

СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ

УДК 629.7.064.52(045)

ПРОГНОЗУВАННЯ СТАНУ ЖИВЛЯЧОЇ МЕРЕЖІ ПОСТІЙНОЇ НАПРУГИ БОРТОВОГО ОБЛАДНАННЯ З ВИКОРИСТАННЯМ МЕТОДУ НАЙМЕНШИХ КВАДРАТІВ

В. М. Казак, д-р техн. наук, проф.; А. Й. Вакарова, Б. В. Гладинюк, Л. Л. Гладинюк

Національний авіаційний університет

lovetc@bk.ru

Запропоновано застосовувати метод найменших квадратів для прогнозування живлячої мережі постійної напруги бортового обладнання. При використанні методу найменших квадратів забезпечується наближений збіг прогнозуючого полінома і прогнозованого параметра в точках вимірювання з певною точністю.

Ключові слова: метод найменших квадратів, прогнозує контроль, екстраполяція, прогнозує поліном.

A least-squares method used to predict the power line DC-board equipment. At the least squares method provided approximate coincidence polynomial projections and predicted parameter in the measurement points with a certain accuracy.

Keywords: method of least squares, forecasting control, extrapolation, predicting polynomial.

Вступ

Наявність вбудованих та зовнішніх систем контролю й діагностики, побудованих на основі сучасної обчислювальної техніки, дає змогу не тільки визначати придатність об'єктів виконувати свої функції за призначенням, але й систематично отримувати й зберігати великий обсяг різноманітної інформації про зміну показників якості та параметрів у часі за різних умов експлуатації. Накопичення такої інформації дозволяє розв'язувати практичні задачі щодо прогнозування технічного стану окремих пристроїв, систем та їх комплексів, визначати ступені вдосконалення конструкції та технології виробництва техніки, оцінювати вплив умов експлуатації на властивості систем і комплексів.

Постановка проблеми

Під прогнозує контролем (ПК) працездатності системи розумітимемо процес прийняття рішень щодо її працездатності в неспостережувальному майбутньому інтервалі часу.

Прогнозує контроль ліквідує суттєвий недолік поточного контролю, який полягає в не збіганні часу прийняття рішення про працездатність системи t_b та часу його використання за призначенням $t_b + \tau$, що дає змогу підвищити ефективність контролю та знизити собівартість експлуатації за рахунок оптимізації формування комплексу запасних деталей системи.

Вихідною інформацією для прийняття рішення при ПК є результати поточного контролю

працездатності, починаючи з виготовлення пристрою і завершуючи поточним контролем або на відповідному відрізку часу. У технічній документації на пристрій обумовлюються межі допустимих значень їх параметрів у вигляді гарантійних допущень.

Ефективність використання інформації, отриманої при контролі, потребує створення інформаційної системи, яка повинна забезпечувати збирання, оброблення, зберігання та розділення інформації.

Отже, прогнозує контроль відрізняється від поточного контролю стану систем тільки тим, що прийняття рішень щодо придатності здійснюється в неспостережуваному інтервалі часу, тобто для майбутнього моменту часу. За результатами спостереження параметрів сигналів на визначеному проміжку часу здійснюється екстраполяція значень параметрів на майбутній момент часу і відповідно обчислюється майбутнє значення показника якості. Алгоритм прийняття рішень при прогнозує контролі такий, як і при поточному. Прогнозує контроль переходить у поточний при нульовому часі експлуатації. Ця обставина дозволяє розглядати прогнозує контроль як більш загальний, частинним випадком якого є поточний контроль працездатності технічних пристроїв і систем [1].

