

УДК 683.05

Б. В. Дурняк

Українська академія друкарства

Ю. М. Коростіль, О. Ю. Афанасьєва

Інститут проблем моделювання в енергетиці ім. Е. П. Пухова НАН України

ПРОГНОЗУВАННЯ НЕСПРАВНОСТЕЙ НА ОСНОВІ ВИКОРИСТАННЯ МЕТОДУ ЛОГІЧНОЇ АПРОКСИМАЦІЇ

Розглядається прогнозування виникнення несправностей. Аналізується використання методів побудови моделей прогнозування. Визначаються основні проблеми розв'язування задач прогнозування

Процеси змін у технологічному обладнанні здебільшого залежать від цілого ряду факторів, що знаходяться по відношенню до параметра, який характеризує несправність у нелінійній залежності. Прогнозування виникнення несправності потрібно розглядати в рамках таких аспектів:

спрогнозувати можливий тип несправності та їх значень, що свідчать про появу відповідної несправності;

встановити момент появи несправності, про яку йдеться вище;

визначати параметри моделі прогнозування, що задають період передбачення факту визначення несправності, необхідну кількість вхідних даних, очікувану точність прогнозування.

Згідно з визначенням, несправність може виникати в результаті відомих процесів, що з певною точністю описуються відповідними моделями та в результаті процесів, які є невідомими проєктантам та користувачам. У першому випадку, протидія виникненню несправностей здійснюється стандартними методами, що передбачають проведення профілактичних робіт у технічних системах і тому, цей випадок розглядати не будемо.

Несправності, що можуть виникати поділяються на такі типи:

відомі несправності, причини виникнення яких можуть бути звичайними, часто такі несправності називаються проєктними, оскільки можливість їх виникнення можна визначити на етапі проєктування технічної системи (ТС);

невідомі несправності, причини появи виникнення яких не з'ясовано, часто їх називають непроєктними, оскільки через ті чи інші об'єктивні причини немає можливості визначити причини їх виникнення.

Подано типи несправностей, з погляду змін у ТС, до яких приводить їх виникнення, з відомими, як у першому так і в другому випадку, оскільки спроектована ТС є повністю відомою, щонайменше для проєктантів. У зв'язку з цим, моделі прогнозу появи несправностей мають бути різних типів:

орієнтовані на визначення виду несправності, яка може виникнути;
визначення інтервалу часу, через який може виникнути певна несправність;

виникнення умов, що можуть спричинити появу несправностей;

моделі прогнозу, кожен з яких орієнтовано на різні типи несправностей і т. д.

З вищезазначеного переліку типів моделей можна зробити висновок про те, що некоректно говорити про модель одного з можливих типів для розв'язання різних задач прогнозування. Відомі підходи до побудови моделей прогнозування ґрунтуються на використанні статичних даних про об'єкт чи процес, стосовно якого передбачається здійснення прогнозу. Здебільшого використовуються такі методи побудови моделей:

методи, що ґрунтуються на використанні ймовірнісних підходів, в яких прогнозовані величини визначаються у вигляді тих, чи інших оцінок або у вигляді параметрів ймовірнісних моделей [1];

методи, що ґрунтуються на використанні регресійних моделей, які виділяємо в окремий підхід, оскільки регресійний аналіз прийнято розглядати, як окремий розділ теоретичних засобів досліджень [2].

Моделі регресії дозволяють реалізовувати доволі широкий спектр методів оцінювання параметрів, стосовно яких здійснюється прогноз. Загальною формою моделі регресії являється нелінійна модель, яка записується таким чином:

$$Y = f(\xi_1, \dots, \xi_k; \vartheta_1, \dots, \vartheta_p) + \varepsilon, \quad (1)$$

де ξ_i — предиктори, ϑ_j — параметри, ε — помилка, що описується $N(0, \sigma^2)$, або являється незалежною, Y — відгук, f — нелінійна функція стосовно параметрів. Процес прогнозування полягає в обчисленні Y на основі заданих ξ_i . Основними проблемами розв'язування задач прогнозування є:

формування явного вигляду функції f ;

визначення параметрів ϑ_j , що відповідають процесу, стосовно якого передбачається здійснення прогнозування;

формування коректної інтерпретації всіх компонентів моделі (1), що відповідає предметній області W_j , в якій розв'язується задача.

