УДК 519.2
doi:10.15217/issn1684-8853.2015.5.55

МЕТОД ОБРАБОТКИ НЕОДНОРОДНОЙ СТАТИСТИЧЕСКОЙ ИНФОРМАЦИИ О ХАРАКТЕРИСТИКАХ ТОЧНОСТИ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ

А. А. Ардашов[a]***,*** *канд. техн. наук, старший научный сотрудник*
В. Н. Арсеньев[a]***,*** *доктор техн. наук, профессор*
С. Б. Силантьев[a]***,*** *канд. техн. наук, профессор*
[a]*Военно-космическая академия им. А. Ф. Можайского, Санкт-Петербург, РФ*

Введение: *в процессе опытной отработки систем управления перспективных объектов невозможно обеспечить полную идентичность условий испытаний отдельных образцов из-за проведения доработок, изменения граничных условий и т. д. Одним из путей устранения неоднородности информации, получаемой в процессе испытаний, является приведение результатов испытаний отдельных образцов к некоторым заранее заданным условиям. Качество оценок характеристик системы управления, получаемых по объединенной таким образом выборке, существенно зависит от точности используемых операторов приведения.* ***Цель:*** *повышение точности определения операторов приведения по сравнению с известными методами решения этой задачи.* ***Результаты:*** *предложен новый подход к объединению неоднородных опытных данных, позволивший повысить точность приведения результатов испытаний к единым условиям и качество оценок характеристик системы. В основу определения оператора приведения положены условия полного совпадения математических ожиданий и максимальной близости ковариационных матриц, характеризующих точность системы в различных условиях. Таким образом обеспечен наиболее полный учет ограниченных опытных данных, полученных в процессе опытной отработки системы управления. Приведен пример оценивания характеристик точности системы управления предложенным методом.* ***Практическая значимость:*** *применение полученных результатов позволяет повысить точность оценок характеристик системы управления.*

Ключевые слова *— система управления, характеристики точности, опытные образцы, условия испытаний, неоднородная статистическая информация.*

Введение

Заключительным этапом процесса создания системы управления (СУ) любого объекта являются натурные испытания опытных образцов (ОО). В ходе их проведения ведутся доработки СУ, корректируются алгоритмы управления, могут изменяться граничные условия, полезные нагрузки и т. д. [1–8]. Из-за отличий условий испытаний отдельных опытных образцов получаемые данные о характеристиках СУ являются неоднородными [9–13]. Одним из путей устранения неоднородности является приведение результатов испытаний отдельных образцов к некоторым заранее заданным условиям испытаний [2, 8–10]. Качество оценок характеристик СУ, получаемых по объединенной таким образом выборке, существенно зависит от точности используемых операторов приведения. Целью работы является повышение точности определения операторов приведения по сравнению с известными методами решения этой задачи [8–10].

Постановка задачи

Имеется модель СУ в виде системы нелинейных дифференциальных уравнений

$$\frac{\mathrm{d}\hat{\mathbf{X}}}{\mathrm{d}t}=\mathbf{F}(\hat{\mathbf{X}},\mathbf{U},\hat{\lambda},t),\ \mathbf{X}(t_0)=\mathbf{X}_0, \quad (1)$$

где значок «ˆ» используется для отличия случайной величины от детерминированной; $\hat{\mathbf{X}}(t)=\mathbf{X}_{\text{н}}(t)+\Delta\hat{\mathbf{X}}(t)\in\mathbf{R}^n$ — вектор фазовых координат СУ в момент времени t; $\mathbf{X}_{\text{н}}(t)$ — его номинальное значение; $\Delta\hat{\mathbf{X}}(t)$ — вектор случайных вариаций фазовых координат СУ относительно номинального значения $\mathbf{X}_{\text{н}}(t)$; $\mathbf{F}(\cdot)$ — в общем случае нелинейная вектор-функция; $\mathbf{U}\in\mathbf{R}^q$ — вектор-функция программ управления; $\hat{\lambda}\in\mathbf{R}^m$ — вектор случайных параметров системы; $t\in(t_0,t_{\text{к}})$; t_0 и $t_{\text{к}}$ — моменты времени начала и окончания функционирования СУ.

