

НАЗЕМНЫЕ КОМПЛЕКСЫ, СТАРТОВОЕ ОБОРУДОВАНИЕ, ЭКСПЛУАТАЦИЯ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ

УДК 629.7

УПРАВЛЕНИЕ КОНТРОЛЕПРИГОДНОСТЬЮ ПРИ ЭКСПЛУАТАЦИИ ОБЪЕКТА

Писаренко В.Н.

*Самарский национальный исследовательский университет им. академика С.П. Королева,
Московское шоссе, 34, Самара, 443086, Россия
e-mail: victormpisarenko@gmail.com*

Описана контролепригодность как функция эксплуатации контролируемого объекта. Приведено описание моделей и алгоритмов расчета показателей контролепригодности. На основании теории оптимальных процессов и принципа максимума Понтрягина исследована математическая модель функции контролепригодности. Разработана математическая модель управления контролепригодностью объекта эксплуатации на примере авиационной техники, основанная на измерении показателей и параметров эксплуатации, обработки этих данных, анализе и выработке управляющего воздействия на объект эксплуатации. Выведен основной закон управления контролепригодностью в эксплуатации.

Ключевые слова: функции контролепригодности, диагностика, функция управления, показатели полноты контроля, достоверность контроля, анализ видов отказов, последствия отказов.

Поступление зарубежных воздушных судов (ВС) в отечественные авиакомпании гражданской авиации выявило ряд существенных проблем, в том числе и в обеспечение контролепригодности (Testability или сокращенно Tst). В дальнейшем управление контролепригодностью будем обозначать символом (F_{Tstbl}) с подстрочным знаком Tstblt от слова to manage — управлять. Непродуманное внедрение иностранных компонентов в авиационную транспортную систему России без всестороннего учета факторов эксплуатации и ремонта приводит к сверхнормативным простоям дорогостоящей авиационной техники и срыву расчетных значений контролепригодности ВС. Выявление оценок

и факторов управления контролепригодностью приобретает в настоящее время особую актуальность и требует всестороннего анализа [1—8]. Многие учёные в России, в том числе В.С. Шапкин, Г.Н. Гипич, В.Г. Евдокимов, А. Степанов, В. Викторова, и за рубежом — в том числе Дуглас, Т. Росс, изучали контролепригодность как средство обеспечения безотказной работы техники на протяжении жизненного цикла изделий, но обеспечение контролепригодности в эксплуатации изучено недостаточно. Система управления контролепригодностью сводится к совокупности координирующих действий по управлению состоянием объекта эксплуатации, являющихся частью общего управления

предприятием [1]. Эти действия не ориентированы на поддержание контролепригодности при эксплуатации, выполняются без достаточных теоретических разработок по обоснованию требуемого приемлемого уровня контролепригодности объекта эксплуатации, по управляющим воздействиям и не достигают нужной цели, поскольку теоретически не обоснованы функциональные зависимости управления контролепригодностью, контролируемые параметры и допустимые границы изменения параметров контролепригодности контролируемых изделий. И только И.Б. Спиридонов в [22] разработал функциональную модель производственной системы и программное обеспечение по анализу контролепригодности для решения задачи «анализа контролепригодности проектируемого самолета» с помощью методологии IDEF (ICAM Definition), которая позволяет проектировать производственно-технологические и организационные системы решения различных задач.

Задача данной статьи состоит в обосновании возможности управления контролепригодностью в эксплуатации и разработке математической модели управления контролепригодностью объекта на примере управления контролепригодностью авиационной техники (АТ).

Контролепригодность технического объекта, в частности воздушного судна, определяется, согласно [1, 3], как свойство, характеризующее пригодность объекта к проведению контроля (диагностирования) средствами контроля (диагностирования). В процессе контроля осуществляется проверка соответствия значений параметров объекта требованиям нормативно-технической документации и на этой основе определение одного из заданных видов технического состояния объекта (исправное; работоспособное, но с потерей функций; неисправное). Оценка технического состояния воздушного судна обеспечивается наличием встроенных аппаратно-программных средств контроля (ВІТЕ — built in test equipment), являющихся составной частью контролируемого объекта.

В целях решения поставленной задачи рассмотрим формулировки контролепригодности, приведенные в различных источниках.

Контролепригодность по ГОСТ 26656-85 [4] — это приспособленность к диагностированию: свойство изделия, характеризующее его пригодность к проведению контроля заданными методами и средствами технического диагностирования.

Приспособленность объекта к диагностированию (контролепригодность) по [5] — это свойство объекта, характеризующее его пригодность к про-

ведению диагностирования (контроля) заданными средствами диагностирования (контроля); обеспечивается со стадии его разработки.

По стандартам США контролепригодность (Testability) — возможность проверки оборудования или системы.

Стандарт Департамента обороны США MIL-HDBK-2165 «TESTABILITY SYSTEMS» [6] предусматривает единый подход к возможности контроля, созданию программы контроля, дизайн-контроля, испытания и оценки. В MIL-HDBK-472 «FOR EWORD» [7] показано, что контролируемость — многомерное понятие, которое не может быть выражено каким-либо метрическим показателем [7].