У рамках теорії регресії приймається, що існує необхідна кількість спостережень N і для кожного спостереження визначено величини параметрів ϑ_u та відповідні Y_u , де u — номер спостереження.

Явний вигляд функції f в ідеальному випадку відповідає моделі процесу, стосовно якого передбачається здійснювати прогнозування [3]. У реальних задачах використовуються моделі, що описують відповідні процеси лише в деяких наближеннях. Між моделями, що призначені для дослідження (МА) та моделями, що можуть використовуватися для прогнозування тих чи інших параметрів (МР), існують певні відмінності, що полягають у наступному.

У моделі MP потрібно виділити деякий параметр, що не є залежним від функціональних параметрів, які описують відповідний процес, але який пов'язаний з процесом, що моделюється. Переважно, вони виконують роль масштабних або синхронізуючих параметрів для MA . Прикладом такого параметра може бути час, який визначає ті чи інші інтервали функціонування процесу, який є найбільш очевидним, оскільки, всі процеси, з погляду людини, відбуваються в часі. Менш очевидним прикладом такого параметра може бути зміна температури навколишнього середовища протягом року. Велика кількість природних процесів, що відбуваються в навколишньому середовищі, синхронізуються змінами температури, яка на відміну від часу не є лінійною протягом року. Розглянемо такі MA , для яких синхронізуючим параметром являється час t , що найбільш характерно для MP , як базову, або вихідну компоненту для побудови MP .

Якщо говорити про MP , то по суті, MP не повинно давати абсолютно точного розв'язку, тому що така MP являє собою MA , що адекватно описує процес і точно визначає всі необхідні параметри процесу. Отже, можна вважати, що по своїй природі має місце $MP \rightarrow MA$. Відповідно до цього, можна стверджувати, що $MA \rightarrow MP$, якщо MA збільшує міру наближеності опису відповідного процесу. Очевидно, що в цьому разі, мова не йде про повноту відображення процесу, що описує певна MA .

Розглянемо моделі MA , що допускають певні наближення у відображенні процесу. У рамках даної роботи будемо ототожнювати міру наближення MA чи MP до фактичного способу функціонування процесу FP , з точки зору точності апроксимації FP , відповідними MA . При цьому, будемо під переходом $MA \rightarrow MP$, розуміти процедуру, що вводить всі особливості MP у відповідну MA . Наприклад, процедура описує введення параметра синхронізації, вибір параметра стосовно якого здійснюється прогнозування, визначається точність прогнозування Y , яку позначатимемо δ .

Точність апроксимації будемо зіставляти з мірою загальності опису відповідного процесу.

Найбільш загальну апроксимацію забезпечують моделі, що описують логіку функціонування процесу. У цьому разі, процес $MA \rightarrow MP$ можна описати таким співвідношенням:

$$MP(P^S) = L[MA(P^S, P^P, \delta)],$$

де P^S — параметр синхронізації, P^P — параметр по якому здійснюється прогнозування, δ — точність визначення величини P^P або $\delta = |P_v^P - P_r^P|$, де індекси v і r означають визначене та реальне значення параметра P^P . Оскільки, δ визначається у вигляді різниці між двома значеннями параметра P^P , то її можна нормалізувати та визначати у відносній величині у вигляді процентів. Очевидно, що $\delta = 0$, якщо $P_v^P = P_r^P$ і тоді точність дорівнює 100% і $\delta = \min$. Якщо $P_v^P = P_r^P$, де P_r^P — початкове значення P^P , яке було встановлене перед

обчисленням P_r^p , то $\delta = \min$. У багатьох випадках $P_r^p = 0$. Отож можна записати таке співвідношення:

$$\delta = [(IP_r^p - P_r^p I) / (\delta_{\min})] 100.$$

Співвідношення цього типу в загальноприйнятому вигляді записується таким чином:

$$\delta = [(IP_r^p - P_r^p I) / (IP_r^p - P_r^p I)] \cdot 100\%. \quad (2)$$

Параметр P^p вибирається на основі інтерпретації цілі задачі прогнозування, якщо він явно фігурує в рамках MA . У нашому випадку, прийемо, що $P^p \in MA$. Параметр P^s в MA повинен бути глобальним. Це означає, що в MA не повинно існувати залежності:

$$[(P_i^m = \phi(P_1^m, \dots, P_{i-1}^m, P_{i+1}^m, \dots, P_n^m, P^s))] \& [P^p = \psi(P^s)],$$

де P_i^m — параметр моделі MA . Останнє співвідношення означає, що параметри P_i^m не залежать безпосередньо від P^s .

