Таким образом, предложенные решения по усовершенствованию программного обеспечения СПО ЦУП КА в области обработки телеметрии нашли первое частное применение в центре управления полетами орбитальной группировкой космических аппаратов «Экспресс-АМ». На практике было доказано повышение качества и оперативности управления КА. На данный момент программное обеспечение разрабатывается в области универсальности и независимости общей структуры СПО ОТИ от платформы КА, создаваемых ОАО «ИСС», и средств, предоставляемых наземным комплексом управления.

Библиографический список

1. Спутниковые системы связи и вещания. 2007. Вып. 2. С прил. на CD-диске : науч. техн. справочно-аналит. изд. М. : Радиотехника, 2008.

2. Соловьев, Ю. А. Системы спутниковой навигации / Ю. А. Соловьев. М. : Эко-Трендз, 2000.

3. Бортовая телеметрическая аппаратура космических летательных аппаратов / С. М. Переверткин, А. В. Кантов, Н. Ф. Бородин, Т. С. Щербакова. М., 1977.

4. 14Ф136.ИЭ19. Ч.1. Изделие 14Ф136. Инструкция по обработке информации. Общие сведения по обработке информации. Железногорск, 2003.

5. Построение основного и резервного центров управления полетом орбитальной группировкой космических аппаратов гражданских спутниковых систем связи и вещания государственного назначения : эскиз. проект. Кн. 1. Организационно-техническое построение ЦУП и РЦУП. Железногорск, 2000.

6. Некрасов, М. В. Разработка концепций создания многопоточной системы обработки телеметрической информации в центрах управления полетом военного назначения / М. В. Некрасов, Д. Н. Пакман, А. Б. Вершин // Материалы науч.-техн. конф. молодых специалистов. Секция проектирования и управления космических аппаратов и систем. Железногорск, 2008. С. 103–108.

7. Пакман, Д. Н. Предложения по развитию информационно-телеметрического обеспечения в центре управления полетом космического аппарата в части мнемонического представления / Д. Н. Пакман, М. В. Некрасов, А. Б. Вершин // Материалы науч.-техн. конф. молодых специалистов. Секция проектирования и управления космических аппаратов и систем. Железногорск, 2008. С. 109–115.

D. N. Pakman, M. V. Nekrasov, A. N. Antamoshkin

THE PROBLEMS OF TELEMETRIC DATA PROCESSING IN THE LOOP OF SPACECRAFTS COMPUTER-AIDED CONTROL SYSTEM

The general structure of the spacecraft computer-aided control system and the problems of telemetric data processing in the loop of the computer-aided control system are considered. The ways of development and modernization of the telemetric data processing system for the spacecraft flight control center are suggested.

Keywords: control system, spacecraft, control center, telemetry.

УДК 519.21

Т. А. Ширяева

К ВОПРОСУ О ВРЕМЕНИ БЕЗОТКАЗНОЙ РАБОТЫ СЛОЖНОЙ СИСТЕМЫ

Представлено решение вопроса о замене нормы пространства непрерывных функций C(K) некоторым ее приближением и об оценке погрешности этого приближения.

Ключевые слова: банаховы пространства, случайные поля.

Известно, что под сложной системой понимают совокупность функционально связанных разнородных устройств, предназначенных для выполнения определенных функций и решения стоящих перед системой задач [1]. Одной из важных характеристик работы системы является время ее безотказной работы. Часто эту характеристику считают случайной величиной [1; 2]. Но можно рассмотреть и другой подход: определить время безотказной работы системы как случайную функцию многих переменных $\xi(t_1, ..., t_d) = \xi(t)$, где $d = 1, 2, ...$, т. е. случайным полем [3]. Если использовать такую математическую модель, то для ее описания и исследования методов математического анализа оказывается недостаточно, приходится обращаться к методам функционального анализа. В частности, если предполагать, что случайное поле $\xi(x_1, ..., x_d)$ принадлежит пространству непрерывных функций $C(K)$, где $K = [0, 1]^d$ – d-мерный куб со стороной единичной длины из евклидова пространства K_d, то норма этого пространства

$$\left|\xi\right|_C = \max_{(t_1, ..., t_d)} \left|\xi(t_1, ..., t_d)\right|$$

не является дифференцируемой функцией ни по Фреше, ни по Гато. Но чтобы оценить вероятности вида $P(|\xi|_C < r)$, где $r \in R_1$, требуется наличие дифференцируемости. Поэтому возникает необходимость заменить норму пространства $C(K)$ некоторым ее приближением и, соответственно, оценить погрешность этого приближения.

Пусть $X(t)$ – случайная функция банахова пространства $C(K)$ с указанной выше нормой. Рассмотрим следующий функционал, определенный с помощью n-мерного интеграла:

$$F(X) = \frac{1}{h}\ln\int\left(e^{hx(t)} + e^{-hx(t)}\right)dt = \frac{2}{h}\int \operatorname{ch} hx(t)dt, \qquad (1)$$

где $h > 0$.