Но для определения и решения проблемы контролируемости в целом можно применить эвристику динамики контролируемости. В целях проверки управляемости (Immediately) необходимо изучить поведение объекта [8].

Но в соответствии с [9] контролепригодность — это эксплуатационно-техническая характеристика объекта контроля, и она подлежит управлению, как и состояние всего объекта контроля.

Для подхода к управлению контролепригодностью выясним показатели контролепригодности.

Показатели и модели расчета характеристик контроля. Расчет показателя полноты контроля

В аналитических модулях автоматизированной системы контроля реализован расчет основных показателей контролепригодности (полнота, глубина, достоверность контроля) и некоторых логистических показателей, на которые оказывают влияние характеристики контроля.

Полнота контроля характеризует долю отказов объекта контроля, обнаруживаемых при контроле работоспособности. В общем случае качество контроля определяется перечнем элементов (модулей), отказы которых выявляются контролем. Поэтому одной из характеристик полноты контроля может быть отношение числа контролируемых элементов к общему числу элементов рассматриваемого объекта контроля (например, в процентах). Коэффициент полноты проверки работоспособности определяется отношением интенсивности отказов проверяемых частей изделия к суммарной интенсивности отказов всех составных частей изделия [1]:

$$K_{\text{III}} = \frac{\lambda_K}{\lambda_O}, \quad (1)$$

где λ_K — суммарная интенсивность отказов проверяемых составных частей изделия на принятом

уровне деления; λ_0 — суммарная интенсивность отказов всех составных частей изделия на принятом уровне деления.

Если интенсивности отказов неизвестны, то коэффициент полноты проверки [1] допускается определять по формуле

$$K_{\text{пп}} = \frac{n_{\text{к}}}{n_{\text{о}}}, \quad (2)$$

где $n_{\text{к}}$ — число диагностических параметров; $n_{\text{о}}$ — число параметров технического состояния, использование которых обеспечивает методическую достоверность проверки.

Однако для совместного моделирования объекта и средств контроля с точки зрения надежности зададим полноту контроля как отношение вероятностных показателей, характеристик контролепригодности контролируемых элементов ко всем элементам. Целесообразность такого задания объясняется тем, что при моделировании «контролепригодного поведения» анализируемого объекта можно будет «разбить» общий поток отказов на две составляющие: выявляемые контролем отказы и «скрытые» отказы.

Полноту контроля можно определить как условную вероятность возникновения события контролируемого отказа (E_k), если отказ произошел на интервале времени $(0, t)$ (E):

$$\eta = \frac{P_{\text{к}}}{P_{\text{о}}} = \frac{1 - e^{-\int_0^t \lambda_{\text{к}}(t) dt}}{1 - e^{-\int_0^t \lambda_{\text{о}}(t) dt}}. \quad (3)$$

Для формирования моделей потоков восстановления глубина контроля может определяться через отношения суммарных интенсивностей отказов λ для каждого члена указанного ряда распределения по количеству снимаемых типовых элементов замены:

$$K_{\text{ГК}} = \frac{F}{N} = \frac{\sum_{i=1}^F \lambda_i}{\sum_{j=1}^N \lambda_j}, \quad (4)$$

где $K_{\text{ГК}}$ — коэффициент глубины проверки; F — число однозначно различимых составных частей изделия; N — общее число составных частей изделия.

Контролепригодность АТ при эксплуатации в дальнейшем будем называть эксплуатационной контролепригодностью.

В настоящей работе рассматривается и исследуется управление эксплуатационной контролепригодностью при эксплуатации АТ с точки зрения необходимости обоснования функциональных зависимостей управляющих воздействий на объект управления при эксплуатации. Исследования выполнены с использованием математической теории оптимального управления [12, 20], теории вариационного исчисления [13] и теории восстановления [15].

Поставим задачу нахождения функционала управления эксплуатационной контролепригодностью следующим образом. Пусть задана выборка состояний воздушного судна, множество переменных управляющих воздействий на состояние воздушного судна и соответствующие им значения вероятностей нахождения ВС в соответствующем состоянии. Требуется найти модель функциональных воздействий на объект управления, переводящих ВС в исправное состояние за минимальное время [13].

Рассмотрим поведение ВС, состояние которого характеризуется n действительными числами $s_0, s_1, s_2, \dots, s_n$. Таким образом, ВС может находиться в одном из нескольких состояний: s_0 — исправное состояние; s_1 — неисправное состояние из-за неисправности какого-либо компонента ВС; s_2 — неисправное состояние из-за выполнения технического обслуживания; s_3 — неисправное состояние из-за выполнения ремонта; s_4 — неисправное состояние из-за необходимости ожидания обслуживания и др. Векторное пространство состояний ВС S определяется векторной переменной состояния компонентов ВС $s = (s_0, s_1, s_2, \dots, s_n)$ и является фазовым пространством рассматриваемого ВС, изменение состояния которого показано на рис. 1.

