

## АНАЛІЗ І ДОСЛІДЖЕННЯ АЛГОРИТМІВ ЕКСПЕРТНОЇ СИСТЕМИ ДІАГНОСТУВАННЯ ЕНЕРГОКОМПЛЕКСУ ЕЛЕКТРОННО-ПРОМЕНЕВОГО ЗВАРЮВАННЯ

---

**Abstract:** This article is devoted to using contemporary information technologies in the analysis and researching the algorithms for the expert system of diagnostic device of electron beam welding installation. Mathematical models of logical type were used. The probability estimate method of disrepair beginning was offered.

**Key words:** expert system, diagnostic of energy complex, electron beam welding.

**Анотація:** Стаття присвячена використанню сучасних інформаційних технологій у питаннях аналізу і дослідження алгоритмів експертної системи діагностування енергокомплексу в установках електронно-променевого зварювання. При цьому використовуються математичні моделі логічного типу. Запропоновано методику оцінки ймовірності виникнення несправностей енергокомплексу.

**Ключові слова:** експертна система, діагностика енергокомплексу, електронно-променеве зварювання.

**Аннотация:** Статья посвящена использованию современных информационных технологий в вопросах анализа и исследования алгоритмов экспертной системы диагностирования энергокомплекса оборудования электронно-лучевой сварки. При этом используются математические модели логического типа. Предложено методику оценки вероятности возникновения неисправностей энергокомплекса.

**Ключевые слова:** экспертная система, диагностика энергокомплекса, электронно-лучевая сварка.

### 1. Вступ

Сучасні промислові установки електронно-променевого зварювання (ЕПЗ) – це складна сукупність засобів, приладів та конструкцій, які забезпечують зварювальний процес у межах конкретних технологічних режимів. Головне у роботі установки ЕПЗ – якість і відтворюваність швів, що забезпечується за рахунок контролю основних параметрів процесу: струм пучка; струм магнітної лінзи для фокусування пучка; напруга, що прискорює потік електронів; робоча відстань між гарматою і виробом; швидкість зварювання. За формування цих параметрів відповідають енергетичний та електромеханічний комплекси. Тому насамперед постає задача постійного контролю працездатності їх обладнання. Для вирішення цієї задачі потрібна система діагностування параметрів обладнання.

Метою статті є розробка та дослідження алгоритмів експертної системи діагностування енергокомплексу установки ЕПЗ.

Наведені в [1] схеми комплексів є типовими й найбільш розповсюдженими для технологічних процесів ЕПЗ. Тому методологія побудови алгоритмів діагнозу типового технологічного устаткування енергетичного комплексу, яку запропоновано у статті, дійсна і для інших енергетичних комплексів, в яких застосовується мікропроцесорна система керування [2].

При цьому потрібно вирішити такі задачі:

- дослідження і формалізація об'єкта діагностування (ОД);
- побудова математичної моделі (ММ) ОД;
- побудова ММ несправностей ОД;
- розробка алгоритму діагностування енергокомплексу (ЕК);
- аналіз і дослідження алгоритму діагностування ЕК.

## 2. Методика побудови математичної моделі енергокомплексу

Об'єднання в автоматизованій системі управління ЕПЗ поширеного обчислювального обладнання (комп'ютерів, мікропроцесорів, програмованих логічних контролерів, зовнішніх пристроїв, терміналів) дає можливість для її інтелектуалізації. Задача діагностування ЕК, який розглядається як ОД, є однією з множини задач, яка використовується при проведенні ЕПЗ. Декомпозиція задачі діагностування ЕК доцільна при створенні відповідного програмного забезпечення. Пристрої, які входять до складу ЕК, можуть бути рознесені один від одного й об'єднані між собою різними фізичними каналами зв'язку, що досягається за допомогою складних програмних і мікропроцесорних засобів. З цього погляду таку систему можна розглядати як локальну мережу, для якої характерні: розподілена обробка інформації, простота зв'язків, висока швидкість передачі інформації, створення структури, оптимальної для конкретного додатка, значні коливання необхідних обсягів і швидкостей обробки інформації, резервування, підвищена живучість, що виявляється у збереженні працездатності при виході з ладу окремих блоків, спілкування оператора із системою. У схемі ЕК забезпечуються значне підвищення ефективності використання обчислювальної техніки за рахунок раціонального використання апаратних і програмних ресурсів системи, поліпшення їхніх експлуатаційних характеристик і створення прийнятних зручностей для роботи людини із системою. Крім того, локальна мережа дає можливість користувачу для підвищення ефективності ЕПЗ звертатися до інших засобів, які є загальними для всієї системи (сукупності робочих місць), і найчастіше до дорогих ресурсів (баз знань, інтелектуальних систем, периферійного обладнання та ін.).