Полагается [4], что распределение вектора вариаций фазовых координат СУ $\Delta\hat{\mathbf{X}}(t_{\text{к}})$ в конечной точке траектории движения является многомерным нормальным $N(\mathbf{M}_{\Delta\hat{\mathbf{X}}},\ \mathbf{K}_{\Delta\hat{\mathbf{X}}})$ с математическим ожиданием $\mathbf{M}_{\Delta\hat{\mathbf{X}}}$ и ковариационной матрицей $\mathbf{K}_{\Delta\hat{\mathbf{X}}}$. Величины $\mathbf{M}_{\Delta\hat{\mathbf{X}}}$ и $\mathbf{K}_{\Delta\hat{\mathbf{X}}}$ характеризуют область рассеивания фазовых координат СУ в момент времени $t_{\text{к}}$ и называются точностными характеристиками (характеристиками точности) СУ. Они зависят от условий испытаний ОО, которые могут отличаться граничными значениями, полезными нагрузками, значениями параметров СУ и т. д.

Пусть в некоторых первых условиях испытано i_1 опытных образцов, а во вторых, отличных от первых, i_2. Результаты испытаний представлены соответственно множествами $\Delta\mathbf{X}_{1j},\ j=\overline{1,i_1}$ и $\Delta\mathbf{X}_{2j},\ j=\overline{1,i_2}$ значений векторов вариаций фазовых координат СУ в конечных точках траекторий движения.

Необходимо получить оценки $\mathbf{M}_{12}$ и $\mathbf{K}_{12}$ математического ожидания $\mathbf{M}_{\Delta\hat{\mathbf{X}}}$ и ковариационной матрицы $\mathbf{K}_{\Delta\hat{\mathbf{X}}}$, характеризующие точность СУ в первых условиях, по результатам испытаний ОО в первых и вторых условиях испытаний.

Определение оператора приведения

Полагается, что в первых и вторых условиях испытаний векторы $\Delta\hat{\mathbf{X}}_1$ и $\Delta\hat{\mathbf{X}}_2$ вариаций фазовых координат СУ в конечных точках траекторий движения связаны линейной зависимостью:

$$\Delta\hat{\mathbf{X}}_1=\mathbf{P}_{12}\Delta\hat{\mathbf{X}}_2, \tag{2}$$

где $\mathbf{P}_{12}$ — матрица размерности $n\times n$, которая в дальнейшем называется оператором приведения результатов испытаний ОО во вторых условиях к первым условиям.

В силу (2) матрица $\mathbf{P}_{12}$ должна удовлетворять двум уравнениям:

$$\mathbf{M}_{\Delta\hat{\mathbf{X}}_1}=\mathbf{P}_{12}\mathbf{M}_{\Delta\hat{\mathbf{X}}_2}; \tag{3}$$

$$\mathbf{K}_{\Delta\hat{\mathbf{X}}_1}=\mathbf{P}_{12}\mathbf{K}_{\Delta\hat{\mathbf{X}}_2}\mathbf{P}_{12}^{\mathrm{T}}. \tag{4}$$

Оценки параметров $\mathbf{M}_{\Delta\hat{\mathbf{X}}_1}$, $\mathbf{M}_{\Delta\hat{\mathbf{X}}_2}$, $\mathbf{K}_{\Delta\hat{\mathbf{X}}_1}$ и $\mathbf{K}_{\Delta\hat{\mathbf{X}}_2}$ могут быть получены путем многократных статистических испытаний модели (1). Поскольку число испытаний может быть сколь угодно большим, то оценки обозначаются так же, как сами параметры.

Задача определения оператора приведения $\mathbf{P}_{12}$ сводится к совместному решению линейного векторного уравнения (3) и нелинейного матричного уравнения (4). В качестве показателей точности полученного решения используются величины

$$\delta_M=\frac{\left\|\mathbf{M}_{\Delta\hat{\mathbf{X}}_1}-\mathbf{P}_{12}\mathbf{M}_{\Delta\hat{\mathbf{X}}_2}\right\|}{\left\|\mathbf{M}_{\Delta\hat{\mathbf{X}}_1}\right\|}100\%\ \text{и}$$

$$\delta_K=\frac{\left\|\mathbf{K}_{\Delta\hat{\mathbf{X}}_1}-\mathbf{P}_{12}\mathbf{K}_{\Delta\hat{\mathbf{X}}_2}\mathbf{P}_{12}^{\mathrm{T}}\right\|}{\left\|\mathbf{K}_{\Delta\hat{\mathbf{X}}_1}\right\|}100\%.$$

