

МЕТОД ОБРАБОТКИ ВРЕМЕННЫХ РЯДОВ, ХАРАКТЕРИЗУЮЩИХ ИЗМЕНЕНИЯ ПАРАМЕТРОВ СЛОЖНОЙ ТЕХНИКИ В ПРОЦЕССЕ ЭКСПЛУАТАЦИИ

А.В. Кошель, Д.В. Дяченко, А.В. Поляков, В.П. Варакута
(Харьковский университет Воздушных Сил)

Статья посвящена разработке методического аппарата, применение которого позволило бы с достаточной точностью и достоверностью обрабатывать параметры сложной техники в различных условиях.

параметры сложной техники, процесс эксплуатации, временной ряд

Постановка проблемы. Актуальной задачей является повышение эффективности применения сложной техники (СТ). Поддержание в готовности к применению СТ складывается из контроля, анализа (оценивания состояния), диагностирования и прогнозирования изменений параметров [1]. Опыт показывает, что процессы изменения технических параметров наиболее интенсивно проявляются при функционировании сложных технических средств (СТС) [2]. Это обусловлено экстремальными условиями их эксплуатации, в частности, воздействием комплекса гелиогеофизических факторов (ГГФ). Учитывая эти обстоятельства, предлагаемый метод обработки параметров ориентированы на наиболее жесткие условия эксплуатации СТС, что обеспечивает достаточно высокий уровень их унификации в отношении других видов сложной техники.

Воздействие ГГФ инициирует процессы деградации физико-химических свойств материалов элементной базы радиоэлектронной аппаратуры, электромеханических узлов и агрегатов. В условиях деградации изменения параметров носят стохастический характер и оценивание их традиционными методами представляется недостаточно корректным [3]. Поэтому актуальной является разработка научно-методического аппарата обработки параметров в условиях их стохастических изменений, т. е. в процессе интенсивной деградации элементной базы. Эти же обстоятельства заставляют по-новому подойти к технологии оценки параметров СТС.

Анализ литературы. Обычно использовались методы фактически раздельного по времени оценивания параметров космических аппаратов (КА) и средств управления (СУ). Это объяснялось широкими возможностями перепланирования [4]. Теперь ситуация коренным образом изме-

нилась и требует гораздо более точной оценки возможности одновременного надежного целевого функционирования КА и СУ как системы [1]. При этом системное рассмотрение не подразумевает «равновесный» подход к составляющим ее элементам – КА и СУ [5]. Речь идет о том, что при всех отличиях этих элементов, необоснованное принятие решения о целевом применении СТС неприемлемо по своим последствиям [2] т.е. необходимо выполнение условия, когда одновременно КА и СУ готовы по своим параметрам к надежному выполнению ими целевых задач [4]. На основе изложенного подхода рассмотрим основные научно-методические положения обработки параметров космических средств.

Цель работы – разработка методического аппарата для обработки параметров сложной техники в условиях воздействия долговременных финансово-экономических, ресурсных и технологических ограничений.

Метод предварительной обработки временных рядов, характеризующих изменения параметров космических средств. В процессе функционирования космических средств изменяются их параметры, для оценки которых производится контроль совокупности параметров бортовых и наземных комплексов. Результаты наблюдения изменения параметров СТС можно представить в виде многомерного временного ряда [3]

$$\bar{X}(t) = (x_1(t), x_2(t), x_3(t), \dots, x_{N_0}(t))^T, \quad t = 1, \dots, N,$$

где N_0 – количество числовых параметров СТС; t – момент времени изменения параметров; N – время последнего замера вектора параметров СТС.

Этот многомерный временной ряд описывается в виде матрицы

$$X = (x_{ij}), \quad \text{где } i = 1, \dots, N; \quad j = 1, \dots, N_0.$$

Проводится нормирование и центрирование столбцов матрицы X и формируется центрированная нормированная матрица данных с элементами

$$x_{ti} = (x_{ti} - m_{xi}) / \sqrt{D_{xi}}, \quad i = 1, 2, \dots, N_0; \quad t = 1, \dots, N.$$

Далее строится ковариационная матрица параметров СТС. Оценка элементов ковариационной матрицы можно произвести по формуле

$$\text{Cov}[x_i, x_j] = \frac{1}{N-1} \sum_{t=1}^N x_{ti} x_{tj}.$$

В этом случае ковариационная матрица для матрицы данных будет иметь вид

$$\text{Cov} = \{ \text{Cov}[x_i, x_j] \mid i = 1, \dots, N_0; \quad j = 1, \dots, N_0 \}.$$

Соответствующая ей корреляционная матрица имеет вид

$$\text{Cor} = \{ \text{Cor}[x_i, x_j] \mid i = 1, \dots, N_0; \quad j = 1, \dots, N_0 \},$$

где $\text{Cor}[x_i, x_j] = \text{Cov}[x_i, x_j] / \sqrt{\text{Cov}[x_i, x_i] \text{Cov}[x_j, x_j]}$.