В [1] досліджено управління ЕК для ЕПЗ з використанням мікропроцесорів. МСК має ієрархічну структуру. На верхньому рівні знаходиться центральна ЕОМ, яка керує усім зварювальним устаткуванням. На другому рівні – керуючий контролер МП28, який координує роботу МСК ЕК. На третьому рівні – контролери МП23, МП29, МП32, МП34 окремих блоків ЕК. Контролери третього рівня зв'язані з керуючим контролером МП28 через оптронні розв'язки і виконують функції керування і діагностики стану блоків ЕК.

На рис. 1 наведено схему мікропроцесорної системи керування (МСК) і діагностування ЕК. Далі будуть використані номери блоків, які визначено на цій схемі. Схема відповідає сучасним вимогам до точності і динамічності енергетичних та інформаційних параметрів ЕК.

Стійкість роботи МСК ЕК для ЕПЗ досягається як за рахунок використання адаптивних алгоритмів управління, так і за рахунок вибору періоду квантування.

Керуючий контролер МП28 здійснює функції загального керування, забезпечує зв'язок з центральною ЕОМ, дисплеєм і клавіатурою пульта ЕК. При відмовленні контролерів другого і третього рівнів передбачено перерозподіл функцій контролерів і виконання програми безаварійного виходу з режиму зварювання. Керування ЕК при автономній роботі (без участі центральної ЕОМ) і виконанні нескладних програм може здійснюватися від окремого інженерного пульта.

Так як сучасні енергетичні комплекси мають мікропроцесорну систему діагностики і керування, це дозволяє зробити декомпозицію системи керування на окремі функціональні модулі із взаємним програмним резервуванням. При цьому з'явилася можливість упорядкувати інформаційно-керуючі потоки і полегшити режим роботи центральної ЕОМ, здійснити діалоговий

