

5. Панин, В.Ф. Сотовые конструкции [Текст] / В.Ф. Панин. – М.: Машиностроение, 1982. – 153 с.
6. Allen, H.G. Analysis and design of structural sandwich panels [Текст]/ H.G. Allen.-Pergamon Press.-Oxford, 1969. – 154с.
7. Wierzbicki E., Wozniak Cz. On the dynamic behavior of honeycomb based composite solids // Acta Mech, 2000. – № 141. – P. 161-172.
8. Renji K., Nair P. S., Narayanan S. Modal density of composite honeycomb sandwich panels // J Sound Vib, 1996. – № 195. – P. 687-699.
9. Tong P., Mei C. C. Mechanics of composites of multiple scales // Comput. Mech, 1992. – № 9. – P. 135-210.

## **РАЗРАБОТКА МЕТОДИКИ ПРОГНАЗИРОВАНИЯ ЗАМЕН БЛОКОВ ПИЛОТАЖНО-НАВИГАЦИОННОГО ОБОРУДОВАНИЯ**

**Н.А. Зотин**

Для более быстрого и оперативного проведения технического обслуживания современных систем ВС экономически невыгодно полагаться лишь на диагностирование техники с последующим ее ремонтом или заменой. Учитывая уровень сложности современных систем, длительность процесса их обслуживания, а так же затраты связанные с простоем самолета, появляется острая необходимость в прогнозировании состояний систем, определение их характеристик через указанные промежутки времени. Эта задача решается по средствам моделирования марковских процессов для описания требуемых систем. Для примера рассмотрим систему ИКВСП-140-01.

Состояние системы ИКВСП-140-01 определяется состоянием блоков (исправное или неисправное), которые в нее входят. Для моделирования марковского процесса, описывающего функционирование данной системы целесообразно рассматривать все возможные комбинации состояний блоков. Рассмотрим наиболее вероятные состояния, для этого определим блок, который является самым ненадежным. Если такой блок в системе окажется один, то его состояния определяют состояния всей системы, если таких блоков окажется не-

сколько, то состояние системы определяют комбинации состояний этих блоков.

Для решения этой задачи произведем качественный анализ надежности системы.

На основании информации об отказах системы ИКВСП-140-01 собранной на в ОАО «Авиакор» - авиационный завод, составлена таблица 1.

Таблица 1 – Статистические данные об отказах и неисправностях блоков входящих в состав системы ИКВСП-140

Наименование (шифр) узла, агрегата, детали	Характер отказа	Повторяемость	Обстоятельства обнаружения	Причина	Классификация
УАПК-1-ПБ	Отказал футометр	1919	ТО (проверка пульта)	Дефект комплектующего	КНП
	Выпал бленкер отказа <i>a</i> и <i>л<sub>y</sub></i>	2352, 592, 1337			
УСИМ-1-ПБ	Не обрабатывает счётчик числа маха	102, 171, 257, 377, 549, 658, 787, 858, 850, 928, 1206, 1315, 1404, 1617, 1894, 1919, 2103, 2352, 2368	ТО (проверка пульта)	Плохое контактирование в соединителях блока	Э
МВП-1-1	Разница показаний УСИМ левого и правого	172	ТО (проверка пульта)	Замыкание	Э
	Выпадение бленкера на УВК-1 Ф-ПБ	1894		Дефект комплектующего	КНП
УВК-1М-ПБ	Зашкаливают показания при взлёте за 15000 м и выпадает бленкер	686, 729, 1542, 1406	В полёте	Замыкание	Э

УВК-1М-ПБ	На эшелоне хаотичные показания высоты и выпадает бленкер	653	В полёте	Замыкание	Э
УВК-1-ПБ	Зашкаливают показания на эшелоне за 15000 м, и выпадает бленкер	1542,592	В полёте	Замыкание	Э

По данным таблицы 1 составляем круговую диаграмму долей отказов приходящихся на каждый блок (рис. 1).

