УДК 519.216.3

А. О. Левченко

Львівський інститут Сухопутних військ, Львів

УЗАГАЛЬНЕННЯ ПРОЦЕДУР ВИЯВЛЕННЯ СТРУКТУРНИХ ЗМІН МОДЕЛЕЙ ДРЕЙФУ НОРМОВАНОГО ПАРАМЕТРА ОЗБРОЄННЯ І ВІЙСЬКОВОЇ ТЕХНІКИ

У статті проведено узагальнення процедур перевірки гіпотез про появу структурних змін моделей дрейфу нормованого параметра за наявності одного, двох, трьох і чотирьох відліків після регулювання. Попередньо для визначення місця застосування процедур перевірки гіпотез про появу структурних змін розглянуто процедуру побудови в класі скінчених степеневих сум аналітичної моделі дрейфу, оптимальної в сенсі максимуму каппа-критерію відтворюваності і мінімуму показника компактності на етапі структурної ідентифікації методом послідовного ускладнення моделі.

Як підсумок, у статті отримані процедури та алгоритми, сукупність яких дозволить реалізовувати інформаційні процедури автоматичних систем метрологічного супроводу з прогнозуванням для впровадження контролю у вигляді, найбільш характерному для організації експлуатації у Збройних Силах України.

Ключові слова: *модель дрейфу, параметр озброєння, автоматичні системи.*

Вступ

Постановка проблеми. Внаслідок аналізу, проведеного ще в 70-х роках для бортового обладнання авіаракетної техніки, з'ясовано, що календарний принцип планування технічного обслуговування дає значний ефект, тобто забезпечує необхідний рівень надійності та ефективності технічних засобів тільки в 11 % випадків, а принцип планування технічного обслуговування «за напрацюванням» (ресурсу) – 63 %. Ці обставини передбачили перехід авіаційної та ракетно-космічної техніки до технічного обслуговування «за станом» [1, 2].

Стратегія технічного обслуговування «за станом» характеризується тим, що перелік і час операцій визначаються технічним станом системи (існуючим або тим, що прогнозується), а періодичність контролю або встановлюється єдиною для усього парку зразків озброєння, або визначається індивідуально за результатами прогнозу стану. Контроль із прогнозуванням є однією з вищих форм організації програм технічного обслуговування, що збігається з позицією, яку викладено у посібнику MSG-3 збройних сил США [2-3]. Як показує аналіз, саме цей вид контролю дозволяє досягти максимуму ефективності функціонування системи технічного обслуговування і ремонту (ТОіР). Під час реалізації такого виду контролю алгоритми технічного обслуговування і діагностування доповнюються алгоритмами прогнозування технічного стану зразка озброєння і військової техніки (ОВТ) та створюють автоматизовані системи метрологічного супроводу з прогнозуванням у разі апаратної реалізації або інформаційні процедури автоматизованих систем підтримки прийняття рішень у разі програмної реалізації для сучасних ПЕОМ. У свою чергу подібні інформаційні системи вкупі з силами та засобами частин і підрозділів технічного обслуговування створюють технологічні системи керування параметрами (технічним станом) технічних засобів із нормованими параметрами.

Але, як показує порівняльний аналіз різноманітних стратегій обслуговування, контроль із прогнозуванням, дозволяючи досягати максимуму ефективності функціонування системи ТОіР, одночасно є і найдорожчою процедурою одержання інформації про стан складної технічної системи (СТС), оскільки його практична реалізація потребує великої кількості інформації – достатньо повних статистичних даних про характер зміни технічного стану (діагностичних параметрів) СТС за часом, а отже, і великих капіталовкладень для збирання та переробки цієї інформації.

Тому подальший розвиток автоматичних систем метрологічного супроводження з прогнозуванням, розробка та впровадження адаптивних інформаційних систем технічної діагностики СТС із прогнозуванням, які базуються на алгоритмах прогнозу з необхідною достовірністю за вибірковими даними обмеженого обсягу інформації, є вельми актуальною задачею.

