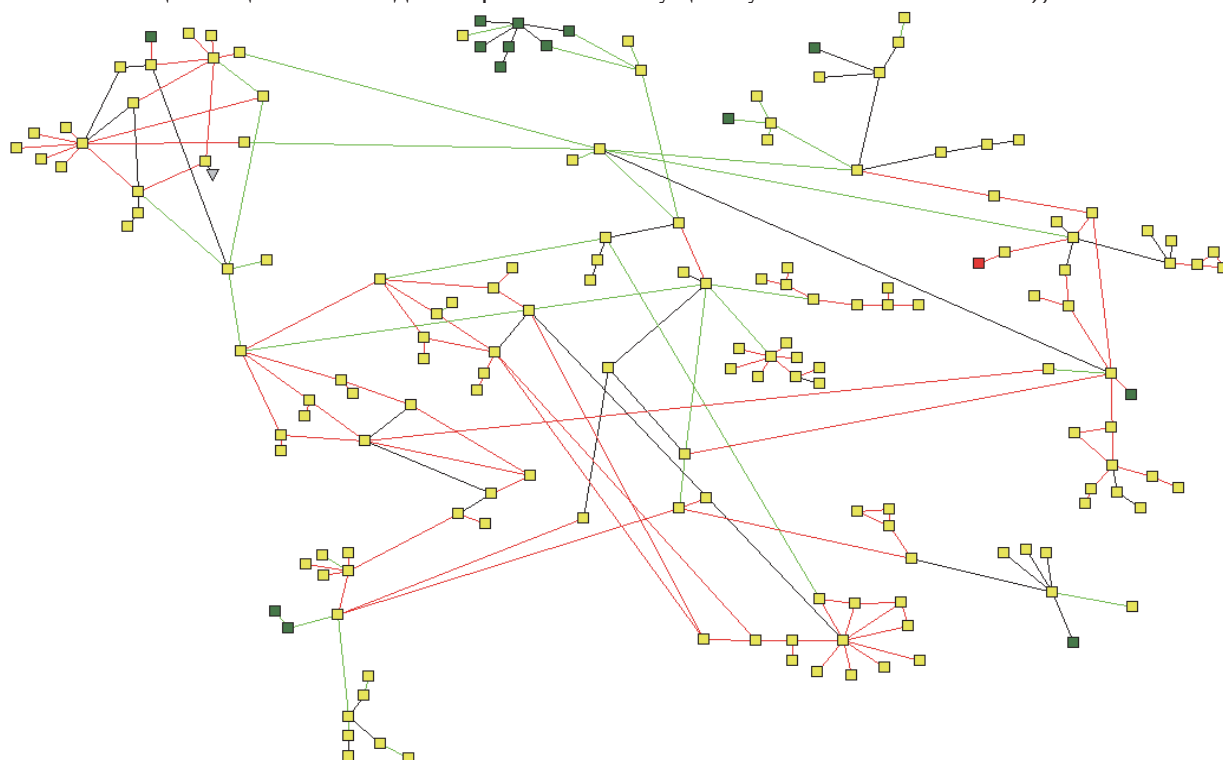


Рис. 4. Псевдо жгут, с большим количеством позиций и цепей

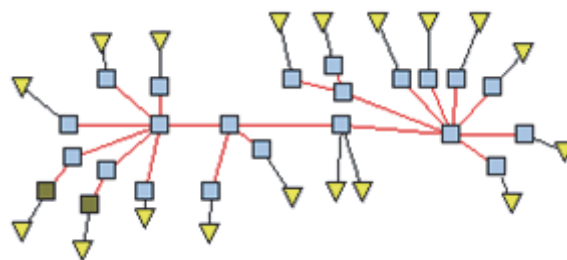


Рис. 5. Псевдо жгут, содержащий допустимое количество позиций и цепей, но не удовлетворяющий остальным граничным условиям

