

ПРОГРАММНЫЕ АРХИТЕКТУРЫ ЭКСПЕРТНЫХ СИСТЕМ В СИСТЕМАХ ДИАГНОСТИКИ УСТАНОВОК ЭЛЕКТРОННО-ЛУЧЕВОЙ СВАРКИ

Abstract: This article is devoted for using contemporary information technologies in the problems of development of systems for diagnostics of complex technical objects. It is based expediency of using mathematical models of logical type when building expert system of diagnostics. Production rules, which express problem area of knowledge, are used for knowledge representation. Expert system is considered as engineering tool with knowledge base, which would be used for the concrete diagnostic problems, as they contain the main procedures for working with knowledge.

Key words: information technology, diagnosing, complex object, mathematical model, expert system, production rules, the knowledge base.

Анотація: Статтю присвячено використанню сучасних інформаційних технологій у питаннях розробки систем діагностування складних технічних об'єктів. Обґрунтовується доцільність використання математичних моделей логічного типу при побудові експертних систем діагностування. Для подання знань використовуються продукційні правила, які відображають предметну область знань. При цьому експертна система розглядається як інструментальний засіб, база знань якого може бути використана для конкретних задач діагностування, тому що в ній зосереджено основні процедури роботи із знаннями.

Ключові слова: інформаційна технологія, діагностування, складний об'єкт, математична модель, експертна система, правила продукцій, база знань.

Аннотация: Статья посвящена использованию современных информационных технологий в вопросах разработки систем диагностирования сложных технических объектов. Обосновывается целесообразность использования математических моделей логического типа при построении экспертных систем диагностирования. Для представления знаний используются производственные правила, которые отражают предметную область знаний. При этом экспертная система рассматривается как инструментальное средство, база знаний которого может быть использована для решения конкретных задач диагностирования, так как в ней сосредоточены основные процедуры работы со знаниями.

Ключевые слова: информационная технология, диагностирование, сложный объект, математическая модель, экспертная система, правила продукций, база знаний.

1. Введение

Как известно [1], современные установки электронно-лучевой сварки (УЭЛС) представляют собой сложную совокупность устройств, приборов и конструкций, обеспечивающих сварочный процесс в рамках конкретных технологических режимов [1]. Высокотехнологичное оборудование УЭЛС требует жесткого соблюдения правил эксплуатации и своевременного технического обслуживания.

Функционально УЭЛС состоит из двух комплексов:

- механического;
- энергетического.

Механический комплекс установки отвечает за обеспечение заданного технологией сварки уровня вакуума в вакуумной камере и электронно-лучевой пушке, за перемещение изделия и электронно-лучевой пушки, за погрузочно-разгрузочные (для изделия) работы.

Энергетический комплекс установки обеспечивает генерирование и формирование интенсивного электронного пучка, а также управление в режиме реального времени его рабочими параметрами: током пучка, током фокусировки.

Установка электронно-лучевой сварки как объекта автоматизации [2] представляет собой

сложный технический комплекс, в состав которого входит прецизионное электромеханическое, высокопроизводительное вакуумное и мощное энергетическое оборудование. Технологический процесс электронно-лучевой сварки является по своему характеру потенциально опасным, что связано с использованием высокого напряжения (60 кВ и выше) и взрывоопасного откачного оборудования, используемого для создания глубокого вакуума. Отказ оборудования, вызвавший аварийную ситуацию, может привести к травмам обслуживающего персонала, порче свариваемого изделия, повреждению оборудования установки. Не следует забывать, что современные УЭЛС часто используются для сварки изделий, стоимость которых порой соизмерима со стоимостью установки, а простой во время ремонтов установки приводит к значительным финансовым потерям. Вероятность безотказной работы УЭЛС не должна быть меньше 0,95 – 0,99 для нескольких лет непрерывной работы, а коэффициент готовности оборудования должен быть в пределах $0,99 \pm 0,999$.

В настоящий момент технология электронно-лучевой сварки перешла из сугубо научного применения к использованию в производстве. Опыт эксплуатации УЭЛС в производственном цикле показывает, что на первый план выходит вопрос эффективности ее использования. В этой связи в состав задач автоматизированной системы управления (АСУ) УЭЛС включают следующие:

- 1) предотвращение аварийных ситуаций;
- 2) обеспечение производительности и качества сварки;
- 3) помощь обслуживающему персоналу (для минимизации времени затрачиваемого на нахождение и устранение неисправностей оборудования установки).