Однією з проблем застосування алгоритмів прогнозу, існуючі, є наявність структурних змін у виборці результатів вимірювання. Автоматизовані системи метроло-гічного супроводу, які існують на цей час, не передбачають застосування спеціальних процедур та не включають у свій склад алгоритмів виявлення структурних змін моделей дрейфу [4-7]. Отримання такої процедури й визначає наукову новизну роботи.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. У теорії стохастичної компактності [1], що розвивається для можливості рішення статистичних задач, у яких відсутня апріорна інформація про ймовірностні характеристики випадкових процесів, задачу виявлення структурних змін у вихідній вибірці запропоновано вирішувати або методом кластерізації модулів приросту, або методом послідовного розподілу (ковзної границі).

Суть методу кластеризації модулів збільшення [4-7] полягає в об'єднанні окремих відліків у кластери, за початок яких приймається пара відліків, найменш відмінних за величиною модулів збільшень. Суть методу послідовного розподілу полягає в розподілі вихідної вибірки на кластери.

Метою статті є узагальнення процедур виявлення структурних змін моделей дрейфу. В якості предмета дослідження виступають моделі дрейфу нормованого параметра, об'єктом дослідження є процедури її вирішення для часткових випадків.

Основний матеріал

Істотною особливістю задачі побудови алгоритму прогнозу для автоматизованої системи метрологічного супроводу з прогнозуванням від завдання, що зважуються вищезгаданими методами, полягає в тому, що момент відновлення технічного стану пристрою, в якому передбачається, що відбулося розладнання (регулювання або попереджувальна заміна елементів), визначено. Ця обставина істотно спрощує завдання і зводить його до перевірки гіпотези про зміну чи незміну характеристик положення і масштабу моделі дрейфу параметра в момент його регулювання.

При відсутності апріорної інформації про вид розподілу випадкового процесу дрейфу проводиться оцінювання характеристик відтворюваності моделей для різних гіпотез про вид розподілу випадкового процесу дрейфу і типу закону розподілу в суміші розподілів за величиною каппа-критерію і вибирається та з них, яка має максимальний ступінь відтворюваності за каппа-критерієм [2-3].

У загальному випадку задача обчислення каппа-критерію являє собою трудомістку обчислювальну процедуру [3, 5, 7, 8]. Її спрощення можна домогтися, використовуючи як критерій мінімум середнього модуля нев'язок екстраполяційного функціонала (СМНЕФ) моделі дрейфу параметра [3], СМНЕФ можна розглядати як моментний еквівалент каппа-критерію. Обов'язковою умовою при такій заміні є наявність числових значень відліків прогнозованого параметра після моменту регулювання.

Розглянемо процедуру побудови в класі скінчених степеневих рядів моделі ММК, оптимальної в сенсі максимуму каппа-критерію відтворюваності і мінімуму показника компактності

$$K = \int_0^{\infty} \nu \left\{ |\Xi|_n \geq \varepsilon \right\} d\varepsilon$$

на етапі структурної ідентифікації методом послідовного ускладнення моделі [1, 3, 8, 9].

В якості нульової приймається гіпотеза $H_0 = \langle \varphi_0(\vec{\Theta}, t) = \theta_0 \rangle$, а в якості альтернативної для першого наближення $H_k = \langle \varphi_1(\vec{\Theta}, t) = \theta_{1k} t^k \rangle$, k=1…n.

На першому етапі відкидаються ті гіпотези, для яких не виконується умова: $H_k \leq H_0$ $k = 0 \ldots n$ у схемі перехресного вибору з діленням вихідної вибірки навпіл, чому відповідають медіани підвибірок з координатами $\left(\mu_{\hat{\Phi}_{11}}, \mu_{t_{11}}\right)$ і $\left(\mu_{\hat{\Phi}_{12}}, \mu_{t_{12}}\right)$.

Для дискретних розподілів $K_0 = \left| \mu_{\hat{\Phi}_{11}} - \mu_{\hat{\Phi}_{12}} \right|$.

