

УДК 629.7.017

## РАЗРАБОТКА КОНЦЕПТУАЛЬНОЙ МОДЕЛИ ЭТАПОВ МОНТАЖА, КОНТРОЛЯ И ИСПЫТАНИЙ БОРТОВОГО ЭЛЕКТРОФИЦИРОВАННОГО ОБОРУДОВАНИЯ ВОЗДУШНЫХ СУДОВ

© 2014 А.В. Кириллов

Самарский государственный аэрокосмический университет  
имени академика С. П. Королёва

Поступила в редакцию 09.09.2014

В статье рассматриваются вопросы монтажа, контроля и испытаний бортового электрофицированного оборудования воздушных судов. Сообщается, что наличие человеческого фактора в электро-монтажных работах повышает вероятность отказов и трудоёмкость приёмо-сдаточных работ в цехе окончательной сборки. В статье предлагаются модели, альтернативные существующим, для повышения эффективности электро-монтажного производства.

Ключевые слова: *электросборка, монтаж, моделирование, технологический процесс, контроль*

Современные воздушные суда (ВС) обеспечены бортовыми комплексами электрофицированного оборудования, значительно расширяющие их функциональные возможности. Мощные электропривода заменяют гидроусилители (система управления самолёта Airbus A-380); комплексы пилотирования и навигации управляют ВС без участия человека. Однако отказ в работе оборудования может иметь катастрофические последствия, например:

- 13 января 1990 г. потерпел катастрофу Ту-134А компании Аэрофлот;
- 1 июня 2009 г. над Атлантикой произошла катастрофа самолета компании "Эйр-Франс";
- 7 сентября 2010 г. самолёт ТУ-154М совершил аварийную посадку на непригодную для самолётов этого типа взлётно-посадочную полосу в Ижме и др.

Комплексы электрофицированного оборудования многократно резервируются, так почему отказы всё же происходят? Ответ – наличие человеческого фактора в электро-монтажных работах при производстве и техническом обслуживании ВС. Если комплектующие компоненты электрооборудования: реле, силовые контакторы, трансформаторы, печатные платы и др. производятся с применением робототехники и имеют высокую надёжность, то изготовление из них электросборок выполняется, как правило, вручную. При этом возрастает значение квалификации, самодисциплины и психофизиологических

особенностей электро-монтажника.

Исследования показали, что причинами низкого уровня автоматизации сборочно-монтажных работ являются:

- специфика монтажа как сложного технологического процесса;
- мелкосерийность производства и, как следствие, отсутствие детальной проработки технологических процессов.

Также установлено, что наиболее эффективной формой организации рабочего места электро-монтажника является система «человек + машина». Здесь человек выполняет сложные функции по сборке объекта монтажа, а машина:

- обеспечивает электро-монтажника текущей информацией (подсказки, комментарии, доступ к базам данных сборочных единиц, деталей, правилам и стандартам, регламентирующим текущую операцию монтажа, отображение монтажных схем или их укрупнённых фрагментов);
- контролирует точность соединения – соответствие всех соединений проводов, контакторов, реле и других элементов технической документации (схеме электрических соединений). Сюда же относится контроль ложных перемычек.
- контролирует качество соединения. Для соединения типа «наконечник-провод» необходимо контролировать качество пайки или обжимки наконечника. Для соединения типа «клемма-клеммная колодка» усилие затяжки соединительной гайки, а также, не забыл ли монтажник установить шайбу и контргайку.

*Кириллов Алексей Владимирович, кандидат технических наук, доцент кафедры эксплуатации авиационной техники. E-mail: al63-2010@mail.ru*

Здесь необходимо сделать важное замечание – указанный контроль имеет цель не фиксировать производственный брак, а не допустить его появления. То есть происходит упреждение проявления брака на поздних этапах оценки состояния готовых изделий. Другими словами, пока сборочно-монтажное производство остаётся человеко-наполненной системой, необходима организация гибких технологических процессов монтажа на базе современных информационных технологий, в которых операции промежуточного контроля используются для коррекции действий электромонтажника с целью исключения брака. Однако очевидно, что введение дополнительных операций промежуточного контроля повышает трудоёмкость техпроцесса. Поэтому одной из ответственных задач является: оптимальный выбор контрольных точек или их наборов при выполнении технологических операций, а также методик выполнения контроля и средств технического обеспечения.

