

УДК 681.518.5

Г.Г. ГРАБОВСЬКИЙ*, М.Г. ІЄВЛЄВ**, С.Є. МОЙСЕЄНКО**

СИСТЕМИ КОНТРОЛЮ ТА ДІАГНОСТИКИ В ІНТЕГРОВАНІХ АСУ ТОВСТОЛИСТОВИМИ СТАНАМИ

*ДНВК «Київський інститут автоматички», м. Київ, Україна

**Інститут проблем математичних машин і систем НАН України, м. Київ, Україна

Анотація. Діагностування обладнання складних технологічних установок – запорука забезпечення їх безпечної та ефективної експлуатації. Метою створення систем діагностики є вчасне запобігання можливих відмов і порушень у роботі систем і устаткування; необхідність мати повну і цілісну картину фактичного технічного стану експлуатованих систем і устаткування; прогнозування з великою точністю залишкового ресурсу працездатності обладнання; мінімізація вартості та підвищення ефективності робіт із моніторингу технічного стану, технічного обслуговування, ремонту та управління ресурсними характеристиками систем і устаткування; безперервне вдосконалення, базуючись на об'єктивних даних експлуатації, фактичних характеристик безпеки, надійності та експлуатаційної готовності. До таких складних технологічних установок відноситься обладнання цеху гарячої прокатки, що включає механічне обладнання стану, електропривод із системами регулювання; пристрої та системи управління гідравліки, змащення й охолодження; станції вентиляції; насосні станції; коміртки розподільних пристроїв (високовольтні вимикачі); комплекс технічних засобів АСУ ТП. У статті розглянуті методи оперативного контролю технічного стану обладнання товстолистових прокатних станів. Визначено фактори, які впливають на ефективність використовуваних в АСУ алгоритмів діагностування, зокрема, організації збору та обробки статистичних даних по можливостях виникнення несправностей і за витратами на їх пошук і усунення. Виконано формалізацію методів побудови і опису математичних моделей об'єкта діагнозу. Застосування підсистеми контролю та діагностики у складі АСУ ТП сучасних прокатних станів забезпечує істотне поліпшення показників надійності АСУ ТП, а також певний економічний ефект.

Ключові слова: системи діагностики, інтегровані АСУ, товстолистовий стан, АСУ ТП.

Abstract. Diagnosing the equipment of complex technological installations is a guarantee of their safe and efficient performance. The aims of the diagnostic systems creation are the following: timely prevention of possible failures and malfunctions of systems and equipment; the necessity of having a complete and holistic picture of the actual technical condition of the operating systems and equipment; high accuracy forecasting of the residual life of the equipment; minimization of cost and increase of efficiency of works on technical conditions monitoring, maintenance, repairs and management of resource characteristics of systems and equipment; continuous improvement, based on objective performance data, actual characteristics of safety, reliability and operational readiness. To such complex technological installations there belongs the equipment of hot rolling shops, for example, mechanical equipment of the mill, electric drive with control systems, devices and control systems for hydraulics, lubrication and cooling management, ventilation stations, pumping stations; switchgear cells (high voltage switches), complex of APCS of heavy-plate mills rolling technical means. The article considers some methods of operational control of the technical condition of the heavy-plate rolling mills equipment. The factors that influence the efficiency of the diagnostic algorithms used in the APCS, in particular, the organization of collection and processing of statistical data on the possibilities of malfunctions and the costs of their search and elimination are determined in the paper. Formalization of methods for construction and description of mathematical models of the object of diagnostics is performed. Utilization of the subsystem

of control and diagnostics in the APCS of modern rolling mills provides a significant improvement in the reliability of the APCS of heavy-plate mills rolling, as well as some economic effects.

Keywords: diagnostic systems, integrated APCS, heavy-plate mill, APCS of heavy-plate mills rolling.

DOI: 10.34121/1028-9763-2021-4-58-69

1. Вступ

При виникненні порушень у роботі складної технологічної установки з інтегрованою АСУ (ІАСУ) обслуговуючому персоналу важко швидко виявити і усунути неполадки. Тому потрібна ефективна система контролю і діагностики (СКД) для підтримки управління процесами і швидкого пошуку порушень. При ранньому виявленні порушень у ході процесу можуть бути проведені заходи, що запобігають аварійній ситуації або зупинці технологічного об'єкта. Досвід показує, що приблизно 90% помилок виникає в самому процесі і лише близько 10% в керуючих системах. Тому набули широкого застосування СКД, які охоплюють як технологічний процес і обладнання об'єкта, так і пристрої і системи управління.

Метою статті є опис систем контролю та діагностики в інтегрованих АСУ товстостеновими станами.