Стоит отметить, что АСУ УЭЛС является многозадачной системой, а п.п. 1 и 2 выполняются в режиме реального времени. Высокая скорость сварки – до 33 мм/с, ограниченные возможности визуального наблюдения создают существенные трудности в управлении процессом сварки и контроле оборудования даже оператору высокой квалификации.

Анализируя приведенные выше задачи АСУ УЭЛС, несложно заметить, что ключевую роль в борьбе за эффективность использования УЭЛС играет проводимая в реальном режиме времени диагностика оборудования установки.

Диагностирование оборудования УЭЛС включает три типа задач. К первому типу относятся задачи по определению состояния, в котором находится оборудование УЭЛС в настоящий момент времени. Ко второму типу – задачи по определению состояния, в котором окажется оборудование УЭЛС в некоторый будущий момент времени. Это задачи прогноза, возникающие для определения сроков выполнения профилактических проверок и ремонтов. К третьему типу относятся задачи определения состояния, в котором находилось оборудование УЭЛС в некоторый момент времени в прошлом. Это задачи генеза. Они возникают в связи с расследованием происшествий и предпосылок к ним.

Во всех случаях знание состояния оборудования УЭЛС в настоящий момент времени является обязательным как для прогноза, так и для генеза.

Техническое диагностирование единицы оборудования УЭЛС представляет собой процесс исследования последнего. Завершением этого исследования является заключение о состоянии

единицы оборудования УЭЛС как объекта диагностирования: оборудование исправно, оборудование неисправно, в оборудовании имеется такая-то неисправность.

2. Постановка задачи

Совокупность объектов диагностирования и средств диагностирования образуют систему диагностирования.

Составим перечень задач системы диагностирования АСУ УЭЛС:

- отображение, хранение и анализ изменяющихся во времени данных, поступающих от контролируемого оборудования УЭЛС;
- обнаружение неисправного состояния оборудования;
- прогнозирование технического состояния оборудования;
- динамическое изменение алгоритма функционирования оборудования с целью недопущения аварийной ситуации;
- пояснения обслуживающему персоналу о ходе выполняемых действий по недопущению аварийной ситуации;
- помощь обслуживающему персоналу в устранении выявленной неисправности оборудования;
- накопление информации о техническом состоянии оборудования для проведения его обслуживания «по состоянию».

Выполнение требований к оперативной диагностике УЭЛС невозможно без введения в состав АСУ УЭЛС экспертной системы (ЭС) реального времени, содержащей знания конструкторов и технологов.

3. Использование экспертной системы при диагностировании

Создание ЭС – трудоемкий и длительный процесс. Возникает вопрос: почему не использовать для помощи обслуживающему персоналу конструкторов и технологов УЭЛС? Человек не может моментально дать ответ на любой вопрос даже в той сфере, в которой он является профессионалом. Это обусловлено тем, что опыт конкретного человека ослабевает, он должен постоянно практиковаться, чтобы сохранить свой профессиональный уровень. Человек может забыть в экстремальной ситуации важное правило из-за того, что его "поджимает" время или под влиянием стресса. Человек делает заключение с возможными субъективными ошибками. Процесс передачи знаний от одного человека к другому – трудный и дорогостоящий процесс. Высококвалифицированные эксперты редки, зарплата их высокая, а возможности ограничены в пространстве и времени.

Преимуществом ЭС являются их точность и удобство в работе [3, 4]. Расчеты проводятся быстро, результаты устойчивы и воспроизводимы. Стоимость разработки (труд высококвалифицированных программистов, экспертов) уравнивается стоимостью ее освоения и эксплуатации. Стоимость эксплуатации экспертной системы при решении задачи любой сложности равна номинальной стоимости прогона программы на компьютере.

Рассмотрим существующие на сегодняшний день ЭС, используемые для технического

диагностирования.

История развития ЭС реального времени началась в 1985 г., когда фирма Lisp Machine Inc. выпустила систему Picon для символьных ЭВМ Symbolics. Этот успех привел к тому, что группа ведущих разработчиков Picon в 1986 г. образовала частную фирму Gensym, которая, значительно развив идеи, заложенные в Picon, в 1988 г. вышла на рынок с ЭС под названием G2.

Основное предназначение программных продуктов фирмы Gensym (США) – помочь предприятиям сохранить и использовать знания и опыт их наиболее талантливых и квалифицированных сотрудников в интеллектуальных системах реального времени, повышающих качество продукции, надежность и безопасность производства и снижающих производственные издержки. О том, как фирме Gensym удастся справиться с этой задачей, говорит хотя бы то, что сегодня ей принадлежит 50% мирового рынка экспертных систем, используемых в системах управления.

