

ПРОГНОЗУВАННЯ НЕСПРАВНОСТЕЙ НА ОСНОВІ ВИКОРИСТАННЯ МЕТОДУ ЛОГІЧНОЇ АПРОКСИМАЦІЇ

Процеси змін в технологічному обладнанні, в більшості випадків, залежать від цілого ряду факторів, що знаходяться по відношенню до параметра, який характеризує несправність в нелінійній залежності. Прогнозування виникнення несправності необхідно розглядати в рамках наступних аспектів:

- необхідно спрогнозувати можливий тип несправності, та їх значеннями, що свідчать про появу відповідної несправності,
- необхідно визначати момент появи несправності, про яку йдеться вище,
- необхідно визначати параметри моделі прогнозування, що задають період передбачення факту визначення несправності, необхідну кількість вхідних даних, очікувану точність прогнозування.

По визначенню, несправність може виникати в результаті відомих процесів, що з певною точністю можуть бути описані відповідними моделями та в результаті процесів, які не відомі проєктантам та користувачам. В першому випадку, протидія виникненню несправностей здійснюється стандартними методами, що передбачають проведення профілактичних робіт в технічних системах і, тому, цей випадок розглядати не будемо.

Несправності, що можуть виникати діляться на наступні типи:

- відомі несправності, причини виникнення яких можуть бути відомими, часто такі несправності називаються проєктними, оскільки можливість їх виникнення може бути визначена на етапі проєктування технічної системи ($ТС$),
- невідомі несправності, причини виникнення яких не відомі, часто їх називають непроєктними оскільки через ті чи інші об'єктивні причини не має можливості визначити причини їх виникнення.

Приведені типи несправностей, з точки зору змін в $ТС$, до яких їх виникнення приводить, є відомими, як в першому так і в другому випадку, оскільки спроектвана $ТС$ є повністю відомою, що найменше для проєктантів. У зв'язку з цим, моделі прогнозу виникнення несправностей повинні бути різних типів:

- моделі орієнтовані на визначення виду несправності, що може виникнути,
- моделі визначення інтервалу часу, через який певна несправність може виникнути,

- моделі виникнення умов, що можуть обумовити появу несправностей,
- моделі прогнозу, кожна з яких орієнтована на різні типи несправностей і т. д.

З приведеного переліку типів моделей можна зробити висновок про те, що не коректно говорити про модель одного з можливих типів для вирішення різних задач прогнозування. Відомі підходи до побудови моделей прогнозування ґрунтуються на використанні статичних даних про об'єкт, чи процес, стосовно якого передбачається робити прогноз. В більшості випадків, використовуються наступні методи побудови моделей:

- методи, що ґрунтуються на використанні імовірнісних підходів, в яких величини, що прогножуються, визначаються у вигляді тих, чи інших оцінок або у вигляді параметрів імовірнісних 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 досить широкий спектр методів оцінювання параметрів, стосовно яких здійснюється прогноз. Найбільш загальною формою моделі регресії являється нелінійна модель, яка в загальному випадку записується наступним чином:

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

де ξ_i - предиктори, ϑ_i - параметри, ε - помилка, що описується $N(0, \sigma^2)$, або являється незалежною, Y - відгук, f - нелінійна функція по відношенню до параметрів. Процес прогнозування полягає у обчисленні Y на основі заданих ξ_i . Основними проблемами розв'язування задач прогнозування є наступні:

- формування явного вигляду функції f ,
- визначення параметрів ϑ_i , що відповідають процесу, стосовно якого передбачається проводити прогнозування,
- формування коректної інтерпретації всіх компонент моделі (1), що відповідає предметній області W_i , в якій розв'язується задача.

В 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]. В реальних задачах використовуються моделі, що описують відповідні процеси лише в певних 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.

В моделі MP необхідно 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 параметрів, або синхронізуючих параметрів для MA . Прикладом такого параметра може служити час, який визначає ті чи інші інтервали функціонування процесу, який є найбільш очевидним, оскільки, всі процеси, з точки зору людини, протікають в часі. Менш очевидним прикладом такого параметру може служити зміна температури оточуючого середовища в інтервалі року. Велика кількість природних процесів, що відбуваються в оточуючому середовищі, синхронізуються змінами температури, яка на відміну від часу не є лінійною в інтервалі року. Будемо розглядати 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, бо інакше така MP представляє собою MA , що адекватно описує процес і точно визначає всі необхідні параметри процесу. Отже, можна вважати, що по своїй природі має місце $MP \rightarrow MA$. Виходячи з цього, можна стверджувати, що $MA \rightarrow MP$, якщо MA збільшує міру наближеності опису відповідного процесу. Очевидно, що в даному випадку, мова не йде про повноту відображення процесу, що описує певна MA .