2. Методи контролю та діагностики

У технічній діагностиці поширені фізичні методи діагнозу технічного стану об'єктів. До них відносяться акустичні, теплові, рентгенівські і телевізійні методи. Технічний стан різних механізмів і машин може бути оцінений по шуму і вібрації у процесі їх роботи. Вибір цих параметрів обумовлений перш за все тим, що шумові характеристики роботи машин істотно залежать від багатьох властивостей вузлів і деталей, що беруть участь в їх роботі, в тому числі таких властивостей деталей машин (наприклад, стан тертьових поверхонь деталей), визначення яких за іншими характеристиками важке. Одним з основних завдань, що вирішуються в акустичних методах діагнозу, є виділення корисного акустичного сигналу на тлі маскуючих його перешкод. Слід зауважити, що один і той же акустичний сигнал при діагнозі може виявитися в одному випадку корисним сигналом, а в іншому – перешкодою. Корисним є сигнал, який пов'язаний із шумом, що видається досліджуваною деталлю. У зв'язку з цим шум механізму можна розглядати як складний сигнал. Корисну складову такого сигналу можна виділити способами тимчасової селекції і фільтрації. До поширених акустичних методів діагнозу належить метод, заснований на виявленні прихованих періодичностей у сигналі шуму.

При дослідженні шумових характеристик різних механізмів установлено, що при виникненні несправності в акустичному сигналі з'являється періодична складова. Завдання полягає в тому, щоб виявити цю періодичну складову, яка прихована перешкодами. Для вирішення даного завдання використовуються кореляційні методи аналізу складних сигналів, які дозволяють виявляти навіть дуже слабкі періодичні складові сигналу. Період спеціально побудованої кореляційної функції дозволяє визначати несправну деталь механізму, а амплітуда функції – ступінь руйнування деталі [1].

Методи теплового (інфрачервоного) контролю засновані на аналізі теплового випромінювання деталей, елементів або пристроїв при їх функціонуванні. Зміна характеристик теплового випромінювання свідчить про зміну режиму роботи пристрою. Для окремих деталей і елементів збільшення інтенсивності їх теплового випромінювання характеризує локальні теплові перегріву, пов'язані з наявністю дефектів або неоднорідностей. Своєчасне виявлення цих дефектів дозволяє вжити заходів щодо попередження виходу з ладу деталей елементів і пристроїв у цілому.

Рентгенівські та телевізійні методи діагнозу орієнтовані на виявлення прихованих дефектів виробів у процесі їх виготовлення.

3. Математичні моделі об'єкта діагностики

Рішення задачі діагностування станів передбачає побудову математичної моделі об'єкта діагностики, вибір і оптимізацію діагностичних процедур, реалізацію процедур у вигляді технічних пристроїв або програм. Клас методів для вирішення завдань діагностування ґрунтується на різних розділах математичного та дискретного аналізу, дослідження операцій і евристичних прийомів.

Для побудови оптимальних алгоритмів діагнозу велике значення має організація збору та обробки статистичних даних, особливо за ймовірностями виникнення несправностей і за витратами на їх пошук і усунення. Формалізація методів побудови алгоритмів діагнозу технічного стану передбачає наявність формального опису об'єкта і його поведінки у справному та несправних станах. Такий формальний опис (в аналітичній, табличній, векторній, графічній, логічній або іншій формі) будемо називати математичною моделлю об'єкта діагнозу [1].

Позначимо символом X n -мірний вектор, компонентами якого є значення n вхідних змінних x_1, x_2, \dots, x_n . Аналогічно символ Y є m -мірним вектором значень m внутрішніх змінних y_1, y_2, \dots, y_m , а символ Z – k -мірним вектором значень k вихідних функцій z_1, z_2, \dots, z_k .

Запис

$$Z = \Psi(X, Y_{нач}, t) \quad (1)$$

розглядатимемо як деяку аналітичну, векторну, графічну, табличну або іншу форму представлення системи передаточних функцій справного об'єкта діагнозу, що відображають залежність реалізованих об'єктом вихідних функцій Z від його вхідних змінних X , початкового значення $Y_{нач}$ внутрішніх змінних i від часу t . Система (1) є математичною моделлю справного об'єкта.

Об'єкт діагнозу, що знаходиться в i -му несправному стані, реалізує систему передаточних функцій

$$Z^i = \Psi^i(X, Y_{нач}^i, t), \quad (2)$$

представлених у тій же формі, що і передаточні функції (1). Система (2) для фіксованого i є математичною моделлю i -го несправного об'єкта [1].

Розглянемо основні задачі, які вирішуються при створенні систем контролю і діагностики складних промислових об'єктів. Серед цих задач можна виділити: прогнозування порушень працездатності, контроль процесів, діагностика помилок на базі знань, оцінка параметрів, метод рівнянь паритетів, експертні системи контролю, діагностика помилок за допомогою нейронної мережі, діагностика технологічних процесів [2].

