

С. М. Бабій, к. т. н.; О. А. Паянок, к. т. н.; О. Д. Фолюшняк

## МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ ДІАГНОСТУВАННЯ АВТОМАТИЧНИХ АНАЛОГОВИХ КЕРУЮЧИХ ПРИСТРОЇВ ЕЛЕКТРОПРИВОДА

*Запропоновано математичну модель діагностування автоматичних аналогових керуючих пристроїв електропривода, яка дозволяє підвищити якість діагностування електропривода. Це реалізується завдяки прискореному пошуку вимірювального каналу, в колі якого присутній екстремальний рівень сигналу, та врахування параметра збоїв у кожному вимірювальному каналі.*

**Ключові слова:** керуючий пристрій, діагностика, електричний привід.

### Постановка проблеми

Розробка систем регульованого електропривода (ЕП), а також методів і засобів його діагностування є перспективним напрямком розвитку сучасної науки і техніки [1].

Незважаючи на широке використання останнім часом ЕП з мікропроцесорними системами керування, досить поширеними є ЕП з аналоговими та цифро-аналоговими системами керування. У результаті природних процесів старіння та впливу різноманітних збурюючих дій, які мають місце при експлуатації, характеристики ЕП з часом погіршуються. Слід зауважити, що суттєвий вплив на якість характеристик ЕП здійснюють саме аналогові блоки керування, які є найбільш чутливими до процесів старіння та різного роду збурень.

Саме тому виникає необхідність моніторингу технічного стану ЕП в цілому і, зокрема, автоматичних аналогових керуючих пристроїв (АКП) їх систем керування, який реалізують шляхом проведення безперервного контролю та діагностування.

### Аналіз останніх досліджень та публікацій

Деякі аспекти вирішення цього питання розглянуті в роботах [2 – 5]. У роботі [2] розглянуто п'ять основних підходів до діагностування електрообладнання в процесі його експлуатації або в рамках проведення тестових випробувань: порівняння діагностичного параметра із встановленим значенням; використання відомих імовірнісних співвідношень між несправністю і спостережуваними змінами параметрів; визначення мінімальної кількості точок, в яких спостерігаються діагностичні сигнали; перевірка тестовими сигналами; створення повних математичних моделей діагностованих об'єктів. У роботах [3, 4] розроблено математичні моделі діагностування замкнених та розімкнених систем керування електричним приводом, в основу яких покладено підхід порівняння діагностичних параметрів із зоною допустимих значень для заданого режиму роботи. Зазначені моделі мають обмеженість, оскільки не враховують параметр збоїв у кожному вимірювальному каналі. Врахування цього параметра дозволило б здійснювати прогнозування стану ЕП. У роботі [5] показано інший підхід до рішення цієї проблеми шляхом створення діагностичних моделей у вигляді адаптивних нейро-нечітких мереж.

### Постановка задачі дослідження

Розробка математичної моделі діагностування автоматичних АКП ЕП, яка реалізує прискорений пошук вимірювального каналу, в колі якого присутній екстремальний рівень сигналу, а також враховує параметр збоїв у кожному вимірювальному каналі, що дозволить підвищити якість діагностування ЕП в цілому і, зокрема, автоматичних АКП його системи керування. Неврахування збоїв на початковому етапі їх виникнення спричиняє незначне погіршення характеристик привода, а на більш пізньому етапі може стати причиною

цілковитої його відмови.

### Основні матеріали досліджень

Як відомо, елементною базою автоматичних АКП ЕП є радіоелектронні елементи та пристрої, які в процесі експлуатації ЕП піддаються впливу різноманітних зовнішніх (кліматичних, механічних) та внутрішніх факторів. Ці фактори призводять до виходу одного або декількох параметрів, що характеризують роботу автоматичних АКП ЕП, за межі допустимих значень [6], які визначаються основним та граничним полями допуску.

Робота пристрою з параметрами, які знаходяться за межами граничного поля допуску (ГПД), є недопустимою, оскільки подальша експлуатація об'єкта може призвести до створення аварійних ситуацій. Якщо ж параметри знаходяться за межами основного поля допуску (ОПД), то його подальше використання за призначенням є недоцільним, виходячи з вимог функціональної придатності, безпечної експлуатації та ремонтно-відновлювальних робіт.

Складність діагностування замкнених систем керування пояснюється наявністю зворотних зв'язків (ЗЗ). Поява недопустимого рівня параметра на виході будь-якого одного елемента спричиняє появу недопустимих рівнів параметрів на входах інших елементів, охоплених контуром ЗЗ. Це відбувається незалежно від того, зумовлено це несправністю самого елемента чи на його вхід було подано недопустимий рівень сигналу з виходу деякого елемента, що не входить в контур ЗЗ [7]. Тому, при розробці моделі діагностування необхідно передбачити можливість виявлення саме дефектного АКП без створення штучних розривів у контурах регулювання.

