

УДК 629.735

МАТЕМАТИЧЕСКИЕ МОДЕЛИ ПРОЦЕССОВ И СИСТЕМ ТЕХНИЧЕСКОЙ ЭКСПЛУАТАЦИИ БОРТОВЫХ КОМПЛЕКСОВ И ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ СИСТЕМ АВИОНИКИ

С.В. КУЗНЕЦОВ¹

¹*Московский государственный технический университет гражданской авиации,
г. Москва, Россия*

Современные воздушные суда (ВС) оснащены сложными и разнообразными системами и комплексами авионики. Техническая эксплуатация (ТЭ) ВС и его авионики рассматривается как процесс с последовательной сменой состояний эксплуатации. Реализация процесса – это последовательность переходов авионики по состояниям эксплуатации, имевших место между двумя последовательными полетами. Математические модели процессов и систем ТЭ авионики представлены как марковские цепи, марковские и полумарковские процессы. Ставится задача разработки граф-моделей процессов ТЭ авионики, описывающих ее работу в полете, а также обслуживание на земле в различных системах ТЭ. Предложены граф-модели процессов и систем ТЭ бортовых комплексов (БК) и функциональных систем (ФС) авионики в полете, построенные на основе таблиц состояний. Модели конкретизированы для различных систем ТЭ: по состоянию с контролем уровня надежности, по состоянию с контролем параметров, по ресурсу. Событиями, в результате которых БК или ФС меняют свое состояние, являются отказы элементов и ошибки встроенных средств контроля. Система ТЭ авионики по состоянию с контролем уровня надежности применима для объектов с постоянной или слабо меняющейся во времени интенсивностью отказов. Система ТЭ авионики по ресурсу в основном применяется для объектов с растущей во времени интенсивностью отказов Система ТЭ авионики по состоянию с контролем параметров применяется для объектов с растущей во времени интенсивностью отказов и имеющих обобщенные параметры, по которым можно осуществлять прогнозирование и назначать границы предотказовых состояний. Предложенный формальный графический подход к построению моделей процессов ТЭ БК и ФС авионики является основой для построения моделей сколь угодно сложных систем и комплексов как для единичного ВС, так и для парка ВС одной авиакомпании или даже всего парка ВС определенного типа. Полученные граф-модели процессов ТЭ БК и ФС авионики в различных системах ТЭ позволяют приступить к построению аналитических моделей.

Ключевые слова: математические модели, процессы и системы, техническая эксплуатация, воздушное судно, авионика, бортовые комплексы, функциональные системы.

ВВЕДЕНИЕ

Современные ВС оснащены сложными и разнообразными системами и комплексами авионики. Анализ структуры современных комплексов и систем авионики ВС гражданской авиации (ГА) проведен в [1]. Состояние и прогноз оснащения авионикой парка магистральных пассажирских самолетов российских авиакомпаний описаны в [2]. Принципы построения электронных приборных систем рассмотрены в [3]. Принципы построения интегрированной и федеративно-интегрированной распределенной модульной авионики рассмотрены в [4, 5]. Объектные модели авионики на основе нечетких множеств и нечетких соответствий, разработанные в [6, 7], позволяют решить ряд важных задач на этапе проектирования. Определение аналитических функций интенсивности отказов и вероятности безотказной работы авионики по статистическим данным, описанное в [8], дает возможность обоснования параметров случайных процессов, описывающих процесс ТЭ авионики. В работах [9, 10] математические модели процессов и систем ТЭ авионики представлены как марковские цепи, марковские и полумарковские процессы.

Ставится задача разработки граф-моделей процессов ТЭ авионики, описывающих ее работу в полете, а также обслуживание на земле в различных системах ТЭ, с целью последующей разработки аналитических моделей, их использования для оптимизации и синтеза процессов ТЭ авионики.

ПОСТРОЕНИЕ ГРАФ-МОДЕЛЕЙ ПРОЦЕССОВ ТЭ АВИОНИКИ

Процесс технической эксплуатации бортовых комплексов и функциональных систем авионики представляет собой последовательную во времени смену состояний эксплуатации. Реализация процесса – это последовательность переходов авионики, имевших место между началом i -го полета и началом $(i+1)$ -го полета.

Рассмотрим модель ТЭ авионики в полете. Пусть в общем случае реализация процесса функционирования БК или ФС авионики состоит из m переходов, совершаемых в моменты времени $t_i (t_0 \leq t_1 \leq \dots \leq t_m)$. Событиями, в результате которых БК или ФС меняют свое состояние, являются отказы элементов и ошибки встроенных средств контроля. Проведем нумерацию отказов и ошибок, обозначив через $\mathbf{X} = \{x_1, \dots, x_N\}$ допустимое множество событий, заключающихся в появлении i -го отказа или ошибки.