4. Прогнозування порушень

Метою прогнозування порушень є завчасна оцінка зміни стану елементів обладнання об'єкта щодо змін їх характеристик, обумовлених механічним зносом, корозією, втомою матеріалу, забрудненням, порушенням ущільнень та ін. Системи для прогнозування як процесів зносу, так і очікуваних помилок або граничних перевантажень для різних елементів, практично важко реалізувати, тому що, з одного боку, недостатній обсяг накопичених знань про процеси зносу і старіння компонент, а, з іншого, недостатньо технічних можливостей для своєчасної обробки і аналізу відповідних сигналів датчиків технологічної інформації.

Відомі методи або досліджують зміни характеристик безпосередньо за сигналами, що надходять, або базуються на контролі параметрів за моделями процедур діагностики. У

сталих динамічних режимах помилки викликають зміни параметрів процесу. Вони, як правило, не можуть бути безпосередньо виміряні, але їх можна визначити процедурою оцінки параметрів по відомих вхідних і вихідних величинах процесу. Для підвищення точності оцінки необхідно також використовувати інші параметри, що в тій чи іншій мірі впливають на результат оцінки. Такими додатковими вимірюваними сигналами для виявлення пошкоджень можуть бути, наприклад, сигнали про вібрації і шуми в механізмах.

Із сукупності всіх ознак повинні виділятися найбільш істотні для обробки їх із метою прогнозування порушень. Використовуваний для класифікації і аналізу алгоритм щодо змін характерних параметрів повинен виявляти прогнозовані пошкодження і місця їх можливого виникнення. Обробка сигналів повинна постійно адаптуватися до мінливих умов роботи обладнання і навколишнього середовища.

5. Види контролю

Розрізняють три види контролю:

- контроль обмежень – безпосередньо вимірювані величини перевіряються по виходу за межі допустимих значень, і видаються сигнали тривоги;
- автоматичний захист – при небезпечних станах процесу система контролю обмежень автоматично вводить заходи для переведення процесу в нормальний стан;
- контроль із діагностикою помилок – по змінних величинах розраховуються логічні ознаки, визначаються стани, проводиться діагностика і виробляються рішення для запобігання порушення працездатності, що виникло.

Перші два методи контролю придатні для загального контролю процесу: при визначенні допустимих відхилень у загальному випадку повинні бути задані компроміси між оцінкою ненормального відхилення і сигналом тривоги, виходячи з нормальних нерегулярних змін змінних. Система простого контролю обмежень функціонує, як правило, надійно у випадках, коли процес знаходиться у сталому режимі. При різких динамічних змінах у ході процесу контроль обмежень ускладнюється, оскільки в перехідних режимах вихідні сигнали та управляючі дії знаходяться у стадії змін (контроль обмежень вступає в дію лише в усталеному режимі). Внаслідок цього контури регулювання можуть виключати раннє виявлення помилок.

Великою перевагою класичних методів контролю на базі оцінки обмежень по безпосередньо вимірюваних сигналах є їх простота і надійність у сталих режимах. Але сигнал тривоги може надходити лише з відносно великою затримкою після виникнення зміни ознаки, наприклад, у результаті відносно великої раптової зміни або після тривалої поступової зміни. Крім того, неможлива детальна діагностика помилок, наприклад, на великих технологічних установках, де при серйозних порушеннях роботи виникає потік сигналів тривоги, який важко піддається оперативному аналізу.

З наведених причин доцільне застосування систем контролю з діагностикою помилок, які можуть відповідати таким вимогам:

- раннє виявлення навіть малих помилок (швидко або поступово мінливих, або переривчастих помилок);
- діагностика помилок із зазначенням місця, величини і причини виникнення;
- ідентифікація помилок у замкнутих контурах регулювання;
- контроль процесів у динаміці виробничих об'єктів.

6. Діагностика помилок на базі знань

Основними задачами діагностики помилок на базі знань є виявлення помилок шляхом формування аналітичних і евристичних симптомів, а також діагностика помилок методами класифікації та інтерференції.

Формування аналітичних симптомів

Кількісні знання про процес застосовуються для вироблення аналітичної інформації. Для цього по вимірних змінних обробляються дані, щоб отримати характеристичні параметри шляхом:

- контролю обмежень безпосередньо вимірюваних сигналів: характеристичними параметрами є гранично допустимі значення сигналів;
- сигнального аналізу безпосередньо вимірюваних сигналів шляхом побудови сигнальних моделей як кореляційних функцій частотних спектрів (характеристичними параметрами служать, наприклад, дисперсія, амплітуда, частота);
- аналізу процесу на базі математичних моделей у взаємозв'язку з методами оцінки параметрів, стану і рівнянь паритетів (характеристичними параметрами тут є окремі параметри, величини стану або залишки).

У деяких випадках із цих характеристичних параметрів можуть бути визначені особливі ознаки, наприклад, коефіцієнти процесу, що фізично визначаються, а також відфільтровані або трансформовані залишки. Ці ознаки потім порівнюються з нормальними ознаками бездефектного процесу. Для цього застосовуються методи розпізнавання значущих змін. Результуючі зміни ознак утворюють аналітичні симптоми.

