

УДК 51.74

## МАТЕМАТИЧЕСКИЕ МОДЕЛИ ОБЪЕКТОВ КОНТРОЛЯ И ДИАГНОСТИКИ ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ СИСТЕМ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ

© 2023 М.Х. Дуббесса

Самарский государственный аэрокосмический университет имени академика С.П. Королёва,  
г. Самара, Россия

Статья поступила в редакцию 26.01.2023

В статье проведено исследование особенностей методов, применяемых для контроля и диагностики технического состояния бортовых электрических систем летательных аппаратов на примере аналитических, табличных и логических моделей. Выделены достоинства и недостатки этих моделей. По результатам анализа установлено, что в современных условиях интеллектуализации бортовых электрических систем, а в частности систем электроснабжения и формирования единого информационного пространства целесообразно использовать комплексную контрольно-диагностическую систему.

*Ключевые слова:* контроль, диагностика, модель, бортовая электрическая система, летательный аппарат.

DOI: 10.37313/1990-5378-2023-25-1-36-42

Одним из аспектов нормативно-правового регулирования использования летательных аппаратов (ЛА) в соответствии со стандартами и рекомендуемой практикой технической документации является обеспечение безопасности их производства и производственной инфраструктуры. Технология изготовления определяет, насколько могут быть реализованы потенциальные возможности конструкции. Статистика свидетельствует, что до 80% отказов в работе изделий возникает при их изготовлении на заводах-изготовителей [1]. На данном этапе надежность зависит от обоснованности и полноты требований конструкторской и технологической документации на показатели качества деталей, методов контроля и испытаний [2].

К основным потенциально опасным объектам авиационной техники относятся системы электроснабжения (СЭС). Далее будем смотреть проблемы БЭС на примере СЭС. Большинство аварий, связанных со СЭС ЛА, имеет скрытый характер и проявляется лишь после соответствующих контроля или испытаний. Основными причинами возникновения аварий и низкой энергоэффективности СЭС ЛА являются: игнорирование фактора влияния качества напряжения питания и режимов нагрузки на надежность и безотказность СЭС ЛА, недостаточный объем информации о техническом состоянии элементов, отсутствие эффективной непрерывной защиты источников питания, несвоевременное выявление и устранение дефектов, некачественный монтаж оборудования.

*Дуббесса Мулубиркан Хайле, аспирант.  
E-mail: muluselam@mail.ru*

Кроме того, в настоящее время отмечается постоянно растущий спрос на электроэнергию в ЛА. Современные ЛА становятся более электрическими и требуют использования различных видов источники электрической энергии как новых типов химических (аккумуляторных батареи 28В) и генераторы переменного тока переменной частоты 200В, 350~800Гц с различными преобразователями электрической энергии [3–5].

В данном контексте поддержка надежной работы оборудования электроэнергетических систем и электрических сетей ЛА, а также обеспечение качества электрических параметров СЭС ЛА в условиях переходных процессов в нормальных, ненормальных и аварийных режимах работы является стратегической задачей, которая предполагает необходимость эффективного разрешения комплексной проблемы контроля, диагностики, оценки и обеспечения надежности СЭС ЛА. Целью контроля и диагностики являются обеспечение рациональной производства СЭС ЛА при заданных показателях надежности и сокращении расходов на его проверки и испытания. Эта цель достигается путем управления техническим состоянием электрооборудования в процессе производства, что позволяет выполнять задачи оценки и оценивания состояния СЭС ЛА в соответствии с данными контроля и диагностики. Контроль и диагностика проводятся, как правило, с использованием мобильных или переносных технических средств, а также путем установления специального оборудования в реальном режиме времени (on-line) [6].

Внедрение эффективных систем контроля и диагностирования СЭС особенно актуально для современного ЛА, требующих надежных конструкции, крепеж элементов и совершенство технологии их соединений. Выполнение высоконагруженных соединений является одним из наиболее ответственных и трудоемких этапов монтажа СЭС ЛА.