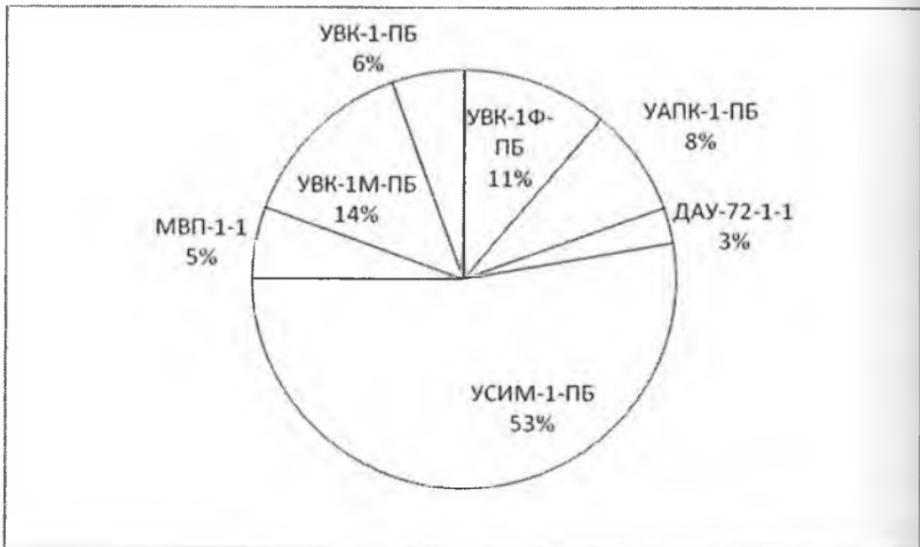


Рис. 1. Доли отказов приходящихся на каждый блок системы ИКВСП-140-01

Как можно заметить самый ненадежный блок в системе, это УСИМ-1-ПБ. Таких блоков в системе два. Следовательно, графическое изображение состояний объекта будет выглядеть как показано на рисунке 26.

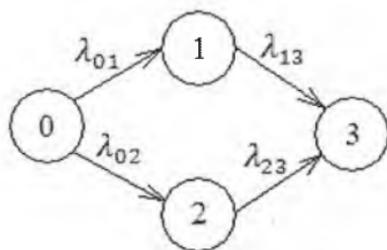


Рис. 2. Графическое изображение состояний системы ИКВСП-140-01

Узел «0» соответствует исправному состоянию системы; узел «1» соответствует состоянию, при котором отказал УСИМК-1-ПБ I-го канала; узел «2» соответствует состоянию, при котором отказал УСИМК-1-ПБ II-го канала; узел «3» соответствует состоянию, при котором отказали УСИМК-1-ПБ I-го канала и УСИМК-1-ПБ II-го канала.

Очевидно, если переход из одного состояния системы в другое определяется отказом блока УСИМК-1-ПБ. Следовательно,

$$\lambda_{01} = \lambda_{02} = \lambda_{13} = \lambda_{23},$$

где  $\lambda$  — интенсивность отказов блока.

Для определения численных значений интенсивности отказа определим закон распределения неисправностей блока.

Для их получения используем данные, полученные в процессе эксплуатации: время наблюдения  $t_n = 2400$  часов; число изделий  $N=42$ ; число неисправных изделий  $n=19$ ; время наработки до отказа отдельных экземпляров: 102, 171, 257, 377, 549, 658, 787, 858, 850, 928, 1206, 1315, 1406, 1617, 1894, 1919, 2103, 2352, 2368.

Произведем группировку данных. Интервал наработки 0 часов разбиваем на разряды по правилу Старджена:

$$k = 1 + 3,3 \cdot \lg 19 = 5,22.$$

Число разрядов принимаем равным с величиной  $\Delta t_i = 400$ .