Розглянемо моделі MA , що допускають певні наближення у відображенні процесу. В рамках даної роботи будемо ототожнювати міру наближення MA чи MP до фактичного способу функціонування процесу FP_i з точки зору точності апроксимації FP_i відповідними MA_i . При цьому, будемо під переходом $MA_i \rightarrow MP_i$ 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 будемо позначати δ .

Точність апроксимації будемо спів ставляти з мірою загальності опису відповідного процесу.

Найбільш загальну апроксимацію забезпечують моделі, що описують логіку функціонування процесу. В цьому випадку, процес $MA_i \rightarrow MP_i$ можна описати наступним 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 $\delta = IP_v^P - P_r^P I$, де індекси v і r означають визначене та реальне значення параметру P^P . Оскільки, δ визначається у вигляді різниці між двома значеннями параметру 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 $\delta = \min$. Коли $P_v^P = P_p^P$, де P_p^P - початкове значення P^P , яке біло встановлене перед обчисленням P_v^P , то $\delta = \min$. В багатьох випадках $P_p^P = 0$. Тому, можна записати наступне співвідношення:

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

Співвідношення цього типу в загально прийнятому вигляді записується наступним чином:

$$\delta = [(IP_v^P - P_r^P I) / (IP_p^P - P_r^P I)] \cdot 100\% \quad (2).$$

Параметр P^P вибирається на основі інтерпретації цілі задачі прогнозування, якщо він явно фігурує в рамках MA . В 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 $\{0,1\}$. Тому, необхідно розглянути відповідну інтерпретацію P_i^m і δ з врахуванням цього.

Будь яка логічна формула L_i у відповідності з правилами її обчислення [4], може приймати значення «0» або «1». Тому прогнозування, в цьому випадку, полягає у визначенні того, чи відбудеться відповідна подія, яку ідентифікує $Y_i = L_i(x_{i1}, \dots, x_{in})$. Оскільки логічна формула в її класичному вигляді відображає логічні залежності між подіями – аргументами в певній моменти часу, то L_i необхідно 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 рівний $[0 - 100]$, то $50x_i$ свідчить про те, що в момент, який відповідає 50 поділіці 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 можна було визначити, чи $x_i = 1$ тільки в момент $t_i = 50$, чи $x_i = 1$ на інтервалі $x_i = 50 + \Delta t_i$. Для спрощення першого розгляду, обмежимося лише першим розширенням.

У випадку використання L_i для формування MP , доцільно MP представити 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 представляти собою логічні формули L_i^A і L_i^B . Таким чином, предмет прогнозування може представляти собою досить 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 необхідно визначитися з δ для $MP(L_i)$. У введених розширеннях $\Delta t_i x_j$ означає, що x_j приймає участь у MP тільки на протязі Δt_i в Δ , якому x_j може приймати значення 1 або 0. Як і у випадку регресійних моделей, для $MP(L_i)$ формується ряд спостережень, які відображають текучі значення x_i на множині $\{0,1\}$ для MP . Прийемо, 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. В цьому випадку, прийемо, що точність δ прогнозування в рамках моделі $MP(L_i)$ буде визначатися наступним співвідношенням:

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

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 , що 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 з допомогою співвідношення $A \rightarrow B$ наступним чином.

1. Визначається δ_i^{τ} у відповідності із співвідношенням (3), де замість N вибирається кількість спостережень n , яке було використане при формуванні моделі, що позначається n_i^{τ} .
2. Інтервал τ переміщується по Δ і визначається δ_i^{τ} для всіх інтервалів τ_i , що помістилися в Δ .
3. Для кожного τ_i визначається значення змінних у відповідності із співвідношенням:

$$[[(\delta / \delta_i^{\tau}) - \alpha] < 0] \rightarrow (x_i^* = -x_i)$$

$$[[(\delta / \delta_i^{\tau}) - \alpha] \geq 0] \rightarrow (x_i^* = x_i) .$$

4. Значення події, що прогнозується, визначається по співвідношенню:

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

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 у відповідності з вибраними функціями розподілу, що обумовлюється природою предметної області процесів, що прогнозуються.

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