

СИСТЕМА ДИАГНОСТИКИ ДЛЯ УСТАНОВОК ЭЛЕКТРОННО-ЛУЧЕВОЙ СВАРКИ

Abstract. In the paper are given theoretical and practical bases of construction of the diagnostic system for the machine of electron-beam welding. The architecture of the diagnostic system is presented. Attention is paid to basic algorithms for solving the tasks of monitoring the state of machine, active diagnosis, forecasting, recovery of incomplete or distorted information, as well as to the operation principles of the system of making decisions support.

Key words: diagnostic system, architecture, monitoring, forecasting, data recovery, DSS.

Анотація. У статті викладені теоретичні та практичні основи побудови системи діагностики для установок електронно-променевого зварювання. Наведено архітектуру системи діагностики. Розглянуто основні алгоритми рішення задач моніторингу стану установки, активної діагностики, прогнозування, відновлення неповної чи спотвореної інформації, а також принципи роботи системи підтримки прийняття рішень.

Ключові слова: система діагностики, архітектура, моніторинг, прогнозування, відновлення інформації, СППР.

Аннотация. В статье излагаются теоретические и практические основы построения системы диагностики для установок электронно-лучевой сварки. Представлена архитектура системы диагностики. Рассмотрены основные алгоритмы решения задач мониторинга состояния установки, активной диагностики, прогнозирования, восстановления неполной или искаженной информации, а также принципы работы системы поддержки принятия решений.

Ключевые слова: система диагностики, архитектура, мониторинг, прогнозирование, восстановление информации, СППР.

1. Введение

Для изготовления ответственных узлов с повышенными требованиями к качеству соединения используются электронно-лучевые сварочные установки (ЭЛСУ). Данные установки обеспечивают высокие показатели качества соединения при минимизации побочного воздействия технологического процесса на структуру обрабатываемого материала, а также имеют высокие показатели гибкости. Однако техническая сложность установок, количество и уровень требований к их параметрам, высокие физические уровни энергетических параметров выдвигают необходимость значительных затрат на обслуживание ЭЛСУ для обеспечения заданных показателей технической готовности. В частности, необходимо обеспечивать стабильность заданных технологических параметров на протяжении всего цикла обработки детали (или группы деталей), гарантирующих экономическую эффективность как сварочной операции, так и всего производственного процесса в целом.

Повышение показателей качества сварочных установок возможно осуществить за счет более высоких показателей надежности ее компонентов, прогнозирования и оценки работоспособности системы в целом и ее компонентов, согласования производственной программы с текущим состоянием установки. Одним из наиболее приемлемых направлений представляется внедрение систем технической диагностики для обеспечения оптимальности производственной загрузки ЭЛСУ, минимизации циклов технического обслуживания и обеспечения более высоких показателей его эффективности, модификации параметров сварочного процесса в условиях нестабильности технологической системы.

Для прогнозных и оценочных расчетов параметров состояний установки необходимо обеспечить сбор, передачу, обработку и хранение диагностических данных, разработать соответствующее программное обеспечение. Данная задача предусматривает определение набора

информативных сигналов, наличие надежно функционирующей системы датчиков и устойчивого к промышленным помехам сетевого оборудования, адекватных алгоритмов обработки данных и управления ЭЛСУ.

Качество функционирования ЭЛСУ определяется:

- качественными и количественными показателями технологического процесса (сваривание электронным лучом);
- показателями безопасности функционирования оборудования ЭЛСУ;
- показателями автоматизации процессов обеспечения функционирования ЭЛСУ, в том числе процессов диагностирования и восстановления работоспособности.

Другая проблема диагностики сварочных установок – недостаток информации. Возникает вопрос возможности проведения экспериментов с целью поиска неисправности, детализации места отказа, восстановления полноты данных и функциональных зависимостей. Важно также на основе накопленных сведений о параметрах создавать эталонные модели работы объекта контроля, обучать систему диагностики, модифицировать алгоритмы диагностики ЭЛСУ. Проведение сравнительного анализа эталонной модели для заданного режима работы с текущими моделями позволит находить и идентифицировать отклонения от нормального состояния [1].

