

## **МОДЕЛЬ НАДЕЖНОСТИ ИЗДЕЛИЯ РАДИОЭЛЕКТРОННОЙ ТЕХНИКИ НА ЭТАПЕ ПРОДЛЕНИЯ НАЗНАЧЕННЫХ СРОКОВ СЛУЖБЫ (РЕСУРСОВ)**

С.А. Пасхин, А.А. Зверев  
(Харьковский университет Воздушных Сил им. И. Кожедуба)

*Рассматривается модель надежности изделия радиоэлектронной техники с минимальным восстановлением безотказности и ремонтпригодности, которую предлагается использовать при решении задач продления назначенных сроков службы (ресурсов).*

***радиоэлектронная техника, модель надежности, назначенный срок службы (ресурса), минимальное восстановление, безотказность, ремонтпригодность***

**Постановка проблемы.** В процессе эксплуатации радиоэлектронной техники (РЭТ) происходит ухудшение их свойств: безотказности, ремонтпригодности, долговечности и др. Для поддержания требуемой эффективности функционирования РЭТ производится их восстановление. Восстановление основных свойств надежности систем в процессе эксплуатации производится в различном объеме, который определяется видом проводимых мероприятий технического обслуживания и ремонта, качеством их выполнения и другими факторами. Например, можно считать, что такие свойства технической системы, как безотказность и ремонтпригодность восстанавливаются в объеме полном или близком к полному при капитальных ремонтах, в значительно меньших объемах при различных видах технических обслуживания и при текущих ремонтах. При решении задач восстановления свойств РЭТ, обосновании системы мероприятий по их поддержанию в работоспособном состоянии возникает необходимость в разработке соответствующих математических моделей. Ниже рассмотрены модели, описывающие качество восстановления безотказности и ремонтпригодности РЭТ. В статье предлагается изменение безотказности и (или) ремонтпригодности РЭТ в процессе эксплуатации характеризовать соответствующим изменением интенсивности отказов и (или) восстановлений.

**Анализ литературы.** Как известно, через интенсивности отказов и (или) восстановлений можно оценить и другие основные показатели безотказности и ремонтпригодности восстанавливаемых систем [1, 2].

Предполагается, что безотказность и ремонтпригодность технической системы можно восстанавливать в минимальной степени, производя, например, текущий ремонт системы путем регулировки одного из параметров, определяющих работоспособность системы, или замену одного из многочисленной группы съемных элементов, ресурс каждого из которых несущественно влияет на технический ресурс системы, или, производя текущий ремонт средств технического обслуживания и ремонта.

При этом варианте восстановления, названного в [3] минимальным восстановлением (МВ), по окончании восстановления система работоспособна, но интенсивность ее отказов (восстановлений) точно такая же, как и перед отказом, т.е. влияние МВ на безотказность и ремонтпригодность системы пренебрежительно мало.

Модели МВ не получили должного развития, приводятся только в отдельных монографиях и статьях применительно к безотказности [3 – 5]. Вышедшие в последнее время монографии по теории эксплуатации и надежности эти разновидности восстановлений не рассматривают [1, 2, 6, 7].

Настоящая статья является развитием известных моделей МВ безотказности и ремонтпригодности.

**Цель статьи** – разработать модель надежности изделия РЭТ на этапе продления назначенных сроков службы (ресурсов), обеспечивающую решение задач анализа РЭТ, например, при оценке показателей надежности РЭТ, устройства которых восстанавливают в процессе эксплуатации с различной глубиной, так и при решении ряда задач синтеза, например, при обосновании характеристик различных стратегий технического обслуживания и ремонта систем, в том числе стратегий обслуживания и ремонта по состоянию.

**Основные положения.** Разработка математических моделей процессов МВ с учетом конечного времени восстановления требует дополнительной оценки комплексных показателей надежности. Процесс МВ является нестационарным, поэтому важной характеристикой таких систем являются такие показатели надежности, как нестационарные коэффициент готовности  $K_r(t)$  и коэффициент оперативной готовности  $K_{о.г.}(t, z)$ , нестационарный коэффициент простоя и др.

Разработка математических моделей для оценки этих показателей при МВ задача значительно сложная, что обусловлено тем, что задача оценки комплексных показателей надежности систем с МВ сводится к решению систем дифференциальных уравнений с переменными коэффициентами, что значительно труднее, чем решение дифференциальных уравнений с постоянными коэффициентами [8].