С отставанием от Gensym на 2 – 3 года другие фирмы начали создавать свои ЭС реального времени. С точки зрения независимых экспертов NASA, проводивших комплексное исследование характеристик и возможностей некоторых из перечисленных систем, в настоящее время наиболее продвинутой ЭС, безусловно, остается G2 (Gensym, США); следующие места со значительным отставанием (реализовано менее 50% возможностей G2) занимают RTWorks – фирма Talarian (США), COMDALE/C (Comdale Techn. – Канада), COGSYS (SC – США), ILOG Rules (ILOG – Франция).

Классы задач, для которых предназначена G2 и подобные ей системы:

- мониторинг в реальном масштабе времени;
- работа с базой знаний;
- обнаружение неисправностей;
- диагностика;
- составление расписаний работы с оборудованием;
- планирование замены оборудования;
- оптимизация технического обслуживания оборудования;
- помощь оператору в обнаружении и устранении неисправностей.

Основным достоинством оболочки экспертных систем G2 является возможность применения ее как интегрирующего компонента, позволяющего за счет открытости интерфейсов и поддержки широкого спектра вычислительных платформ легко объединить уже существующие, разрозненные средства автоматизации в единую комплексную систему управления, охватывающую все аспекты производственной деятельности: от формирования портфеля заказов до управления технологическим процессом и отгрузки готовой продукции.

Процессы, происходящие при электронно-лучевой сварке, зависят от множества стохастических величин, методы учета которых (метод отношения правдоподобия, метод последовательного анализа, метод Монте-Карло и др.) носят приближенный характер, поэтому результаты математического моделирования могут существенно отличаться от результатов работы реальной УЭЛС.

Определим структуру интегрированной экспертной системы реального времени УЭЛС. Для выполнения приведенных выше задач она должна содержать следующие блоки:

База знаний содержит знания экспертов, о неисправностях контролируемого оборудования УЭЛС. Знания представляются в виде конкретных фактов и правил, по которым из имеющихся фактов могут быть выведены новые.

Решатель, используя исходные данные, полученные от оборудования УЭЛС и знания из БЗ, формирует такую последовательность правил, которые, будучи примененными к исходным данным, приводят к решению задачи.

Диалоговый компонент формирует объяснения оператору, как ЭС пришла к тому или иному выводу. Объяснения получают путем прослеживания и предоставления оператору тех шагов рассуждений ЭС, которые привели к данному выводу.

Компонент приобретения знаний предназначен для добавления в базу знаний ЭС новых фактов и правил, а также модификации имеющихся.

На рис. 1 представлена структура специализированной экспертной системы в составе АСУ УЭЛС.