2. Постановка задачи

Создание системы диагностики установок электронно-лучевой сварки, способной выполнять следующие функции:

- сбор, передача, обработка и хранение диагностических данных;
- мониторинг исправности состояния установки – периодическая проверка нахождения параметров подсистем в допустимых диапазонах;
- определение типа и места отказа;
- формирование реакций на неисправности с целью демпфирования последствий;
- прогнозирование параметров подсистем;
- проведение экспериментов с целью активного поиска неисправности и детализации места отказа;
- создание эталонных моделей работоспособности системы;
- определение функции исправности, отделяющей исправное и неисправное состояния на базе эксплуатационных данных.

Для успешной реализации задачи в составе системы диагностики ЭЛСУ должны быть:

- система датчиков;
- сетевое оборудование, устойчивое к промышленным помехам;
- адекватные алгоритмы обработки данных и управления ЭЛСУ;
- соответствующее программное обеспечение системы [2].

Диаграмма вариантов использования системы диагностики, которая удовлетворяет заданным функциональным требованиям, представлена на рис. 1.

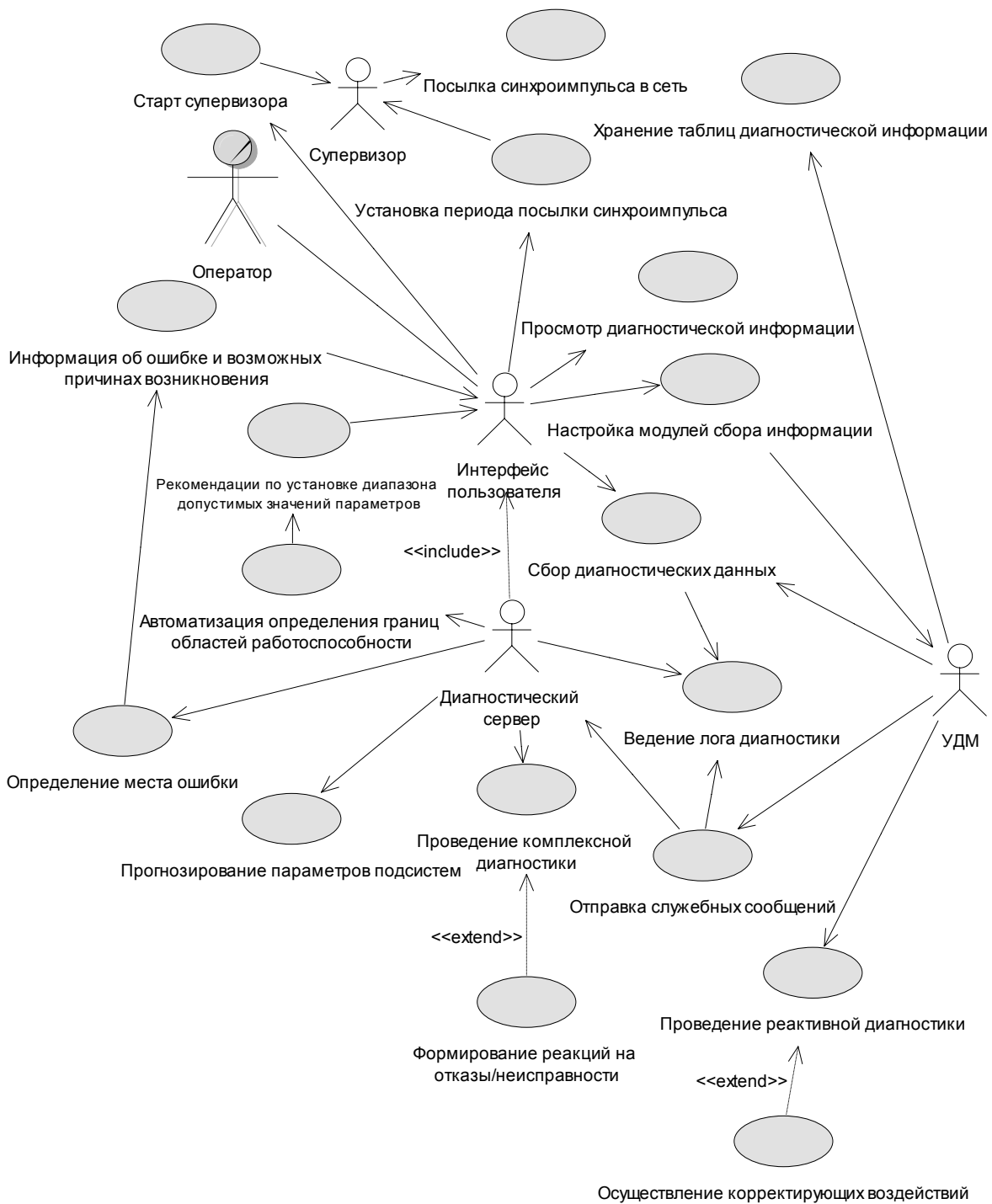


Рис. 1. Диаграмма вариантов использования системы диагностики для ЭЛСУ

3. Архитектура системы диагностики

Для системы диагностики ЭЛСУ предлагается использовать следующую двухуровневую архитектуру (рис. 2).