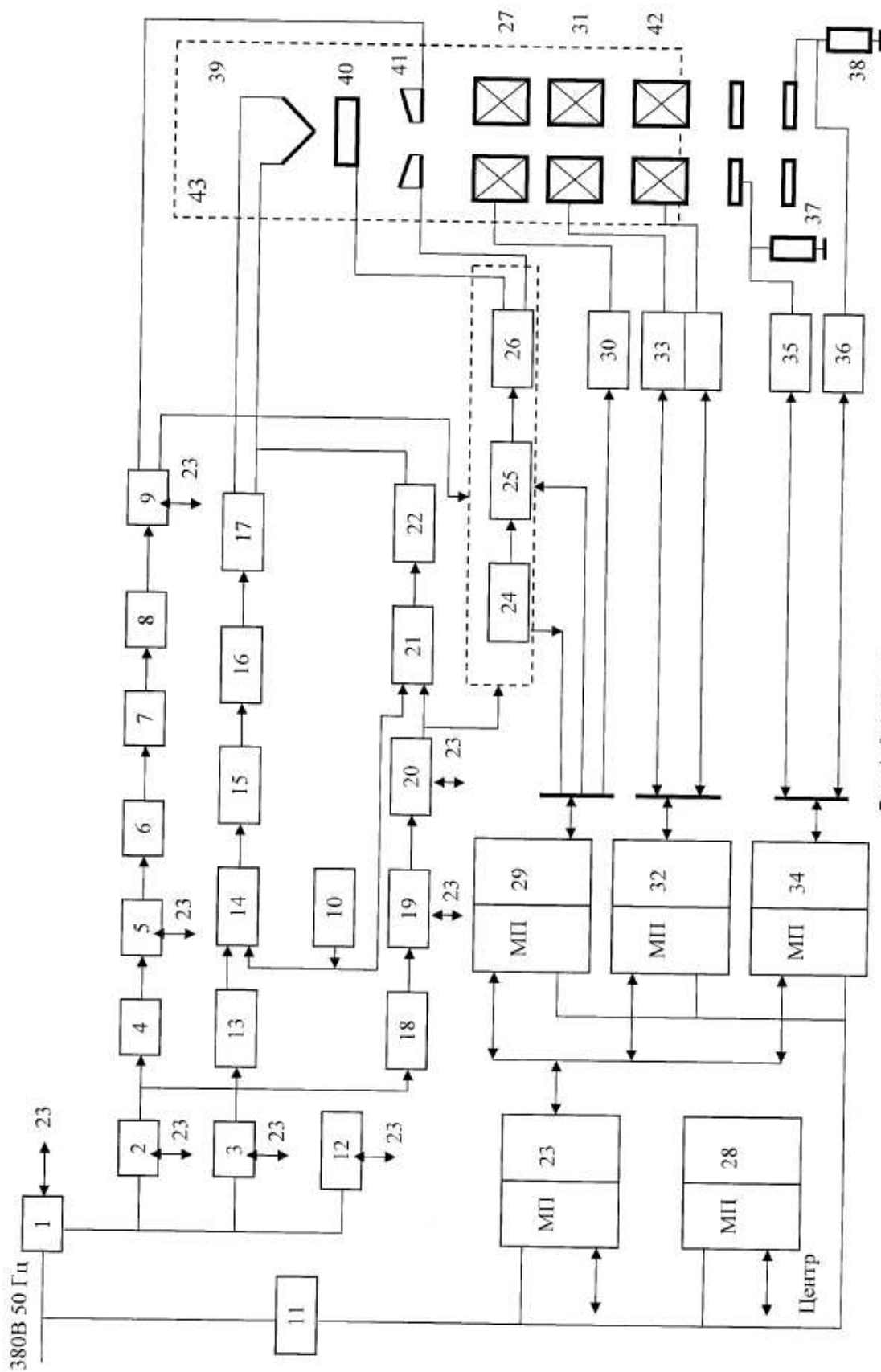


Рис. 1. Схема енергокомплексу

режим обміну інформацією між вбудованими мікропроцесорами блоків і центральною ЕОМ.

Після включення джерела живлення 11 і контролю стану мікропроцесорів 23, 28, 29, 32, 34 по їхній команді через блок комутаційної апаратури 1 трьохфазна напруга 380В 50 Гц надходить на силові випрямлячі 2, 3, 12, які зібрано за трьохфазною схемою. Для зменшення пульсацій напруги на виході випрямлячів встановлені фільтри 4, 13, 18. При коефіцієнті пульсацій напруги 0,2-4% нестабільність проплавлення по глибині залишається незмінною і знаходиться в межах 5%. Регулятори 5, 14 стабілізують вихідні напруги своїх каналів з урахуванням падіння напруги на елементах схеми відповідно до опорного сигналу, що надходить із МП23, і сигналом зворотного зв'язку, що знімається з відповідного розподільника напруги. Регулятор 19 регулює струм підігрівника відповідно до сигналів, що задають МП23 і МП28, і сигналом, що знімається з датчика струму електронного бомбардування 10. Напруги постійного струму, сформовані імпульсними регуляторами 5, 14, 19, перетворюються у змінну високочастотну напругу інверторами: силовим 6, підігрівним 15, ланцюга керування 20.

Напруги з інверторів 6, 15, 20 через високовольтний силовий трансформатор 7, трансформатори 16, 21 підключені до виходів відповідних випрямлячів 8, 17, 22. Випрямлена і відфільтрована напруга надходить на відповідні електроди електронно-променевої гармати 43: з високовольтного розподільника напруги 9 на прикатодний електрод 41; з випрямляча 17 – на підігрів катода 39; з випрямляча 22 – на катод 40 і підігрів катода 39. Керуючий сигнал з виходу регулятора струму пучка (24, 25, 26) надходить на катод 40 і прикатодний електрод 41. Вихідні підсилювачі регуляторів струму фокусування 30 і струму відхилення 33 підключені відповідно до котушок 27, 31, 42 і керуються від МП29 і МП32. Сигнали з датчиків вторинних електронів 37, 38 надходять на формувачі сигналів 35, 36 і служать для контролю геометричних параметрів пучка і глибини проплавлення (МП34).