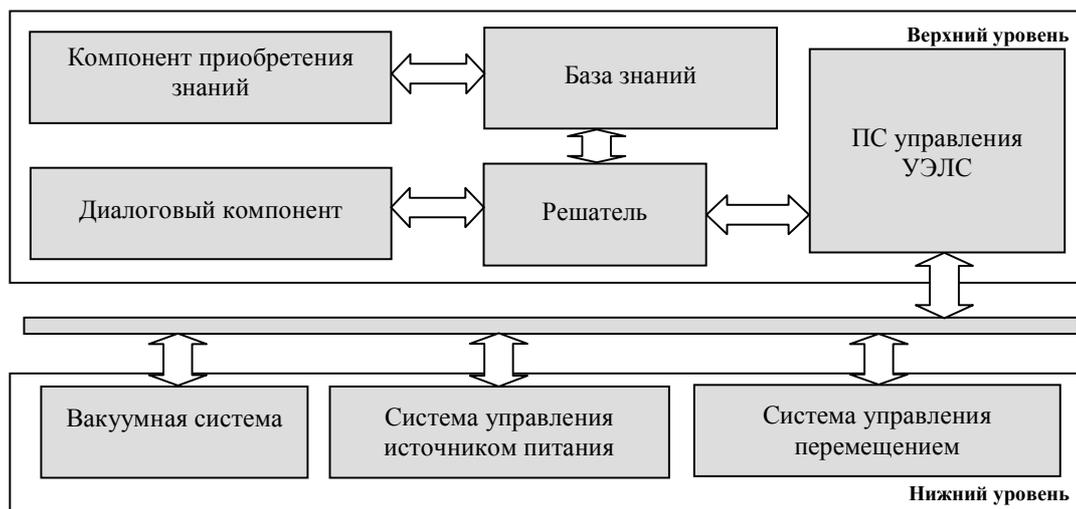


Рис. 1. Структура АСУ УЭЛС с интегрированной ЭС

4. Математические модели объекта диагноза

Вместе с тем парадигма математического и имитационного моделирования работы УЭЛС заключается в необходимости разработки такой математической модели (ММ) УЭЛС, количественные результаты которой были бы адекватны количественным результатам реальной УЭЛС, поскольку выбор оптимального (рационального) варианта УЭЛС осуществляется на количественной основе. Очевидно, что неадекватные количественные результаты использования ММ УЭЛС могут привести к неверному выбору режима сварки, а это приведет к экономическим потерям. Известно, что количественные результаты реальных процессов считаются адекватными процессам моделирования в том случае, если доказано, что выборки реальных значений показателей УЭЛС и полученных результатов

моделирования имеют одинаковые законы распределения. То есть, когда совместные функции распределения векторов, параметров, характеризующих условия функционирования УЭЛС модели, и векторов выходных характеристик равны

$$F_{УЭЛС} = (\bar{x}(t), \bar{y}(t)) = F_M(\bar{x}(t), \bar{y}(t)), \quad (1)$$

где $\bar{x}(t)$ – вектор параметров, характеризующий условия функционирования УЭЛС или модели;

$\bar{y}(t)$ – вектор параметров, характеризующий условия функционирования УЭЛС или модели;

$F_{УЭЛС}(\cdot)$, $F_M(\cdot)$ – совместные функции распределения векторов УЭЛС и модели соответственно.

Математическая модель (ММ) исправного объекта диагноза имеет вид

$$Z = \langle X, Y, t \rangle, \quad (2)$$

где X – n -мерный вектор входных переменных;

Y – m -мерный вектор внутренних переменных;

Z – k -мерный вектор значений выходных функций, отражает зависимость реализуемых объектом выходных функций от его входных переменных X , внутренних переменных Y и от времени t .

Для описания процедур диагностирования неисправного объекта в его предметной области задается полная структура функциональных связей для элементов (блоков). При этом соотношения между элементами позволяют находить значения одних элементов через другие. Задание исходных и целевых элементов приводит к поиску путей, ведущих от исходных элементов к целевым. Если хотя бы один такой путь существует, то по нему строится программа решения задачи диагностирования [5].

Математическая модель объекта диагноза (ОД), находящегося в i -ом неисправном состоянии, представляется в той же форме, что и ММ для исправного объекта:

$$Z^i = \langle X, Y_{нач}^i, t \rangle. \quad (3)$$

Система (3) для фиксированного i является ММ i -го неисправного объекта, при этом $Y_{нач}$ и $Y_{нач}^i$ могут не совпадать. Выражения (2) и (3) характеризуют связь между входным вектором $\langle X, Y \rangle$ и выходным Z . Система (2) и совокупность систем (3) для всех $s_j \in S$ образуют явную модель объекта диагноза, где s_j – j -я неисправность; S – множество одиночных и кратных неисправностей объекта. Если в явном виде задана только модель исправного объекта (2), а поведение ОД в i -неисправных состояниях представляется косвенно через множество S , то неявную модель ОД образуют зависимости (2); множество S возможных неисправностей, представленных их ММ; способ вычисления зависимостей (3) по зависимости (2) для любой s_i неисправности. Если же ММ отдельных неисправностей неизвестны, то зависимости (3) можно получить в процессе проверок ОД при наличии в нем соответствующих неисправностей и которые физически осуществимы в конкретных условиях диагностирования.

Элементарная проверка π_j ($\pi_j \in \Pi$, где Π – множество всех допустимых элементарных проверок ОД, $j=1, N$, где N – количество допустимых элементарных проверок) характеризуется воздействием на ОД и ответом ОД на это воздействие. Она определяется:

- входными переменными и последовательностью их значений X_j ;
- внутренними переменными и последовательностью их значений Y_j .

При этом ответом ОД на элементарную проверку является результат R_j^i , который характеризуется $\{\mathcal{Y}\}_j$ – множеством контрольных точек и зависит от технического состояния ОД (i – номер неисправности, j – номер элементарной проверки).

В общем случае результат элементарной проверки R_j^i определяется выражением

$$R_j^i = \langle \psi^i, \alpha_j, \{\mathcal{Y}\}_j \rangle, \quad (4)$$

где ψ^i – функция, описывающая i -ю неисправность;

α_j – воздействие в j -той элементарной проверке π_j ;

$\{\mathcal{Y}\}_j$ – множество контрольных точек в j -той элементарной проверке.