Нижний уровень – диагностическая локальная сеть (ДЛС) – программно-аппаратный уровень сбора информации, первичного анализа, мониторинга функционирования узлов технологического оборудования, формирования диагностических сообщений. Диагностическая локальная сеть реализуется на основе последовательного протокола связи CAN (ISO 11898).



Рис. 2. Структурная схема системы диагностики для установок электронно-лучевой сварки

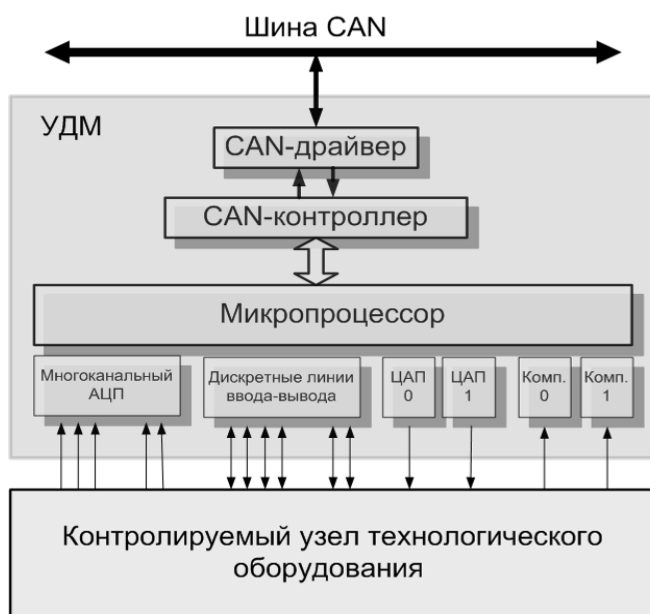


Рис. 3. Структурная схема универсального диагностического модуля

Посредством шины CAN она объединяет несколько универсальных диагностических модулей (УДМ), супервизор и компьютер, выполняющий функции сервера. Универсальные диагностические модули обеспечивают съем диагностической информации с функциональных компонентов ЭЛСУ. Количество УДМ не является фиксированным и может варьироваться в зависимости от особенностей структуры ЭЛСУ и потребностей в диагностической информации, ограничения накладываются лишь стандартом протокола CAN.

Универсальный диагностический модуль (УДМ) – это блок, который используется для контроля функционирования и управления узлами технологического оборудования (рис. 3). В качестве ядра модуля используется микропроцессор Cygnal C8051F005 с развитой периферией, имеющий в своем составе многоканальный АЦП, ЦАП, аналоговые компараторы и цифровые порты ввода-вывода. Микропроцессор через стандартный последовательный порт SPI соединяется со специализированным микроконтроллером MCP2510, обслуживающим протокол шины CAN. Модуль

конструктивно выполнен в виде отдельного функционального блока (небольшой платы), оснащенной разъемами для подключения к контролируемым устройствам и к шине CAN.