Оскільки в L використовуються логічні змінні, то вони визначаються на множині $\{0,1\}$. Отож потрібно розглянути відповідну інтерпретацію P_i^m і δ з урахуванням цього.

Будь-яка логічна формула L_i відповідно до правил її обчислення [4], може приймати значення «0» або «1». Отож прогнозування, в цьому випадку, полягає у визначенні того, чи відбудеться відповідна подія, яку ідентифікує $Y_i = L_i(x_1, \dots, x_n)$. Оскільки, логічна формула в її класичному вигляді відображає логічні залежності між подіями — аргументами в певні моменти часу, то L_i потрібно розширити часовими позначками. Часова позначка часу визначає момент часу, що задається на вибраному інтервалі Δt , в якому відповідна подія могла б мати місце. Наприклад, якщо інтервал часу дорівнює $[0 - 100]$, то $50x_i$ свідчить про те, що в момент, який відповідає поділці 50, подія x_i враховується в MP , що записується у вигляді:

$$\forall x_i, \exists x_i^* [(50x_i = x_i^*) \& (50x_i^* = (1 \vee 0))].$$

Розширення можна продовжити таким чином, щоб визначити чи $x_i = 1$ тільки в момент $t_i = 50$, чи $x_i = 1$ на інтервалі $t_i = 50 + \Delta t_i$. Для спрощення першого розгляду, обмежимося лише першим розширенням.

У разі використання L_i для формування MP , доцільно MP подати у вигляді $A \rightarrow B$, де A посилка, що відповідає предикативним змінним в (1), а B є відгуком MP . Зрозуміло, що A і B можуть являти собою логічні формули L_i^A і L_i^B . Таким чином, предмет прогнозування може являти собою доволі складну структуру, яка описується формулою L_i^B , що в багатьох задачах прогнозування є доцільним і часто необхідним. Прийемо, що прогнозований фактор буде мати місце, якщо $L_i^B = 1$ в рамках $L_i^A \rightarrow L_i^B$. Оскільки, для MP характерною є її міра точності δ , то потрібно визначитися з δ для $MP(L)$.

У введених розширеннях $\Delta t_i x_i$ означає, що x_i візьме участь у MP тільки протягом Δt_i в Δ , якому x_i може приймати значення 1 або 0. Як і у випадку регресійних моделей, для $MP(L_i)$ формується ряд спостережень, які відображають змінні значення x_i на множині $\{0,1\}$ для MP . Припустімо, що прогнозована подія буде мати місце, якщо $(A \rightarrow B) = 1$. Нехай задано одиницю масштабу $m(\Delta)$. Тоді, окреме спостереження для $A \rightarrow B$ буде відповідати $A_i \rightarrow B_i$. Якщо $\xi_i(\Delta) = n$, то можемо говорити про n спостережень. У цьому разі, припустімо, що точність δ прогнозування в рамках моделі $MP(L_i)$ визначатиметься таким співвідношенням:

$$\delta^A = \{[\sum_{i=1}^N sg[\nabla t_i(L_i^A \rightarrow L_i^B) = 1] \& (t_i \in \Delta_i)] / N\} \quad (3)$$

Це співвідношення означає, що точність прогнозування дорівнює співвідношенню між загальною кількістю спостережень, що задана на Δ_i та кількістю спостережень, в яких $(L_i^A \rightarrow L_i^B) = 1$.

Наступним параметром MP є інтервал прогнозування τ_i . Очевидно, що такий інтервал конкатенує з інтервалом Δ_i , який записується у вигляді:

$$\Delta_i^* = \Delta_i + \tau_i.$$

Можна записати, що $\tau_i = \alpha \Delta_i$, де α — коефіцієнт, що визначає співвідношення між Δ_i і τ_i . Якщо $\alpha > 1$, то $\tau_i < \Delta_i$ і тоді прогнозована величина B_i обчислюється за допомогою співвідношення $A \rightarrow B$ наступним чином.