Практически используется более короткая запись функций значения α_j воздействия:

$$R_j = \psi(\pi_j) \quad (5)$$

как результат π_j – ой элементарной проверки исправного объекта.

$$R_j^i = \psi^i(\pi_j) \quad (6)$$

как результат π_j – ой элементарной проверки для i – неисправных объектов.

Модели (5) и (6) могут быть получены для элементарной проверки путем подстановки в правые части (2) и (3) значений X_j , $Y_{нач}$, t и вычисления тех компонент векторов Z и Z^i , которые сопоставлены контрольным точкам из множества $\{\mathcal{Y}\}_j$.

Функциональная модель ОД состоит из отдельных функциональных блоков, которые должны обладать следующими свойствами.

1. Число входов блока не ограничено. Если блок имеет K выходов, то он разбивается на K блоков с одним выходом, и у каждого из них остаются только те входы, от которых зависит выход рассматриваемого блока.

2. Внешние входы P_i – го блока ОД обозначаются через x_{i1}, x_{i2}, \dots , его внутренние входы, являющиеся выходами других блоков, – через y_{i1}, y_{i2}, \dots , выходы – через z_{i1}, z_{i2}, \dots .

3. Выходы различных блоков не могут быть объединены.

4. Для каждого i -го блока определена функциональная зависимость y_i от входных сигналов x_i .

5. Блок исправен, если входные сигналы блока допустимы, а выходной сигнал недопустим.

6. Недопустимое значение хотя бы одного входного сигнала блока приводит к появлению недопустимого выходного сигнала.

7. Предполагается, что по выходному сигналу блока можно определить, соответствует он допустимому или недопустимому значению.

8. Для любого выхода y_j , соединенного с любым входом x_i , область допустимых значений x_i совпадает с областью допустимых значений y_j .

9. Выходы блоков, охваченных обратной связью, имеют одно и то же (допустимые или недопустимые) значение.

Графически функциональная модель ОД изображается схемой, в которой функциональные блоки обозначены прямоугольниками, соединенными линиями со стрелками на концах, указывающими направление прохождения сигналов.

Логическая модель ОД как модель представления знаний строится по функциональной модели, состоящей из n связанных между собой блоков (компонентов структуры ОД). Символ входа x (или y) можно считать логической входной переменной, принимающей значение "истинно" (1), если это логическое высказывание «значение входа допустимо», и значение "ложно" (0) – в противном случае. Аналогично символы выходов z можно считать логическими выходными функциями, принимающими значение 1, если значения соответствующих им выходов допустимы, а 0 – в противном случае. Перебирая входные наборы P_i -того исправного блока, определим для каждого такого сочетания значение выхода z_{ij} ($j = 1, K_i$). Полученную функцию можно записать в виде ее совершенной дизъюнктивной нормальной формы. Это функция условий работы P_i блока по выходу z_{ij} и обозначается F_{ij} . Для непрерывных объектов функции F_{ij} являются монотонными. Для монотонных функций частная минимальная форма единственна. В результате минимизации функций F_{i1}, \dots, F_{iki} для каждого из выходов z_{i1}, \dots, z_{iki} блоков P_i получим совокупность существенных входов.

В логической модели ОД каждый блок P_i будет представлен блоками Q_{i1}, \dots, Q_{iki} , каждый с одним выходом z_{ij} и с s_j входами, существенными для выхода z_{ij} .

Логическая модель будет правильной, если для любой пары блоков справедливо: выход одного из блоков является входом другого, и подмножества допустимых значений входа и выхода, а также подмножества их недопустимых значений соответственно совпадают; для одноименных входов подмножества допустимых значений и соответственно подмножества недопустимых значений входов совпадают. Для правильной логической модели символы внутренних входов можно заменить символами связанных с ними выходов и перенумеровать блоки логической модели, обозначив их

символами Q_1, \dots, Q_n , где $n = \sum_{i=1}^N K_i$. На этом заканчивается построение логической модели ОД. В общем случае каждому исходному блоку P_i в функциональной модели соответствует подмножество блоков логической модели из $\{Q_1, \dots, Q_n\}$. В некоторых случаях логическая модель может совпадать с функциональной моделью ОД.