Супервизор представляет собой стандартный диагностический модуль, подключенный к CAN-сети, в функции которого входит посылка синхроимпульса в CAN-сеть с заданным периодом времени.

Верхний уровень – диагностический сервер на базе ПК. Выделяют подуровни:

- уровень бизнес-логики – отвечает за сбор информации от разных модулей диагностической локальной сети, протоколирование, аналитическую обработку информации. Состоит из логических модулей, каждый из которых отвечает за свою задачу (модуль анализа данных и выдачи диагностических сообщений, модуль оценки сеансов диагностики, модуль диагностических тестов, модуль алгоритмов прогнозирования, прочее);

– уровень интерфейса пользователя – отвечает за отображение накопленной информации, а также предоставляет оператору возможность управления и настройки системы диагностики, доступ к интерактивной справочной системе.

Оба уровня включают в себя программные драйвера ДЛС, которые преобразуют данные, подлежащие пересылке, в пакеты CAN-сети. Драйвер ДЛС диагностического сервера дополнительно обеспечивает начальную инициализацию микропроцессорных модулей и поддержку целостности сети.

Предусмотрено также использование специальных подпрограмм-адаптеров, которые выполняют начальную настройку системы диагностики на работу с электронно-лучевой сварочной установкой конкретного типа [2].

4. Идентификация пользователей

В настоящий момент программное обеспечение электронно-лучевых сварочных установок предусматривает 2 категории пользователей: операторы и администраторы.

Операторы сварочных установок могут работать лишь с базовым набором функций и имеют доступ только к основным рабочим процедурам. Для операторов ограничен доступ к некоторым функциям программного обеспечения. Например, к процедурам администрирования подсистем и модулей программного обеспечения или к ручному режиму управления вакуумной системой.

Администраторы – это операторы установки с особыми правами, которым доступны все функции и рабочие процедуры, в том числе изменение списка пользователей системы [3].

Внедрение в программное обеспечение ЭЛСУ системы диагностики вызывает необходимость добавления новой категории пользователей – диагностов. Таким пользователям будут доступны все функции модулей системы диагностики, их настройки, модификации алгоритмов диагностики. Пользователи-администраторы по-прежнему имеют доступ ко всем функциям программного обеспечения ЭЛСУ без ограничений.

5. Алгоритмы диагностики

5.1. Алгоритмы мониторинга и формирования управляющих воздействий

Мониторинг исправности состояния установки осуществляется на двух уровнях. На нижнем уровне выполняется универсальными диагностическими модулями, каждый из которых хранит диагностические таблицы, содержащие информацию о снимаемых параметрах в следующем виде:

- номер входа УДМ;
- минимальное и максимальное допустимые значения параметра (для аналогового параметра);
- значение параметра в нормальном режиме работы (для цифрового параметра);
- масштабирующий коэффициент и смещение (для приведения значения снимаемой с АЦП характеристики к реальным значениям величин);
- частота проверки параметра на УДМ (в единицах времени);
- частота отсылки значения параметра на ДС (в синхроимпульсах);

– максимально допустимое время нахождения значения параметра вне заданных условий (для фильтрации случайных всплесков величин).

Для выработки диагностических сообщений используются структуры следующего вида:

- идентификатор сообщения;
- логический предикат возникновения сообщения;
- набор управляющих воздействий, осуществляемых при истинности логического предиката.

Логический предикат представляет собой набор параметров, снимаемых с установки УДМ. Диагностическое сообщение с заданным идентификатором генерируется, когда все параметры предиката находятся в состоянии ошибки. Для аналогового параметра дополнительно учитывается граница контроля: минимум или максимум.

Введём следующие обозначения:

P_k – логический предикат возникновения сообщения; если в некоторый момент времени P_k возвращает значение «истина», генерируется диагностическое сообщение с идентификатором k ;

A_i – значение аналогового параметра системы; в нормальном режиме работы лежит в заданном диапазоне $[X_i, Y_i]$;

D_i – значение цифрового параметра (0 или 1).