З метою побудови алгоритмів експертної системи діагностування ЕК для ЕПЗ треба мати відповідну ММ ОД логічного типу. При цьому припускається, що місце і момент часу виникнення несправності співпадають [3, 4], тому що ЕК для ЕПЗ є динамічною системою. Методика вимірювання параметрів ЕК може базуватись на використанні статистичних методів.

Логічна модель ЕК як модель подання знань для діагнозу ЕК будується за схемою (рис. 1). Кожному  $i$ -му блоку схеми  $Q_i, i = \overline{1, h}$ , де  $h$  - кількість блоків, відповідає функція умов роботи блока  $F_i$ , яка є кон'юнкцією внутрішніх і зовнішніх змінних, що надходять до блока. Кожний блок  $Q_i$  логічної моделі має один вихід  $Z_i$ , тому функції умов роботи  $F_i$  відзначено одним  $i$ -м індексом блока. При цьому розглядаються несправності, які спричиняють хибний вихід  $Z_i = 0$  замість очікуваного вірного значення  $Z_i = 1$ . Для ЕК ЕПЗ це буде доцільним. Логічна модель коректна, якщо для будь-якої пари блоків буде: вихід одного з блоків є входом іншого, і підмножина припустимих значень входів і виходів, а також підмножина їх неприпустимих значень відповідно співпадають.

Фактичне значення виходу  $Z_i$  блока  $Q_i$  залежить від того, чи працездатний блок, а також від значення функції  $F_i$ . Формально  $Z_i$  є кон'юнкція змінних  $F_i$  та  $Q_i$ :

$$Z_i = Q_i F_i, \quad (1)$$

де  $Z_i$  – вихід  $i$ -го блока;

$Q_i$  – логічне повідомлення відносно стану  $i$ -го блока;

$F_i$  – функція умов роботи  $i$ -го блока.

Відповідно до схеми (рис. 1) функції умов роботи блоків виглядають таким чином:

$$\begin{aligned} F_1 &= x_1 z_{23-1}; F_2 = z_1 z_{23-2}; F_3 = z_1 z_{23-3}; F_4 = z_2; F_5 = z_4 z_{23-5}; F_6 = z_5; F_7 = z_6; F_8 = z_7; \\ F_{9-1} &= z_8 z_{23-9}; F_{9-2} = z_8 z_{23-9}; F_{10} = x_{10}; F_{11} = x_1 z_{23-11}; F_{12} = z_1 z_{23-12}; F_{13} = z_3; \\ F_{14} &= z_{10} z_{13}; F_{14} = z_{10} z_{13}; F_{16} = z_{15}; F_{17} = z_{16}; F_{18} = z_3; F_{19} = z_{18} z_{23-19}; F_{20} = z_{19} z_{23-20}; \\ F_{21} &= z_{10} z_{20}; F_{22-1} = z_{21}; F_{26-1} = z_{9-2} z_{20} z_{29-2}; F_{26-2} = z_{9-2} z_{20} z_{29-1}; F_{30} = z_{29-3}; \\ F_{33-1} &= z_{32-1}; F_{33-2} = z_{32-2}; F_{35} = x_{35}; F_{36} = x_{36}. \end{aligned} \quad (2)$$