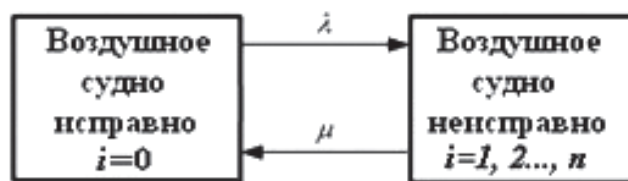


Рис. 1. Модель перехода состояния ВС: i — состояние компонентов ВС; $i = 0$ — ВС функционирует нормально; $i = 1, 2, \dots, n$ — ВС неисправно; λ — интенсивность отказов; μ — интенсивность восстановления

Математическая модель контролепригодности ВС представляется в виде графа состояний. Вершинами графа являются возможные состояния ВС $s = (s_0, s_1, s_2, \dots, s_n)$, возникающие при неисправности систем и их компонентов. Направление дуги, связывающей вершины графа, указывает возможные направления переходов. Над связями указыва-

ются интенсивности переходов ВС из одного состояния в другое состояние.

С позиции теории вероятностей все элементы и системы ВС могут находиться в двух состояниях: работоспособном или в неработоспособном. Для удобства анализа будем считать, что для компонентов и их связей промежуточных состояний не существует. Они могут находиться только в исправном или в неисправном состоянии. Переход состояния ВС определяется состоянием его компонентов и представлен на рис. 1 моделью перехода состояния ВС.

При экспоненциальном законе распределения событий функция плотности вероятности распределения событий определяется уравнением

$$f(t) = \lambda e^{-\lambda t}. \quad (5)$$

Выполним математический анализ определения состояния ВС и, используя теорию марковских процессов, по графу состояний составим систему обыкновенных дифференциальных уравнений первого порядка, описывающих переход ВС из состояния исправности в неисправное состояние и затем из состояния неисправности в исправное состояние.

Переход ВС из состояния исправности в неисправное состояние происходит при отказе компонентов ВС с интенсивностью отказов λ

$$\frac{dP_0(t)}{d(t)} = -\lambda P_0(t) + \mu P_1(t), \quad (6)$$

а переход из неисправного в исправное состояние происходит за счет управляющих воздействий на объект управления при устранении неисправности с интенсивностью восстановления μ

$$\frac{dP_1(t)}{d(t)} = -\mu P_1(t) + \lambda P_0(t), \quad (7)$$

где $P_i(t)$ — вероятность нахождения ВС в состоянии i во время t , при $i = 0$ (состояние исправности), $i = 1$ (состояние неисправности);

Используя преобразование Лапласа и выражения (6) и (7), определим вероятность перехода состояния ВС:

$$sP_0(s) - sP_0(0) = -\lambda P_0(s) + \mu P_1(s); \quad (8)$$

$$sP_1(s) - sP_1(0) = -\mu P_1(s) + \lambda P_0(s), \quad (9)$$

где $P_i(s)$ — преобразование Лапласа — вероятность нахождения ВС в состоянии i , при $i = 0, 1$.

Произведем решение системы дифференциальных уравнений, для этого зададим начальное значение вероятностей $P_i(0)$. В начальном состоянии, при $t = 0$, $P_0(0) = 1$ и $P_1(0) = 0$.

Для данного начального состояния равенства (8) и (9) примут следующий вид:

$$sP_0(s) - 1 = -\lambda P_0(s) + \mu P_1(s); \quad (10)$$

$$sP_1(s) = -\mu P_1(s) + \lambda P_0(s). \quad (11)$$

Преобразуя (7), получаем вероятность нахождения ВС в состоянии отказа:

$$P_1(s) = \frac{\lambda P_0(s)}{s + \mu}. \quad (12)$$

Преобразование (10) с учетом (12) дает вероятность нахождения ВС в исправном состоянии:

$$P_0(s) = \frac{s + \mu}{s(s + \lambda + \mu)}. \quad (13)$$

Примем, что контролепригодность ВС $Tst(t)$ — это вероятность нахождения ВС в исправном состоянии $Tst(t) = P_0(t)$.