Примерами логического предиката могут быть структуры вида

$$P_1(A_1, Y_1) = A_1 > Y_1,$$

$$P_2(A_1, A_2, X_1, X_2) = (A_1 < X_1) \wedge (A_2 > X_2),$$

$$P_3(A_1, X_1, D_1) = (A_1 < X_1) \wedge D_1.$$

Набор управляющих воздействий – необязательное поле структуры, которое содержит указания по изменению значения управляющего параметра (выход УДМ) или по отправке в сеть пакета с заданным идентификатором. Действия осуществляются при выполнении логического предиката.

Мониторинг на верхнем уровне имеет схожий алгоритм, за исключением того, что частота проверок существенно меньше и в логический предикат возникновения диагностического сообщения могут быть включены параметры от разных УДМ.

Синхроимпульс генерируется супервизором с заданным периодом времени и определяет частоту отправки данных от УДМ диагностической сети, а также инициализирует цикл диагностики на верхнем уровне. К примеру, аналоговый параметр A контролируется одним диагностическим модулем и отсылается на сервер с каждым синхроимпульсом, а цифровой параметр D контролируется другим УДМ и отсылается на сервер с каждым вторым синхроимпульсом. Проверка на сервере происходит с каждым четвёртым синхроимпульсом. Условие выработки диагностического сообщения – превышение максимума параметром A и ошибочное значение параметра D в течение трёх последовательных проверок.

В данной системе будем выделять три типа диагностических сообщений:

- критические – означают невозможность продолжения работы установки;
- некритические – отказ не оказывает существенного влияния на работу установки;
- статусные и информационные – вспомогательные сообщения, предназначенные для оператора установки или программного обеспечения диагностического сервера.

Информация о состоянии параметров ЭЛСУ (рис. 4), а также о диагностических сообщениях (рис. 5) отображается в интерфейсе системы диагностики и доступна всем категориям пользователей без ограничений.

По каждому сообщению предлагается справочная информация, включая расположение места неисправности и способы её устранения.

System overview									
Motion system state									
X, mm	-315.74	Z, mm	-715.43						
Y, mm	-7.45	W, deg	15.00						
Vacuum system state									
Gun, Torr	4.3	-5	Chm, Torr	9.7	-5				
Power supply state									
Filament and bias unit		High-voltage power supply				Focusing system			
I _{FIL} , mA	32.21	+30V	29.78	F1, V	9.87	I _{FOC SET} , mA	420.00	60 kV SET	59.87
U _{FIL} , kV	5.21	24V (+PLC)	27.29	F3, kV	57.45	I _{FOC FB} , mA	436.27	60 kV FB	59.42
I _{BOMB} , mA	45.57	I _{FIL SET} , mA	32.00	I _{BOMB SET} , mA	43.00	I _{FOC OK}	<input checked="" type="radio"/>	ACC IS ON	<input type="radio"/>
U _{BOMB} , kV	6.41	I _{FIL FB} , mA	32.23	I _{BOMB FB} , mA	45.56	READY 1	<input type="radio"/>	READY 2	<input type="radio"/>
		CATH. IS ON				READY	<input type="radio"/>	PP2 COOL	<input type="radio"/>
Electron beam equipment state									
Beam control unit									
U _{BIAS} , kV	6.27	I _{W FB} , mA	457.41						
U _{GRID} , kV	59.14	U _{ST GRID} , kV	57.87						
U _{ST SHIELD} , kV	57.42								

Рис. 4. Отображение состояния параметров системы в интерфейсе оператора установки

Status and error messages	
Diagnostic system	Subsystems
Motion system messages	
Time	Message
10:01:12:025	Left cart in chamber
Vacuum system messages	
Time	Message
10:05:47:897	PUMP mode is actual
10:05:53:910	DP1 leaking
Power supply messages	
Time	Message
11:01:45:897	Uacc PP2 cooling error
11:07:12:157	Ibomb stabilizer warning
11:07:12:871	Ifocus value error

Рис. 5. Отображение диагностических сообщений в интерфейсе оператора установки

5.2. Алгоритмы активной диагностики

Алгоритмы проведения экспериментов с целью поиска неисправности и детализации места отказа могут производиться во время простоя ЭЛСУ и представляют собой набор последовательных проверок и управляющих воздействий. В зависимости от результатов проверок делается вывод о неисправности того или иного функционального узла оборудования.

