

## **Адаптивная система управления сварочным оборудованием**

**А.И.Гаврилов, Мин Мин Тун, Ситу Аунг Сое, Тхет Аунг**

Автоматизация процессов сварки и реализация адаптивных технологий в системах автоматического управления сварочным оборудованием являются существенным резервом в обеспечении воспроизводимости качества сварных соединений, повышении эксплуатационной надежности магистральных трубопроводов, сокращении сроков выполнения строительно-монтажных работ [1 - 5].

Техническое решение задачи автоматизации процессов сварки может быть сведено к оснащению сварочного оборудования бесконтактными датчиками и адаптивной системой управления [6, 7], обеспечивающими наведение на стык сварочной горелки и слежение за траекторией шва (геометрическая адаптация), а также, прогнозирование появления дефектов сварных соединений на основе информации о геометрических параметрах стыка.

На основе анализа технологических процессов сварки и применения адаптивных технологий предложена следующая процедура формирования многослойного сварного соединения кольцевого стыка: По трехмерной модели стыка, полученной на основе данных априорной лазерной профилометрии [8], производится раскладка валиков шва из условия, что в каждой точке известен объем подаваемой проволоки и объем разделки стыка, который необходимо заполнить. Полученная раскладка используется в модуле геометрической адаптации сварочного оборудования.

Модуль геометрической адаптации предназначен для позиционирования сварочной головки в соответствующей точке разделки. На вход модуля передаются геометрические параметры стыка, полученные на основе данных лазерной профилометрии и вычисляется траектория движения горелки. Позиционирование осуществляется в горизонтальном направлении (по координате X) для слежения за стыком и в вертикальном направлении (по

координате  $Y$ ) для выведения сварочной головки на нужную высоту в зависимости от геометрии разделки и номера (типа) слоя (Рис.1). После вычисления траектории движения горелки на протяжении сварки всего стыка, с помощью адаптивных технологических карт определяются режимы сварки и формируется командный файл, содержащий значения координат перемещения горелки и технологических параметров сварки на каждом слое в каждой точке сварного шва с дискретностью 1 градус.

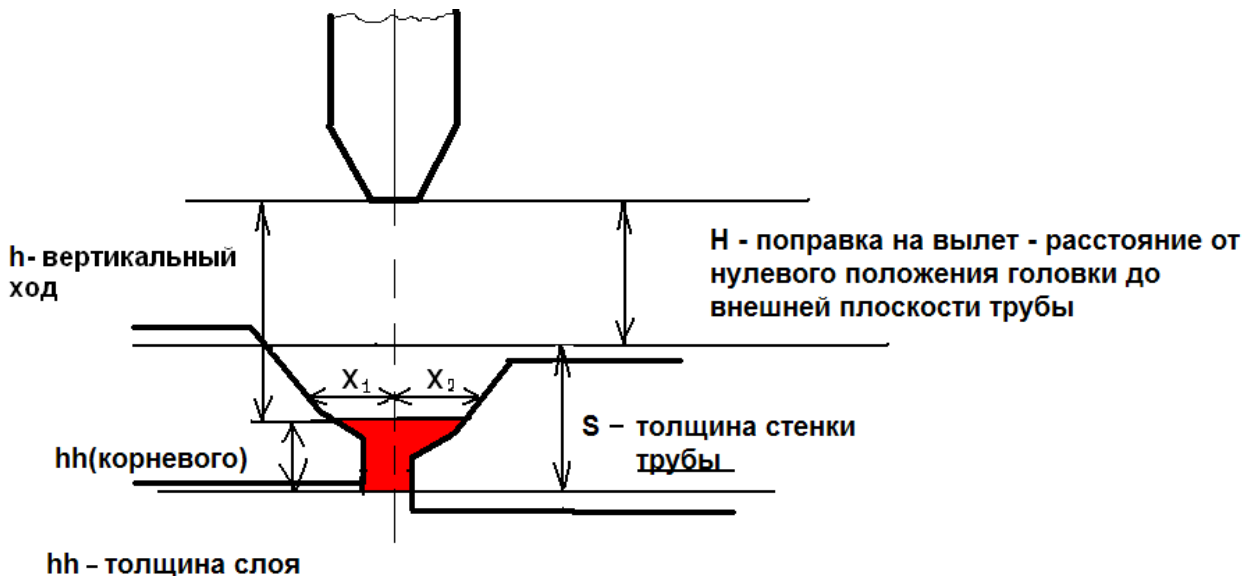


Рис. 1. – Позиционирование сварочной головки.