Необходимо отметить, что сложность процессов контроля и диагностики СЭС ЛА обусловила появление значительного количества различных методов и подходов, каждый из которых имеет свои преимущества, недостатки и сферу использования. Наиболее распространенными контрольно-диагностическими моделями являются аналитические, табличные и логические модели, которые позволяют обеспечивать выявление дефектов на работающем или выведенном из работы для обследования (но неразобранном) оборудовании; прогнозировать развитие дефектов, оценивать их опасность и общее состояние ключевых узлов; создавать базу для подготовки рекомендаций по дальнейшей эксплуатации и техническому обслуживанию отдельных модулей (например, немедленный вывод в ремонт, смещение сроков плановых ремонтов, работа без ограничений и т.д.).

В то же время необходимо отметить, что начало XXI века ознаменовалось появлением новой концепции энергоснабжения и энергообеспечения в различных отраслях промышленности, в том числе и в авиации, основу которой составляют принципы энергоэффективности, интеллектуальные энергетические системы и новые источники генерации энергии. Эти сдвиги обуславливают необходимость пересмотра и переосмысления методов контроля и диагностики, поскольку с помощью использования новейших технологий интеллектуальной сети (Smart Grid) электроэнергетические системы дополняются «искусственным интеллектом», что позволяет существенно повысить эффективность их функционирования.

Таким образом возникает настоятельная необходимость исследования эффективности и надежности моделей контроля и диагностирования состояния объектов СЭС ЛА, учитывая существующие тенденции, касающиеся ужесточения требований к эффективности процессов контроля и диагностики за счет автоматизации процесса измерений и регистрации, уменьшения количества обслуживающего персонала и повышения скорости получения оперативной информации о техническом состоянии электрооборудования ЛА, что в целом обуславливает актуальность, теоретическую и практическую значимость темы данной статьи.

Значительный вклад в решение вопросов разработки научно-технических основ контро-

ля и диагностирования технического состояния систем электроснабжения и распределения на ЛА внесли такие отечественные и зарубежные ученые как: Александровская, Л.Н., Воробьев В., Смирнов Н.Н., Чинючин Ю.И., Стогний Б.С., Алексеев Б.А., Boss P., Ecknauer E., Gysi R., Knab HJ, Leibfried Th. и др [7–9].

Активно развиваются и внедряются комплексные системы контроля и диагностики энергетических систем ЛА, разработанные в России и других странах Мира. Комплекс контроля и диагностирования, например, основной изоляции трансформаторов на базе информационно-технического комплекса «Регина», системы SAFE-T, TDM, СУМ-ТО. Существует также ряд разработок США и стран Евросоюза (системы TPAS, Siemens TMDS, ABB TEC, AREVA T&D MS 3000).

В то же время указанные системы контроля и диагностирования имеют достаточно высокую стоимость аппаратного и программного обеспечения, кроме того, алгоритмы их работы не всегда позволяют достоверно оценивать техническое состояние элементов и составных частей СЭС ЛА, поскольку они базируются на показателях предельного контроля за измеряемыми диагностическими параметрами.

Итак, вышеприведенные обстоятельства предопределили цель проводимого исследования, которая заключается в изучении особенностей методов, используемых для контроля и диагностики технического состояния СЭС ЛА на примере аналитических, табличных и логических моделей.

### ЛОГИЧЕСКИЕ МОДЕЛИ КОНТРОЛЯ И ДИАГНОСТИРОВАНИЯ ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ СЭС ЛА

Логистическая модель рассматривает в целом архитектуру СЭС ЛА, которая обобщенно понимается как структура и алгоритм функционирования ее определенных элементов. В функциональном аспекте структура исследуемого объекта представляется в виде совокупности взаимосвязанных одно функциональных узлов, предназначенных для выполнения простых функций, затем определяются необходимые взаимосвязи между ними, технические параметры и характеристики каждого узла. Алгоритм функционирования отражает характер и последовательность взаимодействия между узлами при реализации закона функционирования, то есть внутреннее поведение объекта.