Можно показать [4], что система уравнений (3), (4) приводится к виду

$$\mu_1=\mathbf{Q}\mu_2; \tag{5}$$

$$\mathbf{Q}\mathbf{Q}^{\mathrm{T}}=\mathbf{I}, \tag{6}$$

где $\mu_i=\mathbf{D}_i^{-1/2}\mathbf{S}_i^{\mathrm{T}}\mathbf{M}_{\Delta\hat{\mathbf{X}}_i}$; $\mathbf{Q}=\mathbf{D}_1^{-1/2}\mathbf{S}_1^{\mathrm{T}}\mathbf{P}_{12}\mathbf{S}_2\mathbf{D}_2^{1/2}$; $\mathbf{S}_i\mathbf{D}_i\mathbf{S}_i^{\mathrm{T}}=\mathbf{K}_{\Delta\hat{\mathbf{X}}_i}$; $\mathbf{S}_i$ и $\mathbf{D}_i$ — ортогональная и диагональная матрицы, состоящие из собственных векторов и собственных значений матрицы $\mathbf{K}_{\Delta\hat{\mathbf{X}}_i}$ соответственно; $i=1,\ 2$.

В общем случае точного решения системы уравнений (3), (4) [и соответствующей системы уравнений (5), (6)] может не существовать. Это может иметь место, когда реальная зависимость между векторами $\Delta\hat{\mathbf{X}}_1$ и $\Delta\hat{\mathbf{X}}_2$ отличается от линейной (2). В связи с этим предлагается следующий метод приближенного решения системы уравнений (3), (4).

Из (5) видно, что существует бесчисленное множество матриц $\mathbf{Q}$, удовлетворяющих этому уравнению.

Пусть $\mathbf{Q}_0$ — любая матрица той же размерности, что и $\mathbf{Q}$. Тогда общее решение уравнения (5) можно найти, минимизируя функционал $J=\mathrm{tr}[(\mathbf{Q}_0-\mathbf{Q})\times(\mathbf{Q}_0-\mathbf{Q})^{\mathrm{T}}]$ при условии $\mu_1=\mathbf{Q}\mu_2$, где $\mathrm{tr}[\cdot]$ — функция определения следа матрицы.

Решение этой задача, полученное методом неопределенных множителей Лагранжа, имеет вид

$$\mathbf{Q}=\mathbf{Q}_0\left(\mathbf{I}-\frac{1}{\mu_2^{\mathrm{T}}\mu_2}\mu_2\mu_2^{\mathrm{T}}\right)+\frac{1}{\mu_2^{\mathrm{T}}\mu_2}\mu_1\mu_2^{\mathrm{T}}. \tag{7}$$

Легко проверить, что при любой матрице $\mathbf{Q}_0$ выполняется уравнение (5). В частном случае можно взять в качестве $\mathbf{Q}_0$ единичную матрицу $\mathbf{I}$.

Матрица (7) подставляется в уравнение (6). Очевидно, что в общем случае она не обращает это уравнение в тождество. Однако путем поочередного изменения элементов матрицы $\mathbf{Q}_0$ с небольшим шагом (0,001÷0,01) в сторону уменьшения величины $\delta_к$ можно получить достаточно точное с точки зрения показателей δ_M и δ_K решение поставленной задачи.

При этом любая полученная таким образом матрица $\mathbf{Q}$ обеспечивает строгое выполнение условия (5), а соответствующая ей матрица

$$\mathbf{P}_{12}=\mathbf{S}_1\mathbf{D}_1^{1/2}\mathbf{Q}\mathbf{D}_2^{-1/2}\mathbf{S}_2^{\mathrm{T}} \tag{8}$$

является решением уравнения (3).