Расчет эмпирических характеристик производится по формулам [1]:

$$f_i^*(t) = \frac{\Delta n_i}{N \cdot \Delta t_i};$$

$$\lambda^*(t) = \frac{\Delta n_i}{(N - \sum_{i=0}^{i-1} \Delta n_i) \Delta t_i};$$

$$P_i^*(t) = \frac{f_i^*(t)}{\lambda_i^*(t)}$$

и результаты сводим в таблицу 4, после чего строим гистограммы плотности распределения (рис. 3), интенсивности отказов (рис. 28), вероятности безотказной работы (рис. 5).

Таблица 2. Расчет эмпирических характеристик

№	$t_{i-1}$	$t_i$	$\Delta t_i$	$\Delta n_i$	$f_i^* \cdot 10^{-5}$	$\lambda_i^* \cdot 10^{-5}$	$P_i^*$
1	0	400	400	4	23,810	23,810	1
2	400	800	400	3	17,857	19,737	0,904762
3	800	1200	400	3	17,857	21,429	0,833333
4	1200	1600	400	3	17,857	23,438	0,761905
5	1600	2000	400	3	17,857	25,862	0,690476
6	2000	2400	400	3	17,857	28,846	0,619048

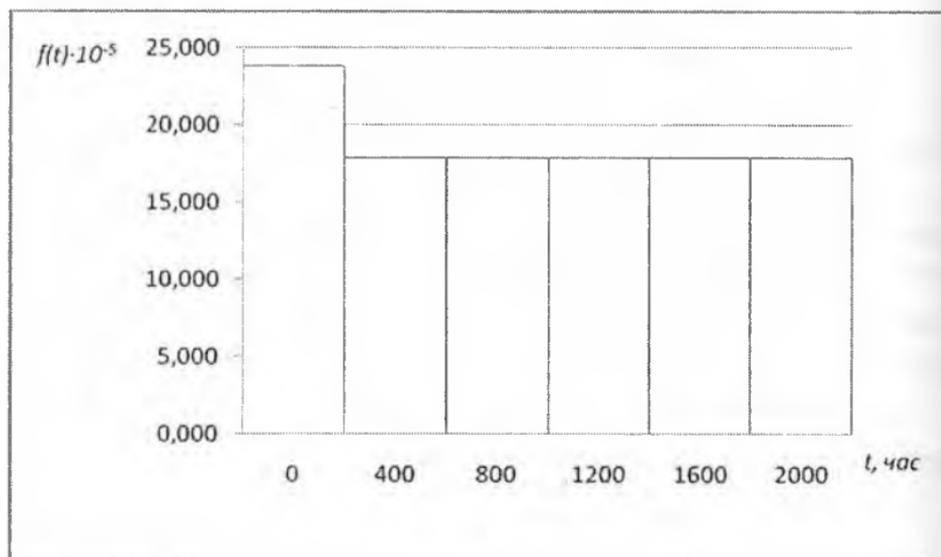


Рис. 3. Гистограмма плотности распределения

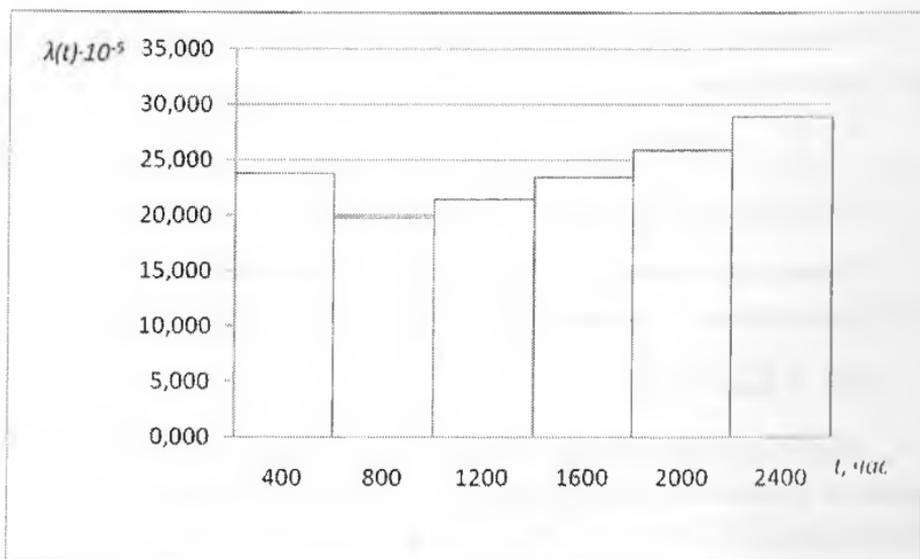