Згідно з (1) і (2), ММ логічного типу ЕК має вигляд

$$\begin{aligned} z_1 &= Q_1 x_1 z_{23-1}; z_2 = Q_2 z_1 z_{23-2}; z_3 = Q_3 z_1 z_{23-3}; z_4 = Q_4 z_2; z_5 = Q_5 z_4 z_{23-5}; \\ z_6 &= Q_6 z_5; z_7 = Q_7 z_6; z_8 = Q_8 z_7; z_{9-1} = Q_{9-1} z_8 z_{23-9}; z_{9-2} = Q_{9-2} z_8 z_{23-9}; \\ z_{10} &= Q_{10} x_{10}; z_{11} = Q_{11} x_{12} z_{23-11}; z_{12} = Q_{12} z_1 z_{23-12}; z_{13} = Q_{13} z_3; z_{14} = Q_{14} z_{10} z_{13}; \\ z_{15} &= Q_{15} z_{14}; z_{16} = Q_{16} z_{15}; z_{17} = Q_{17} z_{16}; z_{18} = Q_{18} z_3; z_{19} = Q_{19} z_{18} z_{23-19}; \\ z_{20} &= Q_{20} z_{19} z_{23-20}; z_{21} = Q_{21} z_{10} z_{20}; z_{22-1} = Q_{22-1} z_{21}; z_{22-2} = Q_{22-2} z_{21}; \\ z_{26-1} &= Q_{26-1} z_{9-2} z_{20} z_{29-2}; z_{26-2} = Q_{26-2} z_{9-2} z_{20} z_{29-1}; z_{30} = Q_{30} z_{29-3}; \\ z_{33-1} &= Q_{33-1} z_{32-1}; z_{33-2} = Q_{33-2} z_{32-2}; z_{35} = Q_{35} x_{35}; z_{36} = Q_{36} x_{36}. \end{aligned} \quad (3)$$

У формулах (2) та (3) визначені:

$x_1$  – логічний сигнал живлення ЕК;

$x_{10}$  – логічний сигнал датчика 10;

$x_{35}, x_{36}$  – логічні сигнали датчиків 37, 38 до МП 34;

$z_{23-...}$  – вихідні команди МП 23;

$z_{29-...}$  – вихідні команди МП 29;

$z_{32-...}$  – вихідні команди МП 32;

$z_i$  – вихід  $i$ -го блока,  $i = \{1-8, 10-21, 30, 35, 36\}$ ;

$z_{9-1}, z_{9-2}$  – виходи розподіленого блока 9;

$z_{22-1}, z_{22-2}$  – виходи розподіленого блока 22;

$z_{26-1}, z_{26-2}$  – виходи розподіленого блока 26;

$z_{33-1}, z_{33-2}$  – виходи розподіленого блока 33;

$Q_i$  – логічне повідомлення відносно стану  $i$ -го блока,  $i = \{1-8, 10-21, 30, 35, 36\}$ ;

$Q_{9-1}, Q_{9-2}$  – повідомлення про розподілений блок 9;

$Q_{22-1}, Q_{22-2}$  – повідомлення про розподілений блок 22;

$Q_{26-1}, Q_{26-2}$  – повідомлення про розподілений блок 26;

$Q_{33-1}, Q_{33-2}$  – повідомлення про розподілений блок 33.

### 3. Розробка ММ несправностей ЕК для ЕПЗ

Згідно з логічною моделлю ЕК для ЕПЗ (3), будується таблиця функцій несправності (ТФН), яка розглядається як ММ несправностей ЕК. Клітка  $ij$  ТФН (елемент  $R_i^j$ ) містить значення  $Z_i$  для  $j$ -го технічного стану ЕК згідно з (3). ТФН для логічної моделі ЕК подано в табл. 1. Потужність множини технічного стану  $E = \{e, Q_1, \dots, Q_{36}\}$  дорівнює  $h + 1 = 32$ . Несправні стани позначено  $Q_i$ , справний стан –  $e$ . Елементарні перевірки блоків логічної моделі позначаються  $z_i$  і їх множина  $\Pi = \{z_1, \dots, z_{36}\}$ . Потужність множини  $\Pi$  дорівнює  $h = 31$ . Потужність множини результатів  $R$  дорівнює  $h(h + 1) = 992$ .

При цьому вважаємо, що припустимі значення і вхідні значення логічної моделі формуються мікропроцесорами 23, 28, 29, 32, 34 і зовнішніми вхідними сигналами

$$x_1 = x_{10} = x_{35} = x_{36} = 1.$$

Побудова алгоритму перевірки правильності функціонування чи працездатності ЕК полягає у виборі такої сукупності рядків ТФН (табл. 1), що містила б по одному нулю в кожному стовпці. Алгоритмів діагнозу ЕК може бути декілька і вони відрізняються між собою сукупністю елементарних перевірок.