Кожному варіанту однопараметричної моделі відповідає система рівнянь виду:

$$\begin{cases} \theta_{1k}^{[1]} * \mu_{t_{11}}^k = \mu_{\hat{\Phi}_{11}}, \\ \theta_{1k}^{[2]} * \mu_{t_{12}}^k = \mu_{\hat{\Phi}_{12}}, \\ k = 1 \ldots n. \end{cases}$$

Її рішення отримане в [3, 6]:

$$K_k = \frac{1}{2} \left(\left| \mu_{\hat{\Phi}_{11}} - \frac{\mu_{\hat{\Phi}_{12}}}{\mu_{t_{12}}^k} * \mu_{t_{11}}^k \right| + \left| \mu_{\hat{\Phi}_{12}} - \frac{\mu_{\hat{\Phi}_{11}}}{\mu_{t_{11}}^k} * \mu_{t_{12}}^k \right| \right).$$

У другому наближенні в якості базового компонента використовується найбільш стійка модель першого наближення $\theta_{k1} t^{k1}$ і розглядаються двопараметричні моделі $\varphi_2\left(\hat{\Theta}, t\right) = \theta_{1k} t^{k1} + \theta_{2k} t^k$; k=1…n; $k_1 \neq k$.

Для цього початкова вибірка ділиться вже на три частини з медіанними центрами $\left(\mu_{\hat{\Phi}_{21}}, \mu_{t_{21}}\right)$, $\left(\mu_{\hat{\Phi}_{22}}, \mu_{t_{22}}\right)$ і $\left(\mu_{\hat{\Phi}_{23}}, \mu_{t_{23}}\right)$, кожен з яких по черзі використовується в перехресному виборі найбільш стійкого варіанта моделі за рішеннями системи з трьох рівнянь і наступною екстраполяцією на підвибірку, яка не використовувалася.

Ця процедура повторюється, доки показник компактності зменшується.

Виявлення структурних змін у початковій вибірці для відомого, базового алгоритму ММКМЕД здійснюється методом послідовного ділення (ковзної межі) за мінімумом каппа-критерію нормованих функції компактності розподілу помилок моделі ліворуч і праворуч $\min_{\tau} K_{s2}(\tau),\ \tau \subseteq |T_1, T_2|$

Якщо в момент часу $\tau_0 = \arg\min_{\tau} K_{s2}(\tau)$ гіпотеза про наявність структурної зміни буде відкинута за показником компактності, процедура виявлення структурних змін завершується. Якщо гіпотеза про наявність структурних змін буде прийнята, процедура повторюється на знов утворених сегментах до відкидання альтернативних гіпотез або до порушення умови зменшення приросту показника компактності моделі в процесі сегментації даних [10, 11].

Істотною особливістю задачі прогнозування, для систем технічної діагностики з прогнозуванням у складі технологічних систем керування параметрами від задач, в яких використовують метод ковзної межі, полягає в тому, що момент відновлення технічного стану, в якому передбачається розладка, відомий. Наприклад, проведення регулювання параметра. Це істотно спрощує задачу, зводить її до перевірки гіпотези про зміну характеристик інформаційної моделі дрейфу в момент регулювання параметра [12].

При відсутності апріорної інформації про вигляд розподілу процесу дрейфу параметра здійснюється оцінювання характеристик відтворюваності моделей для різних гіпотез про вигляд його розподілу або вигляд типу розподілів у суміші за величиною каппа-критерію. Вибирається та модель, яка має максимальний ступінь відтворюваності (найкраще значення каппа-критерію).

Узагальнимо відому триточкову процедуру підтвердження наявності структурної зміни інформаційної моделі дрейфу параметра.

При наявності одного відліку після регулювання задача вирішується у такий спосіб: будується модель характеристики положення процесу за існуючим алгоритмом ММКМЕД [4] на спробній частині вибірки й екстраполюється на контрольну, де обчислюється помилка екстраполяції $\Delta 1$, рівна різниці значень характеристики положення і відліку. Потім значення характеристики положення зміщується на величину регулювання, обчислюється модуль нев'язання Δ2 і порівнюється з Δ1. Якщо Δ1 ≤ Δ2, то приймається гіпотеза про відсутність структурних змін у моделі дрейфу, якщо Δ1>Δ2, то приймається гіпотеза про стрибкоподібну зміну характеристики положення моделі дрейфу параметра на величину регулювання.