Рис. 4. Гистограмма интенсивности отказов

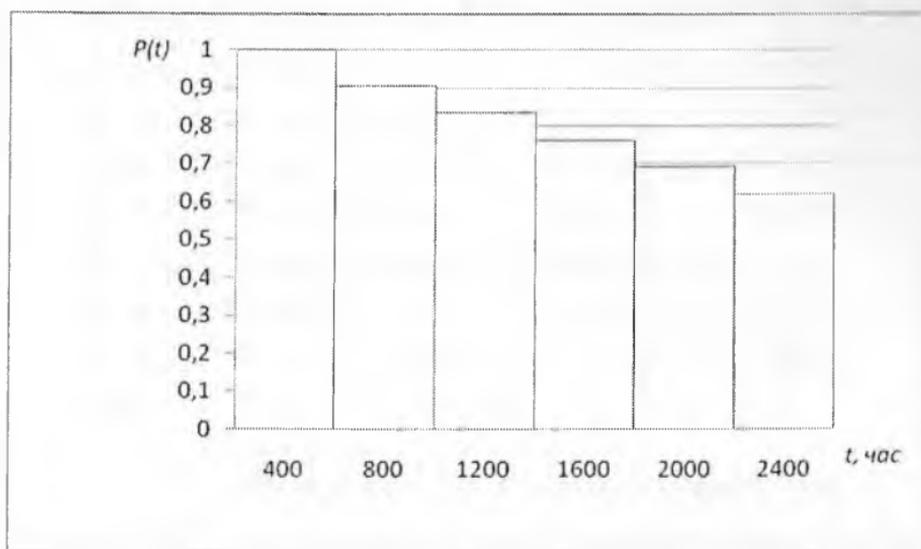


Рис. 5. Гистограмма вероятности безотказной работы

Так как блок УСИМ-1-ПБ является объектом, состоящим из большого количества элементов, вероятность отказов которых достаточно мала, делаем вывод о том, что отказы блока распределены по экспоненциальному закону [1]. Об этом не противоречит и внешний вид гистограмм.

Определяем параметры законов распределения на основании соотношения [1]:

$$\lambda = \frac{n}{\sum_{t_i=1}^n t_i + (N-n)t_\alpha}$$

$$\lambda = \frac{19}{21717 + (42-19) \cdot 2400} = 24,702 \cdot 10^{-5},$$

Проверка правильности принятой гипотезы осуществляется с помощью критерия Пирсона, рассчитанного по выражению [1]:

$$U^2 = \sum_{i=1}^k \frac{(\Delta n_i - N \cdot q_i)^2}{N \cdot q_i}.$$

Число разрядов при расчете критерия на единицу больше числа разрядов разбиения вариационного ряда. Результаты расчетов заносим в таблицу 3.