Інтерес представляє мінімальна сукупність, яка перевіряє, тому що вимагає контролю найменшого числа виходів блоків моделі. ТФН побудована за логічною моделлю ЕК, яка не має однакових рядків і стовпців. Тому можна отримати мінімальну сукупність контрольних точок, яка містить тільки виходи блоків моделі.

### 4. Розробка алгоритму діагностування ЕК

Для логічної моделі ЕК алгоритм діагностування надається як мінімальна сукупність 12 логічних функцій окремих блоків. Таким чином, алгоритм експертної системи ЕК для ЕПЗ має вигляд

$$T = z_{9-1} z_{12} z_{17} z_{22-1} z_{22-2} z_{26-1} z_{26-2} z_{30} z_{33-1} z_{33-2} z_{35} z_{36}. \quad (4)$$

Справжність отриманого алгоритму як мінімальної сукупності виходів є необхідною і достатньою умовою істинності кон'юнкції виду (1), тобто умовам працездатності ЕК.

Таблиця 1. Таблиця функцій несправностей

R	E																								
	e	Q <sub>1</sub>	Q <sub>2</sub>	Q <sub>3</sub>	Q <sub>4</sub>	Q <sub>5</sub>	Q <sub>6</sub>	Q <sub>7</sub>	Q <sub>8</sub>	Q <sub>9-1</sub>	Q <sub>9-2</sub>	Q <sub>10</sub>	Q <sub>11</sub>	Q <sub>12</sub>	Q <sub>13</sub>	Q <sub>14</sub>	Q <sub>15</sub>	Q <sub>16</sub>	Q <sub>17</sub>	Q <sub>18</sub>	Q <sub>19</sub>	Q <sub>20</sub>	Q <sub>21</sub>	Q <sub>22</sub>	
z <sub>1</sub>	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
z <sub>2</sub>	1	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
z <sub>3</sub>	1	0	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
z <sub>4</sub>	1	0	0	1	0	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
z <sub>5</sub>	1	0	0	1	0	0	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
z <sub>6</sub>	1	0	0	1	0	0	0	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
z <sub>7</sub>	1	0	0	1	0	0	0	0	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
z <sub>8</sub>	1	0	0	1	0	0	0	0	0	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
z <sub>9-1</sub>	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
z <sub>9-2</sub>	1	0	0	1	0	0	0	0	0	1	0	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
z <sub>10</sub>	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
z <sub>11</sub>	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
z <sub>12</sub>	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
z <sub>13</sub>	1	0	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
z <sub>14</sub>	1	0	1	0	1	1	1	1	1	1	1	0	0	1	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1
z <sub>15</sub>	1	0	1	0	1	1	1	1	1	1	1	0	0	1	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1
z <sub>16</sub>	1	0	1	0	1	1	1	1	1	1	1	0	0	1	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1
z <sub>17</sub>	1	0	1	0	1	1	1	1	1	1	1	0	0	1	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1
z <sub>18</sub>	1	0	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1
z <sub>19</sub>	1	0	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	0	0	1	1	1	1
z <sub>20</sub>	1	0	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	0	0	0	1	1	1
z <sub>21</sub>	1	0	1	0	1	1	1	1	1	1	1	0	0	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	1
z <sub>22-1</sub>	1	0	1	0	1	1	1	1	1	1	1	0	0	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0
z <sub>22-2</sub>	1	0	1	0	1	1	1	1	1	1	1	0	0	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	1
z <sub>26-1</sub>	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
z <sub>26-2</sub>	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
z <sub>30</sub>	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
z <sub>33-1</sub>	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
z <sub>33-2</sub>	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
z <sub>35</sub>	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
z <sub>36</sub>	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1

Аналіз алгоритму діагностування логічної моделі ЕК (4) показує, що для перевірки ЕК досить перевірити значення виходів:

- $z_{9-1}$  – напруга на прикатодному електроді зварювальної гармати;
- $z_{12}$  – напруга, яка сформована блоком допоміжних багатоканальних джерел постачання;
- $z_{17}$  – струм у ланцюзі підігріву катода;
- $z_{22-1}$  – напруга, яка подається в ланцюг підігріву;
- $z_{22-2}$  – напруга, яка подається на катод;
- $z_{26-1}$  – напруга, яка формується регулятором струму пучка і подається на катод;
- $z_{22-2}$  – напруга, яка сформована регулятором струму пучка і подана на прикатодний електрод;
- $z_{30}$  – струм ланцюга фокусування;
- $z_{33-1}$  – струм котушки для відхилення електронного променя по осі  $O_x$  ;
- $z_{33-2}$  – струм котушки для відхилення електронного променя по осі  $O_y$  ;
- $z_{35}, z_{36}$  – напруги з формувачів сигналів від датчиків вторинних електродів ДВЄ1 і ДВЄ2 відповідно.