Формування евристичних симптомів

Як доповнення до аналітичного методу формування симптомів можуть формуватися також евристичні симптоми по якісній інформації, якою володіє людина-оператор. Спостереження за процесом і його контроль дозволяють, наприклад, отримати евристичні дані в формі певних характеристик шумів, кольору, запахів, коливань, зносу та ін. З передісторії процесу також може бути використана інформація про обслуговування, ремонти, помилки в роботі об'єкта, які були раніше, простої, рівні навантажень.

Все це, а також статистичні дані про аналогічні процеси становлять евристичну інформацію. Евристичні симптоми подаються у формі лінгвістичних змінних (наприклад, мале, середнє, велике) або у вигляді нечітких числових величин.

Діагностика помилок складається з визначення типу, величини, місця помилки і моментів часу її виявлення, що базується на аналітичних і евристичних симптомах. Можливі два шляхи діагностики помилок. Перший шлях полягає в застосуванні методів класифікації, при яких визначаються зміни в багатовимірному просторі, а інший – у використанні структури відомого причинного зв'язку помилка – симптом. У цьому випадку евристичну ідентифікацію можна застосувати в методах діагностики, де рішення приймаються про можливу появу помилок.

Для поліпшення ідентифікації помилок використовуються наявні вимірювані сигнали в математичних моделях процесу, що описують статичні і динамічні режими. Нижче розглядаються методи ідентифікації помилок на підставі оцінки параметрів, рівнянь паритетів і оцінки величин, що характеризують стан процесу, а також спостерігачів стану. Процес у цілому складається з виконавчих органів, власне з фізичного або хімічного процесу і сенсорів.

Як вимірювані величини розглядаються, як правило, вхідні і вихідні величини. За цими величинами виявляються помилки в виконавчих органах, самому процесі і сенсорах. Система ідентифікації помилок, що базується на моделях, порівнює процес з його моделлю і, використовуючи різні методи, виробляє логічні ознаки. При відхиленні цих ознак від нормального стану формуються відповідні симптоми. При використанні методів, які базуються на моделях, слід враховувати особливості структур контрольованих процесів:

- в одноканальному процесі є лише однолінійний потік сигналів; помилки визначаються за двома змінними величинами $X(t)$ і $Z(t)$;

- в одноканальному процесі з вимірюваними проміжними величинами для ідентифікації помилок є одна вхідна $X(t)$ і кілька вихідних величин $Z_i(t)$ по однолінійному каналу (якщо перша ланка є виконавчим механізмом і $Z_1(t)$ – його вихідною вимірюваною величиною; у цьому випадку помилка в механізмі визначається аналогічно першому варіанту);

- у багатоканальному процесі з одним входом $X(t)$ з цього входу визначаються помилки і p вихідних сигналів $Z_1(t), Z_2(t), \dots, Z_p$;

- у багатоканальному процесі з кількома вхідними величинами помилки визначаються за кількома вхідними і вихідними сигналами. У цьому варіанті моделі процесу мають крім прямих ліній взаємодії також лінії, що переплітаються.

Як помилка може розглядатися неприпустиме відхилення ознаки (помилка – це стан, у результаті якого виникає порушення процесу або його повна зупинка). При моделюванні помилок розрізняють зміну ознаки в часі: стрибкоподібне, безперервний дрейф у часі, спорадична переривчаста помилка.

Відносно моделей процесу помилки можуть бути адитивними або мультиплікативними. Адитивні помилки виникають, наприклад, при зсуві нульової точки сенсора, а мультиплікативні – при змінах параметрів процесу. Надалі розглядаються процеси з зосередженими параметрами в розімкнутому контурі. Розрізняються лінійні і нелінійні, статичні та динамічні моделі процесу. Вони можуть представлятися в часі як безперервні або дискретні.

Нелінійній статичній моделі процесу, в якій представлені вимірювані величини, адитивні вхідна і вихідна помилки f_U, f_Y , а також мультиплікативні помилки параметрів $\Delta\beta_i$, відповідають такі основні рівняння:

$$\Psi_S^T = [1, U, U^2, \dots, U^q]; \theta_S^T = [\beta_0, \beta_1, \dots, \beta_q],$$

$$Y = \beta_0 + \beta_1 U + \beta_2 U^2 + \dots + \beta_q U^q.$$

Якщо розглядати малі зміни сигналів щодо робочої точки (T_{00}, U_{00}) , то багато процесів можуть бути описані лінійними моделями. Тоді динаміка для безперервних сигналів може бути описана звичайними диференціальними рівняннями, в яких сигнали, що вимірюються,

$$y(t) = Y(t) - Y_{00}; \quad u(t) = U(t) - U_{00}.$$

До вихідного сигналу додається адитивна помилка f_U .

На систему впливають також мультиплікативні помилки параметрів Δa_i і Δb_j .

