

**МОДЕЛЬ ОТКАЗОВ АВТОМАТИЗИРОВАННЫХ СРЕДСТВ  
КОНТРОЛЯ****А. В. Подтавский, Н. К. Юрков***Введение*

Важной характеристикой информационно-измерительной техники, влияющей на эффективность ее применения по функциональному назначению, является уровень надежности, и прежде всего метрологической, отражающей способность средств измерений сохранять во времени требуемую точность. Уровень надежности объектов информационно-измерительной техники зависит от правильности планирования операций контроля, испытаний и качества работ по их эксплуатации.

Существующая теория надежности и методика определения так называемых  $\lambda$ -характеристик надежности базируются на модели предположения о приблизительном постоянстве интенсивности отказов (по истечении периода начальной приработки) применительно к отказам электронных устройств. Однако практика эксплуатации средств контроля (СК) [1] показывает, что интенсивность их отказов не может быть принята постоянной, так как на протяжении эксплуатации она меняется несколько раз и может носить как ускоряющийся, так и замедляющийся характер изменения во времени. Это позволяет сделать вывод о том, что теория надежности СК не может строиться лишь на привычных основах теории надежности электронных устройств и приборов, допускающих постоянство  $\lambda$ -характеристик. Одним из множества предлагаемых подходов может служить описание характера изменения интенсивности отказов средств контроля с помощью модели в виде экспоненциальной функции [1].

В статье рассматривается одна из возможностей применения экспоненциальной математической модели для описания процесса изменения интенсивности отказов средств контроля подвижных объектов во время их эксплуатации на примере автоматизированных средств контроля беспилотных летательных аппаратов (АСК БЛА). Получены зависимости для определения моментов наступления отказов или сроков выполнения ремонтов, а также межремонтных интервалов времени во время эксплуатации АСК БЛА.

**Постановка задачи.** При эксплуатации средств контроля авиационной техники наблюдаются как метрологические, так и не метрологические отказы или, другими словами, неявные и явные отказы. Под метрологическим (неявным) отказом понимается превышение текущего значения погрешности в любой точке диапазона измерений СК нормированного для него предела. Такие отказы могут быть установлены только путем проведения проверки СК по образцовым средствам измерений или с помощью средств самоконтроля в автоматизированных СК БЛА.

Интенсивности появления как метрологических  $\omega_m$ , так и не метрологических отказов  $\omega_{nm}$  главным образом зависят от процесса старения СК и должны рассматриваться как функции времени  $\omega_m(t)$  и  $\omega_{nm}(t)$ , так как обе они изменяются в процессе старения СК. Общая интенсивность отказов при их независимости является суммой  $\omega_m(t)$  и  $\omega_{nm}(t)$ , т.е.

$$\omega_z(t) = \omega_m(t) + \omega_{nm}(t).$$

В среднем соотношение интенсивностей метрологических и не метрологических отказов, как показали исследования, приведенные в [1], может быть представлено функцией, изображенной на рис. 1.

Исходя из этого интенсивность  $\omega_{nm}$  не метрологических отказов рассматриваться не будет и под обозначением  $\omega(t)$  будет пониматься лишь интенсивность метрологических отказов [2, 3]. Для анализа динамики отказов АСК БЛА рассмотрим статистические данные по отказам для изделий АСК – ЗУ [4]. В табл. 1 приведены данные измерений по количеству отказов АСК – ЗУ наблюдаемые в течение 8 лет с  $n$ -го по  $(n + 7)$  – й год.

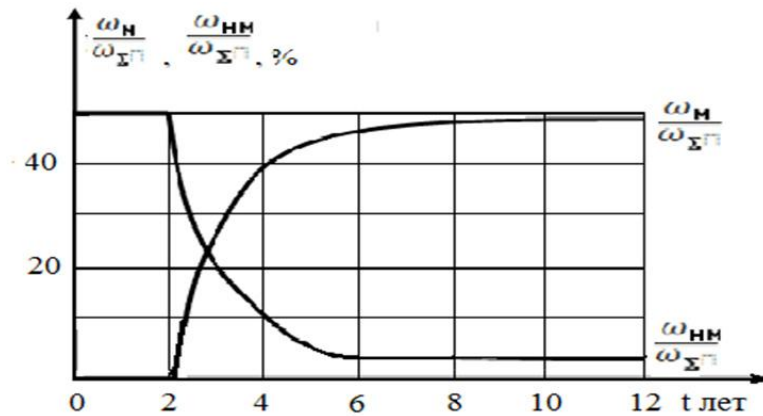


Рис. 1

Таблица 1

Год эксплуатации	$n$	$n+1$	$n+2$	$n+3$	$n+4$	$n+5$	$n+6$	$n+7$
Количество отказов	14	12	10	26	7	13	5	9