Состояние БК или ФС авионики с полностью исправными элементами обозначим s_0 . Состояние БК или ФС после возникновения отказов и ошибок с порядковыми номерами $i (x_i \in \mathbf{X}), j (x_j \in \mathbf{X}, j \neq i), k (x_k \in \mathbf{X}, k \neq i, j)$, произошедшими в указанной последовательности во времени обозначим s_{ijk} . Состояния с одним отказом или одной ошибкой будем называть состояниями первого уровня и обозначать \mathbf{S}^1 , с двумя – второго уровня \mathbf{S}^2 и т. д. Тогда реализация процесса функционирования БК или ФС в полете запишется следующим образом

$$s_0(t_0), s_i^1(t_1), s_{ij}^2(t_2), \dots, s_{ij\dots k}^k, \quad x_i, x_j, x_k \in \mathbf{X}, j \neq i, k \neq i, j.$$

На основе анализа влияния отказов и ошибок на переходы объекта эксплуатации (ОЭ) по своим состояниям формируется множество логических функций $\mathbf{H} = \{H_{i,j}; i, j = \overline{0,2}\}$ принадлежности ОЭ к подмножествам состояний $\mathbf{S}_{i,j} (i, j = \overline{0,2})$. Логические функции состояний показывают, какие сочетания отказов и ошибок приводят к попаданию ОЭ в данное подмножество состояний. Они представляют собой конъюнкции элементов из множества \mathbf{X} .

Составим таблицу состояний ОЭ (табл. 1). В нулевом столбце записывается номер состояния ОЭ. В следующих N столбцах записывается логическая функция этого состояния. Для этого в случае возникновения отказа или ошибки x_i в таблице в i -м столбце проставляется 1. Если отказа или ошибки x_i не было, то в таблице в i -м столбце проставляется 0. В $(N+1)$ -м столбце записываются подмножества состояний, к которым следует отнести данное состояние.

Порядок заполнения таблицы состояний следующий.

1. Заполняется первая строка таблицы для состояния полной исправности s_0 . На пересечении строки с $(1 \rightarrow N)$ столбцами проставляется 0. В $(N+1)$ -м столбце указывается, что $s_0 \in \mathbf{S}_{0,0}$.

2. Анализируются состояния первого уровня. Для этого поочередно для каждого x_i в i -й столбец заносится 1. Получившаяся логическая функция h_i сравнивается с логическими функциями из множества \mathbf{H} . В случае совпадения h_i с $H_{i,j}; i, j = \overline{0,2}$ данное состояние записывается в таблицу, а в $(N+1)$ -м столбце указывается принадлежность $s_i \in \mathbf{S}_{i,j}$. В противном случае данное состояние в таблицу не заносится.

3. Анализируются состояния второго и последующего уровней до тех пор, пока не будет достигнут уровень, вероятностью возникновения состояний которого можно пренебречь.

На этом построение таблицы состояний заканчивается.

Таблица 1
Table 1

Таблица технических состояний
Table of technical states

Состояние	Логическая функция состояния											Подмножество состояний
	x_1	x_2	x_3	...	x_i	...	x_j	...	x_k	...	x_k	
s_0	0	0	0	...	0	...	0	...	0	...	0	$S_{0,0}$
s_1	1	0	0	...	0	...	0	...	0	...	0	$S_{0,1}$
	
s_i	0	0	0	...	1	...	0	...	0	...	0	$S_{1,1}$
	
s_N	0	0	0	...	0	...	0	...	0	...	1	$S_{1,2}$
s_{12}	1	1	0	...	0	...	0	...	0	...	0	$S_{1,1}$
	
s_{ij}	0	0	0	...	1	...	1	...	0	...	0	$S_{2,2}$
	
s_{kN}	0	0	0	...	0	...	0	...	1	...	1	$S_{2,1}$
s_{123}	1	1	1	...	0	...	0	...	0	...	0	$S_{2,2}$
	
s_{ijk}	0	0	0	...	1	...	1	...	1	...	0	$S_{2,1}$
	
s_{jkN}	0	0	0	...	0	...	1	...	1	...	1	$S_{2,2}$

Наглядной иллюстрацией процесса функционирования авионики в полете является граф-модель, изображенная на рис. 1. Граф-модель представляет собой комбинацию вершин и соединяющих их ориентированных дуг. Вершины графа характеризуют состояние авионики, а дуги, соединяющие разные вершины, обозначают переходы. Кроме дуг, соединяющих разные вершины, на графе могут быть показаны дуги, начинающиеся и заканчивающиеся в одной и той же вершине, – петли. Вершину, из которой начинается полет, назовем источником.