Оценивание характеристик точности СУ

Результаты испытаний ОО во вторых условиях, приведенные к первым условиям испытаний, $\mathbf{P}_{12}\Delta\mathbf{X}_{2j},\ j=\overline{1,i_2}$, и результаты испытаний ОО в первых условиях $\Delta\mathbf{X}_{1j},\ j=\overline{1,i_1}$, рассматриваются как выборка из одной генеральной совокупности с законом распределения $N(\mathbf{M}_{\Delta\hat{\mathbf{X}}_1},\mathbf{K}_{\Delta\hat{\mathbf{X}}_1})$. Тогда оценки $\mathbf{M}_{12}$ и $\mathbf{K}_{12}$ математического ожидания $\mathbf{M}_{\Delta\hat{\mathbf{X}}_1}$ и ковариационной матрицы $\mathbf{K}_{\Delta\hat{\mathbf{X}}_1}$, характеризующие точность СУ в первых условиях испытаний и учитывающие результаты испытаний ОО в первых и вторых условиях, определяются по формулам

$$\mathbf{M}_{12}=\frac{1}{i_1+i_2}\left(\sum_{j=1}^{i_1}\Delta\mathbf{X}_{1j}+\mathbf{P}_{12}\sum_{j=1}^{i_2}\Delta\mathbf{X}_{2j}\right)=$$

$$=\frac{1}{i_1+i_2}\left(i_1\tilde{\mathbf{M}}_{\Delta\hat{\mathbf{X}}_1}+i_2\mathbf{P}_{12}\tilde{\mathbf{M}}_{\Delta\hat{\mathbf{X}}_2}\right); \qquad (9)$$

$$\mathbf{K}_{12}=\frac{1}{i_1+i_2-2}\times$$

$$\times\left\{\begin{aligned}&\sum_{j=1}^{i_1}\left(\Delta\mathbf{X}_{1j}-\tilde{\mathbf{M}}_{\Delta\hat{\mathbf{X}}_1}\right)\left(\Delta\mathbf{X}_{1j}-\tilde{\mathbf{M}}_{\Delta\hat{\mathbf{X}}_1}\right)^{\mathrm{T}}+\mathbf{P}_{12}\times\\&\times\left[\sum_{j=1}^{i_2}\left(\Delta\mathbf{X}_{2j}-\tilde{\mathbf{M}}_{\Delta\hat{\mathbf{X}}_2}\right)\left(\Delta\mathbf{X}_{2j}-\tilde{\mathbf{M}}_{\Delta\hat{\mathbf{X}}_2}\right)^{\mathrm{T}}\right]\mathbf{P}_{12}^{\mathrm{T}}\end{aligned}\right\}, \qquad (10)$$

где $\tilde{\mathbf{M}}_{\Delta\hat{\mathbf{X}}_1}=\frac{1}{i_1}\sum_{j=1}^{i_1}\Delta\mathbf{X}_{1j}$; $\tilde{\mathbf{M}}_{\Delta\hat{\mathbf{X}}_2}=\frac{1}{i_2}\sum_{j=1}^{i_2}\Delta\mathbf{X}_{2j}$.

Можно показать, что дисперсии элементов оценок $\mathbf{M}_{12}$ и $\mathbf{K}_{12}$ меньше дисперсий соответствующих элементов оценок, полученных только по результатам испытаний ОО в первых условиях.

Пример. В качестве исследуемого объекта рассматривается ракета-носитель (РН), предназначенная для выведения космических аппаратов (КА) на две различные орбиты. Условия пусков РН отличаются координатами точки выведения. Трехмерный вектор $\Delta\hat{\mathbf{X}}$ состоит из отклонений фазовых координат РН от расчетных значений в конечных точках траекторий выведения. Отклонения измеряются в метрах.

Априорные оценки характеристик точности СУ РН и другие исходные данные заимствованы из работы [10]:

$$\mathbf{M}_{\Delta\hat{\mathbf{X}}_1}=\begin{bmatrix}25 & 6 & 37\end{bmatrix}^{\mathrm{T}};\ \mathbf{M}_{\Delta\hat{\mathbf{X}}_2}=\begin{bmatrix}24 & 8 & 12\end{bmatrix}^{\mathrm{T}};$$

$$\mathbf{K}_{\Delta\hat{\mathbf{X}}_1}=\begin{bmatrix}814081 & 561 & 1403298\\ 561 & 1497 & 1031\\ 1403298 & 1031 & 2428612\end{bmatrix};$$

$$\mathbf{K}_{\Delta\hat{\mathbf{X}}_2}=\begin{bmatrix}776354 & 548556 & 547578\\ 548556 & 388292 & 387339\\ 547578 & 387339 & 387377\end{bmatrix}.$$

Соответствующий этим данным оператор приведения, полученный по формуле (8), имеет вид

$$\mathbf{P}_{12}=\begin{bmatrix}1{,}22 & 0{,}23 & -0{,}51\\ 0{,}38 & -0{,}83 & 0{,}30\\ 0{,}62 & -0{,}65 & 2{,}27\end{bmatrix}.$$

Величины, характеризующие точность данного решения: $\delta_M=0$, $\delta_K=0{,}04$ %. Для сравнения оператор приведения, найденный путем решения уравнения (4) (в соответствии с [8]), дает $\delta_M=43$ % и $\delta_K=0$, а в соответствии с [9] — $\delta_M=18$ % и $\delta_K=0{,}06$ %.