Функция контролепригодности в соответствии с (5) имеет вид

$$FTst(t) = e^{-\lambda t}. \quad (14)$$

Функция состояния управления контролепригодностью при отсутствии управляющих воздействий на контролепригодность определяется следующим выражением:

$$F(Tst) = \frac{\lambda}{s + \mu} \cdot \frac{1}{s}. \quad (15)$$

Взятие инверсии Лапласа преобразовывает уравнение (9) к следующему виду:

$$P_0(Tst) = \frac{\mu}{\lambda + \mu} + \frac{\lambda}{\lambda + \mu} \cdot e^{-(\lambda + \mu)t}, \quad (16)$$

и контролепригодность определяется в соответствии с (12) следующим уравнением:

$$Tst(t) = \frac{\mu}{\lambda + \mu} + \frac{\lambda}{\lambda + \mu} \cdot e^{-(\lambda + \mu)t}. \quad (17)$$

При $t \rightarrow 0$ и отсутствии управляющих воздействий на контролепригодность ВС $T(t) = \int_0^{\infty} f(t) dt$

представляет собой среднюю наработку на отказ

$$t_0 = \int_0^{\infty} f(t) dt = \frac{1}{\lambda}.$$

Рассмотрим возможность управления контролепригодностью ВС. Поведение ВС с математической точки зрения заключается в изменении состояния с течением времени. Предполагается, что состоянием ВС можно управлять с помощью управляющих воздействий $\bar{u} = (u_1, u_2, \dots, u_R)$ на пространство контролепригодности ВС \bar{E}_{Tst} . Область управления контролепригодностью \bar{U} представляет собой некоторое множество в пространстве переменных u_1, u_2, \dots, u_R , произвольно входящих в систему управляющих параметров $\bar{u} = (u_1, u_2, \dots, u_R)$. Каждую функцию $\bar{u} = \bar{u}(t)$, определенную на некотором отрезке времени $t_0 \leq t \leq t_1$, назовем управлением эксплуатационной контролепригодностью. Управление $\bar{u}(Tst) = [u_1(Tst), u_2(Tst), \dots, u_R(Tst)]$ является вектор-функцией.

По графу состояний из формул (6) и (7) следует:

$$\frac{dTst(t)}{dt} = \mu T_1(t) - \lambda T(t); \quad (18)$$

$$\frac{dP_1(Tst)}{dt} = \lambda T(t) - \mu T_1(t). \quad (19)$$

В основу анализа рассматриваемого управляемого объекта контроля — ВС — положена следующая гипотеза математической теории оптимального управления [9]: какова бы ни была отличная от s_0 точка s_i фазового пространства состояния ВС, существует оптимальный (в смысле быстродействия) за счет управления контролепригодностью процесс перехода состояния ВС из точки s_i в точку s_0 . Время, в течение которого осуществляется оптимальный переход из начальной точки в конечную точку, обозначим через $t_{(eE)}$. Иначе говоря, за время, меньшее, чем $t_{(eE)}$, перейти из точки s^i в точку s_0 невозможно. Критерием оптимального управления контролепригодностью примем минимум времени на восстановление исправности [21]. Учитывая, что срок технического обслуживания и ремонта $t(Tst)$ не может быть беспредельным, введем ограничение по оптимальному времени управления контролепригодностью $t_{(E)} \leq t(Tst)$. Тогда задача оптималь-

ного управления контролепригодностью ВС математически может быть сформулирована следующим образом: требуется найти оптимальный алгоритм, согласно которому фазовая точка состояния ВС переместится из положения s_1, s_2 в положение s_0 за минимальное время [20].

Чтобы определить вероятность того, что обслуживание и/или ремонт ВС, начинавшиеся во время $t = i$, будут закончены ко времени $t_2(T)$ за время $t_{(Tst)}$, воспользуемся функцией контролепригодности. Функция контролепригодности АТ определяется уравнением (11) и при наличии управляющих воздействий на контролепригодность объекта эксплуатации будет иметь следующий вид:

$$F_{Tst}(t) = \int_t^{\infty} f(t, u) dt, \quad (20)$$

где $F_{Tst}(t)$ — функция контролепригодности АТ; u — управляющие воздействия на контролепригодность объекта эксплуатации (ВС и их компоненты).

Векторное пространство контролепригодности \bar{E}_{Tst} при наличии управляющих воздействий на объект эксплуатации определяется изменением состояния ВС под влиянием управляющих воздействий на контролепригодность ВС, т.е. $\bar{E}_{Tst} = ds/du$.

Таким образом, количественная модель контролепригодности ВС может быть представлена как определенное количественное представление эксплуатации ВС и анализа результатов контроля и диагностирования, которые определяются группой эксплуатационно-технических характеристик ВС [9]: эксплуатационной надёжностью, эксплуатационной технологичностью, эксплуатационной контролепригодностью, эксплуатационной ремонтнопригодностью.

Используя свойство инвариантности дифференциалов, запишем уравнение (16) в следующем виде:

$$\begin{aligned} \frac{dTst}{dt} &= e^{-\lambda t} \frac{du}{dt} - \lambda e^{-\lambda t} u(Tst) = \\ &= e^{-\lambda t} \left[\frac{du}{dt} - \lambda u(Tst) \right] = \lambda e^{-\lambda t} [1 - u(Tst)], \end{aligned} \quad (21)$$

где $du = \lambda \cdot dt$.

С учетом (1) получаем

$$\frac{dTst(t)}{dt} = f(t) [1 - u(Tst)]. \quad (22)$$

Уравнение (22) является линейным и непрерывным, вполне управляемым на интервале времени $[t_0, t_1]$, если существует управление $u(Tst)$, определенное на интервале $[t_0, t_1]$, переводящее объект управления из неисправного состояния в исправное, или технические специалисты принимают меры по проактивному предотвращению отказов.