За источником следуют вершины первого порядка s^1 , соответствующие первому изменению состояния авионики, затем – вершины второго порядка s^2 и т. д. Если полет начинается из исправного состояния s_0 , то порядок вершин совпадает с уровнем отказа.

В результате первого отказа в ОЭ, обнаруженного встроенными средствами контроля (ВСК), происходит переход из исправного состояния $s_0 \in S_{0,0}^1$ в неисправное работоспособное состояние $s_{k1,1} \in S_{1,1}^1$, $k_{1,1} = \overline{1, M_{1,1}}$, где $M_{1,1}$ – количество отказов в резервированных участках ОЭ, приводящих ОЭ в подмножество состояний $S_{1,1}$. Если отказ произошел в нерезервированном участке ОЭ и был вовремя обнаружен ВСК, происходит переход в неработоспособное состояние $s_{k1,1}^1 \in S_{2,2}^1$, $k_{2,2} = \overline{1, M_{2,2}}$, где $M_{2,2}$ – количество отказов в нерезервированных участках ОЭ, приводящих ОЭ в подмножество состояний $S_{2,2}$.

В результате первой ошибки ВСК, когда исправное состояние ОЭ принимается за неисправное, происходит переход в состояние $s_{k0,1}^1 \in \mathbf{S}_{0,1}^1$, $k_{0,1} = \overline{1, M_{0,1}}$, где $M_{0,1}$ – количество ошибок ВСК в резервированных участках ОЭ в подмножестве состояний $\mathbf{S}_{0,1}$. Если такая ошибка произошла в нерезервированном участке ОЭ, происходит переход в состояние $s_{k0,2}^1 \in \mathbf{S}_{0,2}^1$, $k_{0,2} = \overline{1, M_{0,2}}$, где $M_{0,2}$ – количество ошибок ВСК в нерезервированных участках ОЭ, приводящих ОЭ в подмножество состояний $\mathbf{S}_{0,1}$.

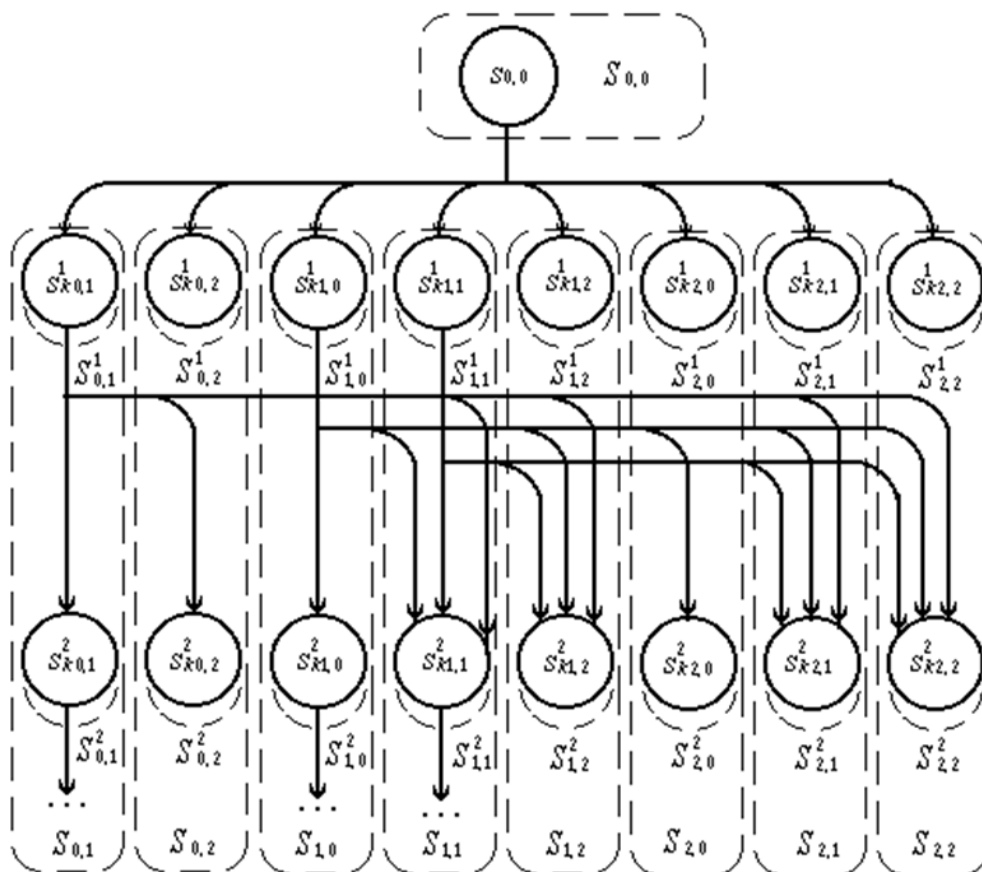


Рис. 1. Граф-модель процесса ТЭ авионики в полете
 Fig. 1. Graf-model of avionics technical operation process in flight