При наявності двох відліків після регулювання їх значень віднімається значення характеристики положення для відповідних моментів часу:

$$Z_{(t_i)} = Q(t) - \widehat{Me}Q(t_i), \quad i = 1, 2;$$

будується модель постійного рівня для кожного з відліків, потім обчислюється модуль нев'язкі і порівнюється з першим варіантом. Приймається гіпотеза, якій відповідає найменша нев'язка. При наявності трьох відліків застосовується процедура виявлення структурних змін у моделі дрейфу параметра, аналогічна описаній в роботі [5].

При наявності чотирьох відліків $Q(t_1)$, $Q(t_2)$, $Q(t_3)$, $Q(t_4)$ стає можливим оцінювання гіпотез про характер змін моделей дрейфу параметра: стрибкоподібна чи за лінійним законом. Для перевірки цих гіпотез центрується процес

$$Z_{(t_i)} = Q(t_j) - \widehat{Me}Q(t_j), \quad ij = 1, 2, 3, 4;$$

розділяється вихідна вибірка обмірюваних при контролі значень параметра на дві підвибірки й у кожній з них обчислюється значення медіани:

$$\widehat{Me}_{R1}Z = \frac{Z_1 + Z_2}{2}; \ \widehat{Me}_{R1}t = \frac{t_1 + t_2}{2};$$

$$\widehat{Me}_{R1}Z = \frac{Z_3 + Z_4}{2}; \ \widehat{Me}_{R1}t = \frac{t_3 + t_4}{2},$$

яка в цьому випадку збігається із середнім арифметичним. Потім обчислюється середній модуль нев'язкі:

$$\Delta 1 = \left| \frac{Z_1 + Z_2 + Z_3 + Z_4}{2} \right|$$

для моменту часу:

$$t_0 = \frac{t_2 + t_3}{2}.$$

Для першої підвибірки будується лінійна модель з параметрами:

$$a_1 = Z_1 - \frac{Z_2 - Z_1}{t_2 - t_1} * t_1, \quad b_1 = \frac{Z_2 - Z_1}{t_2 - t_1}$$

для другої підвибірки будується лінійна модель з параметрами:

$$a_2 = Z_3 - \frac{Z_4 - Z_3}{t_4 - t_3} * t_3, \quad b_2 = \frac{Z_4 - Z_3}{t_4 - t_3}.$$

Конкуруючій гіпотезі відповідає модуль нев'язкі:

$$\Delta 2 = \left| Z_1 + \frac{Z_2 - Z_1}{2}\left(1 + \frac{t_1 - t_0}{t_2 - t_1}\right) - Z_3 + \frac{Z_4 - Z_3}{2}\left(\frac{t_3 - t_2}{t_4 - t_3}\right) \right|.$$

Якщо Δ1≤Δ2 – приймається гіпотеза про стрибкоподібну зміну моделі дрейфу параметра на величину регулювання, якщо Δ1>Δ2 – приймається гіпотеза про наявність розладнання за похідною у моделі дрейфу.

Процедура, аналогічна наведеній, розглядалася в [6], похибка оцінки при цьому дорівнює половині величини нев’язки, тобто ½Δ.

При наявності декількох відліків для підвищення вірогідності прийнятого рішення про наявність розладки у вихідній вибірці можливе застосування відразу декількох описаних процедур із перевіркою збігу результатів для одного, двох, трьох і чотирьох відліків після регулювання параметра.

Адаптивність процедур прогнозування до виду щільності розподілу ймовірностей параметрів забезпечує застосування алгоритму ідентифікації щільності розподілу ймовірностей випадкового процесу дрейфу параметра в класі суміші невідомого розподілу при неодиничності компонентів у розподілі.

Адаптивність до вихідних даних забезпечує саме наявність процедури визначення структурних змін у моделі дрейфу.

Висновки

Кожна з описаних процедур може бути реалізована для розширення можливостей відомих алгоритмів і процедур ММКМЕД, ММКМЕДС методу максимуму компактності [4, 7, 12] при виникненні припущень про наявність структурних змін у вихідних даних. Узагальнена процедура, що поєднує часткові для різної кількості відліків, застосована в алгоритмі прогнозу, де як оцінка передбачається використання або медіани з ваговими коефіцієнтами, або медіани і медіани з біквадратними ваговими коефіцієнтами.