Аналізуючи фізичний зміст наведених вище компонент алгоритму перевірки правильності функціонування устаткування ЕПЗ, дійдемо висновку про можливість його реалізації як у системі тестового діагнозу, так і в системі функціонального діагнозу. При тестовому діагнозі (до початку процесу зварювання)  $x_1 = 1$  (наявність 380В, 50Гц),  $x_{10} = 1$  (сигнал, що знімається з датчика струму електронного бомбардування),  $x_{35} = 1$ ,  $x_{36} = 1$  (сигнали, що знімаються з датчика вторинних електронів) ці сигнали подаються від засобів діагнозу до початку процесу зварювання, але при працюючому устаткуванні. При функціональному діагнозі (у процесі зварювання)  $x_1, x_{10}, x_{35}, x_{36}$  є робочими і надходять під час усього процесу зварювання.

Дамо оцінку ймовірності складових алгоритму експертної системи діагностування ЕК ЕПЗ. Побудована логічна функція (4) записана у кон'юнктивній нормальній формі. Така форма допускає перехід до ймовірнісної функції шляхом заміни у ній логічних змінних відповідними ймовірностями за законом інверсії:

$$P\{T(Z) = 1\} = 1 - \prod_{i=1}^{12} (1 - R_i), \quad (5)$$

де  $R_i$  – ймовірність наявності несправності у  $i$ -му блоці, яку призначає експерт. Наведений ймовірнісний алгоритм (5) дозволяє, згідно з експертними оцінками  $R_i$ , проводити семантичний і евристичний аналіз причинних, структурних і кількісних зв'язків між окремими блоками ЕК.

Таким чином, використання ТФН для побудови статистичних моделей дозволяє мати кількісні оцінки надійності технічного і технологічного обладнання ЕК.



## 5. Висновки

Задача діагностики полягає у відновленні причин по наслідках, доступних спостереженню. Запропонована сукупність ММ несправностей, яка побудована для ЕПЗ на основі логічної моделі ЕК. Алгоритм діагностування ЕК для ЕПЗ подано у кон'юнктивній нормальній формі елементарних перевірок блоків логічної моделі. У роботі встановлено, що на сучасному рівні розвитку комп'ютерної техніки подальше підвищення працездатності і якості ЕПЗ може бути досягнуто новим рівнем автоматизації – інтелектуалізацією діагностування. За умови здійснення інтелектуалізації автоматичний пошук несправностей за допомогою експертних систем стає більш продуктивним і ефективним.

## СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Шелягин В.Д. и др. Управление энергетическим комплексом для ЭЛС с применением микропроцессоров // Автоматическое управление технологическим процессом ЭЛС. – К., 1987. – С. 5–14.
2. Литвинов В.В. Программные структуры экспертных систем в системах диагностики установок ЭЛС / В.В. Литвинов, В.В. Казимир, А.В. Хоминич // Математичні машини і системи. – 2005. – № 3. – С.166–179.
3. Хоминич А.В. Применение интегрированной экспертной системы в АСУ установки ЭЛС // Системи підтримки прийняття рішень. Теорія і практика, СППР 2007: Зб. доповідей Третьої конференції з міжнародною участю. Київ, червень 2006 р. – К.: ІПММС НАНУ, 2006. – С.145–147.
4. Хоминич А.В. Алгоритм экспертной оценки исправности энергетического комплекса установки электронно-лучевой сварки // Системи підтримки прийняття рішень. Теорія і практика, СППР 2007: Зб. доповідей Третьої конференції з міжнародною участю. Київ, червень 2007 р. – К.: ІПММС НАНУ, 2007. – С.149–152.

*Стаття надійшла до редакції 24.12.2007*