5. Стратегия диагностирования

Стратегия диагностирования – это совокупность принципов и правил, определяющих выбор варианта действий при поиске неисправностей в оборудовании ЭЛС в зависимости от сложившейся ситуации. В экспертной системе диагностирования эти правила и факты содержатся в базе знаний (БЗ). Программные средства БЗ обеспечивают поиск, хранение, преобразование и запись в память компьютера структурированных информационных единиц (знаний). Знания предметной области описываются продукциями. При этом БЗ открытая, позволяющая в процессе ее функционирования пополнять содержимое базы и убирать ненужные, устаревшие знания из базы.

В общем виде под продукцией понимается выражение следующего вида:

$$(i); Q; P; A \Rightarrow B; N, \quad (7)$$

где i – имя продукции. В качестве имени может выступать некоторая лексема, отражающая суть данной продукции;

Q – характеризует одну из диагностируемых систем УЭЛС, т.е. сферу применения продукции;

$A \Rightarrow B$ – ядро – основной элемент продукции. ЕСЛИ A , ТО B , более сложные конструкции ядра допускают в правой части альтернативный выбор, например, ЕСЛИ A , ТО B_1 , ИНАЧЕ B_2 ;

P – условие применимости ядра продукции. P представляет собой логическое выражение (предикат). Когда P принимает значение "истина", ядро продукции активизируется. Если P ложно, то ядро продукции не может быть использовано;

N – описывает постусловия продукции. Они актуализируются только в том случае, если ядро продукции реализовалось. Постусловия продукции описывают действия и процедуры, которые необходимо выполнить после реализации B .

В памяти системы хранится некоторый набор продукций, который образует систему продукций. В системе продукций задаются специальные процедуры управления продукциями, с помощью которых происходит актуализация продукций и вывод для выполнения той или иной продукции из числа актуализированных. При этом вывод в такой БЗ является монотонным, т.к. продукционная модель представления знаний меняется последовательно.

Однако стратегия поиска неисправностей однозначно не "накрывается" продукциями БЗ, поэтому оператор-технолог должен принимать и собственные решения. При этом значение вероятности $P_6(t)$ безотказной работы ОД в конце самого длинного режима работы УЭЛС должно быть

не ниже допустимого (заданного в ТЗ) значения вероятности правильного функционирования ОД [6]. Естественно, неправильное функционирование (появление отказов) ОД возможно с вероятностью $(1 - P_6(t))$, а профилактические (плановые и внеплановые) проверки и ремонт будут обеспечивать восстановление вероятности безотказной работы ОД в идеале до ее исходного значения $P_6(t_0)$. Таким образом, стратегия диагностирования оборудования ЭЛС состоит в разумном сочетании знаний экспертов, хранящихся в БЗ, и знаний оператора-технолога, за которым остается окончательное принятие решения.

Описание предметной области ЭС проведем на примере вакуумной системы.

Таблица 1. Компоненты вакуумной системы и их неисправности

		Наименование	Неисправности
Насосы	Форвакуумные		отказ вкл./выкл.
	Бустерные		перегрев
	Диффузионные		отказ вкл./выкл. перегрев обрыв спирали нагревающего элемента натекание в насос
	Турбомолекулярные		отказ вкл./выкл.
Вакуумные клапаны	Запорные	Угловые (вакуумные краны)	отказ откр./закр.
		Проходные (вакуумные затворы)	
	Напускные (натекатели)		
Вакуумметры	Термоэлектрические		отказ испр./не испр.

6. Алгоритмы диагноза

Построение алгоритмов диагноза в предметной области, описанной выше, опирается на понятия, используемые для описания этой области, вместе с их свойствами и характеристиками, классификацией этих понятий по типам, признакам, ситуациям в данной области и процессами, протекающими в ней. Концептуальная модель описанной предметной области используется в БЗ ЭС диагностики оборудования УЭЛС. На рис. 2 представлен граф причинно-следственных связей функционирования откачки описанной выше вакуумной системы УЭЛС, элементы которого Q_1 – вакуумная камера; Q_2 – вакуумный клапан; Q_3 – вакуумный клапан; Q_4 – форвакуумный насос; Q_5 – вакуумный клапан; Q_8 – вакуумный затвор; Q_9 – диффузионный насос; D_1, D_2 – датчики давления. Этому графу соответствует логическая модель, представленная на рис. 3. При этом добавились

следующие компоненты: Q_6 и Q_7 – напускные клапаны; $X_1, X_4, X_5, X_6, X_7, X_8, X_9$ – входные переменные.

