УДК 629.78.3:621.396

С.В. Ольховиков

Харьковский университет Воздушных Сил им. И. Кожедуба, Харьков

ИССЛЕДОВАНИЕ НЕСТАБИЛЬНОСТИ ХАРАКТЕРИСТИК СРЕДСТВ КОНТРОЛЯ СИСТЕМ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ ВОЕННЫХ ОБЪЕКТОВ

В статье исследована нестабильность характеристик средств контроля, получена зависимость плотности распределения нестабильности характеристик средств контроля от времени. Обосновано использование полученной зависимости при статистической обработке результатов испытаний на нестабильность средств контроля систем электроснабжения военных объектов.

Ключевые слова: *характеристики средств контроля, системы электроснабжения военных объектов.*

Введение

Постановка проблемы. В процессе эксплуатации характеристик средств контроля (СК). Эти изменения носят случайный характер и приводят к отказам, при котором СК не могут выполнять свои функции [1 – 3].

Постепенное изменение характеристик СК позволяет ввести как угодно много работоспособных состояний с разным уровнем эффективности их функционирования, обусловленной степенью приближения характеристик СК к допустимым предельным значениям. Это приводит к необходимости разработки специальных методов анализа надежности средств контроля.

Анализ публикаций. Вопросу исследования законов распределения характеристик надежности СК посвященное большое число работ [4 – 6]. Однако в этих работах не учитывается специфика метрологической надежности СК, которая заключается в том, что основное положение классической теории надежности о постоянстве во времени интенсивности отказов неправомерно. Постепенное изменение характеристик СК требует учета нескольких работоспособных состояний, отличающихся разными уровнями эффективности функционирования, обусловленными степенью приближения характеристик СК до допустимых граничных значений. Это в свою очередь, затрудняет определение достоверных параметров эксплуатации СК, что особенно актуально для СК, которые эксплуатируются в составе систем электроснабжения военных объектов (СЭВО). Неверные показания СК могут привести к неправильным выводам, что может послужить появлению аварийной ситуации.

Так, исходя из опубликованных данных, за период 1994 по 1998 гг. на американских АЭС случилось 27 аварий, причем все они были связаны с недостатками измерений (в 11 случаях были вызваны неисправностями средств контроля, в 16 случаях – использованием некачественных датчиков). Одной из причин аварии на Чернобыльской АЭС была несовершенная организация измерений технологических параметров.

Цель статьи. В статье решается актуальная задача, связанная с исследованием закона распределения нестабильности характеристик средств контроля сложных энергетических установок. Определение основных характеристик распределения позволит повысить эффективность эксплуатации военных объектов за счет своевременного обнаружения неисправных СК и прогнозирования их реального технического состояния.

Основная часть

Известно, что в случае, когда интенсивность дрейфа характеристик средств контроля сложных энергетических установок изменяется по параболическому закону распределение нестабильности характеристик СК в основных объектов не является нормальным.

Однако его можно рассматривать как нормальное распределение относительно интенсивности дрейфа характеристик СК:

$$G(t,\xi) = \Psi(t,\xi)\sigma(0) + m(0),$$

где $\Psi(t,\xi)$ – решение дифференциального уравнения регрессии дрейфа характеристик СК; $\sigma(0)$ – дисперсия в момент времени t = 0; $m(0)$ – математическое ожидание в момент времени $t = 0$; ξ – нестабильность характеристик СК.

Особенностью СК, которые эксплуатируются в СЭВО, является то, что они длительное время работают в дежурном режиме и должны постоянно контролировать большое количество энергетических параметров.

Эти особенности эксплуатации СК учтены функцией ξ.

При линейной интенсивности дрейфа

$$G(t,\xi) = \frac{\xi - m(t)}{\sigma(t)},$$

при параболической –

$$G(t,\xi)=\frac{\xi-m(t)+\sigma(t)e^{-R(t)}u(t)}{\sigma(t)e^{-R(t)}+[\xi-m(t)]u(t)}.$$

В начальный момент времени функция $G(0,\xi)=\frac{\xi-m(0)}{\sigma(0)}$ равна центрированному и нормированному значению начальной нестабильности ξ_0.

Так как

$$P(0,\xi)=\int_{-\infty}^{G(0,\xi)}\varphi(\eta)d\eta,$$

то $G(0,\xi)$ является квантилем нормального распределения, соответствующим вероятности $P(0,\xi)$. В процессе дрейфа значения $G(0,\xi)$ изменяются по закону $G(t,\xi)$, но и при любом t функция $G(t,\xi)$ является квантилем нормального распределения, соответствующим вероятности $P(t,\xi)$. В частности, $G(t,\Delta)$ соответствует вероятности $P(t,\Delta)$ того, что нестабильность ξ не превысит верхней границы области допускаемых значений Δ, $G(t,\Delta)$ соответствует аналогичной вероятности $[1-P(t-\Delta)]$.