Таблица 3. Расчет критерия Пирсона

№	$t_{i-1}$	$t_i$	$\Delta t_i$	$\Delta n_i$	$q_i$	$N \times q_i (\Delta t_i)$	$\Delta n_i - N \cdot q_i (\Delta t_i)$	$U_i^2$
1	0	400	400	4	0,0940832	3,951	0,049	0,000595
2	400	800	400	3	0,0852315	3,580	-0,580	0,093885
3	800	1200	400	3	0,0772127	3,243	-0,243	0,018198
4	1200	1600	400	3	0,0699483	2,938	0,062	0,001316
5	1600	2000	400	3	0,0633673	2,661	0,339	0,043071
6	2000	2400	400	3	0,0574055	2,411	0,589	0,143874
7	2400	$\infty$		23	0,5527515	23,216	-0,216	0,002002
$\Sigma U_i^2$								0,287388

Число степеней свободы в случае семи разрядов таблицы и одного параметра закона распределения в соответствии с выражением:

$$r = k - 1,$$

где  $k$  – число параметров закона распределения, равно:

$$r = 6 - 1 = 5.$$

Задавшись уровнем значимости  $\alpha$  и числа степеней свободы находим по таблице значение  $\chi_{\text{кр}}^2$ . Подсчитанное значение

$U^2 = 0,2$  не попадает в критическую область (9,2. Следовательно, принятая гипотеза об экспоненциальном законе распределения не противоречит статистическим данным.

Зная, интенсивность отказов для графа, изображенного на рисунке 2, составим систему дифференциальных уравнений [2]:

$$\left. \begin{aligned} \frac{dP_0(t)}{dt} &= -2\lambda P_0(t); \\ \frac{dP_1(t)}{dt} &= \lambda P_0(t) - \lambda P_1(t); \\ \frac{dP_2(t)}{dt} &= \lambda P_0(t) - \lambda P_2(t); \\ \frac{dP_3(t)}{dt} &= \lambda P_1(t) + \lambda P_2(t); \end{aligned} \right\}$$

где  $P$  – вероятность того, что объект в момент времени  $t$  находится в  $i$ -том состоянии.

Решая данную систему, задавшись значениями

$$P_0(0) = 1, P_1(0) = 0, P_2(0) = 0, P_3(0) = 0, \text{ получаем:}$$

$$\begin{aligned} P_0(t) &= e^{-2\lambda t}, \\ P_1(t) &= e^{-\lambda t} - e^{-2\lambda t}, \\ P_2(t) &= e^{-\lambda t} - e^{-2\lambda t}, \\ P_3(t) &= e^{-2\lambda t} - 2e^{-\lambda t} + 1. \end{aligned}$$

Подставив числовое значение  $\lambda$  получим:

$$\begin{aligned} P_0(t) &= e^{-49,404 \cdot 10^{-5} t}, \\ P_1(t) &= e^{-24,702 \cdot 10^{-5} t} - e^{-49,404 \cdot 10^{-5} t}, \\ P_2(t) &= e^{-24,702 \cdot 10^{-5} t} - e^{-49,404 \cdot 10^{-5} t}, \\ P_3(t) &= e^{-49,404 \cdot 10^{-5} t} - 2e^{-24,702 \cdot 10^{-5} t} + 1. \end{aligned}$$

На рисунке 6 изображены графики вероятностей нахождения системы во всех ее состояниях в течение времени. ВС в полет допускается с одним отказавшим УСИМ-1-ПБ. Следовательно, время, через которое необходимо производить замену одного из блоков можно определить из следующего условия [3]:

$$P_3(t) = 0,001.$$

Следовательно, выражая время из равенства

$$P_3(t) = e^{-2\lambda t} - 2e^{-\lambda t} + 1,$$

получаем:

$$t_{1,2} = -\frac{\ln(1 \pm \sqrt{P})}{\lambda}$$

После подстановки числовых значений получаем, что удовлетворяющее нас значение времени (неотрицательное) равно:

$$t_{-,2} = -\frac{\ln(1 - \sqrt{0,001})}{24,702 \cdot 10^{-5}} = 130,08 \text{ часов.}$$