В целях создания универсальной методики синтеза подобных технологических процессов автоматизированного монтажа, контроля и испытаний для всего множества электросборок, первым этапом необходимо разработать обобщённую концептуальную модель электромонтажного производства, охватывающую объекты монтажа, технологические процессы и систему производства в целом. Основа такой модели базируется на системном подходе, при котором моделируемые объекты разной физической природы имеют одинаковые механизмы формального представления для определения их взаимного влияния. Разработкам в области создания автоматизированных систем управления технологическими процессами (АСУ ТП) в авиационной области посвящены работы проф. А. Н. Коптева, А. А. Миненкова и др.

В рамках такого подхода предлагается концептуальная модель, базирующаяся на введённом У. Гренандером [1] понятии «образ». Образ системы электромонтажного производства формируется на базе следующих образующих:

1. Технологические процессы (пайка, обжимка, монтаж);
2. Объекты производства (электросборки, распределительные коробки, электрощитки, пульта управления, бортовые жгуты и т.д.);
3. Производственные участки цеха (технологические бюро, лаборатории, рабочие места и т.д.);
4. Система диагностического управления монтажом.

Последовательно и кратко рассмотрим все эти составляющие. Для формализации технологического процесса монтажа рассмотрим его как

набор последовательно выполняемых, логически завершённых *технологических операций*. При этом под технологической операцией будем понимать процесс перевода объекта монтажа из одного состояния в другое, отличное от предыдущего определёнными признаками. На начальном этапе формализации используем понятие *пространство состояний* [2] – как множество всех возможных дискретных состояний объекта монтажа, начиная от набора комплектующих, включая все промежуточные состояния, получаемые после выполнения очередной технологической операции и завершая законченной электросборкой. Стоит сделать важное замечание – пространство состояний также включает в себя набор всех возможных *ложных состояний* – таких, которые принимает объект монтажа в результате ошибки при выполнении очередной технологической операции. Обозначим пространство состояний как множество  $U$ , множество всех верных состояний объекта как  $T$  и множество всех ложных состояний  $F$ . Тогда:

$$U = T \cup F, \quad (1)$$

причём множества  $T$  и  $F$  являются взаимоисключающими, то есть не существует состояния объекта монтажа, принадлежащее одновременно множествам  $T$  и  $F$ . Таким образом, технологический процесс изготовления электросборки можно рассматривать как процесс *движения в пространстве состояний*. Тогда технологический процесс монтажа из  $n$  операций можно представить в виде переходов:

$$U : u_0 \rightarrow u_1 \rightarrow u_2 \rightarrow \dots \rightarrow u_n, \quad (2)$$

где:  $u_0$  - исходное состояние объекта монтажа,  $u_n$  - состояние объекта монтажа после завершения технологического процесса сборки.

Большой интерес в выражении (2) представляет промежуточное состояние  $u_i$ , которое объект монтажа принимает после выполнения  $i$ -й технологической операции. Поскольку ошибка электромонтажника может возникнуть только в процессе выполнения технологической операции, то будет справедливо следующее выражение, записанное в упрощённом виде:

$$u_i = \begin{cases} t_i, & \text{если ошибки монтажа нет} \\ f_i, & \text{если ошибка монтажа есть} \end{cases}, \quad (3)$$

где:  $t_i \in T$ ,  $f_i \in F$ .

В соответствии с выражением (3) если выполняется равенство  $u_i = f_i$ , то после выполнения

« $i+1$ »-й технологической операции очевидно выполнение равенства  $u_{i+1} = f'_{i+1}$ . Обратите внимание на то, что состояние  $f'_{i+1} \in F$  не является состоянием  $f_{i+1} \in F$ . Таким образом, состояние  $u_n$  в выражении (2) не всегда будет соответствовать кондиционному состоянию электросборки по завершению техпроцесса монтажа. Подобное представление технологического процесса монтажа позволяет выполнять его анализ для рационального определения точек промежуточного контроля и их необходимого количества.