Для живлення бортового обладнання та систем літальних апаратів (ЛІА) нині застосовується електроенергія постійного струму напругою 27 В [2]. Надійність системи електропостачання ЛІА

одним з основних чинників безпеки польоту. Тому передбачається комплекс заходів для надійності функціонування і підвищення живучості бортової системи електропостачання ЛА. Як правило, застосовують основні, резервні та аварійні джерела електроенергії. Основні джерела забезпечують потреби в електроенергії в нормальних умовах польоту. Резервні джерела живлять споживачі при нестачі потужності основних джерел, викликані відмовами в системі електропостачання. Аварійні джерела живлять тільки життєво важливі системи ЛА (споживачі першої категорії), без яких неможливо безпечно завершення польоту. Для забезпечення надійності електропостачання ЛА доцільно провести прогнозування живлячої мережі бортового обладнання.

Аналіз досліджень і публікацій

Метод найменших квадратів (МНК) використовується для прогнозування в різних галузях. Автор методу канд. екон. наук Р. Л. Карпенко використав цей метод при прогнозуванні обсягів бюджетних призначень з підготовки робітничих кадрів АР Крим.

У цій статті досліджено визначення обсягів бюджетного призначення для підготовки робітничого потенціалу у професійно-технічних та вищих навчальних закладах АР Крим методом найменших квадратів. Також МНК був застосовано Слободянюком В. О., Слободянюком О. П. у сільському господарстві для прогнозування посівних площ цукрових буряків в Україні. У цій роботі здійснено короткострокове прогнозування методом найменших квадратів з вагою.

Таким чином, застосуватимемо МНК для прогнозування живлячої мережі бортового обладнання ЛА.

Цілі

Для прогнозування стану пристроїв на невеликому інтервалі часу за відсутності ймовірнісних характеристик процесу зміни параметрів можна скористатися аналітичними методами. При цьому обирається, як правило, один з узагальнених параметрів системи, який буде максимально чутливим до змін, що відбуваються в пристроях системи.

Розглянемо приклад прогнозування стану системи живлення бортового обладнання літального апарата напругою постійного струму.

Штатна система живлення бортового обладнання має такі характеристики: номінальна напруга 24 В у межах допуску ± 2 В. Протягом заданого часу t_i здійснювались вимірювання стану джерела постійного струму [3].

Результати наведено в таблиці.

i	1	2	3
t_i	1'	2	3
$U(t_i)$	24	26	25

Розв'язання задачі

Одним з можливих шляхів удосконалення порядку чи правила експлуатації динамічних систем є впровадження в практику експлуатації прогнозування стану об'єктів і систем. Засоби контролю, що мають алгоритми прогнозування та використовують їх під час прийняття рішення про стан системи у не спостережуваному інтервалі часу, мають прогнозуючий вид контролю. При цьому звичайний вид контролю використовується для цілей прогнозування. [4]

У разі появи необхідного прогнозування на невизначений термін доцільно використовувати аналітичні методи прогнозування.

У цьому випадку у виробу або системи вибирається один визначений параметр, у якому відбувається аналітичне прогнозування. Якщо цей параметр змінюється достатньо плавно, тобто його похідна змінюється тільки в одному напрямку (зменщується або збільшується), то в цілому під час прогнозування можна використовувати апарат чисельного аналізу та використовувати такі методи:

- метод прогнозування з використанням інтерполяційних поліномів Лагранжа;
- метод прогнозування з використанням інтерполяційних поліномів Ньютона;
- алгоритми прогнозування з використанням інтерполяційних методів групового врахування аргументів;
- метод найменших квадратів;
- метод прогнозування з використанням ряду Тейлора;
- метод прогнозування за допомогою емпіричних формул.

Аналітичні методи прогнозування — методи, що ґрунтуються на логічному (емпіричному і теоретичному рівнях) аналізі моделі розвитку об'єкта прогнозування. Аналітичні методи базуються переважно на математичному моделюванні і частіше використовуються при нормативному прогнозуванні.

Завданням методу найменших квадратів є оцінювання закономірностей, які спостерігаються на тлі випадкових коливань, та її використання для подальших розрахунків, зокрема, для прогнозів.