Полученные данные в табл. 1 свидетельствуют о том, что интенсивность отказов  $\omega(t)$  не остается постоянной величиной, а изменяется с возрастом (старением) АСК. Для иллюстрации случайного разброса данная зависимость представлена на рис. 2 в виде отрезков прямых, соединяющих соответствующие расчетные точки на графике.

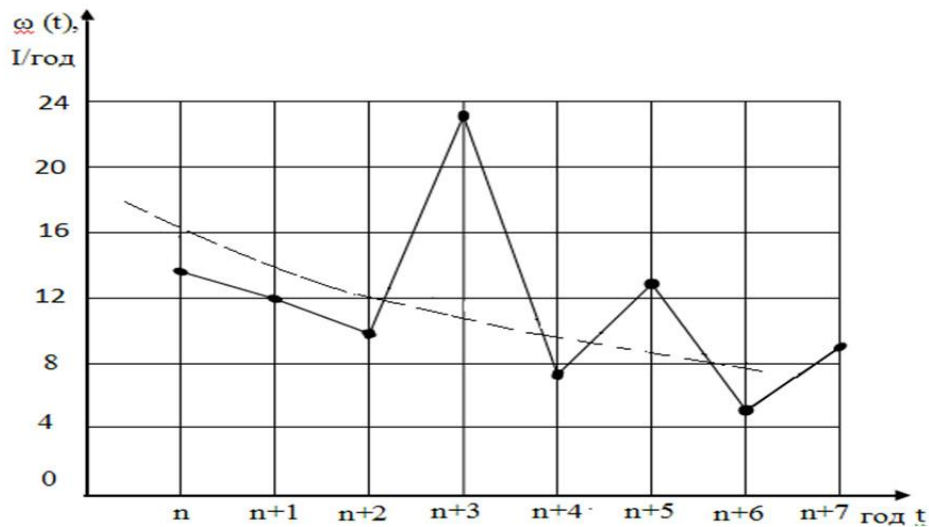


Рис. 2

Полученная ломаная линия может быть усреднена некоторой плавной кривой, нанесенной на рис. 2 штриховой линией. Это дает основание предположить, что зависимость интенсивности отказов  $\omega(t)$  от срока службы АСК может быть аппроксимирована монотонной функцией. Для описания такой функции может быть использована экспоненциальная зависимость вида [5, 6]

$$\omega(t) = \omega_0 e^{-\alpha t}, \tag{1}$$

где постоянные  $\omega_0$  (интенсивность отказов на момент изготовления средств АСК или начало наблюдений –  $t = 0$ ) и  $\alpha$  (ускорение процесса старения АСК) могут быть определены по экспериментальным данным известными методами для аппроксимации функций, например путем регрессионного анализа. Приведенная аналитическая зависимость позволяет получить модельный ряд математических соотношений, которые могут быть использованы для решения практических за-

дач, связанных с обслуживанием и ремонтом средств контроля информационно-измерительной техники.

**Моделирование задачи контроля.** Для анализа динамики отказов средств АСК БЛА воспользуемся методом наименьших квадратов (МНК). Для этого прологарифмируем соотношение (1) и получим линейное уравнение вида [7–10]

$$Ln\omega(t) = Ln\omega_0 + a t.$$

Исходя из этого, для всех экспериментальных точек (табл. 1) вычислим значение  $Ln\omega(t)$ , затем с помощью метода МНК найдем коэффициенты регрессии  $a_0 = Ln\omega_0$  и  $a$  по формулам как

$$a = \frac{\sum_{i=1}^N t_i \sum_{i=1}^N Ln\omega(t_i) - N \sum_{i=1}^N t_i Ln\omega(t_i)}{(\sum_{i=1}^N t_i)^2 - N \sum_{i=1}^N t_i^2};$$

$$a_0 = \exp \left[ \frac{1}{N} (\sum_{i=1}^N Ln\omega(t_i) - a \sum_{i=1}^N t_i) \right].$$