Таким образом, $G(t,\Delta)$ является своеобразной характеристикой распределения дрейфа метрологических характеристик. Назовем ее функцией дрейфа. После введения этого термина возможно сформулировать следующее правило:

Нестабильность характеристик любого СК за время t распределена по нормальному закону с нулевым средним значением и единичной дисперсией относительно функции дрейфа $G(t,\Delta)$.

Частным случаем распределения нестабильности является α-распределение [7]:

$$\varphi_t(\xi)=\frac{\beta(t)}{\sqrt{2\pi}\xi^2}e^{-0,5[\frac{\beta(t)}{\xi}-\alpha(t)]_2},$$

которое получается из соотношения

$$\varphi_t(\xi)=\frac{1}{\sqrt{2\pi}}\cdot\frac{\partial G(t,\xi)}{\partial\xi}e^{-G^2(t,\xi)} \qquad (1)$$

при $G(t,\xi)=\frac{\beta(t)}{\xi}-\alpha(t)$,

где

$$\alpha(t)=\frac{1}{u(t)};\quad \beta(t)=\frac{[1-u^2(t)]\sigma(t)e^{-R(t)}}{u(t)};$$

$$R(t)=\int_0^t\frac{\gamma(\tau)\gamma'(\tau)}{3[\omega(\tau)-\gamma^2(\tau)-1]}d\tau - \qquad (2)$$

промежуточная функция параметров $\omega(\tau)$ и $\gamma(\tau)$;

$$u(t)=\int_0^t\frac{\gamma'(\tau)e^{-R(\tau)}}{3[\omega(\tau)-\gamma^2(\tau)-1]}d\tau - \qquad (3)$$

функция параметров $\omega(\tau)$ и $\gamma(\tau)$; Δ – допуск на параметр СК; $P(t,\xi)$ – функция распределения нестабильности характеристик СК; $\omega(t)$ – эксцесс распределения нестабильности характеристик СК; $\gamma(\tau)$ – коэффициент ассиметрии дрейфа характеристик СК в момент времени τ; $\varphi_t(\xi)$ – плотность распределения нестабильности характеристик СК за время t.

Найдем статистические характеристики распределения $\varphi_t(\xi)$.

Медиана распределения характеристик СК Me находится из уравнения $P(t,\xi)=0,5$.

Следовательно, $Me=m(t)-u(t)\sigma(t)e^{-R(t)}$.

Мода распределения характеристик СК Mo находится из уравнения $\frac{\partial\varphi_t(\xi)}{\partial\xi}=0.$

Следовательно,

$$Mo\cong m(t)-\frac{2u(t)}{1+u^2(t)}\sigma(t)e^{-R(t)}.$$

Математическое ожидание и дисперсия реального распределения нестабильности характеристик СК СЭВО по определению равны m (t) и σ^2 (t). Но $\varphi_t(\xi)$, так же как распределение Коши и ряд других теоретических распределений, строго говоря, не имеет математического ожидания и дисперсии, т.к. соответствующие интегралы расходятся при $\xi=\infty$. Для устранения этого несоответствия целесообразно провести усечение распределения $\varphi_t(\xi)$ по некоторому значению функции B[u(t)], выбранному таким образом, чтобы

$$M[\varphi_t^*(\xi)]=m(t);$$
$$D[\varphi_t^*(\xi)]=\sigma^2(t),$$

где

$$M[\varphi_t^*(\xi)]=m(t);$$
$$D[\varphi_t^*(\xi)]=\sigma^2(t);$$

$$\varphi_t^*(\xi)=\frac{1}{\int_{-\infty}^{B[u(t)]}\varphi_t(\xi)\partial\xi}\cdot\begin{cases}\varphi_t(\xi), & \xi\le B[u(t)],\\ 0, & \xi>B[u(t)].\end{cases}$$

$$Me=m(t)-u(t)\sigma(t)e^{-R(t)};$$

$$Mo=m(t)-\frac{2u(t)}{1+u^2(t)}\sigma(t)e^{-R(t)};$$

$$\xi_0=m(t)-\frac{1}{u(t)}\sigma(t)e^{-R(t)}.$$

Таким образом, получены два уравнения относительно B[u(t)] и R(t):

$$\int\limits_{-\frac{1}{u(t)}}^{B[u(t)]} \frac{x}{[1+xu(t)]^2} e^{-0,5[\frac{x+u(t)}{1+xu(t)}]^2} \partial x = 0; \qquad (4)$$

$$\frac{1-u^2(t)}{\sqrt{2\pi}} \int\limits_{-\frac{1}{u(t)}}^{B[u(t)]} \frac{x^2}{[1+xu(t)]^2} e^{-0,5[\frac{x+u(t)}{1+xu(t)}]^2} \partial x = $$

$$= e^{-2R(t)},$$

где $x = \dfrac{\xi - m(t)}{\sigma(t)}$.