У разі використання методу найменших квадратів забезпечується наближений збіг прогнозуючого полінома $F_n(t_i)$ і прогнозованого парамет-

ра $U(t_i)$ у точках вимірювання з певною точністю, виходячи зі співвідношення :

$$F_m(t_i) = U(t_i), \quad i = \overline{0, m};$$

$$\max [U(t_i) - F_n(t_i)] \leq \varepsilon, \quad i = \overline{0, m},$$

де ε — наперед задана точність прогнозування;
 m — число вимірювань.

При цьому коефіцієнт полінома $F_n(t_i)$ визначається із умови:

$$\min \sum_{i=1}^m [U(t_i) - F_n(t_i)]^2,$$

де n — ступінь полінома.

Апроксимація значень функції $U(t)$ виконується поліномом:

$$F_n(t) = \sum_{\vartheta=0}^n a_{\vartheta} t^{\vartheta}, \quad \vartheta = \overline{0, n}.$$

Нехай число вимірювань $m \geq n+1$. Тоді виникає задача визначення полінома $a_{\vartheta}, \vartheta = \overline{0, n}$, що мінімізує функцію

$$f(a_0, a_1, \dots, a_n) = \sum_{i=0}^m [U(t_i) - F_n(t_i)]^2.$$

Для визначення коефіцієнтів $f(a_0, a_1, \dots, a_n)$ необхідно взяти частинні похідні $df/da_{\vartheta}, \vartheta = \overline{0, n}$, прирівняти їх до нуля. У результаті отримаємо таку систему рівнянь:

$$\frac{df}{da_{\vartheta}} = -2 \sum_{i=1}^m [U(t_i) - \sum_{\vartheta=0}^n a_{\vartheta} t_i^{\vartheta}] t_i^{\vartheta} = 0. \quad (1)$$

Таким чином одержали систему диференціальних рівнянь порядку $n+1$ з $n+1$ невідомими, тобто невідомими для рівняння є a_0, a_1, \dots, a_n . Розв'язуючи систему (1), можна визначити значення прогнозуючого полінома.

Нехай маємо значення t_i і $U(t_i)$ відповідно до таблиці. Величини $n = 2$, а $m = 3$. Необхідно визначити прогнозуючий поліном:

$$F_2(t) = a_0 + a_1 t + a_2 t^2,$$

Беремо частинні похідні від функцій $f(a_0, a_1, a_2)$ по кожному з коефіцієнтів

$$f(a_0, a_1, a_2) = \sum_{i=0}^3 [U(t_i) - \sum_{\vartheta=0}^2 a_{\vartheta} t_i^{\vartheta}]^2;$$

$$\begin{aligned} \frac{\partial f}{\partial a_0} &= -2 [U(t_1) - (a_0 + a_1 t_1 + a_2 t_1^2)] - \\ &- 2 [U(t_2) - (a_0 + a_1 t_2 + a_2 t_2^2)] - \\ &- 2 [U(t_3) - (a_0 + a_1 t_3 + a_2 t_3^2)] \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \frac{\partial f}{\partial a_1} &= -2 [U(t_1) - (a_0 + a_1 t_1 + a_2 t_1^2)] t_1 - \\ &- 2 [U(t_2) - (a_0 + a_1 t_2 + a_2 t_2^2)] t_2 - \\ &- 2 [U(t_3) - (a_0 + a_1 t_3 + a_2 t_3^2)] t_3; \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \frac{\partial f}{\partial a_2} &= -2 [U(t_1) - (a_0 + a_1 t_1 + a_2 t_1^2)] t_1^2 - \\ &- 2 [U(t_2) - (a_0 + a_1 t_2 + a_2 t_2^2)] t_2^2 - \\ &- 2 [U(t_3) - (a_0 + a_1 t_3 + a_2 t_3^2)] t_3^2; \end{aligned}$$

Прирівнюючи кожне з рівнянь до нуля і підставляючи значення $t_i, U(t_i)$ з таблиці після приведення подібних членів, отримаємо:

$$3a_0 + 6a_1 + 14a_2 = 75;$$

$$6a_0 + 14a_1 + 36a_2 = 151;$$

$$14a_0 + 36a_1 + 98a_2 = 353.$$

Головний визначник системи:

$$\Delta = \begin{vmatrix} 3 & 6 & 14 \\ 6 & 14 & 36 \\ 14 & 36 & 98 \end{vmatrix} = 4.$$

