

# НИУ МЭИ

Кафедра Теоретической Механики и Мехатроники

Библиографический обзор  
научно-исследовательской работы  
«Кинематика, динамика и моделирование работы робота-  
сварщика»

Студент: Зять Роман Вадимович

Учебная группа: С-11-07

Научный руководитель: Осадченко Николай Владимирович

Москва, 2013 г.

1. <http://help.solidworks.com/2013/English/SolidWorks>.

Официальное онлайн руководство по использованию программного продукта. В работе используется по общим вопросам, связанным с функционалом и интерфейсом программы. Выбрана англоязычная версия руководства, т.к. она является более новой относительно русскоязычной, а также, что немаловажно, является первичным источником, в отличие от переведенной русской версии.

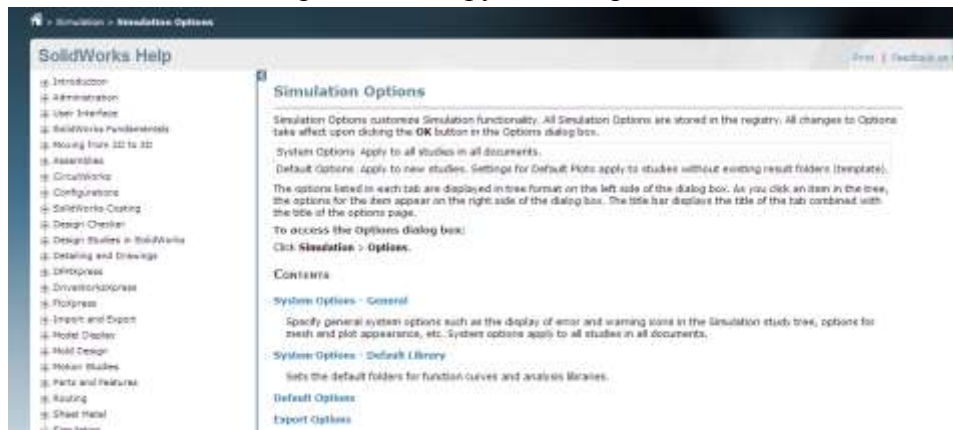


Рис. 1. Интерфейс руководства.

2. <http://ru.wikipedia.org/wiki/Сварка>

Статья из общедоступной энциклопедии, откуда были взяты определения и общие сведения для вступления к научно-исследовательской работе.

3. <http://poremontu.ru/articles/reshetki-dlya-okon>.

Портал посвящен ремонту квартир и офисов. В данной статье рассматривается процесс изготовления решеток.

Оконные решетки в большинстве случаев изготавливаются из металлических прутков различного сечения (круглого, шестиугольного, прямоугольного, квадратного, трапециевидного, овального, сегментного) или же полосы. Для изготовления фрагментов рисунка решетки может быть применена горячая обработка металла или же его гибка холодным способом. Полученные в результате этого элементы собираются в общий узор в основном при помощи сварки.

Стальные прутья, образующие решетку, в местах их пересечения должны быть надежно закреплены между собой – сварены или, что встречается значительно реже, проклепаны. Различные узоры решеток представлены на рисунке 2.

Процесс сварки решеток в узлах пересечения прутьев представляется довольно сложную и утомительную работу для человека, которую можно автоматизировать и использовать работа сварщика.