Перед процессом контроля и диагностирования состояния СЭС ЛА на основании модели соединений заранее составляется структурно-логическая схема надежности системы, которая отражает состав ее элементов, формализацию

связей между ними и особенности их взаимодействия. Связи между элементами схемы представляются в виде последовательного, параллельного и комбинированного соединений. При этом с целью расчета надежности используется выражение для простых последовательных и параллельных структур, а в случае смешанных схем проводится поэтапный эквивалентный расчет схемы в известной структуре. В тоже время необходимо иметь в виду, что параллельные и последовательные соединения в контексте надежности могут не совпадать со схемами соединения в электрических схемах.

На рис. 1 в качестве примера приведена функционально-логическая модель системы предпускового контроля двигателя внутреннего сгорания (ДВС) энергетической установки ЛА, в которой, в соответствии с логикой работы системы электрического пуска двигателя, дополнительно введен блок управления режимом работы масло закачивающего насоса; блок управления режимом работы аккумуляторных батарей; блок защиты двигателя от нарушения технологии подготовки пуска, который состоит из четырех датчиков (уровня охлаждающей жидкости и масла, температуры и давления масла) [10].

Один из главных недостатков этого метода заключается в том, что задача синтеза архитектуры современных СЭС ЛА в целом формализуется трудно и в наше время ее решают, как правило, эвристически - на основе опыта и интуиции разработчика. Кроме того, решение задачи затруднено из-за большого количества

альтернативных вариантов, поскольку современная элементная база СЭС - это существенно неоднородной базис для синтеза, что делает возможным использование как простых компонентов, так и сложных микроэлектронных изделий, а также позволяет строить цифровую аппаратуру как по принципу «жесткой логики» (когда структура устройства однозначно определяет алгоритм функционирования), так и по принципу «программируемой логики» (когда при фиксированной структуре аппаратных средств возможна реализация различных алгоритмов) [11,12]. В последнем случае появляются многочисленные варианты распределения функций между аппаратными и программными средствами. Это дополнительно усложняет задачи контроля и диагностирования, поскольку необходимо выполнять сравнительную оценку вариантов как по составу и характеристикам аппаратных средств, так и по параметрам программного обеспечения.

Кроме того, к недостатку этих моделей можно отнести достаточно грубые предположения. Например, все неисправности считаются однократными, либо же допускается, что вероятность появления в системе единичных дефектов значительно выше вероятности одновременного появления двух и более дефектов.

Результатом решения задач контроля и диагностирования состояния СЭС ЛА с использованием логической модели является построенная на функционально-логическом уровне модель структуры СЭС  $M_c$  и модель алгоритма ее функционирования  $M_a$ , первая из которых отражает