Моделі входу / виходу відповідають такі основні рівняння:

$$y(t) + a_1 y^{(1)}(t) + \dots + a_n y^{(n)}(t) = b_0 u(t) + b_1 u^{(1)}(t) + \dots + b_m u^{(m)}(t)$$

або

$$y(t) = \bar{\psi}^T(t) \bar{\theta}^T,$$

де помилки параметрів

$$\bar{\theta}^T = [a_1, \dots, a_n, b_0, \dots, b_m],$$

$$\bar{\psi}^T = [-y^{(1)}(t) \dots - y^{(n)}(t) u(t) \dots u^{(m)}(t)].$$

Для моделі величин стану маємо

$$\dot{x} = \bar{A}x(t) + \bar{b}u(t),$$

$$\bar{A} = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & -a_1 \\ 0 & 0 & -a_2 \end{bmatrix},$$

$$\bar{b}^T = [b_0 b_1 \dots].$$

Враховуються адитивні помилки вхідного сигналу або помилка величин стану f_n , адитивні помилки вхідних величин f_m , мультиплікативні помилки параметрів $\Delta A, \Delta b$. Мультиплікативними помилками є зміни параметрів, наприклад, зміни коефіцієнтів посилення і постійних часу. Відповідне подання отримують для величин стану в формі векторного диференціального рівняння. Моделювання виконується так само, як і при диференціальних рівняннях. Але за допомогою вхідної помилки f_n можуть бути безпосередньо введені помилки величин стану.

7. Метод оцінки параметрів

Цей метод може бути застосований як для статичних, так і динамічних моделей. Для оцінки параметрів потрібне знання лише порядку моделі процесу, оскільки вихідні сигнали повинні накладатися на статичні збудені сигнали. При цьому вхідний сигнал повинен бути досить сильним. Уже при одному вхідному і вихідному сигналах процес оцінки параметрів видає кілька залишків.

Шляхом відповідної модифікації розглянутий метод може бути застосований для деяких нелінійних процесів і процесів, змінних у часі.

8. Метод рівнянь паритетів

Простою формою ідентифікації помилок при використанні моделей є порівняння поведінки процесу з жорсткою моделлю, структура і параметри якої відомі. При паралельному підключенні моделі можна сформулювати вихідну помилку або визначити величину помилки рівняння, яку називають помилкою полінома.

Застосування методу рівнянь паритетів передбачає, що параметри моделі процесу відомі, змінюються незначно і вводяться невимірювані збудені сигнали малої величини. Перевага методу полягає в тому, що не потрібна безперервна зміна вхідного сигналу. При постійному вхідному сигналі необхідно розпізнавати ще частину різних помилок. Але для генерування кількох залишків має бути кілька вимірюваних вихідних величин.

9. Експертні системи контролю

Звичайна експертна система (ЕС) використовується в пасивному режимі роботи для швидкого вирішення задач оператором за допомогою ЕОМ на базі знань. Задача, що підлягає вирішенню, за допомогою даних або фактів вводиться оператором у блок рішення задачі (спілкування оператора з ЕС здійснюється в діалоговому режимі). У базі знань зберігаються необхідні відомості із предметної області, наприклад, у формі правил і досвідних відомостей. Дані про процес, що надходять у формі сигналів, проходять попередню обробку за певною методикою (фільтрацію, спектральне розкладання, оцінку параметрів і даних стану у блоках рішення задачі і обробки даних). Логічний механізм виробляє пропозицію щодо рішення задачі на підставі результатів аналізу вхідної інформації.

ЕС рекомендується застосовувати в тих випадках, коли технологічний процес частково піддається фізичному та математичному опису, але при цьому потрібні додаткова експертиза і підтримка з боку оператора [3]. ЕС складається з аналітичної частини, яка формує інформацію про процес за допомогою математичних моделей, і частини евристичних

знань, яка містить правила ведення процесу, засновані на накопиченому досвіді роботи і інспекції поведінки. До аналітичних знань відносяться:

- математична модель процесу в формі диференціальних рівнянь;
- оціночні методи для технологічних параметрів і параметрів стану як база для накопичення ознак;
- показники нормального ходу процесу (номінальні значення параметрів);
- передісторія процесу, кількісні показники (часи простоїв, показники навантажень, ступінь амортизації, показники втоми);
- статистика помилок при наявності кількісної оцінки (наприклад, знос деталей обладнання, частота певного виду помилок на аналогічних процесах).

До евристичних знань відносяться дерева помилок (сполучення симптомів і причин), передісторія процесу (відомі якісні показники), статистика помилок (по відомих якісних даних).

ЕС можуть застосовуватися і для діагностики помилок у технологічних процесах. Помилки виявляються за двоступеневою процедурою. На першому ступені, спираючись на моделі, проводиться аналітичне рішення задачі – оцінка зміни параметрів за величиною і знаком зміни коефіцієнтів моделі. На другому ступені симптоми, отримані в результаті аналітичного рішення, підкріплюються даними передісторії процесу, статистики помилок і завершуються правилами діагностики помилок, що враховують тип помилки, її величину і місце появи.