Примерами таких алгоритмов могут быть алгоритмы диагностики тока пучка, тока фокусировки, алгоритмы диагностики блока накала и бомбардировки, системы управления перемещениями и прочие. Доступ к модулю проведения диагностических тестов, а также к системе настройки модуля и корректировки алгоритмов должны иметь только пользователи с правами диагноста или администратора.

5.3. Алгоритмы прогнозирования

Прогнозирование тренда параметров осуществляется путём линейной аппроксимации значений экспериментальных данных за некоторый период времени. Пример – определение оставшегося

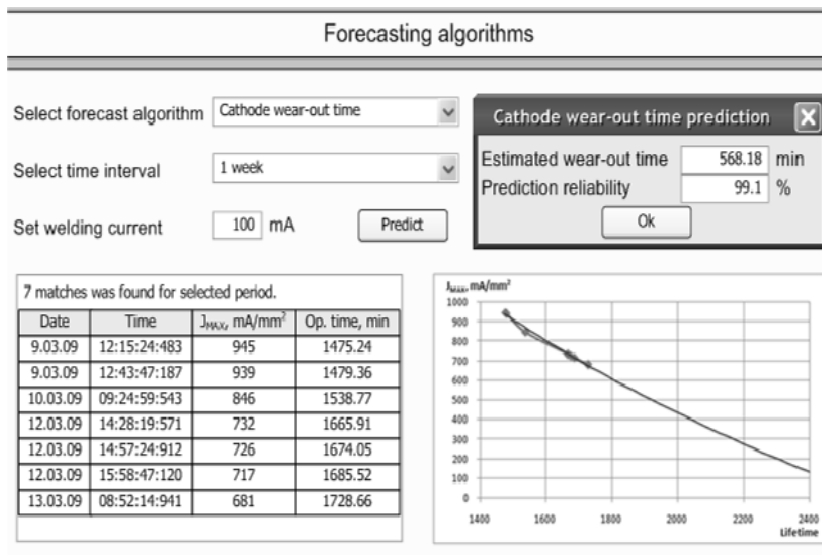


Рис. 6. Интерфейс модуля алгоритмов прогнозирования

ресурса катода электронной пушки на основе информации о сроке службы и максимальной плотности тока пучка при разных диагностических тестах (рис. 6).

Модуль алгоритмов прогнозирования не будет доступен пользователям с правами оператора.

5.4. Алгоритмы системы поддержки принятия решений

Работа системы поддержки принятия решений (СППР) в установках электронно-лучевой сварки производится в условиях значительной неопределённости. Неопределённость возникает в тех случаях, когда отсутствуют формализация, чёткие алгоритмы работы для задач, решаемых системой, в силу их сложности или размерности. Поскольку цели и задачи, выполняемые системой, определяются на этапе построения системы лицами, принимающими решения, то имеет место субъективный человеческий фактор при формулировке задач системы. Нечёткость постановки целей является основной причиной возникновения неопределённости в СППР. Совместно с нечёткостью внешнего и внутреннего пространств СППР эти причины определяют нечёткость выходного пространства.

Следовательно, для уменьшения неопределённости в системе необходимо больше внимания уделять более точной и корректной формализации целей, а также постановке задач системы. Чтобы не происходило «нарастание» нечёткости в процессе принятия решений, необходимо корректно пользоваться шкалами для представления входных данных и результата.