Далее необходимо установить связь между u(t) и R(t), входящими в выражение плотности $\varphi_t(x)$, и параметрами распределения – коэффициентом асимметрии γ(t) и эксцессом ω(t).

Для этого воспользуемся формулами (2) и (3). Продифференцировав их по γ(t), получим:

$$\frac{\partial R(t)}{\partial \gamma(t)} = \frac{\gamma(t)}{3[\omega(t) - \gamma^2(t) - 1]};$$

$$\frac{\partial u(t)}{\partial \gamma(t)} = \frac{e^{-R(t)}}{3[\omega(t) - \gamma^2(t) - 1]}. \qquad (5)$$

Отсюда

$$\gamma(t) = \frac{\partial R(t)}{\partial u(t)} e^{-R(t)};$$

$$\omega(t) = 1 + \gamma^2(t) + \frac{\gamma(t)}{3} \cdot \frac{\partial \gamma(t)}{\partial R(t)}.$$

Объединяя уравнения (5) с уравнением (4), получаем систему из 4-х уравнений относительно неизвестных B[u(t)], R(t), γ(t) и ω(t). Эта система решается последовательно для $u_i = u(t_i)$ с шагом Δu. На первом шаге $u_1 = 0$, $\gamma_1 = 0$, $\omega_1 = 3$, $R_1 = 0$, $B_1 = \infty$, так как $\varphi_0(x)$ – плотность нормального распределения метрологических характеристик СК. На втором и всех последующих шагах $u_i = u_{i-1} + \Delta u$, B_i определяется из уравнения

$$\int\limits_{-\frac{1}{u_i}}^{B_i} \frac{x}{[1+xu_i]^2} e^{-0,5[\frac{x+u_i}{1+xu_i}]^2} \partial x = 0, \qquad (6)$$

R_i – из уравнения

$$\frac{1-u_i^2}{\sqrt{2\pi}} \int\limits_{-\frac{1}{u_i}}^{B_i} \frac{x^2}{[1+xu_i]^2} e^{-0,5[\frac{x+u_i}{1+xu_i}]^2} \partial x = e^{-2R_i}, \qquad (7)$$

γ_i и ω_i – из уравнений

$$\gamma_i = \frac{R_i - R_{i-1}}{\Delta u} e^{-R_i}; \qquad (8)$$

$$\omega_i(t) = 1 + \gamma_i^2 + \frac{\gamma_i}{3} \cdot \frac{\gamma_i - \gamma_{i-1}}{R_i - R_{i-1}}. \qquad (9)$$

Решение системы уравнения (6) – (9) на ЭВМ показало, что с высокой точностью B[u(t)] = 6, а параметры u(t), R(t) и ω(t) можно представить в виде следующих интерполяционных полиномов, полученных методов наименьших квадратов:

$$R(t) = \begin{cases} 0,01[0,0047 - 0,148|\gamma| + 8,5|\gamma|^2 + \\ +0,05|\gamma|^3 - 2,6|\gamma|^4 + 0,7|\gamma|^5], & \gamma = \gamma(t) \neq 0, \\ 0, & \gamma = \gamma(t) = 0, \end{cases} \qquad (10)$$

$$u(t) = \begin{cases} 0,01\mathrm{sign}(\gamma)[0,0055 + 16,56|\gamma| + 0,59|\gamma|^2 - \\ -4,57|\gamma|^3 + 1,48|\gamma|^4 - 0,1|\gamma|^5], & \gamma = \gamma(t) \neq 0, \\ 0, & \gamma = \gamma(t) = 0, \end{cases} \qquad (11)$$

$$\gamma(t) = \begin{cases} \mathrm{sign}(u)[-0,0174 + 9|u| - 127|u|^2 + \\ +2103|u|^3 - 14212|u|^4 + \\ +36055|u|^5], & u = u(t) \neq 0, \\ 0, & u = u(t) = 0. \end{cases} \qquad (12)$$