В результате первой ошибки ВСК, когда неисправное, но работоспособное состояние ОЭ принимается за исправное, происходит переход в состояние $s_{k1,0}^1 \in \mathbf{S}_{0,1}^1$, $k_{1,0} = \overline{1, M_{1,0}}$, где $M_{1,0}$ – количество ошибок ВСК, приводящих ОЭ в подмножество состояний $\mathbf{S}_{1,0}$. Если происходит такая ошибка ВСК, когда неисправное, но работоспособное состояние ОЭ принимается за неисправное, происходит переход в состояние $s_{k1,2}^1 \in \mathbf{S}_{1,2}^1$, $k_{1,2} = \overline{1, M_{1,2}}$, где $M_{1,2}$ – количество ошибок ВСК, приводящих ОЭ в подмножество состояний $\mathbf{S}_{1,2}$.

В результате первой ошибки ВСК, когда неисправное и неработоспособное состояние ОЭ принимается за исправное, происходит переход в состояние $s_{k2,0}^1 \in \mathbf{S}_{2,0}^1$, $k_{2,0} = \overline{1, M_{2,0}}$, где $M_{2,0}$ – количество ошибок ВСК, приводящих ОЭ в подмножество состояний $\mathbf{S}_{2,0}$. Если происходит ошибка ВСК, когда неисправное и неработоспособное состояние ОЭ принимается за неисправное, происходит переход в состояние $s_{k2,1}^1 \in \mathbf{S}_{2,1}^1$, $k_{2,1} = \overline{1, M_{2,1}}$, где $M_{2,1}$ – количество оши-

бок ВСК, приводящих ОЭ в подмножество состояний $S_{2,1}$. Из вершин подмножеств состояний $S_{0,1}^1, S_{1,0}^1, S_{1,1}^1$ в результате повторных отказов и ошибок возможны переходы в вершины второго порядка. Рассуждения при этом остаются теми же, что и для случая первого отказа или первой ошибки. Размерности подмножеств состояний $S_{0,1}^2, S_{0,2}^2, S_{1,0}^2, S_{1,1}^2, S_{1,2}^2, S_{2,0}^2, S_{2,1}^2, S_{2,2}^2$ будут равны соответственно $L_{0,1}, L_{0,2}, L_{1,0}, L_{1,1}, L_{1,2}, L_{2,0}, L_{2,1}, L_{2,2}$. Если ОЭ допускает третий и последующий отказы или ошибки, то граф-модель достраивается аналогичным образом. Подмножества состояний $S_{i,j} = \{S_{i,j}^0, S_{i,j}^1, \dots\}$, $i, j = 0, 1, 2$ будут иметь размерности $(M_{i,j} + L_{i,j} + \dots)$. Рассмотрим далее модели процессов ТЭ БК и ФС авионики в различных системах эксплуатации.

СИСТЕМА ТЭ АВИОНИКИ ПО СОСТОЯНИЮ С КОНТРОЛЕМ УРОВНЯ НАДЕЖНОСТИ

Система ТЭ авионики по состоянию с контролем уровня надежности применима для объектов с постоянной или слабо меняющейся во времени интенсивностью отказов. Граф-модель процесса технической эксплуатации авионики в системе ТЭ по состоянию с контролем уровня надежности представлена на рис. 2. Состояния авионики, возникающие в полете, укрупнены до подмножеств состояний. Переходы авионики в полете из одного подмножества состояний в другое соответствуют переходам, описанным в граф-модели, изображенной на рис. 1.