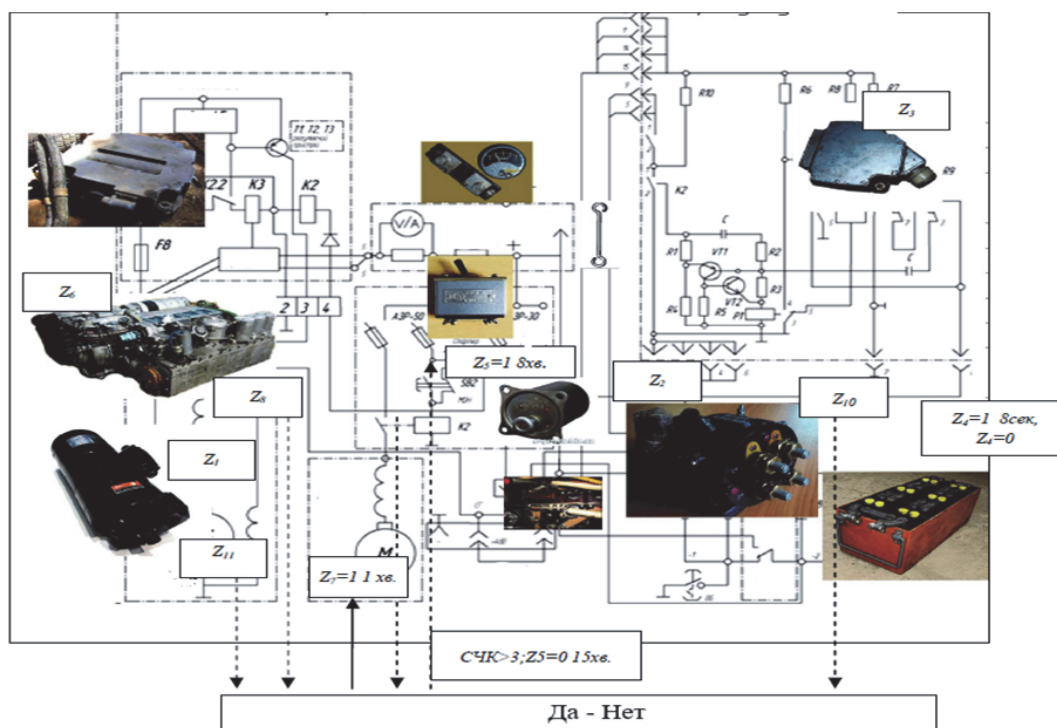


Рис. 1. Функционально-логическая модель системы предпускового контроля ДВС

наличие функциональных узлов и взаимосвязи между ними, а вторая описывает алгоритм функционирования, часто без конкретизации аппаратной реализации. Математическую модель объекта функционального аспекта представляют в виде некоторого математического оператора  $F_1$ , который превращает вектор  $\vec{Z}$  параметров моделей  $M_c$  и  $M_a$  и вектор внешних воздействий  $\vec{Q}$  в вектор выходных параметров  $\vec{Y}$ :

$$\vec{Y} = F_1(\vec{Z}, \vec{Q}).$$

Содержание момента контрольно-диагностической модели СЭС ЛА заключается в решении следующих задач:

а) определение перечня соответствующих показателей надежности работы исследуемых элементов СЭС с учетом специфики их функционального назначения, режимов работы, параметров элементной базы, которые определяют виды и механизмы отказов;

б) распределение требований относительно показателей надежности составных частей структуры и предварительная оценка показателей надежности;

в) определение путей и способов обеспечения заданных требований в соответствии с показателями надежности.

В общем случае показатель надежности СЭС устанавливают, предположив, что к некоторому моменту времени  $t_0$  объект выключен или находится в резерве, а в момент  $t_0$  начал функционировать. Поэтому показатель надежности подают в виде:

$$P(T) = P(t_0)P(t_0, T), t_0 < T,$$

где  $P(t_0)$  – вероятность того, что в момент  $t_0$  объект работоспособен;

$P(t_0, T)$  – вероятность правильного функционирования объекта на интервале времени  $DT=[t_0, T]$ , при условии, что в момент начала функционирования  $t_0$  объект был работоспособным.

В такой формулировке показатель  $P(t_0)$  трактуют как функцию готовности, характеризующую состояние структуры (техническое состояние) СЭС в момент  $t_0$ , а показатель  $P(t_0, T)$  определяет вероятность правильного функционирования (функциональное состояние) объекта на интервале  $DT$ .

Преимуществом логических моделей контроля и диагностирования состояния СЭС является то, что с их помощью решают не только задачи анализа надежности систем, то есть установление значений показателей функции готовности и вероятности правильного функционирования элементов и составляющих СЭС ЛА, в зависимости от принятых значений параметров моделей, но и задачи синтеза надежности системы, а также ее оптимизации.

## ТАБЛИЧНЫЕ МОДЕЛИ КОНТРОЛЯ И ДИАГНОСТИРОВАНИЯ ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ СИСТЕМ СЭС ЛА

Согласно табличной модели контроля и диагностирования состояния СЭС ЛА поочередно рассматривается отказ элементов электроустановки, выявляются его последствия в нормальном и отказных состояниях. Расчет выполняют в табличной форме: по вертикали фиксируют ряд наблюдаемых элементов ( $i$ -й ряд), а по горизонтали – ряд расчетных режимов ( $j$ -й ряд).

В качестве универсальной математической модели для синтеза алгоритма диагностики отказов СЭС используется таблица функций неисправности (ТФН), в которой столбцы соответствуют допустимым элементарным проверкам (диагностическим параметрам), а строки – техническим состояниям объекта контроля и диагностирования (ОКД).