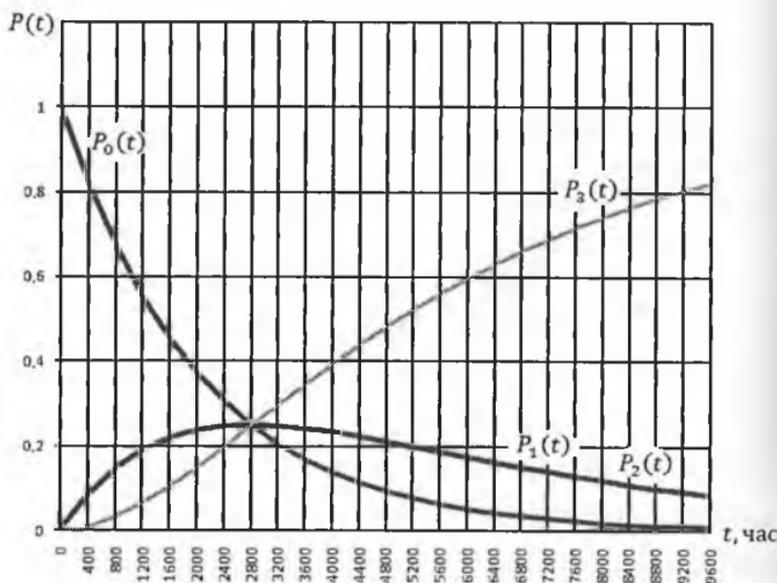


Рис. 6. Графики вероятностей нахождения системы во всех ее состояниях

Таким образом, в работе предложена методика оценки состояния систем бортового комплекса оборудования, на системе ИКВСП-140-01. В рамках проведенных исследований на базе предложенной модели определены числовые значения интенсивности перехода между его состояниями на основе анализа надежности системы, который произведен в ходе работы.

Из решения предложенной модели (системы дифференциальных уравнений) определено время, через которое необходимо производить проверку самых ненадежных блоков системы УСИМ-1-ПБ I-го и II-го канала.

## Библиографический список

1. Кочуров, В.А. Примеры расчета характеристик надежности авиационной техники [Текст]: Метод. указания/В.А. Кочуров, Г.А. Новиков. – Самара, СГАУ, 2002. – 48с.
2. Коптев, А.Н. Техническая эксплуатация авиационных электросистем и пилотажно-навигационных комплексов [Текст]: Метод. указания – Самара, СГАУ, 1998. – 71с.
3. Техническое описание и ремонт авиационной техники [Текст]: Метод. указания по курсовому проектированию / Сост. И.М. Макаровский. – Самара: Издательство СГАУ, 2004. – 60 с.
4. Руководство по технической эксплуатации ИКВСП-140-01 [Текст].
5. СТО СГАУ 02068410-004-2007 Общие требования к учебным текстовым документам [Текст]. – Самара: Издательство СГАУ, 2007. – 32с.

## НЕЛИНЕЙНЫЕ МОДЕЛИ ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ ПРОЦЕССОВ ОБСЛУЖИВАНИЯ ЛИФТОВОГО ХОЗЯЙСТВА ГОРОДА

В.П. Чернышов

При построении модели любого объекта главным условием её пригодности является адекватность моделируемому объекту, и поскольку многообразие процессов функционирования системнеограниченно, то их модели, естественно, не могут быть исчерпаны классом линейных моделей. Поэтому необходимы модели, отличные от линейных, но также пригодные для описания широкого класса реальных процессов функционирования систем. Для демонстрации общности предлагаемой здесь методики представляется целесообразным рассмотреть класс существенно нелинейных и к тому же дискретно-непрерывных моделей, так называемых циклических процессов, реализуемых многими сложными техническими системами (СТС) самого различного назначения, в частности, системами централизованного контроля за состоянием процессов обслуживания.

В [1, 2] были рассмотрены два класса комплексных моделей процессов функционирования систем непрерывного и циклического типа. Как отмечалось, комплексность рассмотренных моделей обес-