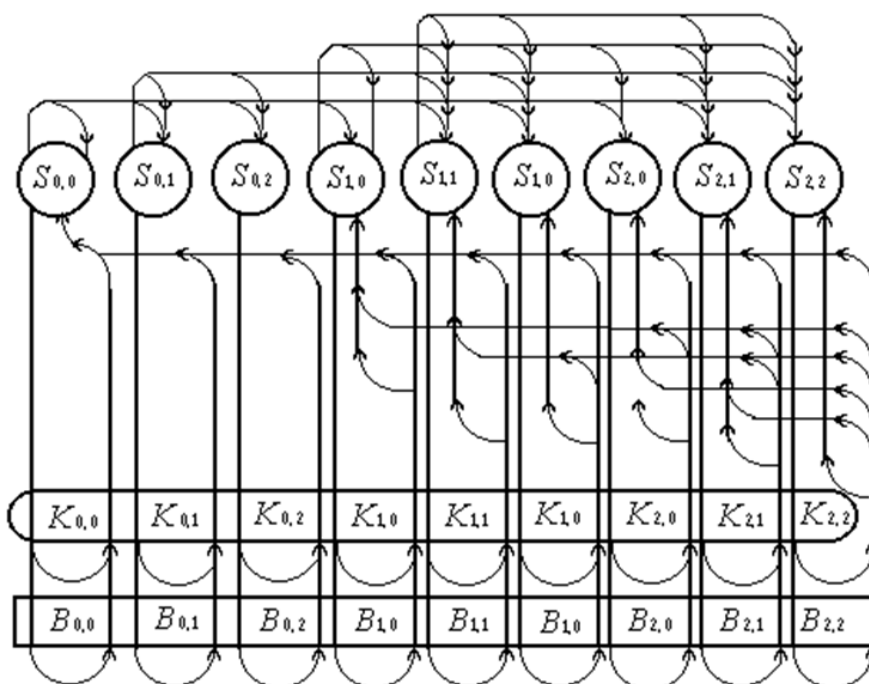


Рис. 2. Граф-модель процесса ТЭ авионики в системе ТЭ по состоянию с контролем уровня надежности
Fig. 2. Graf-model of avionics technical operation process for the system with control of the level of reliability

ОЭ, находящийся после полета в состоянии $S_{0,0}$, в результате послеполетного контроля попадает в очередной полет находящимся в том же состоянии (петля в $S_{0,0}$ замыкается через послеполетный контроль $K_{0,0}$). В случае ошибок послеполетного контроля происходит ложный сьем блоков авионики по подозрению в отказе, которые отправляются в лаборатории АТБ для более тщательного контроля (петля в $S_{0,0}$ замыкается через восстановление $B_{0,0}$).

Объект, находящийся после полета в состоянии $S_{0,1}$, в результате послеполетного контроля попадает в очередной полет в состоянии $S_{0,0}$ (петля через $K_{0,1}$). В случае ошибок послеполетного контроля происходит ложное восстановление объекта (петля через $V_{0,1}$). Аналогично для объекта, находящегося после полета в состоянии $S_{0,2}$. Безошибочный послеполетный контроль приводит к попаданию объекта в очередной полет в состоянии $S_{0,0}$ (петля через $S_{0,2}$), ошибки приводят к ложному восстановлению (петля через $V_{0,2}$).

Объект, находящийся после полета в состоянии $S_{1,0}$, в результате безошибочного послеполетного контроля и восстановления попадает в очередной полет в состоянии $S_{0,0}$ (петля через $K_{1,0}$, $V_{1,0}$). В случае обнаружения при послеполетном контроле неисправности объекта следующий полет начинается из состояния $S_{1,0}$ (петля через $K_{1,0}$). Объект, находящийся после полета в состоянии $S_{1,2}$, в результате безошибочного послеполетного контроля и восстановления попадает в очередной полет в состоянии $S_{0,0}$ (петля через $K_{1,2}$, $V_{1,2}$).

Объект, находящийся после полета в состояниях $S_{0,0}$, $S_{2,1}$ и $S_{2,2}$, в результате безошибочного послеполетного контроля и восстановления попадает в очередной полет в состоянии $S_{0,0}$ (петли соответственно через $K_{2,0}$, $V_{2,0}$, $K_{2,1}$, $V_{2,1}$, $K_{2,2}$, $V_{2,2}$). Ошибки послеполетного контроля приводят к началу очередного полета в состояниях $S_{2,1}$, $S_{2,2}$ (петли соответственно через $K_{2,0}$, $K_{2,1}$, $K_{2,2}$). Неполное выявление и устранение отказа приводит к началу полета в состояниях $S_{1,0}$, $S_{1,1}$.

Программа ТОиР может предусматривать отсутствие послеполетного контроля, если по результатам контроля в полете принимается решение об исправном состоянии авионики. Тогда на граф-модели будут отсутствовать петли, замыкающиеся через $K_{1,0}$, $K_{2,0}$.

СИСТЕМА ТЭ АВИОНИКИ ПО РЕСУРСУ

Система ТЭ авионики по ресурсу в основном применяется для объектов с растущей во времени интенсивностью отказов (рис. 3).