Рассмотрим общую модель МВ безотказности и ремонтпригодности РЭТ, т.е. систем, безотказность и ремонтпригодность которых в процессе эксплуатации восстанавливается в соответствии с соотношениями:

$$F_t(x) = \frac{F(t+x) - F(t)}{\bar{F}(t)}; \quad (1)$$

$$G_t(x) = \frac{G(t+x) - G(t)}{\bar{G}(t)}, \quad (2)$$

где  $F_t(x)$  – функция распределения наработки до отказа восстановленной РЭТ;  $\bar{F}(x) = 1 - F(x)$  – функция распределения случайной наработки до отказа  $x$  введенной в эксплуатацию РЭТ;  $F(t) = P(x \leq t)$ ,  $t \geq 0$ ;  $G_t(x)$  – функция распределения продолжительности восстановления РЭТ.

Будем при этом считать заданными зависимости интенсивностей отказов  $\lambda(t)$  и восстановлений  $\mu(t)$  от наработки  $t$ . При идеальной системе контроля технического состояния (т.е. отсутствуют ошибки контроля 1-го и 2-го рода) поведение системы с МВ безотказности и ремонтпригодности можно описать системой уравнений:

$$\frac{dp_0(t)}{dt} = -\lambda(t)p_0(t) + \mu(t)p_1(t); \quad (3)$$

$$p_0(t) + p_1(t) = 1, \quad (4)$$

где  $p_0(t)$ ,  $p_1(t)$  – вероятности пребывания системы в работоспособном и неработоспособном состояниях соответственно.

Система уравнений (3), (4) сводится к неоднородному линейному дифференциальному уравнению первого порядка с переменными коэффициентами

$$\frac{dp_0(t)}{dt} = -[\lambda(t) + \mu(t)]p_0(t) + \mu(t). \quad (5)$$

Зададим начальные условия  $p_0(0) = \gamma$ ;  $p_1(0) = 1 - \gamma$ ;  $\gamma \leq 1$ .

Решение уравнения (5) найдем в виде произведения двух функций от  $t$  [9]:  $p_0(t) = u(t) \cdot v(t)$ . Применяя известный метод решения линейного дифференциального уравнения [9] после выполнения несложных преобразований получим решение системы уравнений (3), (4) в виде

$$p_0(t) = e^{-A(t)} \left\{ \gamma + \int_0^t \mu(x) e^{A(x)} dx \right\}, \quad (6)$$

где  $A(t) = \int_0^t [\lambda(u) + \mu(u)] du$ .

**Выводы.** Таким образом, получены соотношения для основных показателей надежности РЭТ, дефекты которых устраняются минимальными восстановлением, что, в целом, расширяет класс математических моделей теории восстановления. Разработанные модели можно использовать как при решении задач анализа систем, например, при оценке показателей надежности РЭТ, устройства которых восстанавливают в процессе эксплуатации с различной глубиной, так и при решении ряда задач синтеза, например, при обосновании характеристик различных стратегий технического обслуживания и ремонта РЭТ, в том числе стратегий обслуживания и ремонта по состоянию.

## ЛИТЕРАТУРА

1. *Надежность технических систем: Справочник / Ю.К. Беляев, В.А. Богатырев и др. / Под ред. И.А. Ушакова. – М.: Радио и связь, 1985. – 608 с.*
2. *Надежность и эффективность в технике: Справочник / В 10 т. – М.: Машиностроение, 1998. – 1990 с.*
3. *Барлоу Р., Прошан Ф. Математическая теория надежности / Под ред. Б.В. Гнеденко: Пер. с англ. – М.: Сов. радио, 1969. – 488 с.*
4. *Байхельт Ф., Франкен П. Надежность и техническое обслуживание. Математический подход: Пер. с нем. – М.: Радио и связь, 1988. – 392 с.*
5. *Финкельштейн М.С. Надежность и эффективность технических систем с неполным восстановлением. // Надежность и контроль качества. – 1988. – № 9. – С. 22-26.*
6. *Дружинин Г.В. Надежность автоматизированных производственных систем. – М.: Энергоатомиздат, 1986. – 480 с.*
7. *Гнеденко Б.В., Беляев Ю.К., Соловьев А.Д. Математические методы в теории надежности. – М.: Наука, 1985. – 524 с.*
8. *Ланецкий Б.Н. Надежность восстанавливаемых систем. / В/ч 11520. – М., 1990. – 28 с. – Деп. в ЦИВТИ 04.08.90 г., № 5002.*
9. *Пискунов Н.С. Дифференциальное и интегральное исчисления для втузов. Т. 2. – М.: Наука, 1985. – 560 с.*

*Поступила 19.01.2006*

**Рецензент:** доктор технических наук, профессор В.И. Карпенко,  
Харьковский университет Воздушных Сил им. И. Кожедуба.

---