Таким образом, скорость управления эксплуатационной контролепригодностью $\frac{dTst(t)}{dt} = F'_{Tst}$ с учетом (14) имеет следующую зависимость:

$$F'_R = \lambda F_{Tst} [1 - u(Tst)]. \quad (23)$$

Управление эксплуатационной контролепригодностью определяется следующим уравнением:

$$u(Tst) = 1 + \frac{F'_{Tst}}{\lambda F_{Tst}}. \quad (24)$$

Это оптимальный подход к управлению эксплуатационной контролепригодностью, который можно сформулировать следующим образом: для того чтобы процесс управления обслуживанием и ремонтом ВС решал заданную основную задачу и являлся оптимальным в смысле быстродействия, существует управление эксплуатационной контролепригодностью, которая определяется по формуле (24), за счет сокращения продолжительности обслуживания и ремонта относительно областей управления поддержанием летной годности ВС.

Итак, управление эксплуатационной контролепригодностью означает вероятность того, что состояние ВС будет обнаружено и восстановлено к приемлемому рабочему состоянию за определенное время с минимальными затратами времени, труда и других ресурсов, упрощением обслуживания, ремонта и использования АТ.

Таким образом, приведенные аргументы и разработанные формулы позволяют обосновать новый подход к эксплуатационной контролепригодности как к управляемому параметру оптимизации [21] процесса технического обслуживания и ремонта ВС.

Статистические данные по управлению контролепригодностью в авиакомпании «Уральские авиалинии» приведены на рис. 2.

Управление эксплуатационной контролепригодностью направлено на предупреждение простоев ВС из-за отказов и неисправностей комплектующих изделий путем принятой в эксплуатации стратегии технического обслуживания и ремонта АТ (по состоянию и наработке) [2, 21].

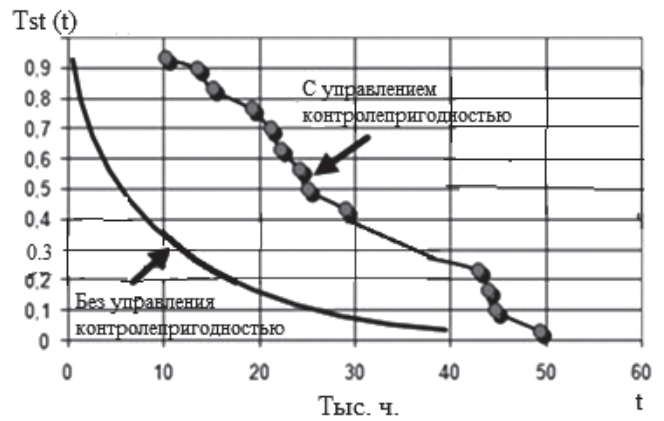


Рис. 2. Статистические данные управления контролепригодностью

Управление контролепригодностью ВС заключается в поддержании жизненного цикла ВС путем выполнения технического обслуживания и ремонта АТ в оптимальное время и минимально возможные сроки, в анализе и оценке рисков, в том числе учёте человеческого фактора и качества работы [2, 18], учёте не только среднего времени простоя ВС при техническом обслуживании и ремонте, но и времени простоя из-за административных ограничений, а также времени логистической задержки на доставку необходимых запасных частей и расходных материалов. Приемлемый уровень контролепригодности ВС означает вероятность возникновения неисправности какого-либо компонента ВС, не приводящей к необходимости прекращения полета [18, 21].

В случае проактивного управления состоянием АТ управляющее воздействие на контролепригодность Y_i определяется состоянием ВС в процессе контроля за определенное время, регистрацией состояния при эксплуатации, прогнозом тенденции изменения технического состояния объекта контроля и формируется в зависимости от определенной величины отклонения X_i определяющих параметров X от их нормативного значения X_n . При проактивном обслуживании в управлении ремонтпригодностью необходимо применять параметр интенсивности выхода определяющих параметров за допустимую границу λ_D^* [15, 16, 20].

Функция управления контролепригодностью будет иметь следующий вид:

$$F_{ETst}(t) = e^{-\lambda_D^* t}. \quad (25)$$

Границу допусков устанавливают в виде дисперсии $D(t)$ случайной величины и определяют из ста-

статистических данных интенсивности отказов компонентов ВС, влияющих на определяющие параметры безотказности [9].

Управляющее воздействие на контролепригодность АТ при эксплуатации определяется выражением

$$Y_i = f(X_n - X_i). \quad (26)$$

Мероприятия по управлению контролепригодностью представлены на рис. 3.