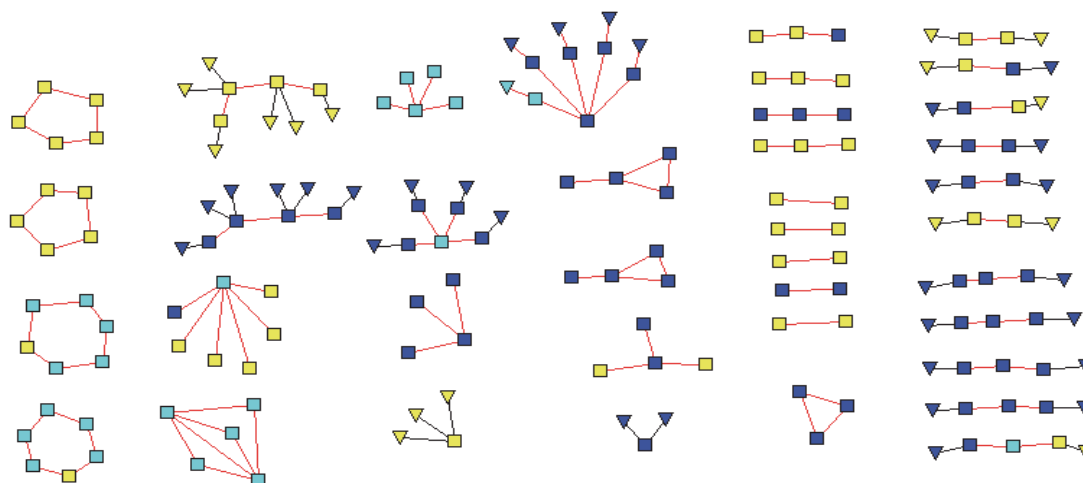


Рис. 6. Псевдо жгуты, с малым количеством позиций и цепей

- замены типа соединителя/клеммной колодки на технологичную с точки зрения заделки;
- включения в электрическую схему новых соединителей и клеммных колодок с целью разделения цепей (например, взамен одной клеммной колодки устанавливаются две).

Задача резки цепей заключается в определении внутри множества доминирующих множеств или множеств наиболее сильно взаимосвязанных между собой. Данную задачу на современном этапе решают несколькими методами:

- перколяционные методы в задаче декомпозиции графа;
- метод Balanced Label Propagation, основанный на алгоритме распространения меток (один из подходов, позволяющий решать задачу разбиения графа на кластерах);
- методами применения генетических алгоритмов (генетический локальный поиск для задачи о разбиении графа на доли ограниченной мощности);
- покоординатное разбиение;
- рекурсивный инерционный метод деления пополам;
- деление сети с использованием кривых Пеано;
- алгоритм Кернигана - Лина;
- Деление с учётом связности (по сути, поиск в ширину). Поиск в ширину (breadth-first search,

BFS) - метод обхода графа и поиска пути в графе. Поиск в ширину является одним из неинформированных алгоритмов поиска и т.д.

Качественно решить задачу декомпозиции, с учетом граничных условий технологического жгута, применяя тот или иной математический метод, представляется невозможным, поскольку одновременно необходимо учитывать несколько параметров и граничных условий (ЭМС, транспортабельность, возможность монтажа и т.д.). Задачу необходимо решать за счет одновременного применения нескольких математических методов, чтобы автоматически сформированные технологичные жгуты удовлетворяли граничным условиям.

Оценить граничное условие - возможность выполнения монтажа жгута на борту изделия становится возможным, только после проведения анализа конструкции (участка, где будет выполняться монтаж полученного жгута). Автоматизировать выполнение данного анализа без наличия полной структурированной информации о конструкции и трассовой схеме не представляется возможным.

КОМПОЗИЦИЯ ПСЕВДО ЖГУТОВ

Псевдо жгуты, содержащие малое количество цепей (малые псевдо жгуты) необходимо объединять с другими малыми псевдо жгутами

для получения псевдо жгута, удовлетворяющего граничным условиям технологичного жгута.

При композиции малых псевдо жгутов необходимо учитывать их расположение на трассовой схеме. Композиция возможна лишь при условии наличия общего участка трассы для рассматриваемых малых псевдо жгутов (рис. 7).

Решить задачу о нахождении общего участка для малых псевдо жгутов возможно тремя способами:

- по трассовой схеме (на этапе формирования жгутов);
- по трассовой схеме (на этапе разработки схем соединений) в схемах соединений заполняется параметр принадлежности цепи/простого жгута к участку трассы;
- исходя из анализа принадлежности позиций псевдо жгутов к БРЭО. Данный анализ может быть выполнен автоматически, путем объединения малых псевдо жгутов, позиции которых принадлежат одним устройствам.