10. Діагностика помилок за допомогою нейронної мережі

Ключовою проблемою при створенні діагностичних процедур є наявність відповідних якісних математичних моделей (які не завжди є в наявності, особливо для нового обладнання). Відомо, що застосування нейронних мереж для ідентифікації нелінійних систем, а також для розпізнавання образів дає хороші результати.

Задаючи вхідні тестові дані, при використанні нейронної мережі можна визначити бажане співвідношення входу / виходу. У мережу подаються певні вхідні вектори, під дією яких повинні бути отримані необхідні вихідні вектори мережі. Для цієї мети у процесі навчання мережі слід так змінювати її параметри, щоб отримати на виході бажаний результат. Для діагностики помилок порівнюються дані реального об'єкта з еталонними величинами, що виробляються моделлю процесу [4]. За характером зміни залишку можуть детектуватися помилки. Ця процедура отримала визначення «Residuengenerierung» (генерування помилок) із використанням моделі. При цьому для локалізації помилки доцільно використовувати нейронну мережу як класифікатор помилок.

Діагностика помилок складається із трьох кроків [2]. Перший крок описує виявлення помилок, при цьому визначається, чи є відхилення від нормального ходу процесу. Другим кроком є локалізація помилок, тобто визначення типу помилки і місця її виникнення. На третьому кроці виконується аналіз помилок і при необхідності проводяться заходи для усунення порушень, викликаних помилками.

При методиці, що спирається на модель, детектування помилок здійснюється порівнянням вимірних і прогнозованих даних процесу. Параметри стану та управляючі впливи обробляються моделлю або спостерігачем, включеними паралельно із процесом. У разі відсутності помилок різниця між вихідними величинами процесу і моделі приблизно дорівнює нулю в залежності від якості моделі. Виявлення помилки і її локалізація здійснюються згідно з оцінкою одержаного залишку, виконуваною класифікатором залишків.

Залишок за допомогою класифікатора розділяється на різні класи, які дають можливість локалізації помилок. Залежно від виду помилок можуть видаватися застереження або аварійні сигнали для обслуговуючого персоналу. Ця класифікація також виконується нейронною мережею. Кожен вхідний вектор мережі, званий вектором ознак, містить певну

кількість компонент у залежності від конкретної розв'язуваної задачі. Мережа повинна виконувати коректну класифікацію векторів ознак за класами помилок, ґрунтуючись на наявних у мережі прикладах класифікації і вивчених у процесі тренувальної фази. При цьому ваги ознак у мережі вибираються так, щоб кожен вихідний нейрон за належністю до певного класу реагував із максимальним вихідним сигналом.

11. Системи діагностики технологічних процесів

До недавнього часу для діагностики процесів недостатньо широко і часто з обмеженим ефектом застосовувалися експертні системи і фізико-математичні моделі. Це було перш за все пов'язане з тим, що оператор технологічної установки, який повинен у критичні моменти часу розвантажуватися від великого потоку повідомлень системою їх класифікації як допоміжним інструментарієм, не отримував ефективної підтримки. Це стосується як ходу технологічного процесу, так і стану виробництва. У зв'язку з цим повідомлення повинні по-різному сприйматися з урахуванням їх класифікації (важливі і другорядні). При великому потоці повідомлень оператор повинен концентрувати свою увагу на важливих повідомленнях, що виділяються системою класифікації [2].

Діагностика порушень у вимірювальних ланцюгах і датчиках технологічної інформації

Інформація про порушення працездатності датчиків, вимірювальних ланцюгів і перетворення сигналів у цифрову форму по можливості повинна охоплювати всі помилки в системі вимірювань.

Діагностика порушень у роботі механізмів

Системою діагностики повинен забезпечуватися контроль коливань обертових частин механізмів у формі частотного аналізу, тренда, розпізнавання ознак пошкоджень і їх ідентифікації, збору і аналізу пошкоджень, а також даних про стан обладнання для багатьох технологічних установок. При цьому обслуговуючому персоналу повинні передаватися повідомлення про завчасне розпізнавання порушень працездатності.

Розглянемо питання щодо створення систем контролю і діагностики в АСУ ТП прокатного виробництва. АСУ ТП розглянутого класу є ремонтваними (відновлюваними), характеризуються переважно безперервним режимом роботи з обов'язковими короткочасними зупинками для ремонту і профілактики обладнання. У них переважають часткові відмови, які не викликають повного припинення управління технологічним процесом. Значення показників надійності АСУ ТП у великій мірі визначаються настройками датчиків, термінами і якістю проведення профілактичних робіт [5].

Методи контролю традиційно поділяють на два класи: функціональні і тестові. При функціональному контролі на об'єкт подаються тільки робочі вхідні впливи, при тестовому – спеціально підібрані (попередньо обчислені) сигнали, які в загальному випадку можуть бути недоступними в робочому режимі. У цьому основна перевага тестового підходу. Однак підхід може бути реалізований лише в разі, коли допускається хоча б короткочасне відключення системи від виконання робочого алгоритму, а також створені умови для подачі тестових впливів і порівняння вихідних реакцій з еталонними.