Известными всем моделями объектов электромонтажного производства являются электрические схемы. Однако схемы не обладают обобщённой структурой и изменяются для решения отдельных практических задач. Например, одна и та же электросборка для конструктора представляется в виде принципиальной электрической схемы, для электромонтажника – схемой электрических соединений. При этом до сих пор не существует схем, предназначенных для задач диагностики и контроля, поэтому модель объекта монтажа должна быть пригодна для решения задачи оценки его технического состояния.

Для формального представления объекта монтажа удобно использовать понятие «сеть» - структурное объединение стандартных элементов и блоков [2]. Сеть конкретного объекта определяется составом и структурой. Состав характеризуется количественной сложностью сети  $\Delta$ :

$$\Delta = \{a_1, a_2, a_3, \dots, a_m\} \quad (4)$$

Правая часть выражения (1) представляет собой простое некоторое множество комплектов элементов объекта монтажа, не имеющее структуры. Структура же объекта монтажа представляет собой множество  $\beta$  соединений, существующие между всеми или некоторыми узлами стандартных элементов  $a_m$ . Множество  $\beta$  может быть задано с помощью несингулярной матрицы соединений. Элементами матрицы являются «1» и «0», указывающие соответственно на наличие или отсутствие соединений между определёнными компонентами  $a_m$ . Подобное представление объектов монтажа позволит «машине» решить задачу контроля точности монтажа.

Качество монтажа в большей степени определяется действиями электромонтажника, для моделирования действий которого может быть применима теория принятия решений при нечётких исходных условиях [3]. При этом состояние объекта монтажа после завершения

технологического процесса  $u_n$  задаётся не идеальной сетью, а как нечёткая цель  $G_u$ , находящаяся в диапазоне технологических допусков и ограничений. Действия электромонтажника по выполнению монтажа представляются конечным множеством значений управляющих воздействий  $D$ . Если состояние объекта монтажа и действия электромонтажника в каждый отдельный момент времени обозначить  $u_t$  и  $d_t$  соответственно, то технологический процесс монтажа описывается системой уравнений состояния:

$$\begin{cases} u_{t+1} = f(u_t, d_t) \\ t = 0, 1, 2, \dots, n \end{cases} \quad (5)$$

Действия электромонтажника при выполнении каждой отдельной операции подчиняются некоторому нечёткому ограничению множества  $D$  с функцией принадлежности  $\mu_t(d_t)$ . Задача, таким образом, заключается в том, чтобы выбрать такую последовательность действий  $(d_0, d_1, \dots, d_{n-1})$ , чтобы «удовлетворить» нечёткие ограничения и «обеспечить» достижение нечёткой цели  $G_u$ . В соответствии с подходом Беллмана - Заде нечёткое решение такой задачи можно представить в виде:

$$\begin{aligned} \mu(d_1, d_2, \dots, d_{n-1}) = \\ = \min \{ \mu_0(d_0), \mu_1(d_1), \dots, \mu_{n-1}(d_{n-1}), \mu_{G_u}(u_n) \} \end{aligned} \quad (6)$$

Тогда максимизирующее решение задачи, то есть последовательность действий  $(\bar{d}_0, \bar{d}_1, \dots, \bar{d}_{n-1})$ , имеющую максимальную степень принадлежности к нечёткому решению (6) имеет вид:

$$\begin{aligned} \mu_{\max}(\bar{d}_1, \bar{d}_2, \dots, \bar{d}_{n-1}) = \\ = \max_{d_0, \dots, d_{n-1}} \min \{ \mu_0(d_0), \mu_1(d_1), \dots, \mu_{n-1}(d_{n-1}), \mu_{G_u}(u_n) \} \end{aligned} \quad (7)$$

Интерпретация выражения (7) состоит в том, что в случае минимальных отклонения электромонтажника от ограничений (требований) при выполнении каждой технологической операции достигается максимальное качество объекта монтажа.