В строках таблицы указывают все возможные проверки  $Z_j$ , которые могут быть использованы в процедуре диагностики. Столбцы таблицы соответствуют исправному  $S_0$  состоянию СЭС и всем возможным неисправным состояниям  $S_1, S_2, \dots, S_k$ . Каждое неисправное состояние соответствует одной неисправности (одиночной или кратной) из заданного класса неисправностей, по которому проводятся тест. На пересечении  $i$ -го столбца и  $j$ -ой строки проставляется результат  $R_{ij}$   $j$ -й проверки для системы, находящейся в  $i$ -м состоянии. Каждая строка таблицы является двоичным кодом состояния модели при отказе соответствующего элемента. Двоичные коды строк не совпадают друг с другом, то есть все одиночные отказы имеют отличие в полном наборе исходных параметров.

Каждая строка ТФН соответствует одной элементарной проверке и обозначается символом этой проверки. Считается, что каждому элементу ОКД соответствует одна проверка. Каждый столбец ТФН соответствует одному техническому состоянию СЭС ЛА. ТФН содержит количество столбцов, равное числу элементов ОКД плюс единица. Для этого используются законы булевой алгебры. В случае, если есть один столбец или несколько одинаковых столбцов, такой столбец зачеркивается, а столбец неисправного состояния ТФН, который остается, заменяется столбцом некоторого эквивалентного состояния. Если окажется, что в минимизированной матрице двоичные коды некоторых строк совпадают, то такую укороченную матрицу надо дополнить минимально необходимым числом параметров, чтобы все строки отличались.

Рассмотрим особенности использования табличной модели контроля и диагностирования состояния СЭС ЛА на примере представленной на рис. 1 системы предпускового контроля ДВС.

Каждый элемент диагностирования может находиться в двух состояниях - работоспособном или неработоспособном. Работоспособному состоянию поставим в соответствие значение «1», а неработоспособному – «0». Запишем множество  $Z = \{z_1, \dots, z_n\}$ , каждый элемент которого определяет элементы модели диагностирования.  $Z_1$  - стартер-генератор;  $Z_2$  - реле-регулятор;  $Z_3$  - реле стартер-генератора;  $Z_4$  - пусковая аппаратура;  $Z_5$  - аккумуляторные батареи;  $Z_6$  - предохранитель;  $Z_7$  - автомат;  $Z_8$  - вольтамперметр;  $Z_9$  - розетка внешнего пуска;  $Z_{10}$  - кнопка стартера.

Кроме того, в перечень элементов таблицы функций неисправностей введем элементы, которые задействованы в процессе пуска двигателя:  $Z_{11}$  - двигатель;  $Z_{12}$  - масло закачивающий насос. По аналогии предлагается проводить организацию опроса датчиков.  $Z_{13}$  - датчик температуры масла двигателя;  $Z_{14}$  - датчик уровня охлаждающей жидкости;  $Z_{15}$  - датчик уровня масла двигателя;  $Z_{16}$  - датчик давления масла двигателя.

Результаты опроса предлагается подавать в бинарном виде. Недопустимо низкому значению контролируемого параметра соответствует логическое значение. Таким образом, количество строк в таблице будет равняться  $n = 16$ . Количество столбцов в таблице будет определять-

ся работой системы по функциональной схеме и равняться  $m = 16 + 1 = 17$ . Множество технических состояний СЭС ЛА, которое было определено с учетом режимов работы системы электропуска на основании табличной модели контроля и диагностирования представлено в табл. 1.

К преимуществам табличной модели контроля и диагностирования состояния СЭС ЛА можно отнести следующие возможности:

- использование минимальной совокупности диагностических параметров для проверки работоспособности системы;
- организация поиска неисправности комбинационным методом;
- определение минимальных частных наборов диагностических параметров для проверки работоспособности отдельных функциональных элементов системы;
- построение дешифратора технического состояния системы для устройства автоматического контроля и поиска неисправностей;
- полученная от системы мониторинга информация предоставляет возможность быстрого обнаружения поврежденного элемента для выполнения ремонтных работ с целью восстановления нормального режима функционирования электрических сетей в случае возникновения аварии.