Поскольку реальные пуски РН не проводились, то необходимые статистические данные были получены путем испытаний модели (1). В первых условиях испытаний проведено 6 модельных пусков, результаты которых $\Delta\mathbf{X}_{11}=[-1276\ \ -56\ \ -2290]^{\mathrm{T}}$; $\Delta\mathbf{X}_{12}=[26\ \ -24\ \ 51]^{\mathrm{T}}$; $\Delta\mathbf{X}_{13}=[1427\ 36\ 2456]^{\mathrm{T}}$; $\Delta\mathbf{X}_{14}=[-729\ \ 11\ \ -1332]^{\mathrm{T}}$; $\Delta\mathbf{X}_{15}=[684\ \ 17\ \ 1184]^{\mathrm{T}}$; $\Delta\mathbf{X}_{16}=[54\ \ 39\ \ 189]^{\mathrm{T}}$, а во вторых — 8 пусков с результатами $\Delta\mathbf{X}_{21}=[-1257\ \ -933\ \ -910]^{\mathrm{T}}$; $\Delta\mathbf{X}_{22}=[32\ \ 10\ \ 29]^{\mathrm{T}}$; $\Delta\mathbf{X}_{23}=[1388\ \ 999\ \ 974]^{\mathrm{T}}$; $\Delta\mathbf{X}_{24}=[-730\ -521\ -540]^{\mathrm{T}}$; $\Delta\mathbf{X}_{25}=[667\ \ 482\ \ 471]^{\mathrm{T}}$; $\Delta\mathbf{X}_{26}=[70\ \ 88\ \ 81]^{\mathrm{T}}$; $\Delta\mathbf{X}_{27}=[-446\ -308\ -316]^{\mathrm{T}}$; $\Delta\mathbf{X}_{28}=[429\ \ 258\ \ 289]^{\mathrm{T}}$.

По этим данным рассчитаны оценки $\tilde{\mathbf{M}}_{\Delta\hat{\mathbf{X}}_1}=\begin{bmatrix}31 & 4 & 43\end{bmatrix}^{\mathrm{T}}$; $\tilde{\mathbf{M}}_{\Delta\hat{\mathbf{X}}_2}=\begin{bmatrix}19 & 9 & 9\end{bmatrix}^{\mathrm{T}}$ математических ожиданий $\mathbf{M}_{\Delta\hat{\mathbf{X}}_1}$ и $\mathbf{M}_{\Delta\hat{\mathbf{X}}_2}$ соответственно.

Тогда оценки $\mathbf{M}_{12}$ и $\mathbf{K}_{12}$ характеристик точности выведения РН в первых условиях пусков, учитывающие результаты пусков РН в первых и вторых условиях, в соответствии с формулами (9), (10) примут вид

$$\mathbf{M}_{12}=\begin{bmatrix}26 & 3 & 34\end{bmatrix}^{\mathrm{T}};$$

$$\mathbf{K}_{12}=\begin{bmatrix}810956 & 6662 & 1419402\\ 6662 & 820 & 12178\\ 1419402 & 12178 & 2486901\end{bmatrix}.$$

Очевидно, что дисперсии элементов оценок $\mathbf{M}_{12}$ и $\mathbf{K}_{12}$, учитывающих результаты 14 пусков РН в первых и вторых условиях, будут меньше дисперсий соответствующих элементов оценок $\tilde{\mathbf{M}}_{\Delta\hat{\mathbf{X}}_1}$ и $\tilde{\mathbf{K}}_{\Delta\hat{\mathbf{X}}_1}$, полученных только по результатам шести пусков РН в первых условиях.