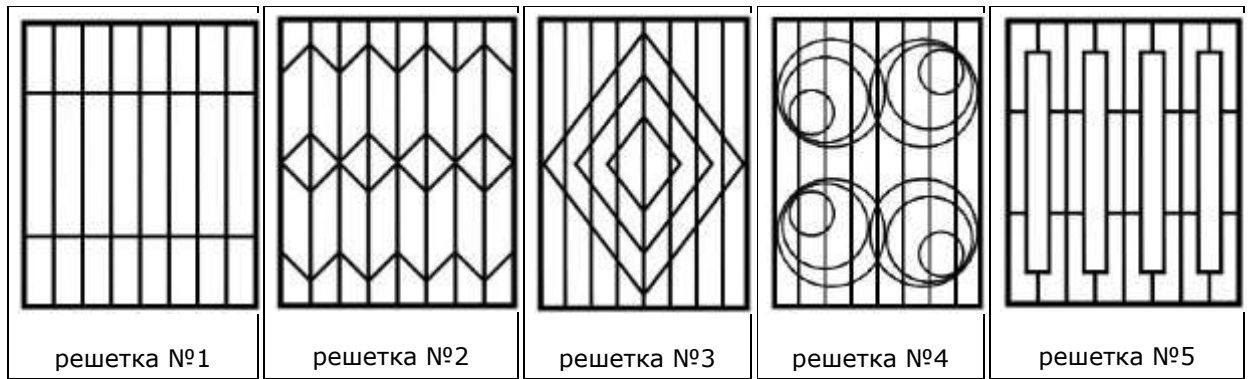


Рис. 2. Различные узоры оконных решеток.

**4. А.П. Пашкевич, О.А. Чумаков.** Автоматизация контурного движения робота при лазерной резке. Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники. Минск, 220013, Беларусь, 2003 г., с. 3-7.

Предложены методы, позволяющие преобразовать трехмерную модель контура резки, полученную из САПР изделия, в программу управления роботом. При этом учитываются ограничения промышленных систем управления, обусловленные особенностями алгоритмов планирования движений манипулятора, а также оптимально используется кинематическая избыточность шестизвенного робота для операций резки. В результате генерируется плавная траектория движения инструмента манипулятора, которая может быть воспроизведена в реальном масштабе времени с заданной точностью.

В начале производится сегментация траектории. исходные данные о траектории резки представлены в виде "обобщенной полилинии" (augmented line), созданной на основе каркасной или поверхностной модели изделия, которая описывается с помощью массива векторов.

$$\Omega = \{\omega_1, \omega_2, \omega_3, \dots, \omega_k\},$$

Где

$$\omega_i = (p_i, a_i), \quad p_i = (p_{xi}, p_{yi}, p_{zi})$$

вектор положения  $i$ -й точки,

$$a_i = (a_{xi}, a_{yi}, a_{zi})$$

соответствующий вектор ориентации инструмента.

Для отработки этой траектории роботом требуется построить новую последовательность вертексов  $\Omega'$ , состоящую из минимального количества узлов  $m$  и удовлетворяющую краевым условиям

$$\omega'_0 = \omega_0; \quad \omega'_m = \omega_k$$

Расположение систем координат робота "Base" и изделия "Workpiece" относительно глобальной системы координат "World" описывается  $4 \times 4$ -матрицами однородных преобразований  ${}^0T_b$  и  ${}^0T_w$  соответственно (рис. 3). Тогда кинематические свойства РТК резки могут быть описаны матричным уравнением

$${}^0T_t(q) \equiv {}^0T_b \cdot T_1(q_1) T_2(q_2) \dots T_5(q_5) T_6(q_6) \cdot T_t,$$