Первый способ является самым трудоемким и не позволяет автоматизировать процесс композиции жгутов, работу по определению общего участка трассы необходимо проводить вручную.

С точки зрения автоматизации и сокращения трудоемкости работ оптимальным вариантом является второй подход. Трудоемкость сокра-

щается на этапе формирования технологичных жгутов и на этапе внесения изменений в схемы соединений. Атрибут позволяет визуальнo для малых псевдо жгутов в модели графа отобразить принадлежность к участкам трассы, либо автоматически сформировать список псевдо жгутов, имеющих общие участки трассы.

Третий способ не позволяет однозначно определить наличие общего участка трассы, исходя из принадлежности позиций псевдо жгутов одному устройству. Для псевдо жгутов, не принадлежащих устройствам, придется выполнять поиск общих участков по трассовой схеме. Данный способ позволит автоматически определить псевдо жгуты позиции, которых принадлежат одним и тем же устройствам (см. рис. 8).

При композиции псевдо жгутов на основе малых жгутов, имеющих общие участки трассы, необходимо оценивать остальные граничные условия технологичного жгута.

Автоматически возможно выполнить оценку следующих граничных условий:

- количество позиций 2-35;
- количество цепей 1-350;
- принадлежность цепей к одной группе ЭМС;
- размещение большинства позиций жгута на одном борту;