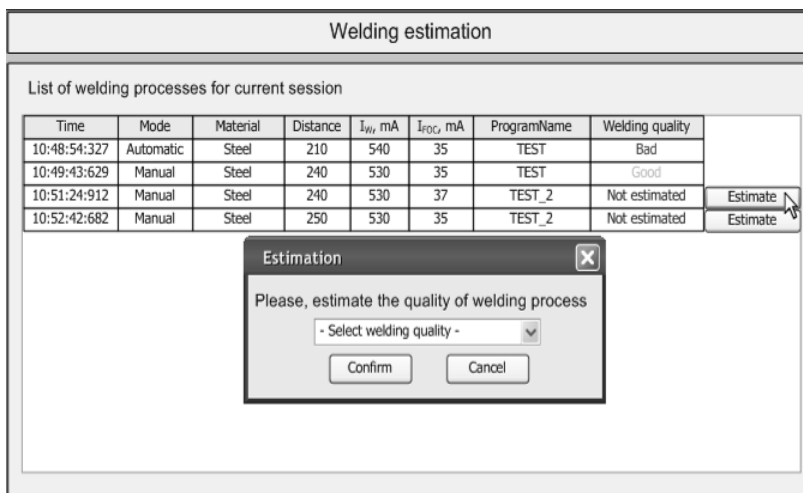
Основными методами снятия или учёта неопределённости в СППР являются методы теории вероятности и методы нечёткой логики.

Использование методов теории вероятности очень трудоёмко и требует обширной статистической информации, сбор которой, если он вообще возможен, очень длителен. Поэтому, хотя в основе данных методов лежит формализованный мощный математический аппарат, позволяющий с высокой точностью «снимать» неопределённость, большее применение получили методы теории нечётких множеств.

Использование нечёткой логики в СППР даёт приближенные, но в то же время эффективные способы описания поведения систем, настолько сложных и плохо определенных, что они не поддаются точному математическому анализу. Однако использование нечёткой логики в

описании систем простых, легко поддающихся алгоритмизации и формализации, не имеет смысла, поскольку приводит лишь к увеличению погрешности и искусственному внесению в формальные методы ненужной нечёткости. [4]

Помощь оператору в определении границ областей, отделяющих исправное и неисправное



состояния, производится на базе накопленных эксплуатационных данных. После каждого сеанса работы диагноста предлагается оценить качество сварки по некоторой шкале нечётких категорий (рис. 7). Эта информация может быть использована для выдачи рекомендаций по допустимым значениям параметров установки в случае сеансов сварки с похожими начальными условиями

Рис. 7. Интерфейс модуля оценки сеансов диагностики

(тип и материал детали, расстояние до свариваемой поверхности, толщина стыка и т.д.).

Со временем накопленная информация об эксплуатационных данных и сеансах сварки станет основой для дальнейшего развития СППР в установках электронно-лучевой сварки. Для определения эталонных функций работоспособности может использоваться не только аппарат нахождения прямых функциональных зависимостей, но и нейронная сеть, метод группового учета аргументов (МГУА) или другие аппараты, способные настраиваться и обучаться на новых данных в ходе эксплуатации системы.

5.5. Алгоритмы восстановления информации

Реальные таблицы данных часто содержат пробелы: у некоторых объектов значение того или иного признака может отсутствовать. Это может быть связано с отказом оборудования, потерей информации по техническим причинам, а также по субъективным обстоятельствам. В результате на вход программ анализа данных подается таблица с одним или несколькими пустыми клеточками. Большинство известных методов анализа данных не рассчитано на обработку "неполных" таблиц, в связи с чем стали делаться попытки решать задачи заполнения содержащихся в них пробелов.

Существуют различные методы восстановления пропусков данных: методы, основанные на элементарных вычислениях, статистические методы, нейросетевые, эволюционные. Каждый из них имеет свои особенности применения. Так, методы, основанные на элементарных вычислениях, рационально использовать тогда, когда число пропусков незначительно. Статистические методы используют при существовании линейной зависимости между входными факторами и результирующими характеристиками. Нейросетевые методы, в общем случае, позволяют обрабатывать различные структуры пропусков, но точность оценок будет определяться

информативностью и полнотой данных для обучения нейронных сетей, а также их архитектурой и законами функционирования. Эволюционные методы, интегрирующие в себе нейросетевую идентификацию и генетическую оптимизацию, зарекомендовали себя как методы, обеспечивающие высокую точность результатов. Однако они требуют значительных вычислительных ресурсов.