Переходы объекта в полете и в результате послеполетного контроля и восстановления соответствуют предыдущим моделям. Отличительной особенностью данной модели является наличие через заранее назначенные промежутки времени контроля при регламентном ТО ($K_{i,j}''$, $i, j = 0, 1, 2$), по результатам которого производится профилактическое восстановление ($V_{i,j}''$, $i, j = 0, 1, 2$).

СИСТЕМА ТЭ АВИОНИКИ ПО СОСТОЯНИЮ С КОНТРОЛЕМ ПАРАМЕТРОВ

Система ТЭ авионики по состоянию с контролем параметров применяется для объектов с растущей во времени интенсивностью отказов и имеющих обобщенные параметры, по которым можно осуществлять прогнозирование и назначать границы предотказовых состояний. В этой модели дополнительно выделены следующие подмножества состояний объекта: $S_{0,3}$ – подмножество состояний объекта, когда вследствие ошибок контроля исправное состояние объекта принимается за предотказовое; $S_{1,3}$ – подмножество состояний объекта, когда вследствие ошибок контроля неисправное, но работоспособное состояние объекта принимается за предотказовое состояние; $S_{2,3}$ – подмножество состояний объекта, когда вследствие ошибок контроля неработоспособное состояние объекта принимается за предотказовое состояние;

$S_{3,3}$ – подмножество состояний объекта, когда предотказовое состояние принимается за исправное; $S_{3,1}$ – подмножество состояний объекта, когда предотказовое состояние принимается за неработоспособное; $S_{3,3}$ – подмножество состояний объекта, когда правильно классифицируется предотказовое состояние.

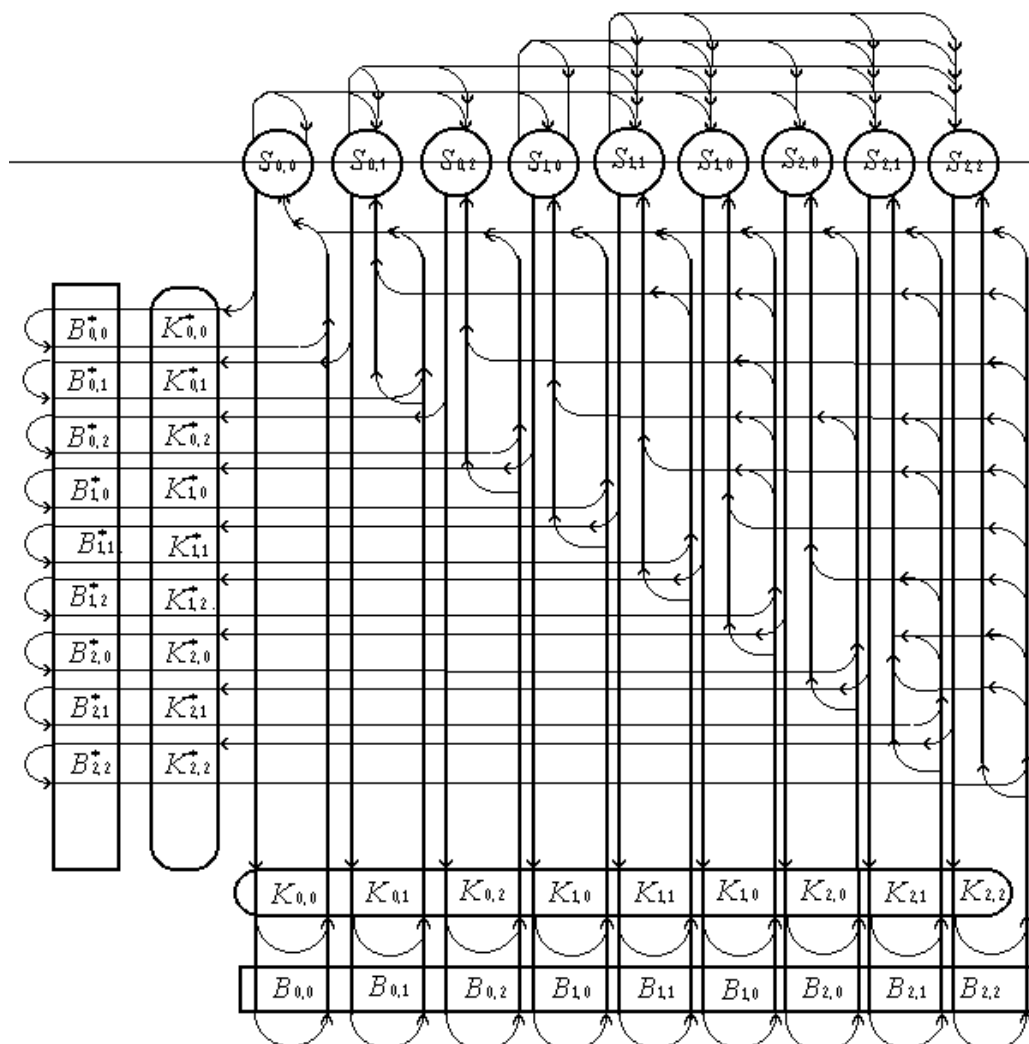


Рис. 3. Граф-модель процесса ТЭ авионики в системе ТЭ по ресурсу
Fig. 3. Graf-model of avionics technical operation process for the system with control of resource