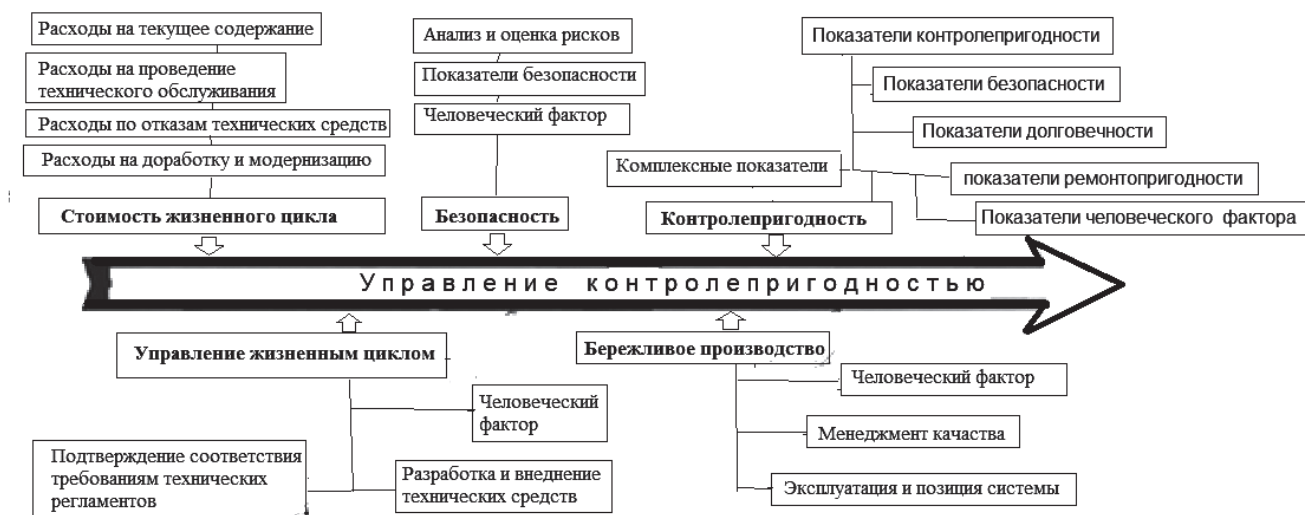


Рис. 3. Мероприятия по управлению контролепригодностью

Управление контролепригодностью АТ осуществляется по замкнутой схеме и формируется по величине отклонения определяющих параметров и вероятности рисков событий [11]. В этом случае достигается наиболее сильное влияние на управление контролепригодностью при эксплуатации АТ.

Анализ эксплуатационной контролепригодности первичной системы электроснабжения самолета А321 по данным ОАО Авиакомпания «Уральские авиалинии», выполненный в НИЛ-36 Самарского университета «Диагностика и надёжность ЛА и двигателей», показывает, что в случае применения контрольного значения интенсивности отказов высоконадёжных технических систем в размере $\lambda_{\text{контр}} = 10^{-5} \text{ ч}^{-1}$ по [10] и контрольного значения вероятности рисков событий $10^{-4} - 10^{-6}$ по [11] предложенный подход позволяет обеспечить приемлемый уровень контролепригодности привод-генератора ВС типа А320 при обслуживании через 50000 летных часов $\pm 10\%$ налета ВС.

Выводы

Теоретические результаты данного исследования, подтвержденные практическими данными, заключаются в разработке теоретических основ решения проблемы управления эксплуатационной контролепригодностью на базе применения методики управляемой вероятности определения событий [19] на нечётких подмножествах контрольных значений отказов и рисков событий [11] в сфе-

ре решения проблем обеспечения безотказности авиатехники в эксплуатации [20, 21].

Библиографический список

1. ГОСТ 27518-87 Диагностирование изделий. Общие требования. — М.: Изд-во стандартов, 1989.
2. ГОСТ 27.203-83 (СТ СЭВ 3945-82) Надёжность в технике (ССНТ). Технологические системы. Общие требования к методам оценки надёжности. — М.: Изд-во стандартов, 1984. — 4 с.
3. ГОСТ 26656-85 Техническая диагностика. Контролепригодность. Общие требования. — М.: Изд-во стандартов, 1985. — 10 с.
4. ГОСТ 20911-89 Техническая диагностика. Термины и определения. — М.: Изд-во стандартов, 1991. — 11 с.
5. MIL-HDBK-2165. Department of defense handbook: Testability handbook for systems and equipment. 26 January 1995. Department of defense, Washington, USA, http://everyspec.com/MIL-HDBK/MIL-HDBK-2000-2999/MIL-HDBK-2165_15131/
6. MIL-HDBK-472. Military standardization handbook: Maintainability Prediction. Department of defense, Washington, USA, 24 May 1966, http://everyspec.com/MIL-HDBK/MIL-HDBK-0300-0499/MIL_STD_472_1324/