Рассмотрим, насколько хорошо приближает этот функционал норму пространства $C(K)$. Не имея никаких дополнительных условий, на $X(t)$ найти оценку погрешности вряд ли возможно. Одной из наиболее доступных при наблюдении характеристик случайной функции являются ее приращения.

Поэтому естественным образом возникают условия на приращения функции $X(t)$. Пусть с вероятностью 1 случайная функция $X(t)$ удовлетворяет условию Гельдера:

$$|X(t) - X(s)| \le M|t - s|^{\alpha}, \qquad (2)$$

где некоторая константа $M > 0$, $0 < \alpha < 1$.

Расстояние в R_d определено обычным образом:

$$|t - s| = \sqrt{\sum_{i=1}^{d}(t_i - s_i)^2}.$$

Тогда справедлива следующая оценка.

Теорема. Если $X(t)$ удовлетворяет условию (2) то:

$$-\frac{1}{h}\ln 2 \le |X|_C - F(X) \le \le \frac{1}{h}\left(M + \frac{d}{\alpha}\ln h + \ln\Gamma\left(\frac{d}{2}+1\right) + \frac{2}{d}\ln\pi\right),$$

где $\Gamma(z) = \int_0^\infty x^{z-1}e^{-x}dx$ – гамма-функция, $\pi = 3{,}1415\ldots$

Доказательство

Оценим выражение $|X|_C - F(X)$ сверху и снизу. Сначала найдем оценку снизу:

$$|X|_C - F(X) = \frac{1}{h}\ln e^{h|X|_C} - \frac{2}{h}\ln\int \operatorname{ch} hX(t)dt = \frac{1}{h}\left(\int_K \frac{e^{hX(t)} + e^{-hX(t)}}{e^{h|X|_C}}dt\right)^{-1}.$$

Так как $\frac{e^{\pm hX(t)}}{e^{h|X|_C}} \le 1$, то

$$|X|_C - F(X) \le 2\int_K dt = 2\ (K) = 2,$$

где $\mu(K)$ – мера множества, а $K = [0, 1]^d$. Функция $y = \ln x$ является возрастающей, поэтому

$$|X|_C - F(X) \le \frac{1}{h}\ln(2)^{-1} = -\frac{1}{h}\ln 2.$$

Найдем оценку сверху. Обозначим

$$I = \int_K e^{h(X(t) - |X|_C)}dt + \int_K e^{h(-X(t) - |X|_C)}dt.$$

Каждый из интегралов неотрицателен, поэтому I не менее каждого слагаемого.

Пусть t_0 – точка, где достигается значение максимума, т. е.

$$|X_0(t)| = \max_{t\in K}|X(t)| = |X|_C.$$

Так как $X(t)$ удовлетворяет условию (2), то

$$I_1 = \int_K e^{h(X(t) - X(t_0))}dt + \int_{|t-t_0|\le\delta} e^{-hM|t-t_0|^{\alpha}}dt.$$

Выберем «±» следующим образом: пусть

$$|t - t_0|^{\alpha} = \frac{1}{h}.$$

Тогда

$$\delta = |t - t_0|^{\frac{1}{\alpha}}.$$

Поэтому

$$I_1 = e^{-M}\mu\left\{t : |t - t_0| \le h^{-\frac{1}{\alpha}}\right\},$$

где $\mu(Q)$ – мера множества Q.

В данном случае

$$Q = \left\{t : |t - t_0| \le h^{-\frac{1}{\alpha}}\right\}$$

есть шар в евклидовом пространстве R_d с центром в точке t_0 и радиусом $h^{-\frac{1}{\alpha}}$.

Используя формулу объема шара в d-мерном пространстве, получаем следующее:

$$\mu(Q) = \frac{\pi^{\frac{d}{z}}}{\Gamma(\frac{d}{z}+1)}\cdot\left(h^{-\frac{1}{\alpha}}\right)^d,$$

где $\Gamma(z) = \int_0^\infty x^{z-1}e^{-x}dx$ – гамма-функция, $\pi = 3{,}1415926$ [4].

Поэтому

$$I_1 = e^{-M}\frac{\pi^{\frac{d}{z}}}{\Gamma(\frac{d}{z}+1)}\cdot h^{-\frac{d}{\alpha}}.$$

Тогда

$$|X|_C - F(X) \le \frac{1}{h}\ln\left(e^{-M}\frac{\pi^{\frac{d}{z}}}{\Gamma(\frac{d}{z}+1)}\cdot h^{-\frac{d}{\alpha}}\right)^{-1} = \frac{1}{h}\left(M + \frac{d}{2}\ln h + \ln\Gamma\left(\frac{d}{2}+1\right) + \frac{2}{d}\ln\pi\right).$$

Теорема доказана.