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Предложенный формальный графический подход к построению моделей процессов ТЭ БК и ФС авионики является основой для построения моделей сколь угодно сложных систем и комплексов как для единичного ВС, так и для парка ВС одной авиакомпании или даже всего парка ВС определенного типа. Модели реализуются на ЭВМ и используются для последующего статистического моделирования. Полученные граф-модели процессов ТЭ БК и ФС авионики в различных системах ТЭ позволяют приступить к построению аналитических моделей этих процессов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Кузнецов С.В. Анализ структуры современных комплексов и систем авионики воздушных судов гражданской авиации // Научный Вестник МГТУ ГА. 1998. № 3. С. 5–26.

2. Кузнецов С.В., Зыль В.П. Состояние и прогноз оснащения авионикой парка магистральных пассажирских самолетов российских авиакомпаний // Научный Вестник МГТУ ГА. 2002. № 48. С. 7–9.
3. Кузнецов С.В. Электронные приборные системы. М.: МГТУ ГА, 2015. 90 с.
4. Федосов Е.А., Косьянчук В.В., Сельвесюк Н.И. Интегрированная модульная авионика // Радиоэлектронные технологии. 2015. № 1. С. 66–71.
5. Кулабухов В.С. Федеративно-интегрированная распределенная модульная авионика // Авиакосмическое приборостроение. 2015. № 12. С. 11–31.
6. Кузнецов С.В., Зыль В.П., Шишкин В.В. Объектные модели авионики на основе нечетких множеств // Научный Вестник МГТУ ГА. 2003. № 71. С. 67–73.
7. Объектные модели авионики на основе нечетких соответствий / С.В. Кузнецов, В.П. Зыль, Г.Е. Перегудов, В.В. Шишкин // Научный Вестник МГТУ ГА. 2009. № 148. С. 25–31.
8. Кузнецов С.В. Определение аналитических функций интенсивности отказов и вероятности безотказной работы пилотажно-навигационного оборудования по статистическим данным // Научный Вестник МГТУ ГА. 2012. № 185. С. 19–26.
9. Кузнецов С.В. Математические модели процессов и систем технической эксплуатации авионики как марковские цепи // Научный Вестник МГТУ ГА. 2014. № 201. С. 56–64.
10. Кузнецов С.В. Математические модели процессов и систем технической эксплуатации авионики как марковские и полумарковские процессы // Научный Вестник МГТУ ГА. 2015. № 213. С. 28–33.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРЕ

Кузнецов Сергей Викторович, профессор, доктор технических наук, заведующий кафедрой технической эксплуатации авиационных электросистем и пилотажно-навигационных комплексов Московского государственного технического университета гражданской авиации, s.kuznetsov@mstuca.aero.

MATHEMATICAL MODELS OF PROCESSES AND SYSTEMS OF TECHNICAL OPERATION FOR ONBOARD COMPLEXES AND FUNCTIONAL SYSTEMS OF AVIONICS

Sergey V. Kuznetsov¹

¹Moscow State Technical University of Civil Aviation, Moscow, Russia

ABSTRACT

Modern aircraft are equipped with complicated systems and complexes of avionics. Aircraft and its avionics technical operation process is observed as a process with changing of operation states. Mathematical models of avionics processes and systems of technical operation are represented as Markov chains, Markov and semi-Markov processes. The purpose is to develop the graph-models of avionics technical operation processes, describing their work in flight, as well as during maintenance on the ground in the various systems of technical operation. The graph-models of processes and systems of on-board complexes and functional avionics systems in flight are proposed. They are based on the state tables. The models are specified for the various technical operation systems: the system with control of the reliability level, the system with parameters control and the system with resource control. The events, which cause the avionics complexes and functional systems change their technical state, are failures and faults of built-in test equipment. Avionics system of technical operation with reliability level control is applicable for objects with constant or slowly varying in time failure rate. Avionics system of technical operation with resource control is mainly used for objects with increasing over time failure rate. Avionics system of technical operation with parameters control is used for objects with increasing over time failure rate and with generalized parameters, which can provide forecasting and assign the borders of before-fail technical states. The proposed formal graphical approach avionics complexes and systems models designing is the basis for models and complex

systems and facilities construction, both for a single aircraft and for an airline aircraft fleet, or even for the entire aircraft fleet of some specific type. The ultimate graph-models for avionics in various systems of technical operation permit the beginning of analytical models designing.