1. Визначається δ_i^r відповідно до співвідношення (3), в якому замість N вибирається кількість спостережень n , яке використовувалося при формуванні моделі, що позначається n_i^r .

2. Інтервал τ переміщується по Δ і визначається δ_i^r для всіх інтервалів τ_i , що помістилися в Δ .

3. Для кожного τ_i визначається значення змінних відповідно до співвідношення:

$$[|(\delta / \delta_i^r) - \alpha| < 0] \rightarrow (x_i^* = -x_i)$$

$$[|(\delta / \delta_i^r) - \alpha| \geq 0] \rightarrow (x_i^* = x_i)$$

4. Значення події, що прогнозується, визначається за співвідношенням:

$$[\sum_{i=1}^r sg[(A_i \rightarrow B_i) > \beta] \rightarrow (R = 1)],$$

де R — подія, що прогнозується і описується структурою B_i .

Коефіцієнт α емпіричний поріг точності прогнозування значення логічної змінної. Вибір точок спостережень в інтервалі Δ у різних випадках вибирається відповідно до вибраних функцій розподілу, що обумовлюється природою предметної області прогнозованих процесів.

1. Бендат Дж. Прикладной анализ случайных данных / Дж. Бендат, А. Пирсол. — М.: Мир, 1989. 2. Дрейпер Н. Прикладной регрессионный анализ / Н. Дрейпер, Г. Смит. — М.: Издательский дом «Вильямс», 2007. 3. Зарубин В. С. Математическое моделирование в технике / В. С. Зарубин. — М.: МГТУ им. Н. Э.Баумана, 2001. 4. Карри Х. Основания математической логики / Х. Карри. — М.: Мир, 1969.

ПРОГНОЗИРОВАНИЕ НЕИСПРАВНОСТЕЙ НА ОСНОВЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ МЕТОДА ЛОГИЧЕСКОЙ АППРОКСИМАЦИИ

Рассматривается прогнозирование возникновения неисправностей. Анализируется использование методов построения моделей прогнозирования. Определяются основные проблемы развязывания задач прогнозирования.

PROGNOSTICATION OF DISREPAIRS ON BASIS OF THE USE OF METHOD OF LOGICAL APPROXIMATION

Is Examined prognostication of origin of disrepairs. The use of methods of construction of models of prognostication is analysed. The basic problems of untieing of tasks of prognostication are determined.

Стаття надійшла 30.09.09

УДК 681.5.015+62.52

Б. В. Дурняк, М. М. Луцків, І. М. Хмельницька

Українська академія друкарства

МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ СТРІЧКОПРОВІДНОЇ СИСТЕМИ ПРИ НЕСТАЦІОНАРНОМУ РЕЖИМІ РОБОТИ

Розглядається задача побудови математичної моделі натягу стрічкопровідної системи за наявності проросту швидкості на вході ділянок у нестационарному режимі роботи обумовленого зміною швидкості стрічки у широких межах, подано результати комп'ютерного симулювання.

У паперовій, текстильній, хімічній, поліграфічній та інших галузях промисловості широко застосовують ротаційні багатосекційні машини, у яких на рухомому стрічковому матеріалі послідовно виконуються різні технологічні операції. Ротаційний принцип дії машини спрощує її конструкцію і забезпечує високу продуктивність. Для підвищення точності виконання технологічних операцій стрічкопровідні системи цих машин обладнуються різними системами автоматичного управління. Наприклад, системами автоматичного управління швидкості і натягу стрічкового матеріалу, автоматичного суміщення технологічних операцій та іншими. Лінійна швидкість руху стрічки на сучасних рулонних друкарських машинах становить 10–15 м/с. Отож виникає задача забезпечення безобривної роботи машини і вибору потрібного темпу розгону машини до робочої швидкості [5, 6, 9].

Із практичного досвіду експлуатації рулонних друкарських машин відомо, що під час запуску машини значно погіршується якість продукції, може з'явитися брак і обриви стрічкового матеріалу, що призводить до аварійного режиму і вимушеної зупинки машини, втрати робочого часу і матеріалів.