Для решения задачи позиционирования сварочной горелки в соответствии с рассчитанной траекторией движения предлагается использовать технологии синтеза систем управления, основанные на нейросетевых прогнозирующих моделях [9, 10]. Основная концепция прогнозирующего управления состоит в определении на каждой итерации оптимальной оценки управляющего сигнала  $\hat{u}(t)$  посредством минимизации критерия

$$J(\mathbf{U}(t), t) = \sum_{i=N_1}^{N_2} [r(t+i) - \hat{y}(t+i|t)]^2 + \rho \sum_{i=1}^{N_u} [\Delta u(t+i-1)]^2$$

$$\mathbf{U}(t) = [u(t) \dots u(t+N_u-1)]^T,$$

$$\Delta u(t+i-1) = \Delta u(t+i) - \Delta u(t+i-1),$$

$$\Delta u(t+i) = 0, \quad N_u \leq i \leq N_2 - d,$$

$$u_{\min} \leq u(t) \leq u_{\max}, \quad y_{\min} \leq y(t) \leq y_{\max},$$

где  $N_1$  - минимальный горизонт прогнозирования;  $N_2$  - максимальный горизонт прогнозирования;  $N_u$  - горизонт управления;  $d$  - время задержки.

Задача управления с использованием прогнозирующих моделей представляет собой нахождение управляющего сигнала:

$$\hat{u}(t) = \arg \min_{\mathbf{U}(t)} J(\mathbf{U}(t), t)$$

Для определения минимума, используются итеративные методы:

$$\mathbf{U}_{k+1} = \mathbf{U}_k + \eta_k \mathbf{d}_k,$$

где  $\mathbf{U}_k$  - вектор управляющих сигналов на  $k$ -ой итерации;  $\eta_k$  - шаг алгоритма и  $\mathbf{d}_k$  - направление поиска. Процесс настройки производится одним из методов, а процедура настройки схожа с методикой адаптации весовых коэффициентов нейросети.

Структура и основные принципы функционирования системы управления с использованием прогнозирующих моделей представлена на рис.2.

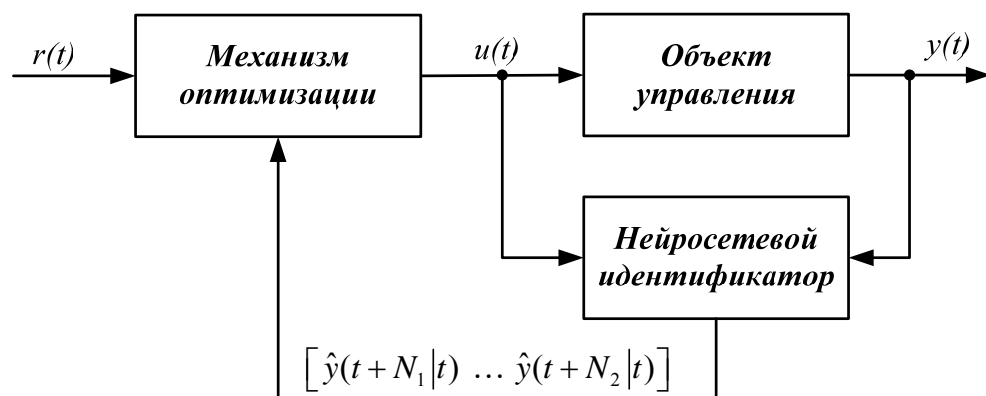


Рис.2. - Структура системы управления с использованием прогнозирующих моделей

Тестирование предложенных технологий синтеза системы управления положением сварочной горелки произведено в научно-учебном центре «Сварка и контроль» МГТУ им. Н.Э.Баумана с помощью адаптивного

сварочного комплекса для автоматической сварки кольцевых стыков трубопроводов большого диаметра на базе модифицированной сварочной установки УАСТ-1 НПП «ТехноТрон». Установка состоит из сварочной головки с направляющим кольцом для перемещения по стыку, блока управления, инверторного сварочного источника, пульта дистанционного управления и предназначена для эксплуатации совместно с инверторным источником питания для автоматической и полуавтоматической сварки ДС 400.33 и его модификациями по ТУ 3441-181-13092653-2006. Источник позволяет сваривать корневой шов в режиме управляемого каплепереноса металла сплошной сварочной проволокой и осуществлять заполнение разделки порошковой проволокой. Сварочная головка «УАСТ», модернизирована и оснащена сервоприводами вертикального перемещения, наклона горелки и поперечных колебаний. На сварочную головку установлен лазерный сканер профиля стыка и датчик углового положения головки на трубе и наклона трубы на основе 3-х осевого акселерометра. Общий вид сварочной установки представлен на рис.3.



Рис. 3. – Установка для орбитальной сварки кольцевых стыков труб большого диаметра

Технология управления на основе прогнозирующих моделей [11] применена для управления электроприводом поперечного перемещения, используемым для прецизионного наведения сварочной горелки на стык.

Заданная траектория перемещения горелки, ошибка наведения и сигнал управления представлены на рис. 4.