Используя статистические данные, приведенные в табл. (1), получим очередное уравнение, описывающее плавную штриховую кривую на рис. 2:

$$\omega(t) = 16,5e^{-0,0952 t}. \quad (2)$$

Аппроксимация с помощью МНК кривой  $\omega(t)$  показала, что имеет место отрицательное ускорение ( $a < 0$ ) старения объектов АСК БЛА. Это означает, что каждый последующий межремонтный интервал будет длиннее предыдущего, а последний будет длиться до бесконечности. В этом случае интенсивность метрологических отказов будет убывать асимптотически с течением времени вплоть до  $\omega = 0$ , т.е. до прекращения дальнейших отказов.

Число отказов (ремонтов) средств АСК БЛА определим по формуле

$$h(t) = \int_0^T \omega(\tau) d\tau. \quad (3)$$

Располагая для  $\omega(t)$  выражением (1) и подставляя в (3), получим выражение

$$h(t) = \int_0^T \omega_0 e^{a\tau} d\tau = \frac{\omega_0}{a} (e^{aT} - 1). \quad (4)$$

Согласно выражению (4) при  $a < 0$  число ремонтов АСК при  $t \rightarrow 0$  ограничено значением

$$h(t) = \lim_{t \rightarrow \infty} \frac{\omega_0}{a} (e^{at} - 1) = -\frac{\omega_0}{a}. \quad (5)$$

Из выражения (4) можно определить момент наступления для  $k$ -го ремонта

$$t_k = \frac{1}{a} Ln\left(\frac{a_k}{\omega_0} + 1\right). \quad (6)$$

В результате для изделия АСК-3У, характеристики отказов которого приведены в табл. 1, на основании выражения (5) определено полное число ремонтов АСК за весь период службы:  $n = 173$ , с помощью формулы (6) получены моменты наступления сроков выполнения ремонтов:

- 1-го ремонта –  $t_1 = 24,1$  дней (часов наработки АСК БЛА);
- 2-го ремонта –  $t_{10} = 235,2$  дней (часов наработки АСК БЛА);
- 50-го ремонта –  $t_{50} = 1062,8$  дней (часов наработки АСК БЛА);
- 100-го ремонта –  $t_{100} = 1910,2$  дней (часов наработки АСК БЛА);
- 150-го ремонта –  $t_{150} = 2614,5$  дней (часов наработки АСК БЛА).

При этом можно рассчитать длительности межремонтных интервалов по простой формуле

$$T_k = -\frac{1}{a} \operatorname{Ln} \left( 1 - \frac{1}{\frac{\omega_0}{a} + k} \right),$$

где  $k$  – порядковый номер в конце  $k$ -го межремонтного интервала.

В данном случае  $T_1 = 2,1$  дней,  $T_{10} = 2,23$  дней,  $T_{50} = 2,95$  дней,  $T_{100} = 4,94$  дней,  $T_{150} = 15,3$  дней<sup>1</sup>.

### Заключение

Таким образом, рассмотренное и предложенное в статье использование экспоненциальной модели для своевременного выявления старения средств АСК БЛА позволяет получить формальное аналитическое описание этого процесса. Такое математическое описание дает достаточно простые аналитические зависимости для расчета скорости старения, моментов возникновения отказов, а также длительности межремонтных интервалов, практически для всех основных показателей, необходимых для обоснованной организации эксплуатации средств АСК БЛА, планирования загрузки ремонтных подразделений, размеров резервного фонда запасных частей, необходимых мероприятий по своевременному техническому обслуживанию и т.д.