7. MIL-STD-2155. Military standard: failure reporting, analysis and corrective action system (FRACAS). 24 July 1985, http://everyspec.com/MIL-STD/MIL-STD-2000-2999/MIL_STD_2155_61/
8. Standard SAE JA1012 «A Guide to the Reliability-Centered Maintenance (RCM) Standard». — SAE International, 24 January 2002. — 57 p.
9. *Далецкий С.В.* Формирование эксплуатационно-технических характеристик воздушных судов гражданской авиации: Учебник. — М.: Воздушный транспорт, 2005. — 416 с.
10. *Шкляр В.Н.* Надежность систем управления: Учебное пособие. — Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2009. — 126 с.
11. *Гипич Г.Н., Евдокимов В.Г., Шапкин В.С.* Оценки системной безопасности промышленных технических комплексов на основе теории рисков в авиационной промышленности и в сфере атомной энергетики // Научный вестник МГТУГА. 2013. № 187. С. 46-48.
12. *Понрягин Л.С., Болтянский В.Г., Гамкрелидзе Р.В., Мищенко Е.Ф.* Математическая теория оптимальных процессов. — М.: Наука, 1983. — 393 с.
13. *Столл Р.Р.* Множества. Логика. Аксиоматические теории / Пер. с англ. Ю. А. Гастева и И. Х. Шамина; Под ред. Ю. А. Шихановича. — М.: Просвещение, 1968. — 232 с.
14. *Негойце К.* Применение теории систем к проблемам управления. — М.: Мир, 1981. — 183 с.
15. *Кокс Д.Р., Смит В.Л.* Теория восстановления. — М.: Советское радио, 1967. — 299 с.
16. *Писаренко В.Н.* Средства обеспечения приемлемого уровня безопасности полетов // Вестник Московского авиационного института. 2012. Т. 19. № 3. С. 27-34.
17. *Фомкина В.И., Шатловская К.В.* Оценка влияния объемов дебиторской задолженности на уровень операционного и финансового риска авиаремонтных предприятий // Вестник Московского авиационного института. 2013. Т. 20. № 1. С. 228-233.
18. *Писаренко В.Н.* Управление ремонтпригодностью в полном эксплуатационном цикле объекта // Труды МАИ. 2012. № 59. URL: <http://trudymai.ru/published.php?ID=35243>
19. *Комарова А.М., Новиков С.В.* Оптимизация трудовых процессов ремонта авиадвигателей на основе совершенствования инновационного трудового потенциала в условиях нормирования // Вестник Московского авиационного института. 2016. Т. 23. № 1. С. 252-258.
20. *Бодрышев А.В., Куприков М.Ю.* Выбор оптимального компоновочного решения исходя из требований ремонтпригодности, взаимозаменяемости, легкосъемности // Вестник Московского авиационного института. 2011. Т. 18. № 4. С. 20-26.
21. *Ямпольский С.М., Рубинов В.И., Головин В.Я.* Расчет периодичности работ по техническому обслуживанию и ремонту изделия авиационной техники с учетом характеристик и места комплектующих его элементов в структурно-логической схеме надежности // Вестник Московского авиационного института. 2012. Т. 19. № 4. С. 94-99.
22. *Спиридонов И.Б.* Организация процесса анализа контролепригодности авиационных систем // Труды МАИ. 2015. № 79. URL: <http://trudymai.ru/published.php?ID=55845>

TESTABILITY MANAGEMENT WHILE AN OBJECT OPERATION

Pisarenko V.N.

*Samara National Research University named after academician S.P. Korolev,
34, Moscovskoe shosse, Samara, 443086, Russia
e-mail: victormpisarenko@gmail.com*

Abstract

Foreign-made aircraft (AC) ingress to domestic civil aviation airlines revealed a number of significant challenges, including the testability provision (abbreviated Tst). We will denote testability management hereafter by FTsbl symbol with Tstblt subscript. An ill-considered implementation of foreign-made components in aviation transportation system of Russia without comprehensive accounting for operation and maintenance factors leads to above-level downtime of cost intensive aerotechnics, and upset of calculated value of an aircraft testability. At present, revealing assessments and factors of testability management, gains special topicality and requires comprehensive analysis. Many

scientists in Russia, including V.S. Shapkin, N. Gipich, V.G. Evdokimov, A. Stepanov, V. Viktorova and abroad, including Douglas, T. Ross, studied testability as the means of equipment failure-free operation provision through its whole life cycle. However, the studies of testability provision while operation are insufficient. The testability management system is being reduced to compliance with the State Standard 27518-87 "Products diagnosis", i. e. to totality of coordinating activities on management state, as a part of general enterprise management. These activities are not oriented with respect to testability while operation. They are fulfilled without adequate theoretical development on substantiating the required acceptable testability level of

object under operation and control action. It does not achieve the desired goal since functional dependencies of testability management, controlled parameters and acceptable limits of testability parameters variation of controlled products are not substantiated theoretically.

The objective of this article consists in studying the possibility of testability management while operation and developing mathematical model of testability management of an object on the example of testability management of aerotechnics.

The article describes the testability as a function of the monitored object under operation. It presents description of testability computation models and algorithms. Based on the theory of optimal processes and Pontryagin's maximum principle the mathematical model of the function test was studied. A mathematical model of an operated object testability management on the example of aerotechnics. This model is based on measuring indices and parameters of operation, processing of the obtained data, analyzing and developing control action on the operated object.