Завдання контролю з прогнозуванням у вигляді, найбільш характерному для організації експлуатації у Збройних Силах України, може бути вирішено повністю і поєднувати процедури та алгоритми, що вирішують наступні завдання:

– вибір класів моделей дрейфу та розподіл узагальнених параметрів ОВТ;

– ідентифікація моделі дрейфу узагальнених параметрів ОВТ;

– визначення структурних змін у моделі дрейфу;

– ідентифікація моделі невідомої щільності розподілу ймовірностей;

– визначення моменту часу в майбутньому, коли параметр вийде за межі допусків;

– визначення раціонального попереджувального регулювання чи заміни елементів зразка ОВТ.

Список літератури

1. Левин С. Ф. Теория стохастической компактности / С. Ф. Левин // Статистический анализ и синтез систем технического обеспечения эксплуатации. – Одесса: ОВВКИУ ПВО, 1984. – С. 40-178.

2. Левин С. Ф. Гарантированность программ обеспечения эксплуатации техники / С. Ф. Левин. – Киев: Знание, 1989. – 23 с.

3. Левин С. Ф. Основы теории контроля / С. Ф. Левин. – М.: МО СССР,1983. – 51 с.

4. Баранов А. Н. Автоматизированная система метрологического сопровождения эталонов и образцовых СИ / А. Н. Баранов // Статистическая идентификация, прогнозирование и контроль РЭА: Методические рекомендации. – Севастополь: Знание, 1990. – С. 5-7.

5. Блинов А. П. Обнаружение структурных изменений моделей функционально зависимых измеряемых величин / А. П. Блинов, С. Ф. Левин // Статистическая идентификация, прогнозирование и контроль РЭА: Методические рекомендации. – Севастополь: Знание, 1990. – С. 4.

6. Левин С. Ф. Оценивание точности построения прогнозирующих моделей дрейфа метрологических характеристик образцовых средств измерений / С. Ф. Левин // Методы теории идентификации в задачах измерительной техники и метрологии. – Новосибирск: Госстандарт СССР, 1989. – С. 46–47.

7. Блинов А. П. Построение градуировочных характеристик средств измерений методом максимума компактности / А.П. Блинов // Измерительная техника. – 1987. – №7. – С.15–16.

8. Левин С. Ф. Схема перекрёстного выбора с переменным контрольным окном для построения ММК-моделей случайных процессов / С. Ф. Левин, А.П. Блинов // Проблемы повышения эффективности обработки радиолокационных сигналов и эксплуатации радиотехнических систем. – Ч. 2. – Одесса: ОВВКИУ ПВО, 1989. – С. 28 – 29.

9. Левченко А. О. Узагальнена процедура виявлення структурних змін статистичних даних адаптивної системи метрологічного супроводу з прогнозуванням / А. О. Левченко // Збірка наукових праць Одеського інституту сухопутних військ. – 2003. – № 8. – Ч. 1. – С. 73 – 76.

10. Левин С. Ф. Статистический анализ и синтез систем технического обеспечения эксплуатации / С. Ф. Левин. – Одесса: ОВВКИУ ПВО, 1984. – 450 с.

11. Блинов А. П., Левин С. Ф. Обнаружение структурных изменений моделей функционально зависимых измеряемых величин / А. П. Блинов, С. Ф. Левин // Статистическая идентификация, прогнозирование и контроль РЭА: Методические рекомендации. – Севастополь: Знание, 1990. – С. 27 – 29.

12. Левченко А. О. Алгоритм прогнозуючого контролю для технологічної системи керування параметрами технічних засобів / А. О. Левченко //Труди Одеського національного політехнічного університету. – 2000. – Вип. 2(11). – С. 133 – 136.

Надійшла до редакції 7.11.2008

Рецензент: доктор технічних наук, старший науковий співробітник А. М. Зубков, Львівський інститут Сухопутних військ, Львів.