### Список литературы

1. Новицкий, П. В. Динамика погрешностей средств измерений / П. В. Новицкий, И. А. Зограф, В. С. Лабунец. – Л. : Энергоатомиздат, 1990. – 168 с.
2. Райков, Г. Исследование эксплуатационной надежности измерительных приборов корабельной энергетики : автореф. дис. ... канд. техн. наук / Райков Г. – София : ВАК НРБ, 1987. – 236 с.
3. Маслов, А. Д. Повышение надежности радиоэлектронной аппаратуры / А. Д. Маслов, В. Ю. Татарский. – М. : Сов. радио, 1972. – 264 с.
4. Полтавский, А. В. Модель измерительной системы в управлении БЛА / А. В. Полтавский // Информационно-измерительные и управляющие системы. – 2009. – № 10. – С. 73–77.
5. Казаков, И. Е. Методы оптимизации стохастических систем / И. Е. Казаков, Д. И. Гладков. – М. : Наука, 1987. – 184 с.
6. Казаков, И. Е. Анализ стохастических систем в пространстве состояний / И. Е. Казаков, С. В. Мальчиков. – М. : Наука, 1983. – 259 с.
7. Авакян, А. А. Создание отказоустойчивых систем электроники на основе управляющей избыточности / А. А. Авакян, Н. К. Юрков // Труды международного симпозиума Надежность и качество, 2011. – 2 т. – С. 369–375.
8. Юрков, Н. К. К проблеме обеспечения безопасности сложных систем / Н. К. Юрков // Труды международного симпозиума Надежность и качество, 2011. – 1 т. – С. 104–106.
9. Юрков, Н. К. Концепция синтеза сложных наукоемких изделий / Н. К. Юрков // Труды международного симпозиума Надежность и качество, 2012. – Т. 1. – С. 3–6.
10. Analysis of the errors of active converters of passive electrical quantities / N. K. Yurkov, E. N. Kuznetsov, N. E. Kuznetsov, B. V. Tsy-pin // Measurement Techniques. – 2006. – V. 49, № 7. – July. – P. 703–705.

#### **Полтавский Александр Васильевич**

доктор технических наук,  
ведущий научный сотрудник,  
Институт проблем управления  
Российской академии наук им. В. А. Трапезникова  
(117997, Россия, г. Москва, ул. Профсоюзная, 65)  
8-(495)-334-84-79  
E-mail: avp57avp@yandex.ru

#### **Poltavskiy Aleksandr Vasil'evich**

doctor of technical sciences, leading researcher,  
Institute of management problems  
of Russian academy of sciences  
named after V. A. Trapeznikov  
(117997, 65 Profsoyuznaya street, Moscow, Russia)

<sup>1</sup> Рассчитанные по приведенным формулам показатели должны рассматриваться лишь как средние прогностические величины, правильно отражающие лишь общий характер процесса, в то время как для отдельных средств АСК БЛА эти параметры могут существенно отличаться.

**Юрков Николай Кондратьевич**

доктор технических наук, профессор,  
заведующий кафедрой,  
кафедра конструирования  
и производства радиоаппаратуры,  
Пензенский государственный университет  
(440026, Россия, г. Пенза, ул. Красная, 40)  
8-(412)-56-43-46  
E-mail: yurkov\_NK@mail.ru

**Аннотация.** Метрологический уровень надежности информационно-измерительной техники, отражающей способность средств измерений сохранять во времени требуемую точность, зависит от правильности планирования операций контроля, испытаний и качества работ по их эксплуатации. В статье рассматривается возможность применения экспоненциальной зависимости изменения интенсивности отказов для разработки средств автоматизированного контроля подвижных объектов.

**Ключевые слова:** надежность, метрологические отказы, интенсивность, информационно-измерительная техника, контроль, модель, интенсивность отказов, автоматизированные средства контроля.

**Yurkov Nikolay Kondrat'evich**

doctor of technical sciences, professor,  
head of sub-department of radio equipment  
design and production,  
Penza State University  
(440026, 40 Krasnaya street, Penza, Russia)

**Abstract.** Metrological reliability of information-measuring technology, reflecting the ability of measuring the time required to maintain accuracy depends on the accuracy of operations planning, testing and quality control of their operation. The article considers a possibility of using an exponential link of the process of change of failure intensity for control devices of moving objects.

**Key words:** reliability, information and measuring equipment, metrological failures, intensity, control, model, failure rate, automated monitoring tool.

УДК 519.713

*Полтавский, А. В.*

**Модель отказов автоматизированных средств контроля** / А. В. Полтавский, Н. К. Юрков // Надежность и качество сложных систем. – 2015. – № 1 (9). – С. 63–67.