**Таблица 1.** Таблица функций неисправности СЭС ЛА

	$S_1$	$S_2$	$S_3$	$S_4$	$S_5$	$S_6$	$S_7$	$S_8$	$S_9$	$S_{10}$	$S_{11}$	$S_{12}$	$S_{13}$	$S_{14}$	$S_{15}$	$S_{16}$	$S_{17}$
$Z_1$	0	0	0	0	0	1	1	0	1	0	1	1	0	0	1	0	1
$Z_2$	0	1	1	1	0	0	1	0	1	0	1	1	1	0	0	1	1
$Z_3$	0	1	0	0	1	0	1	1	0	0	0	1	0	0	1	0	0
$Z_4$	1	1	1	0	0	1	0	0	0	1	0	0	1	0	1	0	0
$Z_5$	0	0	0	1	1	0	1	0	1	0	0	1	1	0	1	0	1
$Z_6$	1	1	0	1	0	0	1	0	0	1	1	0	1	0	1	0	1
$Z_7$	1	0	0	0	1	0	0	0	0	1	1	1	0	0	1	1	0
$Z_8$	0	1	1	1	0	2	1	1	0	1	1	0	0	1	0	0	1
$Z_9$	1	0	1	0	1	1	0	1	0	1	0	1	0	0	1	0	0
$Z_{10}$	0	1	1	0	1	1	0	0	1	0	0	1	1	0	1	1	1
$Z_{11}$	1	1	0	1	0	0	1	1	1	0	0	0	1	0	0	1	0
$Z_{12}$	1	0	1	0	1	1	0	0	0	1	1	1	0	1	0	0	1
$Z_{13}$	1	0	1	0	0	1	0	0	1	1	0	0	1	0	1	1	1
$Z_{14}$	0	1	0	1	1	0	0	1	1	0	0	1	0	1	0	1	1
$Z_{15}$	0	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1
$Z_{16}$	1	1	0	1	0	1	0	1	1	0	0	1	0	1	1	1	0

Ограничением и недостатком табличных моделей является то, что в них отражаются не логические связи между элементами контроля и диагностики, а функциональные зависимости в составе комплектующих элементов, что при их значительном количестве затрудняет выявление причин, вызывающих отказы оборудования. Иными словами, табличные модели позволяют фиксировать контролируемые параметры, но не предоставляют оперативной информации о месте повреждения в СЭС ЛА.

### АНАЛИТИЧЕСКИЕ МОДЕЛИ КОНТРОЛЯ И ДИАГНОСТИРОВАНИЯ ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ СЭС ЛА

Аналитические модели используют для определения состояния и диагностирования неисправностей СЭС ЛА разнообразный математический инструментарий, например, функции алгебры логики.

Согласно аналитическим моделям главную схему СЭС ЛА и ее элементы подают в виде некоторых функций работоспособности или функций неработоспособности (ФНС). Функции работоспособности используют для сравнительно простых схем электроснабжения, функции неработоспособности - для более сложных.

Порядок использования аналитических моделей для диагностирования состояния СЭС ЛА предусматривает следующие этапы расчета:

1. Предварительное упрощение первоначальной схемы электрических соединений системы путем эквивалентирования однотипных элементов.
2. Преобразование эквивалентной схемы в схему замещения и расчет эквивалентных параметров с использованием выбранного математического инструментария.
3. Расчет количественных показателей надежности для эквивалентной схемы, в том числе функции работоспособности  $S$  и вероятностных полиномов  $R$ .
4. Расчет числовых значений количественных показателей надежности главных схем, например, времени наработки главной схемы до отказа.

По своему содержанию аналитическая модель диагностирования состояния СЭС является дедуктивным методом и применяется тогда, когда количество различных видов отказов системы невелико. Преимуществами аналитических моделей является то, что они позволяют диагностировать отказы и неисправности СЭС с определенной степенью нарушения работоспособности установок - отказ линий, трансформаторов, погасание секций, возникновения дефицита мощности в системе, а также при различных сочетаниях указанных аварий.