В качестве примера рассмотрим производственных участков приведём рабочее место электромонтажника. Оно представляется как набор технических средств (ТС): паяльная станция,

стандартный и специальный инструмент, приспособления, контрольно-измерительное оборудование, техническая документация и т.д. Техническая вооружённость рабочего места во многом определяет качество, точность и трудоёмкость выполнения электромонтажных работ. С другой стороны перенасыщенность оборудования снижает экономическую эффективность рабочего места (затраты на комплектацию, метрологическую поверку, регламентные работы и т.д.). В этом смысле модель рабочего места электромонтажника должна обеспечивать разумную компоновку рабочего места.

Задачу автоматизации в технологическом процессе монтажа можно задать как *управление движением* в пространстве состояний. Любой процесс управления обеспечен наличием обратной связи, необходимой для формирования корректирующих воздействий на объект управления. В нашем случае под обратной связью будем понимать оценку текущего технического состояния возможными методами диагностики. Таким образом, вводится понятие *система диагностического управления монтажом*.

Более подробно описать процессы движения в пространстве состояний можно с помощью сети Петри [4]. Здесь сеть Петри представляется как граф, вершины которого являются текущими состояниями объекта монтажа, а переходы сети – дискретными технологическими операциями электромонтажника. Как известно, сеть Петри содержит маркер, который под средством срабатывания переходов перемещается по сети от одной вершины к другой. Очевидно, что в процессе монтажа множество возможных состояний  $U$  велико, при этом экспертная система оценки сможет определить текущее состояние далеко не после каждой технологической операции, то

есть не всегда сразу можно определить точку отклонения от верной траектории движения. Для упрощения процесса распознавания текущего состояния введём в сеть маркеры как *операторы контроля*. В соответствии со своим принципом маркер перемещается из одной вершины в другую при срабатывании соответствующего перехода. Таким образом, в соответствии с выражением (3), после выполнения  $m$  технологических операций (срабатываний переходов) полученное состояние  $u_m$  будет обладать маркером только в том случае, если все операции верные. Таким образом, можно идентифицируя маркер в контрольных точках можно определить наличие или отсутствие ошибок монтажа в целой цепочке из  $m$  операций.

**Выводы:** предложенные модели электромонтажного производства обеспечивают наиболее глубокую проработку технологических операций с целью повышения качества и надёжности монтажа бортового электрофицированного оборудования.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Гренандер, У. Лекции по теории образов. Том 1 Синтез образов / – М.: Издательство МИР, 1979. 382 с.
2. Коптев, А.Н. Монтаж, контроль и испытание электротехнического оборудования ЛА / А.Н. Коптев, А.А. Миненков, Б.Н. Марьин, Ю.Л. Иванов – М.: Машиностроение, 1998. 296 с.
3. Орловский, С.А. Проблемы принятия решений при нечёткой исходной информации. – М.: Наука, Гл. ред. физ.-мат. лит.-ры, 1981. 208 с.
4. Кьюсиак, Э. – Искусственный интеллект. Применение в интегрированных производственных системах / под ред. Э. Кьюсиака, под ред. А.И. Даценко, Е.В. Левнера – М.: Машиностроение, 1991. 544 с.

## DEVELOPMENT THE CONCEPTUAL MODEL OF MOUNTING, CONTROL AND TESTING STAGES OF AIRCRAFTS ONBOARD ELECTRIC EQUIPMENT

© 2014 A.V. Kirillov

Samara State Aerospace University named after academician of S.P. Korolyov

In article questions of mounting, control and testing of aircrafts onboard electrical equipment are considered. It is reported that existence of a human factor in electric mounting work increases probability of refusals and labor input of acceptance works in final assembly shop. In article the models, alternative to existing, for increase the efficiency of electric assembly production are offered.

Key words: *electric assembly, mounting, modeling, technological process, control*

Aleksey Kirillov, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor at the Aircraft Maintenance Department. E-mail: al63-2010@mail.ru