На перший погляд може здатися, що в АСУ ТП розглянутого класу такі умови принципово відсутні, оскільки система управління підключена до реального об'єкта і цей об'єкт жорстко «нав'язує» системі управління свій часовий режим функціонування. Однак при більш детальному аналізі тимчасової діаграми опитування датчиків, виконання обчислень і видачі керуючих впливів виявляються «вікна», які можуть бути заповнені виконанням контрольних процедур, що дозволяють переконатися у працездатності (непрацездатності) технічних засобів. З цієї точки зору зникає принципова відмінність між функціональним і тестовим контролем і можна говорити про тестування в реальному часі. Однак

можливості такого контролю досить обмежені тими ресурсами, які реально можуть бути задіяні без порушення робочого алгоритму функціонування системи.

У цьому випадку очевидними вимогами до тестових процедур є:

- час виконання тестування має укладатися у тривалість вікон, що виникають у процесі виконання робочого алгоритму;
- подача керуючих впливів на об'єкт на час проведення тестування повинна бути заблокована.

Виходячи з цих вимог, слід шукати максимально прості і короткі за часом виконання тестові процедури, які до того ж мінімально зачіпають робочий алгоритм. Один із можливих підходів до пошуку відповідних для тестування в реальному часі процедур полягає в використанні усічених алгоритмів тих же функцій, що і при виконанні робочих програм. Слід віддати перевагу методам контролю і діагностики, які мінімально зачіпають робочий алгоритм і в той же час дозволяють з досить високою вірогідністю робити висновки про його можливі порушення.

При вирішенні завдань діагнозу слід у першу чергу використовувати моделі логічного типу і тільки при необхідності потім залучати більш складні математичні моделі, прагнучи використовувати їх не для об'єкта в цілому, а лише для деяких його складових частин [1].

Об'єктом діагностування є обладнання цеху гарячої прокатки, що включає механічне обладнання стана, електроприводи з системами регулювання; пристрої та системи управління гідравліки, змащення й охолодження; станції вентиляції; насосні станції; комірки розподільних пристроїв (високовольтні вимикачі); комплекс технічних засобів АСУ ТП.

ПКД забезпечує діагностику за такими рівнями устаткування:

- узагальнена діагностика технічного стану ділянок;
- діагностика технічного стану зони обладнання в межах агрегату;
- узагальнена діагностика технічного стану групи елементів обладнання;
- діагностика технічного стану прокатного стана.

Функції ПКД розподіляються за ієрархічними рівнями АСУ ТП, що є в основному дворівневими системами і складаються з нижнього і верхнього рівнів.

Нижній рівень АСУ ТП проєктується на базі:

- програмованих логічних контролерів (що працюють під управлінням спеціалізованих операційних систем, робочі програми для контролерів створюються за допомогою спеціальних пакетів, які підтримують стандарт МЕК 61131-3);
- модулів дискретного і аналогового вводу / виводу;
- спеціальних модулів (зв'язку з віддаленими модулями вводу / виводу, забезпечення гарячого резерву контролерів та ін.);
- сервісних модулів (конверторів мережевих протоколів, вимірювання часових параметрів, обробки сигналів переривань та ін.).

Верхній рівень АСУ ТП – автоматизовані робочі місця операторів (системи відображення) компонуються на базі промислових комп'ютерів, що характеризуються високими характеристиками за продуктивністю і надійністю. Робочі програми для промислових комп'ютерів створюються за допомогою SCADA-систем, призначених для автоматизації програмування і організації виконання програм у середовищі операційної системи.

Основними функціями, що виконуються ПКД на нижньому рівні, є:

- обробка технологічної та діагностичної інформації від датчиків (фільтрація сигналів; перевірка достовірності сигналів; блокування або маскування сигналів датчиків; підстановка замість результатів вимірювань значень, що їх заміщають);
- облік відмов і аварійних відключень обладнання (дані накопичуються протягом обмеженого часу);

- облік часу простою обладнання через аварію;
- допусковий контроль значень діагностичних параметрів за мінімальними, максимальними попереджувальним і аварійним допусками;
- прогнозування часу досягнення діагностичними параметрами граничних значень;
- визначення працездатності і правильності функціонування обладнання, що має вбудовані засоби контролю і діагностики (насосні станції, потужні електродвигуни);
- фіксація і облік сигналів спрацьовування захистів (спрацьовування сигналів захистів враховуються при виконанні робочих програм);
- формування діагностичних повідомлень для передачі верхньому рівню (із приєднанням кожному повідомленню коду, що визначає ступінь його важливості);
- обмін даними по мережі з верхнім рівнем;
- відпрацювання команд, що надходять по мережі від верхнього рівня (управління механізмами, блокування, деблокування, квітирування, імітація).