Недостатки аналитических моделей контроля и диагностирования определяются особенностями того метода или алгоритма, который составля-

ет их основу. Так, например, при использовании символического метода представления синусоидальных величин значительно упрощается расчет электрических цепей, что ограничивает его применение исключительно в установившемся режиме и требует использования метода наложения при моделировании нелинейной нагрузки.

В свою очередь аналитические модели позволяют решать более широкий класс задач, а при современном уровне развития средств вычислительной техники и существующих специальных программных комплексов процесс определения неизвестных функций значительно упрощается. Однако обработка значительных массивов информации, полученных от модели с использованием аналитических методов, даже для мощностей современной вычислительной техники может занимать значительное количество время-машинных ресурсов. Это предполагает необходимость применения аппарата нейронных сетей для расчета управляющего воздействия, что является достаточно сложной задачей, требующей квалифицированного персонала и определенных временных и финансовых ресурсов, что безусловно является ограничениями и в определенном смысле недостатками аналитических моделей.

Таким образом, подводя итоги проведенного исследования, можно сделать следующие выводы. В условиях эволюции развития электрических сетей и СЭС ЛА, а также их стремительной интеллектуализации не подлежит сомнению тот факт, что использование только одной модели контроля и диагностирования является нецелесообразным, поскольку это не позволит получить достоверную и всестороннюю информацию о состоянии узлов и элементов СЭС ЛА. Представляется, что на современном этапе необходимо использовать комплексную контрольно-диагностическую систему, которая будет базироваться на синтезе математических моделей и методов оптимизации электропотребления, позволит учитывать глубину взаимointegrации электросетевой инфраструктуры и информационной компьютерной архитектуры современного ЛА со всеми функциональными и логическими связями, которые существуют между элементами контура электроснабжения. Все это позволит получить точную оценку технического состояния СЭС ЛА, повысить надежность работы ключевых узлов, снизить повторных испытательных полетов, сократить затраты на испытания и оптимизировать производственные процессы контроля и испытания.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Богданович, В.И. Теоретические основы обеспечения надежности летательных аппаратов на стадии их производства [Электронный ресурс]: [учеб. пособие] / В. И. Богданович. – Самара: СГАУ, 2007. – 92 с.

2. Xia, Jinsong. Modeling and Prediction of the Reliability Analysis of an 18-Pulse Rectifier Power Supply for Aircraft Based Applications // IEEE access: practical innovations, open solutions. 2020. Volume 8. Pp 47063-47071.
3. Ian Moir and Allan Seabridge (2008), Aircraft Systems Mechanical, electrical, and avionics subsystems integration, Third Edition ed, John Wiley & Sons, Ltd.
4. R.P.G. Collinson (2011), Introduction to Avionics Systems, Third Edition, Springer Science + Business Media B.V.
5. Коптев, А.Н. Авиационное и радиоэлектронное оборудование воздушных судов гражданской авиации [Электронный ресурс]: [учеб. пособие] / А.Н. Коптев. – Самара: Изд-во СГАУ, 2011.
6. Schefer, Hendrik. Discussion on Electric Power Supply Systems for All Electric Aircraft // IEEE access: practical innovations, open solutions. 2020. Volume 8. Pp 84188-84216.
7. Александровская, Л.Н. Теоретические основы испытаний и экспериментальная отработка сложных технических систем [текст] / Л.Н. Александровская, В.И. Круглов, А.Г. Кузнецов, В.А. Кузнецов, А.А. Кутин, А.М. Шолом. – М.: Логос, 2003. – 736 с.
8. Воробьев, В.Г. Надежность и техническая диагностика авиационного оборудования учебник / В.Г. Воробьев. – М.: МГТУ ГА, 2010. – 448 с.
9. Чинючин, Ю.М. Основы технической эксплуатации и ремонта АТ. Учебное пособие / Ю.М. Чинючин, И.Ф. Полякова. – М.: МГТУ ГА, 2004. – 81 с.
10. Иноземцев, А.А. Газотурбинные двигатели / А.А. Иноземцев, В.Л. Сандрацкий. – ОАО «Авиадвигатель», 2006. – 1204 с.
11. Yang, Yuanchao. Power Management Problem for Civil Aircraft under More Electric Environment // International journal of aerospace engineering. 2020. Volume 2. Pp. 28-34.
12. Aygun, Hakan. Exergo-economic cost analysis for a long-range transport aircraft propulsion system at non-linear power loads // Energy: the international journal. 2020. Volume 204. Pp. 13-28.