Заключение

Приведение разнородных опытных данных к единым условиям испытаний позволяет повысить качество оценок характеристик точности СУ. Результат решения этой задачи существенно зависит от ошибок определения оператора приведения. Предложенный в данной статье подход, как показали многочисленные исследования, во всех случаях обеспечивает нулевую ошибку δ_M и, как правило, малое значение ошибки δ_K. Он может быть использован при решении ряда смежных задач. Так, результаты испытаний ОО в первых условиях могут быть пересчитаны на вторые. Или же, в более общем случае, все испытания в первых и вторых условиях могут быть использованы для повышения качества оценивания характеристик точности СУ в некоторых, отличных от первых двух, третьих условиях испытаний. Возможны и другие, достаточно очевидные постановки задач, связанных с обработкой неоднородной статистической информации.

Литература

1. **Поляков А. П.** и др. Справочник по эксплуатации космических средств / под ред. А. П. Полякова. 2-е изд., перераб. и доп. — СПб.: ВКА им. А. Ф. Можайского, 2006. — 758 с.
2. **Миронов В. И.** Эффективность, надежность и испытания систем управления: учеб. пособие / МО СССР. — М., 1981. — 200 с.
3. **Элементы** теории испытаний и контроля технических систем / под ред. Р. М. Юсупова. — Л.: Энергия, 1978. — 192 с.
4. **Эльясберг П. Е.** Определение движения по результатам измерений. — М.: Наука, 1976. — 415 с.
5. **Буренок В. М., Найденов В. М.** Испытательная база: выход из кризиса // Воздушно-космическая оборона. 2009. № 1(44). С. 18–25.
6. **Шаракшанэ А. С., Халецкий А. К., Морозов И. А.** Оценка характеристик сложных автоматизированных систем. — М.: Машиностроение, 1993. — 272 с.
7. **Кринецкий Е. И., Александровская Л. Н., Шаронов А. В., Голубков А. С.** Летные испытания ракет и космических аппаратов. — М.: Машиностроение, 1979. — 464 с.
8. **Миронов В. И.** Задача приведения вариаций фазовых координат нелинейных динамических систем к заданным условиям испытаний // Изв. АН СССР. Техн. кибернетика. 1970. № 3. С. 31–38.
9. **Арсеньев В. Н.** Определение характеристик точности системы по результатам ее испытаний в различных условиях испытаний // Изв. АН РФ. Техн. кибернетика. 1992. № 2. С. 118–121.
10. **Арсеньев В. Н.** Оценивание характеристик точности системы управления ракеты-носителя по результатам пусков в различных условиях // Изв. вузов. Приборостроение. 2015. № 1. С. 27–32.
11. **Половко А. М., Гуров С. В.** Основы теории надежности. — СПб.: БХВ-Петербург, 2006. — 704 с.
12. **Вентцель Е. С.** Теория вероятностей. — М.: Академия, 2003. — 576 с.
13. **Пугачев В. С.** Теория вероятностей и математическая статистика. — М.: Физматлит, 2002. — 496 с.

UDC 519.2
doi:10.15217/issn1684-8853.2015.5.55

Processing Miscellaneous Statistical Information about Control System Accuracy Characteristics

A. A. Ardashov[a], PhD, Tech., Senior Research Associate, avgust.ar.@yandex.ru
V. N. Arseniev[a], Dr. Sc., Tech., Professor, vladar56@mail.ru
S. B. Silantyev[a], PhD, Tech., Professor, silantev2008@yandex.ru
[a]A. F. Mozhaiskii Military Space Academy, 13, Zhdanovskaia St., 197198, Saint-Petersburg, Russian Federation

Introduction: When testing control systems, it is impossible to provide that the test conditions for various samples are fully identical, because of modifications, changes in the boundary conditions, etc. A way to remove the information heterogeneity is reducing the test results for different samples to certain conditions determined in advance. The estimates of the control system characteristics obtained from the selection united in this way significantly depends on the accuracy of the reduction operators. **Purpose:** Increasing the definition accuracy of the reduction operators as compared to the known methods of solving this task. **Results:** A new approach to amalgamate miscellaneous test data has been proposed which helps to increase the accuracy of reducing the test results to unified conditions and improve the quality of estimating the system characteristics. The reduction operator is determined on the base of full coincidence of population means and the maximum proximity of the correlation matrixes characterizing the accuracy of the system under various conditions. This provides the best possible consideration of limited test data obtained in the course of test functioning of the control system. An example of estimating the accuracy characteristics of the control system is given. **Practical relevance:** Applying the results obtained in this paper can help to increase the accuracy of estimating the characteristics of the control system.