ОБОБЩЕНИЕ ПРОЦЕДУР ВЫЯВЛЕНИЯ СТРУКТУРНЫХ ИЗМЕНЕНИЙ МОДЕЛЕЙ ДРЕЙФА НОРМИРУЕМОГО ПАРАМЕТРА ВООРУЖЕНИЯ И ВОЕННОЙ ТЕХНИКИ

А. А. Левченко

В статье проведено обобщение процедур проверки гипотез о появлении структурных изменений моделей дрейфа нормируемого параметра при наличии одного, двух, трех и четырех отсчетов после регулировки. Предварительно для определения места применения процедур проверки гипотез о появлении структурных изменений рассмотрена процедура построения в классе конечных степенных рядов аналитической модели дрейфа, оптимальной в смысле максимума каппа-критерия воспроизводимости и минимума показателя компактности на этапе структурной идентификации методом последовательного усложнения модели.

Как итог, в статье получены процедуры, алгоритмы, совокупность которых позволит реализовывать информационные процедуры автоматических систем метрологического сопровождения с прогнозированием для внедрения контроля в виде, наиболее характерном для организации эксплуатации в Вооруженных Силах Украины.

Ключевые слова: *модель дрейфа, параметр вооружения, автоматические системы.*

GENERALIZATION OF PROCEDURES OF EXPOSURE OF STRUCTURAL CHANGES OF MODELS OF DRIFT OF THE RATIONED ARMAMENT AND MILITARY TECHNIQUE PARAMETER

A. O. Levchenko

In the article generalization of procedures of verification of hypotheses on appearance of structural changes of models of drift of the rationed parameter at presence of one, two, three and four counting out after regulation is conducted. Preliminary for a location of area of application of procedures of verification of hypothes es about appearance structural procedure is considered of construction in the class of eventual sedate rows of analytical model of drift is considered, optimum in sense of a maximum of cappa-criterion of reproduced and a minimum of index of compactness on the stage of structural authentication following the method of successive complication of a model. As a result procedures are got in the article, the aggregate of which will allow to realize algorithms informative procedures of the automatic systems of accompaniment with prognostication for introduction of control with prognostication in a kind, most characteristic for organization of exploitation in Armed Forces of Ukraine.

Keywords: *drift model, armament parameter, automatic systems.*

УДК 355.242-311.4

В. М. Калитич

Львівський інститут Сухопутних військ, Львів

ПЕРСПЕКТИВНІ НАПРЯМКИ УДОСКОНАЛЕННЯ ЗАПАСІВ АРТИЛЕРІЙСЬКИХ БОЄПРИПАСІВ

Розглядаються перспективні напрямки забезпечення новими типами боєприпасів Збройних Сил України. Проведено розрахунки необхідної кількості та вартості керованих артилерійських боєприпасів, які можуть надійти в артилерійські частини Збройних Сил України в результаті забезпечення їх новими боєприпасами.

Ключові слова: *високоточна зброя, керовані артилерійські боєприпаси.*

Постановка проблеми. В результаті науково-технічного прогресу стало можливим створення такої зброї, яка, на думку військових фахівців, визначатиме характер майбутньої війни – війни шостого покоління. Мова йде про появу у ряді провідних країн, передусім у США, нових високотехнологічних, «інтелектуальних» засобів збройної боротьби – високоточної зброї (ВТЗ). Вони широко використовувалися у війнах і збройних конфліктах останніх десятиліть.

Ще одним свідоцтвом щодо темпів зростання кількості і типажу ВТЗ є висловлювання американських експертів: якщо в 1991 році всього 7% зброї можна було віднести до категорії високоточної, то тепер її частка складає близько 95%. Наявність такого арсеналу сучасного озброєння дозволяє без особливих зусиль спрогнозувати характер збройного протиборства майбутнього.

ВТЗ – це комплекс озброєння, в якому інтегровані засоби розвідки, управління, доставки і ураження, що функціонують в реальному масштабі часу і забезпечують наведення боєприпасів на ціль із помилками меншими, ніж радіус його ураження.

В арміях економічно розвинених держав завжди традиційно приділялася велика увага