Слід враховувати, що кожен з діагностичних параметрів має власні закономірності зміни в часі, а тому доводиться індивідуально для кожного з них формувати границі областей допустимих значень, що призводить до ускладнення процесу діагностування і, відповідно, збільшення часу на проведення одного циклу діагностування. У зв'язку з цим пропонується використати запропонований в роботі [4] підхід і здійснити перехід від безпосереднього аналізу діагностичних параметрів до аналізу сигналів, які б характеризували точність відпрацювання вхідних задаючих впливів і були виражені у відносних одиницях, що дозволить сформувати уніфіковані, незмінні в часі границі областей їх допустимих значень.

Відповідна математична модель діагностичних параметрів має вигляд

$$\left\{ \begin{array}{l} i = \overline{1, n}, \\ \varepsilon_i(t) = \frac{x_i(t) - x_{ном_i}(t)}{x_{ном_i}(t)}, \\ \varepsilon_i(t) \in [-1, 1], \\ \left\{ \begin{array}{l} \varepsilon_i > 0, \text{ якщо } x_i > x_{ном_i}, \\ \varepsilon_i < 0, \text{ якщо } x_i < x_{ном_i}, \\ \varepsilon_i = 0, \text{ якщо } x_i = x_{ном_i}, \end{array} \right. \end{array} \right. \quad (1)$$

де  $n$  – кількість діагностованих автоматичних АКП системи керування ЕП;  $\varepsilon_i$  – параметр, який характеризує точність відпрацювання заданого впливу  $i$ -им АКП у фіксований момент часу  $t$ ;  $x_i$  – значення діагностичного параметра на виході  $i$ -го АКП у фіксований момент часу  $t$ ;  $x_{ном_i}$  – номінальне значення діагностичного параметра на виході  $i$ -го АКП у фіксований момент часу  $t$ .

Формування номінальних значень діагностичних параметрів забезпечує відповідна модель, яка з необхідною точністю відтворює функціонування окремих АКП ЕП, оскільки цілісна модель не дає можливості враховувати дійсні значення параметрів, що подаються на

кожен з діагностованих АКП.

У процесі експлуатації ЕП, під дією різноманітних впливів, можуть виникати збої, які необхідно відслідковувати і аналізувати. Накопичення інформації про збої, що виникають в кожному вимірювальному каналі, дозволить виявляти найбільш чутливий до дії збурень автоматичний АКП та здійснювати прогнозування стану ЕП в цілому і, зокрема, його системи керування. Таким чином забезпечується реалізація принципу обслуговування ЕП за його фактичним технічним станом.

Враховуючи зазначені міркування, математична модель для діагностування автоматичних АКП ЕП матиме вигляд

$$\left\{ \begin{array}{l} i = \overline{1, n}, \quad j = \overline{1, n}, \quad s_j = \overline{0, g}, \\ k = 1, \quad v = 1, \\ i = 1 \Rightarrow \begin{cases} j = 1, \\ \varepsilon_{\max_j} = |\varepsilon_i|, \end{cases} \\ \begin{cases} i = i + 1, \\ |\varepsilon_i| > \varepsilon_{\max_j} \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} j = i, \\ \varepsilon_{\max_j} = |\varepsilon_i|, \end{cases} \\ x_j \rightarrow \text{const } 1, \quad \text{якщо} \begin{cases} \varepsilon_{\max_j} \geq \varepsilon_{cp}, \\ \varepsilon_j > 0, \end{cases} \\ x_j \rightarrow \text{const } 0, \quad \text{якщо} \begin{cases} \varepsilon_{\max_j} \geq \varepsilon_{cp}, \\ \varepsilon_j < 0, \end{cases} \\ x_j \rightarrow \text{var}(\text{const } 1), \quad \text{якщо} \begin{cases} i = n, \\ \varepsilon_j > 0, \\ \varepsilon_{\max_j} \geq \varepsilon_{дон}, \\ |\varepsilon_j| \rightarrow m, \quad m \geq q \vee \begin{cases} |\varepsilon_j| \rightarrow m, \quad 0 < m < q, \\ s_j = s_j + 1, \quad s_j \geq g, \end{cases} \end{cases} \\ x_j \rightarrow \text{var}(\text{const } 0), \quad \text{якщо} \begin{cases} i = n, \\ \varepsilon_j < 0, \\ \varepsilon_{\max_j} \geq \varepsilon_{дон}, \\ |\varepsilon_j| \rightarrow m, \quad m \geq q \vee \begin{cases} |\varepsilon_j| \rightarrow m, \quad 0 < m < q, \\ s_j = s_j + 1, \quad d \geq g, \end{cases} \end{cases} \end{array} \right. \quad (2)$$

де  $s_j$  – поточна кількість збоїв, причому індекс  $j$  характеризує той автоматичний АКП  $i$ , відповідно, той вимірювальний канал, вихідний сигнал в якому є екстремальним у цьому циклі сканування;  $g$  – граничне значення, що визначає необхідну кількість збоїв у одному вимірювальному каналі для формування висновку про майбутню несправність в цьому вимірювальному каналі;  $k$  – сигнал з виходу сенсора комутації, що свідчить про положення комутаційного апарата, яким подається напруга живлення;  $v$  – сигнал з виходу сенсора живлення системи керування ЕП;  $\varepsilon_{\max_j}$  – поточне екстремальне значення сигналу  $\varepsilon$  в цьому циклі сканування, яке було зафіксовано в  $j$ -му вимірювальному каналі;  $\varepsilon_{cp}$  – гранично допустиме значення відхилення діагностичного параметра від його номінального значення