Keywords — Control System, Accuracy Characteristics, Prototypes, Test Condition, Miscellaneous Statistical Information.

References

1. Polyakov A. P., et al. *Spravochnik po ekspluatatsii kosmicheskikh sredstv* [The Reference Book on Operation of Space Means]. Saint-Petersburg, VKA im. A. F. Mozhaiskogo Publ., 2006. 758 p. (In Russian).
2. Mironov V. I. *Effektivnost', nadezhnost' i ispytaniia sistem upravleniia* [Efficiency, Reliability and Tests of Control Systems]. MO SSSR Publ., 1981. 200 p. (In Russian).
3. *Elementy teorii ispytanii i kontrolia tekhnicheskikh sistem* [Elements of the Theory of Tests and Control of Technical Systems]. Ed. R. M. Yusupov. Saint-Petersburg, Energiia Publ., 1978. 192 p. (In Russian).
4. Eliasberg P. E. *Opredelenie dvizheniia po rezul'tatam izmerenii* [Definition of the Movement on Results of Measurements]. Moscow, Nauka Publ., 1976. 415 p. (In Russian).
5. Burenok V. M., Naidyonov V. M. Test Base: Recovery from the Crisis. *Vozdushno-kosmicheskaia oborona*, 2009, no. 1(44), pp. 18–25 (In Russian).
6. Sharakshane A. S., Haletsky A. K., Morozov I. A. *Otsenka kharakteristik slozhnykh avtomatizirovannykh sistem* [Estimation of Characteristics of the Difficult Automated Systems]. Moscow, Mashinostroenie Publ., 1993. 272 p. (In Russian).

7. Krinetsky E. I., Aleksandrovskaia L. N., Sharonov A. V., Golubkov A. S. *Letnye ispytaniia raket i kosmicheskikh apparatov* [Flight Tests of Rockets and Spacecraft]. Moscow, Mashinostroenie Publ., 1979. 464 p. (In Russian).
8. Mironov V. I. The Task of Reduction of Nonlinear Dynamic Systems Phase Coordinates Variations to the Set Conditions of Test. *Izvestiia AN SSSR. Tekhn. kibernetika*, 1970, no. 3, pp. 31–38 (In Russian).
9. Arseniev V. N. *Opredeleniye harakteristik tochnosti systemi po rezulytatam ee ispitaniy v razlichnih usloviyah* [Definition of System Accuracy Characteristics by Results of Its Tests In Various Conditions]. *Izvestiia AN RF. Tekhn. kibernetika*, 1992, no. 2, pp. 118–121 (In Russian).
10. Arseniev V. N. Estimation of Carrier Rocket Control System Accuracy Characteristics by Results of Start-up in Various Conditions. *Izvestiia vuzov. Priborostroenie*, 2015, no. 1, pp. 27–32 (In Russian).
11. Polovko A. M., Gurov S. V. *Osnovy teorii nadezhnosti* [Bases of The Theory of Reliability]. Saint-Petersburg, BKhV-Peterburg Publ., 2006. 704 p. (In Russian).
12. Ventcel E. S. *Teoriia veroiatnostei* [Probability Theory]. Moscow, Akademiia Publ., 2003. 576 p. (In Russian).
13. Pugachev B. C. *Teoriia veroiatnostei i matematicheskaia statistika* [Probability Theory and Mathematical Statistics]. Moscow, Fizmatlit Publ., 2002. 496 p. (In Russian).

Уважаемые авторы!

При подготовке рукописей статей необходимо руководствоваться следующими рекомендациями.

Статьи должны содержать изложение новых научных результатов. Название статьи должно быть кратким, но информативным. В названии недопустимо использование сокращений, кроме самых общепринятых (РАН, РФ, САПР и т. п.).

Объем статьи (текст, таблицы, иллюстрации и библиография) не должен превышать эквивалента в 20 страниц, напечатанных на бумаге формата А4 на одной стороне через 1,5 интервала Word шрифтом Times New Roman размером 13, поля не менее двух сантиметров.

Обязательными элементами оформления статьи являются: индекс УДК, заглавие, инициалы и фамилия автора (авторов), ученая степень, звание (при отсутствии — должность), полное название организации, аннотация и ключевые слова на русском и английском языках, электронные адреса авторов, которые по требованию ВАК должны быть опубликованы на страницах журнала. При написании аннотации не используйте аббревиатур и не делайте ссылок на источники в списке литературы.