Розраховуємо додаткові визначники:

$$\Delta_0 = \begin{vmatrix} 75 & 6 & 14 \\ 151 & 14 & 36 \\ 353 & 36 & 98 \end{vmatrix} = 76;$$

$$\Delta_1 = \begin{vmatrix} 3 & 75 & 14 \\ 6 & 151 & 36 \\ 14 & 353 & 98 \end{vmatrix} = 26;$$

$$\Delta_2 = \begin{vmatrix} 3 & 6 & 75 \\ 6 & 14 & 151 \\ 14 & 36 & 353 \end{vmatrix} = -6.$$

Визначаємо коефіцієнти полінома:

$$a_0 = \frac{\Delta_0}{\Delta} = 19,$$

$$a_1 = \frac{\Delta_1}{\Delta} = 6,5,$$

$$a_2 = \frac{\Delta_2}{\Delta} = -1,5.$$

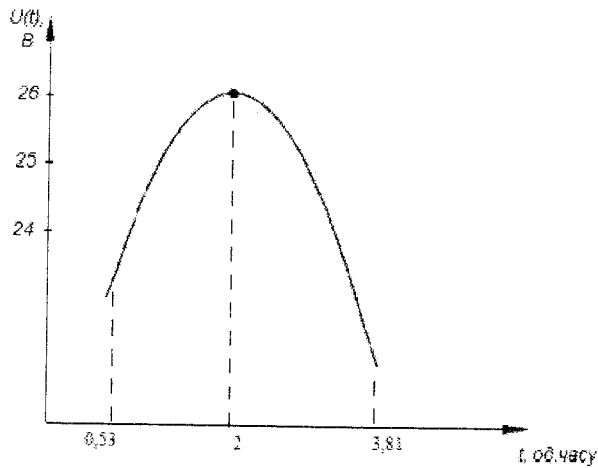
Прогнозуючий поліном для цих значень дорівнює:

$$F_2(t) = a_0 + a_1 t + a_2 t^2 = 19 + 6,5t - 1,5t^2.$$

Розв'язавши квадратичне рівняння, отримаємо

$$t' = 6,33, t'' = -2.$$

Припустимо, що поле допуску параметрів $\delta = \pm 2$ В при номінальному значенні $U_{\text{ном}} = 24$ В (див. рисунок).



Зміна напруги протягом заданого часу

Визначимо час Δt , через який параметр $U(t)$ вийде за поле допуску після останньої перевірки у момент t_3 .

Для цього складемо систему рівнянь:

$$-1,5t^2 + 6,5t + 19 = 2 + 24;$$

$$-1,5t^2 + 6,5t + 19 = -2 + 24.$$

Корні першого рівняння:

$$t' = 2; t'' = 2,33.$$

Корні другого рівняння:

$$t' = 0,53; t'' = 3,81,$$

тому шукана величина:

$$\Delta t = 3,81 - t_3 = 0,81 \text{ од. часу.}$$

Висновки

Таким чином, розв'язавши поставлену задачу, отримали значення часу, через який напруга бортового обладнання літального апарата вийде за поле допуску.

ЛІТЕРАТУРА

1. Казак В. М. Основи теорії контролю та технічної діагностики / В. М. Казак. — К. : НАУ, 2011. — 276 с.
2. ГОСТ 19705-89. Системы электроснабжения самолетов и вертолетов. Общие требования и нормы электроэнергии. — М. : Изд. станд., 1989. — 45 с.
3. Диагностирование и прогнозирование технического состояния авиационного оборудования под ред. И. М. Синдеева. — М. : Транспорт, 1976. — 254 с.
4. Буравлев А. И. Управление техническим состоянием динамических систем / А. И. Буравлев, Б. И. Доценко, И. Е. Казаков. — М. : Машиностроение, 1995. — 240 с.

Стаття надійшла до редакції 16.03.2012