Иногда имеющиеся в таблице данные могут быть искажены (например, при неисправностях измерительной аппаратуры). В этих случаях задача обнаружения возникающих ошибок не менее важна и актуальна, чем задача предсказания пропущенных элементов таблицы. В этом случае алгоритмы, используемые для восстановления пропущенных данных, могут использоваться для решения задачи обнаружения ошибок в исходной таблице данных (так называемый режим редактирования таблицы). Для этого программа должна по очереди предсказывать все элементы таблицы и сравнивать результат предсказания с фактически имеющимися данными. Если предсказанное значение совпадает с исходным или мало отличается от него, то это говорит о том, что элемент хорошо согласуется с закономерностями таблицы, а значит, в таблице отсутствует ошибка по этому элементу. Если же обнаруживается большое расхождение, то это свидетельствует о необходимости проверки данного элемента. Если такая проверка отражает факт, выпадающий из общей закономерности, то истинность этого факта нужно подтвердить дополнительными измерениями (если их возможно осуществить) либо признать факт ошибочным и расценивать, как пропущенное значение таблицы. Таким образом проверяются все элементы таблицы и при необходимости устраняются все ошибки, которые вносят противоречия между действительными значениями элементов таблицы и их предсказанными значениями [5-7].

Предлагается также улучшить систему сбора и хранения диагностических данных путём формирования и отправки пакетов с информацией от разных ЭЛСУ в одну общую базу данных. В дальнейшем накопленная диагностическая информация может быть использована для обучения системы, корректировки алгоритмов и эталонных моделей функционирования объекта диагностики.

6. Выводы

Система диагностики для установок электронно-лучевой сварки позволит повысить надёжность оборудования и уменьшить затраты на обслуживание установки, поиск и идентификацию неисправностей. Эксплуатационные данные, собранные от разных установок, могут быть использованы для формирования инсталляционных пакетов с усовершенствованными алгоритмами прогнозирования и определения эталонных моделей работы объекта контроля. Для большей эффективности система должна быть гибкой и обучаемой, способной работать в условиях неполноты данных. Использование подпрограмм-адаптеров позволит настроить систему диагностики для работы с установкой конкретного типа без изменения программного кода системы.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Основы технической диагностики / В.В. Карибский, П.П. Пархоменко, Е.С. Согомонян, В.Ф. Халчев. – М.: Энергия, 1976. – 464 с.
2. Системы диагностики для установок электронно-лучевой сварки / В.В. Литвинов, И.Ю. Григорьев, В.В. Грачёв, В.Ю. Жигульская. – К.: Институт проблем математических машин и систем, 2009. – 157 с.
3. Electron beam welding machine KL118.00.00.000. Maintenance manual. – К.: Paton electric welding institute, 2004. – 443 p.

4. Крислов В.А. Неопределённость данных и знаний в системах поддержки принятия решений / В.А. Крислов, Д.В. Шабдаш // Искусственный интеллект. – 2003. – № 1. – С. 67 – 74.
5. Васильев В.И. Восстановление пропущенных данных в эмпирических таблицах / В.И. Васильев, А.И. Шевченко // Искусственный интеллект. – 2003. – № 3. – С. 317 – 324.
6. Снитюк В.Є. Прогнозування. Моделі. Методи. Алгоритми / Снитюк В.Є. – К.: Маклаут, 2008. – 364 с.
7. Загоруйко Н.Г. Алгоритмы обнаружения эмпирических закономерностей / Н.Г. Загоруйко, В.Н. Ёлкина, Г.С. Лбов. – Новосибирск: Наука, 1985. – 108 с.

Стаття надійшла до редакції 23.12.2009