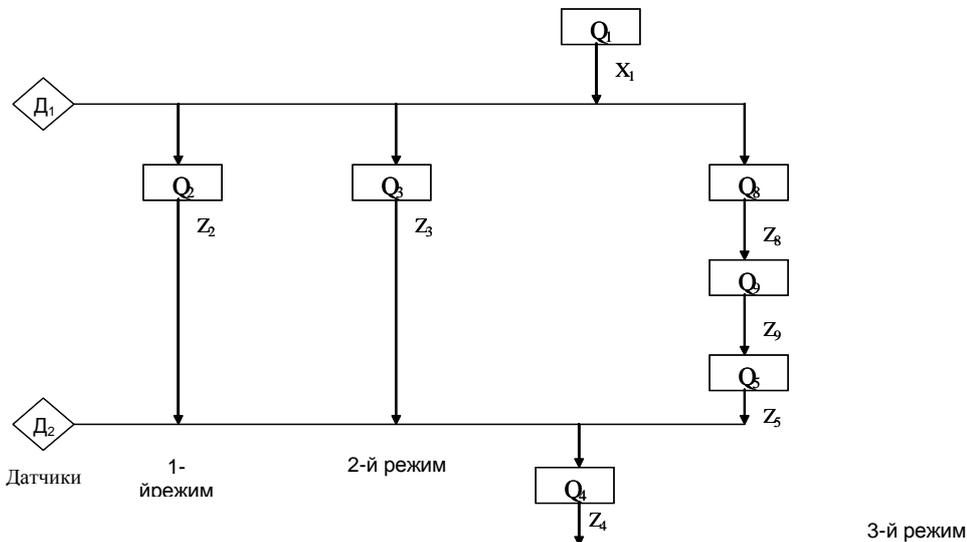


Рис. 2. Граф причинно-следственных связей вакуумной системы УЭЛС

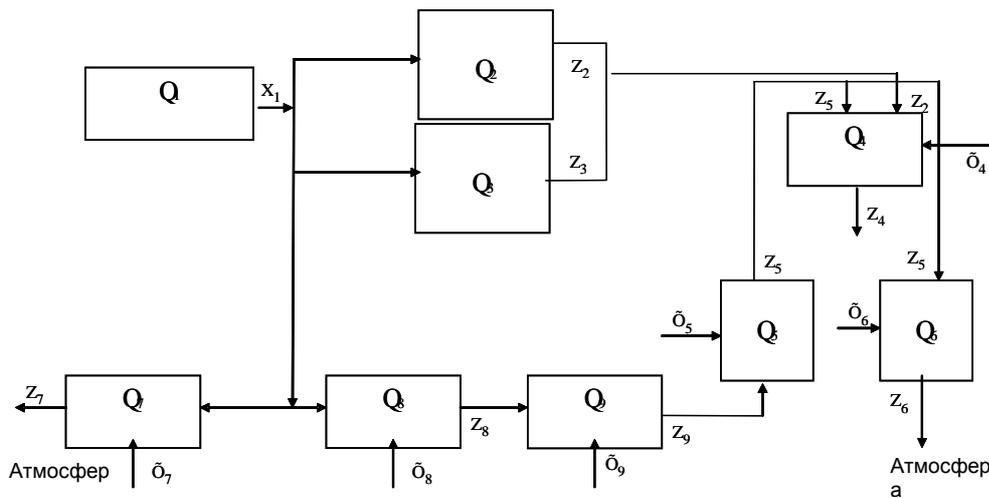


Рис. 3. Логическая модель вакуумной системы УЭЛС

7. Методология построения алгоритмов диагноза

Для выявления неисправного блока вакуумной системы УЭЛС используем метод диагностики сложных технических систем, разработанный П.П. Пархоменко и Е.С. Согомоняном [4]. В этом методе используются математические модели логического типа, которые удобны для составления правил продукций базы знаний экспертной системы УЭЛС. Выбор этого метода обусловлен тем, что

диагностируемое оборудование можно представить в виде отдельных блоков, о состоянии которых можно утверждать: исправен, неисправен. Кроме того, данный метод позволяет построить алгоритм проверки технического состояния оборудования УЭЛС в виде конъюнкции технических состояний «представительных» блоков. Это позволяет в режиме реального времени получить информацию об исправности оборудования УЭЛС. Для нахождения «представительного» блока по логической модели строится таблица функций неисправностей.