Основними функціями, що виконуються ПКД на верхньому рівні, є:

- облік відмов, аварійних відключень і часу простою обладнання за тривалі періоди часу (з фіксацією джерела відключення – захисту, контролера, оператора);
- ведення архіву стану технічних засобів АСУ ТП з можливістю їх подальшого вибору з архіву і перегляду обслуговуючим персоналом;
- контроль готовності функцій управління технологічним процесом і готовності обладнання до роботи;
- аналіз технологічних ситуацій і переведення обладнання в режим ручного управління при порушеннях працездатності (виконується оператором);
- припинення прийому даних (блокування) від обладнання, що відмовило (датчиків технологічної інформації, механізмів і пристроїв);
- обмін даними по мережі з нижнім рівнем, передача команд оператора нижнього рівня;
- оперативне відображення діагностичних повідомлень (важливість повідомлень визначається їх кольором, спеціальними піктограмами, деякі повідомлення вимагають обов'язкового виконання оператором відповідної команди квітирування);
- коригування нормативних даних, що розміщуються в контролері;
- визначення місця і причин відмов обладнання за статистичними даними (по відмовах, які не виявляються контролером);
- виведення звукових сигналів і мовної інформації при відмовах технологічного обладнання;
- відновлення працездатності АСУ ТП після відмов основного технологічного обладнання за рахунок підключення резервного обладнання;
- автоматичне включення в роботу технологічного обладнання після короткочасного зникнення електроживлення;
- ведення діалогу між системою і обслуговуючим персоналом;
- виконання діагностичних тестів для діагностики технологічного обладнання при виключенні тестованого устаткування з контуру управління;
- підтримка роботи з переносними вимірювальними приладами, призначеними для вимірювання температури, тиску, об'ємної витрати, частоти обертання й інших параметрів у системах промислових установок;
- формування рекомендацій щодо проведення планово-попереджувальних робіт, капітальних ремонтів і завдань на технічне обслуговування обладнання;
- облік використаного і визначення залишкового ресурсів роботи технологічного обладнання.

Приклади реалізації ПКД у складі АСУТП ТЛС наведені в [6–8].

12. Висновки

На закінчення слід зазначити, що застосування підсистеми контролю та діагностики у складі АСУ ТП сучасних прокатних станів забезпечує істотне поліпшення показників надійності АСУ ТП, а також певний економічний ефект за рахунок:

- зниження кількості і тривалості простоїв АСУ ТП із причин несправностей і поломок основного технологічного та енергетичного обладнання цеху;
- зменшення часу експлуатації обладнання в аварійних режимах;
- отримання достовірної оперативної інформації про несправності електрообладнання, засобів автоматики, механічного обладнання прокатного стану, а також про причини і передісторії виникнення порушень працездатності обладнання в ході технологічного процесу;
- формування статистичних даних про виявлені несправності для використання досвіду при розробці АСУ ТП, а також прогнозування зносу деталей, раціонального планування профілактичних і ремонтних робіт;
- визначення та аналізу слабких місць у роботі обладнанні;
- зниження трудовитрат на ремонт технологічного устаткування, а також ремонтних витрат на запчастини і матеріали.

СПИСОК ДЖЕРЕЛ

1. Основы технической диагностики: в 2 кн. Кн. 1: Модели объектов, методы и алгоритмы диагноза / под ред. П.П. Пархоменко. М.: Энергия, 1976. 463 с.
2. Грабовский Г.Г. ИАСУ толстолистовыми прокатными станами. К.: Техніка, 2001. 448 с.
3. Архангельский В.И., Богаенко И.Н., Рюмшин Н.А. Интегрированные АСУ в промышленности. К.: НПК «Киевский институт автоматики», 1995. 316 с.
4. Архангельский В.И., Богаенко И.Н., Грабовский Г.Г., Рюмшин Н.А. Нейронные сети в системах автоматизации. К.: Техніка, 1999. 364 с.
5. Грабовский Г.Г., Ушаков А.В. Обеспечение надежности функционирования автоматизированной системы гидросбыва окалины для стана горячей прокатки. *Автоматизация виробничих процесів*. 2004. № 1 (18). С. 141–147.
6. Ієвлев М.Г., Корбут В.Б. Автоматизовані системи захисту устаткування прокатних клітей від перевантажень. *Науково-технічна інформація*. 2011. № 4. С. 50–53.
7. Грабовский Г.Г., Ієвлев Н.Г. Автоматизированные системы защиты оборудования прокатных клетей от перегрузок и информационной поддержки процесса прокатки. *Металл и литье Украины*. 2015. № 7. С. 29–33.
8. Корбут В.Б., Ієвлев М.Г., Бутко В.Г., Мойсеєнко С.Є. Автоматизована система керування агрегатами вогневого різання плит. *Науково-технічна інформація*. 2012. № 2 (52). С. 42–48.

Стаття надійшла до редакції 18.10.2021