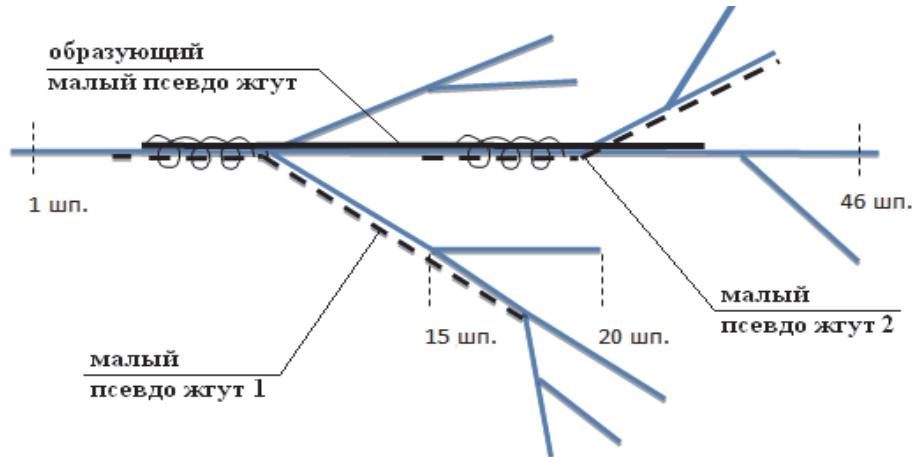


Рис. 7. Малые псевдо жгуты, на трассовой схеме

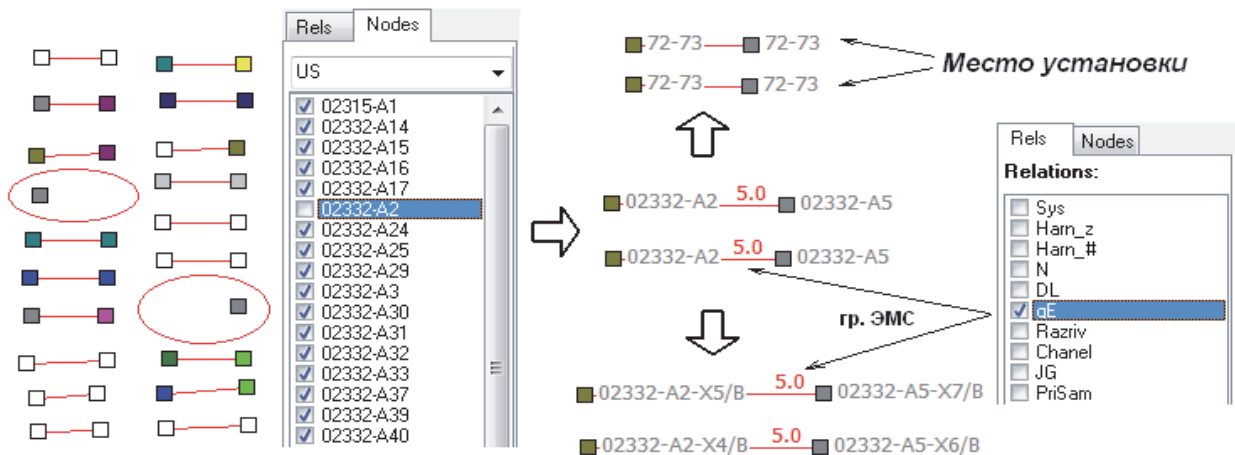


Рис. 8. Малые псевдо жгуты, принадлежащие одному и тому же устройству

- транспортабельность (по предварительному расчету массы);

- защита жгута от ВВФ (по обозначению зоны прокладки в маркировке простого жгута).

Оценить граничное условие - возможность выполнения монтажа жгута на борту изделия становится возможным только после проведения анализа конструкции. Автоматизировать выполнение данного анализа без наличия полной структурированной информации о конструкции и электрических трассах не представляется возможным.

УТОЧНЕНИЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СХЕМ

По результатам этапа формирования технологических жгутов формируется перечень предложений по изменению схем соединений, например:

- перечень цепей для «резки»;
- перечень цепей для переподключения на другие позиции;
- перечень позиций, у которых необходимо заменить тип соединителя;
- перечень вновь вводимых позиций, в том числе позиций электросборок (уточняется состав электросборок) и т.д.

Предложенные изменения согласуются с разработчиками электрических схем, после чего вносятся изменения в схемы соединений.

Исходя из срочности работ и объема изменений согласуется глубина проводимых изменений, в результате определяется количество оставшихся сборных позиций на борту ЛА.

По сформированным изменениям, выполняется уточнение электрических схем: соединений и электрическихборок.

Изменения могут затронуть изменение типов соединителей, установку дополнительных соединителей и клеммных колодок, внесение новых соединителей и т.д.

При внесении изменений могут быть допущены ошибки, часть ошибок будет выявлена при построении новой модели графа.

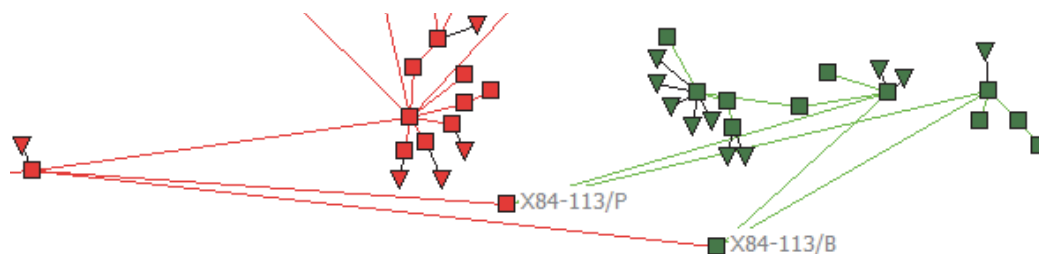


Рис. 9 а. Ошибка, допущенная при введении технологического соединителя

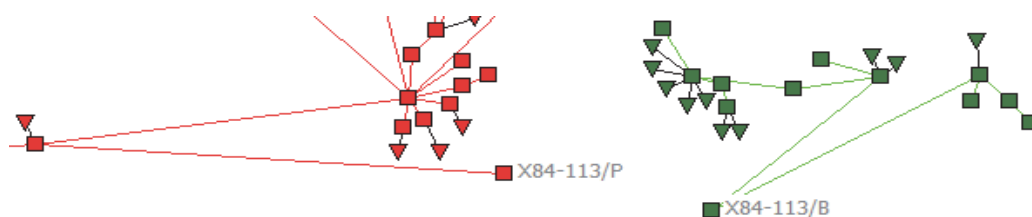


Рис. 9 б. Разделение жгутов технологическим соединителем без ошибки

На рис. 9 а, при введении технологического соединителя в схему соединений одной из систем, была допущена ошибка - в обозначении вилка/розетка для технологического соединителя. В результате автоматического формирования модели графа данная ошибка сразу выявляется.