A mathematical model of controlled object under operation testability on the example of aviation technology, based on the measurement of parameters and operating parameters, the processing of this data analysis and generation of control action on the object of exploitation. An approach to testability management of an object under operation was deduced.

Keywords: testability, diagnostics, indicators, control, function, full control, control exhaustiveness, control exhaustiveness, failures' types and consequences analysis.

References

1. *Diagnostirovanie izdelii. Obshchie trebovaniya, GOST 27518-87* (Diagnostics products. General requirements. State Standard 27518-87), Moscow, Standarty, 1989.
2. *Nadezhnost' v tekhnike. Tekhnologicheskie sistemy. Obshchie trebovaniya k metodam otsenki nadezhnosti, GOST 27.203-83* (Reliability technology. A technological system. General requirements for methods of reliability evaluation. State Standard 27.203-83), Moscow, Standarty, 1984, 4 p.
3. *Tekhnicheskaya diagnostika. Kontroleprigodnost'. Obshchie trebovaniya. GOST 26656-85* (Technical diagnostics. The testability. General requirements. State Standard 26656-85), Moscow, Standarty, 1985, 10 p.
4. *Tekhnicheskaya diagnostika. Terminy i opredeleniya. GOST 20911-89* (Technical diagnostics. Terms and definitions. State Standard 20911-89), Moscow, Standarty, 1991, 11 p.
5. *MIL-HDBK-2165. Department of defense handbook: Testability handbook for systems and equipment.* Department of defense, Washington, USA, 26 January 1995, http://everyspec.com/MIL-HDBK/MIL-HDBK-2000-2999/MIL-HDBK-2165_15131/
6. *MIL-HDBK-472. Military standardization handbook: Maintainability Prediction.* Department of defense, Washington, USA, 24 May 1966, http://everyspec.com/MIL-HDBK/MIL-HDBK-0300-0499/MIL_STD_472_1324/
7. *MIL-STD-2155. Military standard: failure reporting, analysis and corrective action system (FRACAS).* 24 July 1985, http://everyspec.com/MIL-STD/MIL-STD-2000-2999/MIL_STD_2155_61/
8. *Standard SAE JAI012 "A Guide to the Reliability-Centered Maintenance (RCM) Standard".* SAE International, 24 January 2002, 57 p.
9. Daletskii S.V. *Formirovanie ekspluatatsionno-tekhnicheskikh kharakteristik vozdukhnykh sudov grazhdanskoi aviatsii* (Formation of operational and technical characteristics of civil aircraft), Moscow, Vozdushnyi transport, 2005, 416 p.
10. Shklyar V.N. *Nadezhnost' sistem upravleniya* (Reliability of control systems), Tomsk, Tomskogo politekhnicheskogo universiteta, 2009, 126 p.
11. Gipich G.N., Evdokimov V.G., Shapkin V.S. *Nauchnyi vestnik MGTUGA*, 2013, no. 187, pp. 46-48.
12. Pontryagin L.S., Boltyanskii V.G., Gamkrelidze R.V., Mishchenko E.F. *Matematicheskaya teoriya optimal'nykh protsessov* (Mathematical theory of optimal processes), Moscow, Nauka, 1983, 393 p.
13. Stoll R.R. *Sets, Logic and Axiomatic Theories.* San Francisco and London, W. H. Freeman, 1961.
14. Negoitse K. *Primenenie teorii sistem k problemam upravleniya* (Application of systems theory to management problems), Moscow, Mir, 1981, 183 p.
15. Cox D.R. and Smith W.L. *Queues.* London, Methuen/New York, Wiley, 1961.
16. Pisarenko V.N. *Vestnik Moskovskogo aviatsionnogo instituta*, 2012, vol. 19, no. 3, pp. 27-34.
17. Fomkina V.I., Shatlovskaya K.V. *Vestnik Moskovskogo aviatsionnogo instituta*, 2013, vol. 20, no. 1, pp. 228-233.
18. Pisarenko V.N. *Trudy MAI*, 2012, no. 59, URL: <http://trudymai.ru/eng/published.php?ID=35243&eng=Y>
19. Komarova A.M., Novikov S.V. *Vestnik Moskovskogo aviatsionnogo instituta*, 2016, vol. 23, no. 1, pp. 252-258.
20. Bodryshev A.V., Kuprikov M.Yu. *Vestnik Moskovskogo aviatsionnogo instituta*, 2011, vol. 18, no. 4, pp. 20-26.
21. Yampol'skii S.M., Rubinov V.I., Golovin V.Ya. *Vestnik Moskovskogo aviatsionnogo instituta*, 2012, vol. 19, no. 4, pp. 94-99.
22. Spiridonov I.B. *Trudy MAI*, 2015, no. 79, available at: <http://trudymai.ru/eng/published.php?ID=55845>