Статьи авторов, не имеющих ученой степени, рекомендуется публиковать в соавторстве с научным руководителем, наличие подписи научного руководителя на рукописи обязательно; в случае самостоятельной публикации обязательно предоставляйте заверенную по месту работы рекомендацию научного руководителя с указанием его фамилии, имени, отчества, места работы, должности, ученого звания, ученой степени — эта информация будет опубликована в ссылке на первой странице.

Формулы набирайте в Word, не используя формульный редактор (Mathtype или Equation), при необходимости можно использовать формульный редактор; для набора одной формулы не используйте два редактора; при наборе формул в формульном редакторе знаки препинания, ограничивающие формулу, набирайте вместе с формулой; для установки размера шрифта никогда не пользуйтесь вкладкой Other..., используйте заводские установки редактора, не подгоняйте размер символов в формулах под размер шрифта в тексте статьи, не растягивайте и не сжимайте мышью формулы, вставленные в текст; в формулах не отделяйте пробелами знаки: + = –.

Для набора формул в Word никогда не используйте Конструктор (на верхней панели: «Работа с формулами» — «Конструктор»), так как этот ресурс предназначен только для внутреннего использования в Word и не поддерживается программами, предназначенными для изготовления оригинал-макета журнала.

При наборе символов в тексте помните, что символы, обозначаемые латинскими буквами, набираются светлым курсивом, русскими и греческими — светлым прямым, векторы и матрицы — прямым полужирным шрифтом.

Иллюстрации в текст не заверстываются и предоставляются отдельными исходными файлами, поддающимися редактированию:

— рисунки, графики, диаграммы, блок-схемы предоставляйте в виде отдельных исходных файлов, поддающихся редактированию, используя векторные программы: Visio 4, 5, 2002-2003 (*.vsd); Coreldraw (*.cdr); Excel (*.xls); Word (*.doc); AdobeIllustrator (*.ai); AutoCad (*.dxf); Matlab (*.ps, *.pdf или экспорт в формат *.ai);

— если редактор, в котором Вы изготавливаете рисунок, не позволяет сохранить в векторном формате, используйте функцию экспорта (только по отношению к исходному рисунку), например, в формат *.ai, *.esp, *.wmf, *.emf, *.svg;

— фото и растровые — в формате *.tif, *.png с максимальным разрешением (не менее 300 pixels/inch).

Наличие подрисуночных подписей обязательно (желательно не повторяющих дословно комментарии к рисункам в тексте статьи).

В редакцию предоставляются:

— сведения об авторе (фамилия, имя, отчество, место работы, должность, ученое звание, учебное заведение и год его окончания, ученая степень и год защиты диссертации, область научных интересов, количество научных публикаций, домашний и служебный адреса и телефоны, e-mail), фото авторов: анфас, в темной одежде на белом фоне, должны быть видны плечи и грудь, высокая степень четкости изображения без теней и отблесков на лице, фото можно представить в электронном виде в формате *.tif, *.png с максимальным разрешением — не менее 300 pixels/inch при минимальном размере фото 40×55 мм;

— экспертное заключение.

Список литературы составляется по порядку ссылок в тексте и оформляется следующим образом:

— для книг и сборников — фамилия и инициалы авторов, полное название книги (сборника), город, издательство, год, общее количество страниц;

— для журнальных статей — фамилия и инициалы авторов, полное название статьи, название журнала, год издания, номер журнала, номера страниц;

— ссылки на иностранную литературу следует давать на языке оригинала без сокращений;

— при использовании web-материалов указывайте адрес сайта и дату обращения.

Список литературы оформляйте двумя отдельными блоками по образцам lit.dot на сайте журнала (http://i-us.ru/paperrules) по разным стандартам: Литература — СИБИД РФ, References — один из мировых стандартов.

Более подробно правила подготовки текста с образцами изложены на нашем сайте в разделе «Оформление статей».

Контакты

Куда: 190000, Санкт-Петербург,
Б. Морская ул., д. 67, ГУАП, РИЦ
Кому: Редакция журнала «Информационно-управляющие системы»
Тел.: (812) 494-70-02
Эл. почта: ius.spb@gmail.com
Сайт: www.i-us.ru