Процедура построения таблицы функций неисправностей следующая: строкам ставятся в соответствие допустимые элементарные проверки из множества π , а столбцам – элементы Q_j множества E – технических состояний ОД или, что то же, функции ψ (5) и ψ^i (6), реализуемые ОД, находящимся в исправном состоянии e . Неисправные состояния для рассматриваемого ОД удобно обозначить символами Q_i . Элементарные проверки (строки таблицы, контрольные точки) вместо π_j будем обозначать символами z_i выходов блоков логической модели ($i = 1, h, h$ – количество блоков логической модели). Содержимым клетки ji таблицы функций неисправности является элемент R_i множества результатов R . При этом значение выхода z_i для j -го, $j = \overline{1, h + 1}$ технического состояния ОД может быть допустимым (1) или недопустимым (0).

Таблица 2. Таблица функций неисправностей для логической модели 1-го режима

R		E		
		e	Q2	Q4
П	z2	1	0	1
	z4	1	0	0

Таблица 3. Таблица функций неисправностей для логической модели 2-го режима

R		E		
		e	Q3	Q4
П	z3	1	0	1
	z4	1	0	0

Таблица 4. Таблица функций неисправностей для логической модели 3-го режима

<i>R</i>		<i>E</i>				
		<i>e</i>	Q8	Q9	Q5	Q4
П	z8	1	0	1	1	1
	z9	1	0	0	1	1
	z5	1	0	0	0	1
	z4	1	0	0	0	0

Многорежимный объект – вакуумная система УЭЛС исправна (работоспособна), если она исправна (работоспособна) в каждом режиме ее работы. В 1-м режиме алгоритм проверки правильности функционирования содержит одну элементарную проверку z4 (разряжение воздуха в вакуумной системе, создаваемое насосом 4). Алгоритм проверки для 2-го режима аналогичный – z4. Алгоритм проверки вакуумной системы в 3-м режиме объединяет в одну общую проверяющую совокупность алгоритмы режимов и имеет вид

$$T = z4 \wedge z5 \wedge z8 \wedge z9. \quad (8)$$

8. Выводы

Истинность полученной проверяющей совокупности Т является необходимым и достаточным условием истинности конъюнкции вида (8), т.е. условием правильности функционирования, работоспособности и исправности вакуумной системы УЭЛС. Отметим, что алгоритмы диагноза, построенные относительно одиночных неисправностей логической модели, обнаруживают также и одновременно существующие неисправности нескольких блоков логической модели. Это происходит потому, что блоки логической модели реализуют булевы функции, а возможными неисправностями являются неисправности типа $1 \rightarrow 0$.

Алгоритмы проверки правильности функционирования многорежимных ОД строятся для каждого режима по соответствующей таблице функции неисправностей. При этом многорежимный ОД исправен, если он исправен в каждом режиме его работы. Поэтому построение алгоритма проверки исправности (работоспособности) многорежимного ОД следует выполнять путем отдельного определения проверяющих совокупностей контрольных точек для каждого режима с последующим объединением этих совокупностей в одну общую.

Отметим, что алгоритмы проверки технического состояния как одnoreжимного, так и многорежимного ОД, могут быть реализованы в системах тестового и функционального диагностирования. При функциональном диагностировании сигналы настройки объекта на разные режимы его работы рассматриваются как рабочие входные воздействия и должны подаваться на средства диагноза для перестройки физической модели объекта. Это делается для выделения из

общей проверяющей совокупности контрольных точек тех, параметры сигналов в которых подлежат контролю и анализу в соответствующем режиме.

При построении алгоритмов диагностирования объектов, содержащих многоканальные блоки, процедура осуществляется аналогично многорежимным объектам. По имеющимся для каждого из разделяющихся наборов логической модели таблицы функций неисправностей находятся проверяющие совокупности контролируемых выходов блоков. Затем эти совокупности объединяются в одну общую, которая может быть использована в процедуре выработки генеральной совокупности контролируемых выходов блоков логической модели.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Назаренко О.К. и др. Электронно-лучевая сварка. – К.: Наукова думка, 1987. – 320 с.
2. Морозов А.А., Литвинов В.В., Казимир В.В. Адаптивное управление с моделями в электронно-лучевой сварке // Математические машины и системы. – 2003. – № 3, 4. – С. 170–180.
3. Попов Э.В. и др. Статистические и динамические экспертные системы.– М.: Финансы и статистика, 1996. – 232 с.
4. Питер Д. Введение в экспертные системы. – М.: Финансы и статистика, 2001. – 246 с.
5. Пархоменко П.П., Согомонян Е.С., Карибский В.В. Основы технической диагностики: В 2 т. – М.: Энергия, 1981.
6. Азарсков В.Н., Стрельников В.П. Надежность систем управления и автоматики: Учебное пособие. – К.: НАУ, 2004. – 164 с.