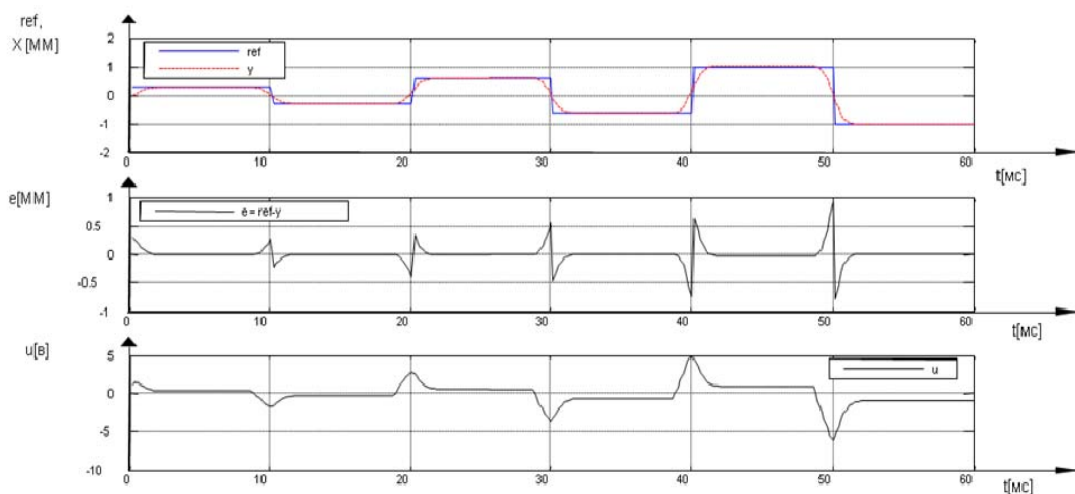


Рис.4. – Результаты моделирования системы управления электроприводом поперечного перемещения сварочной горелки

Предложенный подход обеспечивает точное наведение сварочной головки на стык, позволяет учитывать геометрические особенности разделки и прогнозировать траекторию перемещения сварочной головки с учетом возможных дефектов сборки.

Разработанная адаптивная технология автоматической сварки обеспечивает повышение качества и производительности при строительстве и ремонте магистральных газопроводов большого диаметра.

### Список литературы:

1. Пупков К.А. Методы робастного, нейро-нечеткого и адаптивного управления [Текст]: Учебник. - М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э.Баумана, 2001. – 774с.
2. Гладков Э.А., Перковский Р.А., Гецкин Б.Л., Гаврилов А.И., Бродягин В.Н. Автоматизированный комплекс для многослойной сварки кольцевых стыков труб магистральных трубопроводов со средствами адаптации и прогнозирования качества сварки [Текст] // Наука и техника в газовой промышленности. 2009.-№ 4. -С. 77-86.

3. Гецкин О.Б., Вышемирский Е.М., Шипилов А.В., Полосков С.И. Опыт разработки и применения современных отечественных технологий и оборудования для автоматической орбитальной сварки магистральных газопроводов [Текст] // Сварка и Диагностика. 2010. -№ 6. -С. 51 – 57.
4. Алешин Н.П., Гладков Э.А., Гаврилов А.И., Перковский Р.А., Рахматуллин Т.А. Реализация адаптивных технологий сварки кольцевых стыков магистральных трубопроводов [Текст] // Сварка и диагностика. 2011 . -№ 5. -С. 48-53.
5. Arc welding robot system with seam tracking and weld pool control based on passive vision. Hong Yuan Shen, Jing Wu, Tao Lin, Shan-ben Chen/ The International Journal of Advanced Manufacturing Technology.2008. Volume 39, Issue 7-8, pp. 669-678.
6. Пупков К.А., Гаврилов А.И., Шахназаров Г.А. Комплексование технологий управления в интеллектуальных системах высокой точности и надежности [Текст] // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Инженерные исследования. 2011. -№ 4. -С. 60-67.
7. Целигорова Е.Н. Современные информационные технологии и их использование для исследования систем автоматического управления. [Электронный ресурс] // «Инженерный вестник Дона».2010. №3-  
<http://www.ivdon.ru/magazine/archive/n3y2010/222> (доступ свободный) – Загл. с экрана. – Яз. рус.
8. Грицына А.Н. Снижение сварочных деформаций тонкостенных панелей теплообменных аппаратов путём регулирования податливости кромок при выполнении круговых швов. [Электронный ресурс] //«Инженерный вестник Дона». 2010. №4.  
<http://www.ivdon.ru/magazine/archive/n4y2010/255> (доступ свободный) – Загл. с экрана. – Яз. рус.
9. Гладков Э.А., Малолетков А.В., Гаврилов А.И., Перковский Р.А. Методические аспекты применения нейросетевых моделей для прогнозирования качества сварки плавлением [Текст] //Сварка и диагностика 2008. -№ 3. -С. 2-7.

- 10.Гладков Э.А, Гаврилов А.И. Имитационное моделирование лазерной сварки с глубоким проплавлением с использованием нейросетевых моделей [Текст] // Сварка и диагностика. 2009. -№ 1. -С. 9-11.
- 11.Bequette W. Process Control Modeling Desing and Simulation - Pretice Hall РТTr, 2003.pp. 481-491.