## MATHEMATICAL MODELS OF OBJECT MONITORING AND DIAGNOSING FOR AIRCRAFT ONBOARD ELECTRICAL SYSTEMS TO DETERMINE THEIR TECHNICAL CONDITIONS

© 2023 M.H. Dubbessa

Samara State Aerospace University named after Academician S.P. Korolyov, Samara, Russia

The article studies the features and methods used to monitor and diagnose the technical condition of onboard electrical systems by using as an example analytical, tabular and logical models. The advantages and disadvantages of these models are highlighted. Based on the analysis results, applying a complex monitoring and diagnostic system is advisable to establish up to date intellectualization of onboard electrical systems, specifically aircraft electrical power supply systems and formation of a single information space.

*Keywords:* monitor, diagnostics, model, onboard electrical system, aircraft.

DOI: 10.37313/1990-5378-2023-25-1-36-42

### REFERENCES

1. Bogdanovich, V.I. Teoreticheskie osnovy obespecheniya nadezhnosti letatel'nyh apparatov na stadii ih proizvodstva [Elektronnyj resurs]: [ucheb. posobie] / V. I. Bogdanovich - Samara: SGAU, 2007. – 92 s.
2. Xia, Jinsong. Modeling and Prediction of the Reliability Analysis of an 18-Pulse Rectifier Power Supply for Aircraft Based Applications // IEEE access: practical innovations, open solutions. 2020. Volume 8. Pp 47063-47071.
3. Ian Moir and Allan Seabridge (2008), Aircraft Systems Mechanical, electrical, and avionics subsystems integration, Third Edition ed, John Wiley & Sons, Ltd.
4. R.P.G. Collinson (2011), Introduction to Avionics Systems, Third Edition, Springer Science + Business Media B.V.
5. Коптев, А.Н. Авиационное и радиоэлектронное оборудование воздушных судов гражданской авиации [Elektronnyj resurs]: [ucheb. posobie] / A.N. Koptev. - Samara: SGAU, 2011.
6. Schefer, Hendrik. Discussion on Electric Power Supply Systems for All Electric Aircraft // IEEE access: practical innovations, open solutions. 2020. Volume 8. Pp. 84188-84216.
7. Александровская, Л.Н. Теоретические основы испытаний и экспериментальная отработка сложных технических систем [текст] / Л.Н. Александровская, В.И. Круглов, А.Г. Кузнецов, В.А. Кузнецов, А.А. Кутин, А.М. Шолом. – М.: Логос, 2003. – 736 с.
8. Воробьев, В.Г. Надежность и техническая диагностика авиационного оборудования учебник / В.Г. Воробьев. – М.: МГТУ ГА, 2010. – 448 с.
9. Чинючин, Ю.М. Основы технической эксплуатации и ремонта АТ. Учебное пособие / Ю.М. Чинючин, И.Ф. Полякова. – М.: МГТУ ГА, 2004. – 81 с.
10. Иноземцев, А.А. Газотурбинные двигатели / А.А. Иноземцев, В.Л. Сандрацкий. – ОАО «Авиадвигатель», 2006. – 1204 с.
11. Yang, Yuanchao. Power Management Problem for Civil Aircraft under More Electric Environment // International journal of aerospace engineering. 2020. Volume 2. Pp. 28-34.
12. Aygun, Hakan. Exergo-economic cost analysis for a long-range transport aircraft propulsion system at non-linear power loads // Energy: the international journal. 2020. Volume 204. Pp. 13-28.