Таким образом, окончательно принимаем следующую зависимость плотности распределения нестабильности характеристик СК от времени при $\gamma(t) > 0$:

$$\varphi_t(\xi) = \begin{cases} \varphi[G(t,\xi)], & m(t) - \dfrac{\sigma(t)e^{-R(t)}}{u(t)} \le \xi \le 6\sigma(t), \\ 0, & \xi < m(t) - \dfrac{\sigma(t)e^{-R(t)}}{u(t)}; \quad \xi > 6\sigma(t); \end{cases} \qquad (13)$$

при $\gamma(t) < 0$

$$\varphi_t(\xi) = \begin{cases} \varphi[G(t,\xi)], & -6\sigma(t) \le \xi \le m(t) - \\ -\dfrac{\sigma(t)e^{-R(t)}}{u(t)}, & \\ 0, & \xi > m(t) - \dfrac{\sigma(t)e^{-R(t)}}{u(t)}; \quad \xi < -6\sigma(t). \end{cases} \qquad (14)$$

Из выражений (13) и (14) следует, что при статистической обработке результатов испытаний на нестабильность значения $\xi(t)$, превышающие по модулю 6σ(t), следует исключить из выборки, квалифицируя их как промахи.

Таким образом, зная закон изменения нестабильности характеристик СК, можно довольно точно определить время проведения контроля технического состояния средств контроля с целью своевременного определения неисправности.

Выводы

В результате исследования нестабильности характеристик средств контроля сложных энергетических установок получена зависимость плотности распределения нестабильности характеристик средств контроля от времени.

Обосновано использование полученной зависимости при статистической обработке результатов испытаний на нестабильность средств контроля сложных энергетических установок.

Полученные результаты позволяют повысить эффективность и безопасность эксплуатации сложных энергетических установок за счет своевременного обнаружения неисправности в средствах контроля параметров.

Список литературы

1. Кудрицкий В.Д. Прогнозирующий контроль радиоэлектронных устройств / В.Д. Кудрицкий. – К.: Техника, 1982. – 168 с.

2. Оценка эффективности и параметрический синтез метрологического обслуживания радиоаппаратуры: научно-метод. пособ. / Отв. за выпуск Е.И. Сычев. – М.: МО СССР, 1984. – 385 с.

3. Основы эксплуатации средств измерений / В.А. Кузнецов, А.Н. Пашков, О.А. Подольский и др. / Под ред. Р.П. Покровского. – М.: Радио и связь, 1984. – 184 с.

4. Метрологическое обеспечение и эксплуатация измерительной техники / Г.П. Богданов, В.А. Кузнецов, М.А. Лотонов и др. / Под ред. В.А. Кузнецова. – М.: Радио и связь, 1990. – 240 с.

5. Фридман А.Э. Теория метрологической надежности средств измерений / А.Э. Фридман // Измерительная техника. – 1991. – № 11. – С. 3-10.

6. Фридман А.Э. Оценка метрологической надежности измерительных приборов и многозначных мер / А.Э. Фридман // Измерительная техника. – 1993. – № 5. – С. 7-10.

7. Дружинин Г.В. Надежность автоматизированных производственных систем / Г.В. Дружинин. – М.: Энергоатомиздат, 1986. – 480 с.

Поступила в редколлегию 5.03.2010

Рецензент: д-р техн. наук, проф. Б.Т. Кононов, Харьковский университет Воздушных Сил им. И. Кожедуба, Харьков.

ДОСЛІДЖЕННЯ НЕСТАБІЛЬНОСТІ ХАРАКТЕРИСТИК ЗАСОБІВ КОНТРОЛЮ СИСТЕМ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ ВІЙСЬКОВИХ ОБ'ЄКТІВ

С.В. Ольховіков

У статті досліджена нестабільність характеристик засобів контролю, отримана залежність щільності розподілу нестабільності характеристик засобів контролю від часу. Обгрунтовано використання отриманої залежності при статистичній обробці результатів випробувань на нестабільність засобів контролю систем електропостачання військових об'єктів.

Ключові слова: *характеристики засобів контролю, системи електропостачання військових об'єктів.*

RESEARCH OF INSTABILITY OF DESCRIPTIONS OF CONTROLS SYSTEMS OF ELEKTROPOSTACHANNYA OF MILITARY OBJECTIVES

S.V. Ol'khovikov

Instability of descriptions of controls is probed in the article, dependence of closeness of distributing of instability of descriptions of controls is got on time. Grounded using of the got dependence is for statistical treatment of results of tests on instability of controls systems of електропостачання of military objectives.

Keywords: *descriptions of controls, system of електропостачання of military objectives.*