На рис. 9 б показано разделение жгутов технологическим соединителем без ошибки.

В случае, если представленные изменения для получения технологических жгутов затрагивают изменения электрическихборок и электрических стеллажей выполняется уточнение их конструкции.

ПРОВЕРКА ВНЕСЕННЫХ ИЗМЕНЕНИЙ

По логической информации измененных схем соединений автоматически формируется состав технологических жгутов.

В случае если полученный результат отличается от ожидаемого, это однозначно указывает о допущенных ошибках в процессе внесения изменений в электрические схемы, либо в расчетах, допущенных на этапе формирования технологических жгутов.

На основе изменений, внесенных в схемы соединений, автоматически формируется состав технологических жгутов. Состав представлен таблицами в БД:

- принадлежность позиций к жгутам;
- принадлежность простых жгутов (цепей) к жгутам.

На основе данных таблиц и логической информации с помощью программы конвертера формируется файл логической информации для передачи в модуль электрической маршрутизации.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Этап формирования технологических жгутов позволяет оценить сложившуюся ситуацию и объ-

ем работы, необходимый для получения технологичных жгутов, при этом определяются с выбором оптимального варианта. Например, установка большого числа соединителей приводит к увеличению массы и повышает трудоемкость выполняемых работ, но позволяет сделать жгуты технологичными. Гибкость данного подхода заключается в том, что процесс оптимизации (изменений) становится контролируемым и управляемым.

Данный этап работ, позволяет оперативно выявить ошибки и просчеты, выявление которых на более поздних этапах чревато дополнительными трудозатратами, стоимостью и финансовыми потерями.

В современных КБ жгуты, как правило, формируют напрямую в модуле электрической маршрутизации [3] (по логической информации, полученной со схем соединений), и трассовой схеме. Получение технологичных жгутов с помощью 3D моделирования является более трудоемким процессом, поскольку ошибки выявляются на этапе 3D моделирования, наличие ошибок требует возврата на этап разработки схем соединений по каждому отдельному жгуту, а не в целом.

При выполнении этапа формирования

технологичных жгутов за счет проведения анализа и автоматической обработки логической информации, полученной с ECAD, снижается трудоемкость, стоимость изготовления изделия и стоимость устранения ошибки, появляется возможность сократить время выпуска конструкторской документации.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Прохоров А., Ларичев Н. Компьютерная визуализация социальных сетей // Электронный журнал «Компьютер пресс». 2006. №9. URL: <http://compress.ru/article.aspx?id=16593&iid=771#NetDraw> (дата обращения: 30.05.2016).
2. Быков И.А. Специальное программное обеспечение сетевых исследований // Электронная библиотека «Знание». URL: <http://knigi.link/mejdunarodnyie-otnosheniya-nauka/spetsialnoe-programmnoe-obespechenie-setevyih-35757.html> (дата обращения: 30.05.2016).
3. Акимов А., Кононов А. Сквозная система проектирования электрифицированных систем в аэрокосмической отрасли на примере связки E3.series и NX // Электронный журнал «САПР и графика». URL: <http://www.sapr.ru/Article.aspx?id=22131> (дата обращения: 30.05.2016).

DEVELOPMENT, ELECTRONIC REPRESENTATION AND OVERALL EXPERIENCE OF AIRCRAFT CABLE NETWORKS

© 2016 S.V. Biktulov

Ulyanovsk Branch of Joint Stock Company «Tupolev»

The article describes the technology of the automated receipt tech electrical harnesses onboard cable network on the basis of logical information obtained from ECAD. Formation technological electrical harnesses is performed by analyzing the logical information and works with isolated subgraphs. Analysis and formation of the technological harness conducted in programs - ms. Access and Netdraw.

Keywords: CAD, aircraft's cable network, designing harnesses, graphs, isolated subgraphs, network analysis, Routed Systems Designer, ProEngineer, ECAD, netdraw, airplane, diagrams of monitoring of the airplane, error control, error checking, Tupolev.