Key words: mathematical models, processes and systems, technical operation, avionics, aircraft, on-board complexes, functional systems.

REFERENCES

1. **Kuznetsov S.V.** *Analiz struktury sovremennykh kompleksov i sistem avioniki vozdukhnykh sudov grazhdanskoj aviatsii* [Analysis of the structure of modern avionics systems and complexes of civil aircrafts]. *Nauchnyj Vestnik MGTU GA* [Scientific Bulletin of the MSTUCA], 1998, no. 3, pp. 5–26. (in Russian)
2. **Kuznetsov S.V., Zyl V.P.** *Sostoyaniye i prognoz osnashcheniya avionikoy parka magistral'nykh passazhirskikh samoletov rossiyskikh aviakompaniy* [Status and forecast of avionics equipment for the park of passenger aircrafts of Russian airlines]. *Nauchnyj Vestnik MGTU GA* [Scientific Bulletin of the MSTUCA], 2002, no. 48, pp. 7–9. (in Russian)
3. **Kuznetsov S.V.** *Elektronnyye pribornyye sistemy* [Electronic Instrument Systems]. Moscow, MSTUCA, 2015, 90 p.
4. **Fedosov Ye.A., Kos'yanchuk V.V., Sel'vesyuk N.I.** *Integrirovannaya modul'naya avionika* [Integrated Modular Avionics]. *Radioelektronnyye tekhnologii* [Radio-electronic technologies], 2015, no. 1, pp. 66–71. (in Russian)
5. **Kulabuhov V.S.** *Federativno-integrirovannaya raspredelennaya modul'naya avionika* [Federated distributed integrated modular avionics]. *Aviakosmicheskoye priborostroyeniye* [Aerospace Instrument construction], 2015, no. 12, pp. 11–31. (in Russian)
6. **Kuznetsov S.V., Zyl' V.P., Shishkin V.V.** *Ob'yektnyye modeli avioniki na osnove nechetkikh mnozhestv* [Object avionics models based on fuzzy sets]. *Nauchnyj Vestnik MGTU GA* [Scientific Bulletin of the MSTUCA], 2003, no. 71, pp. 67–73. (in Russian)
7. **Kuznetsov S.V., Zyl' V.P., Peregudov G.Ye., Shishkin V.V.** *Ob'yektnyye modeli avioniki na osnove nechetkikh sootvetstviy* [Object avionics models based on fuzzy matches]. *Nauchnyj Vestnik MGTU GA* [Scientific Bulletin of the MSTUCA], 2009, no. 148, pp. 25–31. (in Russian)
8. **Kuznetsov S.V.** *Opredeleniye analiticheskikh funktsiy intensivnosti otkazov i veroyatnosti bezotkaznoy raboty pilotazhno-navigatsionnogo oborudovaniya po statisticheskim dannym* [Determination of analytic functions, failure rates and the probability of failure of flight and navigation equipment on statistical data]. *Nauchnyj Vestnik MGTU GA* [Scientific Bulletin of the MSTUCA], 2012, no. 185, pp. 19–26. (in Russian)
9. **Kuznetsov S.V.** *Matematicheskiye modeli protsessov i sistem tekhnicheskoy ekspluatatsii avioniki kak markovskiy tsepi* [Mathematical models of processes and systems of avionic technical operation as Markov chains]. *Nauchnyj Vestnik MGTU GA* [Scientific Bulletin of the MSTUCA], 2014, no. 201, pp. 56–64. (in Russian)
10. **Kuznetsov S.V.** *Matematicheskiye modeli protsessov i sistem tekhnicheskoy ekspluatatsii avioniki kak markovskiy i polumarkovskiy protsessy* [Mathematical models of processes and systems of avionic technical operation as Markov and Semimarkov processes]. *Nauchnyj Vestnik MGTU GA* [Scientific Bulletin of the MSTUCA], 2015, no. 213, pp. 28–33. (in Russian)

INFORMATION ABOUT THE AUTHOR

Kuznetsov Sergey Viktorovich, Doctor of Engineering Sciences, Professor, Head of Chair of Aircraft Electrical Systems and Avionics Technical Operation of the Moscow State Technical University of Civil Aviation, s.kuznetsov@mstuca.aero.