по відношенню до ГПД;  $\varepsilon_{\text{дон}}$  – гранично допустиме значення відхилення діагностичного параметра від його номінального значення по відношенню до ОПД;  $m$  – кількість перевищень діагностичним параметром меж ОПД протягом часу, який відведено на діагностування одного вимірювального каналу;  $q$  – граничне значення, яке визначає необхідну кількість перевищень діагностичним параметром меж ОПД (для виявлення несправності) протягом часу, що відведений на діагностування одного вимірювального каналу.

Вираз *const 1* (конституента одиниці) означає, що на виході  $i$ -го вимірювального каналу з'являється сталий максимально можливий вихідний сигнал.

Вираз *const 0* (конституента нуля) означає, що на виході  $i$ -го вимірювального каналу з'являється сталий мінімально можливий або вихідний сигнал відсутній взагалі.

Вирази *var (const 1)* або *var (const 0)* мають аналогічні зазначеним вище значення, за виключенням того, що відповідна несправність виникла через збої або тривале перевищення параметром меж ОПД.

Процес діагностування відповідно до моделі (2) відбувається таким чином. Після закінчення чергового циклу сканування вимірювальних каналів та при незадовільних результатах перевірок на предмет виявлення несправностей типу *const 1* та *const 0* здійснюється перевірка на несправності типу *var (const 1)* або *var (const 0)*. Зокрема, якщо сигнал  $\varepsilon$  у  $j$ -му вимірювальному каналі за час перевірки з'являється  $m$  разів, причому  $m \geq q$ , то формується висновок про несправність типу *var (const 1)* або *var (const 0)*. У протилежному випадку, якщо  $0 < m < q$ , то фіксується збій в цьому вимірювальному каналі, і починається новий цикл сканування. Якщо ж кількість збоїв в  $j$ -му вимірювальному каналі перевищує деяке граничне значення  $s \geq g$ , то формується висновок про несправність типу *var (const 1)* або *var (const 0)*.

Аналіз цієї математичної моделі дозволяє зробити висновок, що для технічної реалізації відповідного пристрою діагностування необхідно передбачити опитування  $n$  вимірювальних каналів з можливістю розпізнавання знаку сигналу, а також сенсорів комутації та напруги живлення. Окрім того, необхідно забезпечити обробку інформації та виведення її на екран для візуального контролю стану досліджуваного об'єкта, а також зв'язок з ПЕОМ верхнього рівня для збереження та подальшої обробки інформації.

### Висновки

Розроблено математичну модель діагностування автоматичних АКП ЕП, яка, завдяки реалізації прискореного пошуку вимірювального каналу, в колі якого присутній екстремальний рівень сигналу, та врахування параметру збоїв у кожному вимірювальному каналі, дозволяє підвищити якість діагностування ЕП в цілому і, зокрема, автоматичних АКП його системи керування.

### СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Ильинский Н. Ф. Перспективы развития регулируемого электропривода / Н. Ф. Ильинский. // Электричество. – 2003. – № 2. – С. 2 – 7.
2. Марченко Б. Г., Мыслович М. В. Преспективные подходы к созданию систем диагностики электротехнического оборудования / Б. Г. Марченко, М. В. Мыслович. // Техническая электродинамика. – 1997. – № 2. – С. 49 – 52
3. Грабко В. В. Математична модель діагностичного контролю діючих систем керування електричним приводом / В. В. Грабко, С. М. Бабій. // Вісник Кременчуцького державного політехнічного університету імені Михайла Остроградського. – Вип. 4/2006 (39), частина 1. – С. 139 – 140.
4. Бабій С. М. Підвищення якості діагностування трактів керування в системах електричного привода / С. М. Бабій. // Вісник ВПІ. – 2008. – № 1. – С. 78 – 83.
5. Агамалов О. Н. Оценка технического состояния электрооборудования в реальном масштабе времени методом нейро-нечеткой идентификации / О. Н. Агамалов. // Exponenta Pro. Математика в приложениях – 2003. – № 2. – С. 36 – 44.

6. Давыдов П. С., Техническая диагностика радиоэлектронных устройств и систем / П. С. Давыдов. – М.: Радио и связь, 1988. – 256 с.

7. Осипов О. И. Техническая диагностика автоматизированных электроприводов / О. И. Осипов, Ю. С. Усынин. – М.: Энергоатомиздат, 1991. – 160 с.

**Бабій Сергій Миколайович** – к. т. н., старший викладач кафедри електромеханічних систем автоматизації в промисловості і на транспорті.

**Паянок Олександр Анатолійович** – к. т. н., старший викладач кафедри відновлювальної енергетики та транспортних електричних систем і комплексів.

**Фолушняк Олена Дмитрівна** – магістрант кафедри електромеханічних систем автоматизації в промисловості і на транспорті.

Вінницький національний технічний університет.