Эта матрица показывает степень корреляционной связи между па-

параметрами СТС. Определение корреляционных связей между параметрами имеет существенное значение для выделения из всего множества наиболее существенных параметров. В настоящее время обычно пользуются экспертными оценками для выявления наиболее существенных параметров СТС, однако это вносит дополнительную неопределенность. Поэтому для выделения указанных параметров целесообразно применять метод главных компонент [1].

Благодаря свойствам корреляционной матрицы размерности $(p \times p)$, для неё в p -мерном линейном пространстве можно найти такой базис, что матрица $D = C^T \text{Cог} C$ будет иметь диагональный вид. Причем матрица C (матрица перехода) будет являться матрицей собственных векторов для Cог , а диагональные элементы матрицы D – собственными числами матрицы Cог . Далее, если воспользоваться матрицей перехода от базиса старого к новому, то получим матрицу U , элементы которой являются линейной комбинацией соответствующих элементов матрицы данных X . В матричном виде это выглядит так $U = X C$, т.е. получим новую матрицу U размерности $(p \times N)$ с дисперсионной матрицей

$$D = \text{diag} (\lambda_1, \lambda_2, \lambda_3, \dots, \lambda_p).$$

Собственные числа $\lambda_i, i = 1, \dots, p$ для компонент будут иметь смысл дисперсии компонент вектора \bar{u} . В результате этой несложной процедуры получили матрицу U с некоррелированными столбцами, причем основная дисперсия будет сосредоточена в первых компонентах (рис. 1).

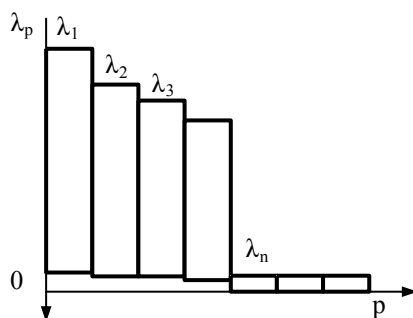


Рис. 1. Распределение дисперсии по компонентам

Следовательно, только первые компоненты матрицы U несут основную нагрузку о параметрах СТС. Отсюда следует, что для оценивания параметров СТС естественным образом p -мерное пространство параметров сжимается до k -мерного пространства факторов, где $k \ll p$. Это, с одной стороны, снижает объем обрабатываемой информации для анализа и оценивания, а с другой, устраняет ту неопределенность, которая появляется при использовании экспертного выбора параметров для оценивания состояния СТС. В предлагаемом подходе особенно важно то, что при использовании этой процедуры учитывается корреляционная связь между параметрами СТС, а оценивание можно производить по некоррелированным факторам. При необходимости можно снова вернуться в пространство параметров, используя матричное соотношение $X = U C^T$.

Таким образом, описывая значимые компоненты матрицы U соот-

ветствующими математическими приемами, получаем выражения для оценивания главных компонент. Причем, компоненты с незначительными дисперсиями можно прогнозировать средними значениями. Тогда прогнозные значения параметров представляются как

$$x_{pi} = \sum_{j=1}^p C_{ij} U_{pj}, \quad i = 1, \dots, p,$$

где x_{pi} – прогнозные значения параметра x_i ; U_{pi} – прогнозные значения j -го фактора; C_{ij} – элемент матрицы собственных векторов.

В результате применения метода главных компонент размерность задачи снижается по сравнению с исходной в 10 – 20 раз при приемлемом для практики снижении точности статистического описания приблизительно на 10 – 20%. Выделение главных факторов в компонентной процедуре происходит по максимуму падающей на них дисперсии выборки. При этом, как правило, уже небольшое число ($k \ll p$) главных компонент «забирает» на себя 80 – 90% общей дисперсии. В связи с этим, оставшиеся незначимые компоненты исключаются из рассмотрения, и оцениваются своими средними значениями, так как дисперсия их достаточна мала.

Заключение. Получены следующие основные результаты. Предложен метод предварительной обработки временных рядов, характеризующих изменения параметров, и оценивания космических средств. В результате применения метода размерность задачи обработки и оценивания параметров космических средств снижается по сравнению с исходной в 10 – 20 раз.

ЛИТЕРАТУРА

1. Дмитриев А.К., Мальцев П.А. Основы теории построения и контроля сложных систем. – Л.: Энергоатомиздат, 1988. – 192 с.
2. Сухорученков Б.И. Математическое моделирование изменений технического состояния систем ЛА. – М.: ВА РВСН им. Петра Великого, 2002. – 386 с.
3. Ілюшко В.М., Малєєва О.В., Губка С.О., Дружинін Є.А. Методи експертизи та контролю при проектуванні складних технічних систем: Навч. пос. – Х.: ДАКУ „ХАІ”, 1998. – 52 с.
4. Методы и алгоритмы синтеза оптимальной системы диагностирования сложных технических объектов по критерию минимума затрат / А.К. Дмитриев, И.Д. Кравченко и др. // Надежность и контроль качества. – 1996. – № 7. – С. 43 – 50.
5. Системні моделі комплексного аналізу СТС: Навч. пос. / Під ред. О.Є. Федоревича. – Х.: ДАКУ „ХАІ”, 1998 – 65 с.

Поступила 7.03.2005

Рецензент: доктор военных наук, профессор Ю.Г. Даник,
Национальная академия обороны Украины, Киев.