Обозначим

$$\varphi(h) = \frac{1}{h}\left(M + \frac{d}{2}\ln h + \ln\Gamma\left(\frac{d}{2}+1\right) + \frac{2}{d}\ln\pi\right).$$

Замечание 1. Если размерность пространства R_d есть четное число, т. е. $d = 2k$, $k = 1, 2, \ldots$, тогда

$$\Gamma\left(\frac{d}{2}+1\right) = k!.$$

Поэтому

$$\varphi(h) = \frac{1}{h}\left(M + \frac{2k}{\alpha}\ln h + \sum_{i=2}^{k}\ln l + \frac{1}{k}\ln\pi\right) \le \le \frac{1}{h}\left(M + \frac{2k}{\alpha}\ln h + k\cdot\ln k - \frac{1}{k}\ln\pi\right).$$

Если размерность пространства R_d есть нечетное число, т. е. $d = 2k + 1$; $k = 0, 1, 2, ...$, то, используя следующее свойство гамма-функции [4]:

$$v\left(z+\frac{1}{2}\right)=\frac{\sqrt{\pi}}{2^{2z-1}}\cdot\frac{v(2z)}{\Gamma(z)},$$

получаем, что

$$\varphi(h)=\frac{1}{h}\left(\begin{array}{l} M+\dfrac{2k+1}{2}\ln h+(2k+1)\times \\ \times\ln(2k+1)-(k+2)+\left(\dfrac{1}{k}+\dfrac{1}{2}\right)\ln\pi \end{array}\right).$$

Замечание 2. В погрешности приближения нормы $|X|$ с случайного поля $X(t)$ параметры M, α, d являются фиксированными, исключением является параметр h. Очевидно, что чем больше h, тем лучше приближение.

Самое плохое приближение возможно при

$$h=e^{1-\frac{\alpha}{d}\left(M+\ln\Gamma\left(\frac{d}{2}+1\right)+\frac{2}{d}\ln\pi\right)}.$$

Библиографический список

1. Барзилович, Е. Ю. Модели технического обслуживания сложных систем / Е. Ю. Барзилович. М. : Высш. шк., 1982.

2. Барзилович, Е. Ю. Вопросы математической теории надежности / Е. Ю. Барзилович, Ю. К. Беляев, В. А. Каштанов и др. М. : Высш. шк., 1983.

3 Ширяева, Т. А. О некоторых верхних вероятностных оценках в теории надежности вычислительных систем : дис. ... канд. физ.-мат. наук / Т. А. Ширяева. Красноярск, 2002.

4. Фихтенгольц, Г. М. Курс дифференциального исчисления : в 3 т. Т. 3 / Г. М. Фихтенгольц. СПб. : Лань, 1997.

T. A. Shiryaeva

TO THE PROBLEM ABOUT THE NON-FAILURE OPERATION TIME OF THE SOPHISTICATED SYSTEM

The problem solution of the replacement space norm of continuous functions C(K) by some its approximation and the error estimation of this approximation is presented.

Keywords: banach spaces, random fields.

УДК 621.313.3

В. И. Иванчура, В. В. Суханов, Н. А. Никулин

УРАВНЕНИЯ ТРЕХМЕРНОЙ МОДЕЛИ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО ПОЛЯ МНОГОФАЗНОГО ЛИНЕЙНОГО АСИНХРОННОГО ДВИГАТЕЛЯ С ПОПЕРЕЧНЫМ ПОТОКОМ

Приведены результаты теоретического исследования электромагнитного поля одностороннего линейного асинхронного двигателя с поперечным магнитным потоком на базе трехмерной модели с учетом пространственных гармоник. Получены аналитические зависимости дифференциальных параметров электромагнитного поля в функции геометрии и линейной токовой нагрузки двигателя с произвольным числом фаз.

Ключевые слова: линейный асинхронный двигатель, магнитный поток, индукция, электромагнитное поле, переменный ток, обмотка, фаза, многофазная система.

Стремление эффективного использования активного объема электрической машины требует совершенствования методов их расчета, в максимальной степени базирующихся на аналитических соотношениях, позволяющих наиболее полно исследовать взаимосвязи между геометрией машины и ее выходными характеристиками. Определение дифференциальных параметров электромагнитного поля (E, H) во всем объеме электрической машины с учетом ее конструктивной анизотропии дает более точные расчеты.

При аналитическом исследовании электромагнитного поля в линейных асинхронных машинах используется математическая модель машины в виде совокупности сплошных ортотропных сред. Для большинства линейных асинхронных двигателей (ЛАД) могут быть определены следующие характерные зоны: активный слой индуктора, воздушный зазор, сплошная проводящая среды [1–3]. Размеры зон при выбранной системе координат не зависят от числа фаз моделируемой машины.

Практика создания индукционных машин показывает, что фактически во всех случаях пазы статора остаются открытыми. Дискретное размещение обмоток в открытых пазах статора создает в рабочем зазоре наряду с основной гармоникой поля также определенное количество высших пространственных гармоник [4].

С помощью модели бесконечно длинного и широкого индуктора определим характер распределения магнитного поля основной и высших пространственных гармо-