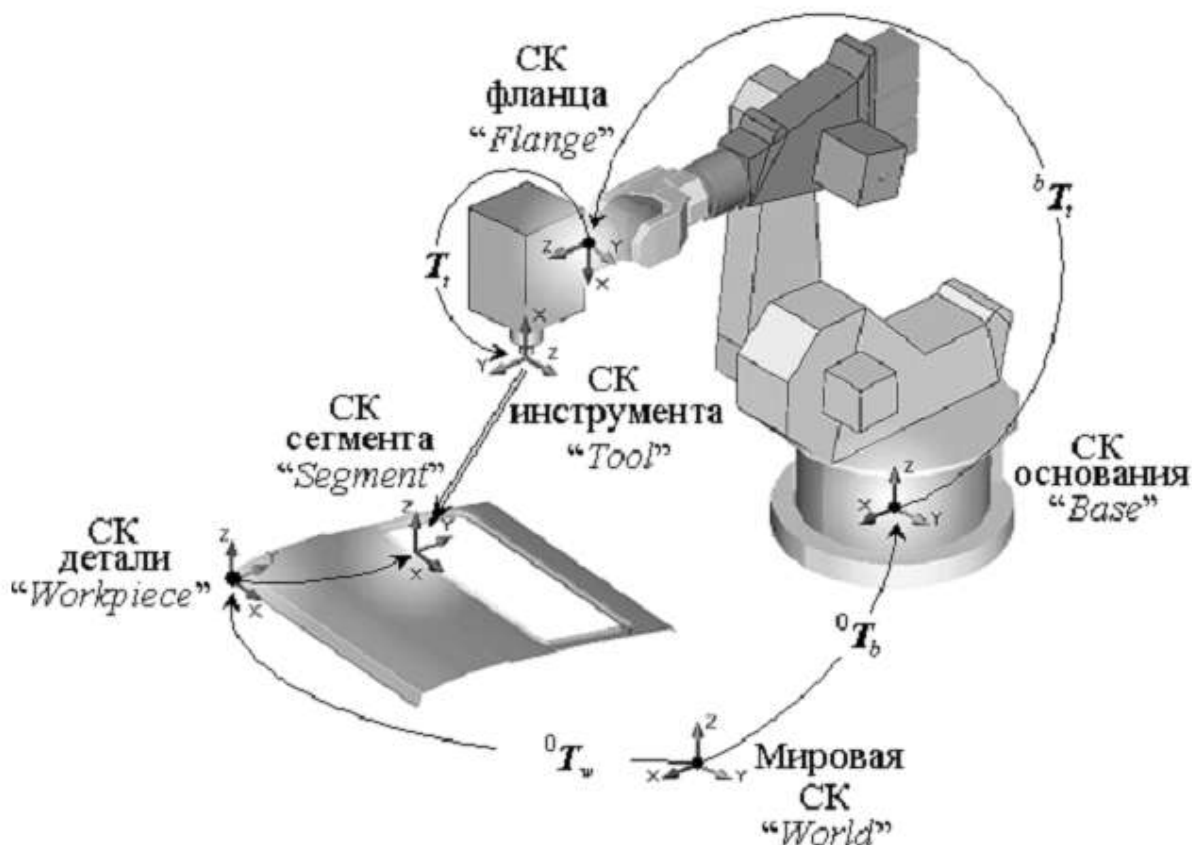


Рис. 3. Геометрическая модель робота.

**5. Прохоренко В.П.** SolidWorks. Практическое руководство. – М.: ООО «Бинوم-пресс», 2004 г. – с. 226-281.

Книга посвящена решению конструкторских задач при помощи пакета SolidWorks. Составлена для пользователей, уже знакомых с использованием САПР, а так же обладающих начальными конструкторскими навыками. В данной работе книга использована, как основной материал для работы с SolidWorks.

Основные разделы руководства соответствуют приложениям пакета SolidWorks и посвящены:

- разработке деталей. Т.е. моделированию конструкционно неделимых изделий (сборочных единиц);
- созданию сборок. Т.е. сборка готового изделия из сборочных единиц, описанных выше;
- создание чертежей. Современные стандарты требуют наличия чертежа совместно с трёхмерной моделью изделия. Данный раздел книги (в соответствии с приложением SolidWorks) посвящен автоматической генерации чертежей в соответствии с имеющейся 3D-моделью изделия.

Стоит обратить внимание, что в данном руководстве не рассказывается о моделировании движений объектов на основании законов, заданных пользователем. Для изучения этого процесса использован другой библиографический источник.

**6. К.И. Семкин.** Оптимальное управление манипулятором изделия при сварке группированных швов. Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники. Минск, 220013, Беларусь, 2004 г., с. 2-7.

Рассмотрены проблемы оптимального управления позиционером при сварке нескольких групп швов. Предложены алгоритм минимизации времени перехода между группами швов а также критерий объединения швов в группы. Эффективность рассмотренного подхода проверена на конкретном примере.

Основной идеей является возможность позиционирования не только сварочного инструмента, но и самого изделия для оптимизации роботизированной сварки труднодоступных мест.

Задача оптимального управления манипулятором при сварке группы швов состоит в следующем: необходимо найти такие значения, которые обеспечат минимум критерия с учетом ограничений на конфигурацию манипулятора.

Поставленная задача является обобщением классической задачи комбинаторной оптимизации "о коммивояжере", в которой узловые точки пути заданы с точностью до несвязных множеств(в классическом случае каждый узел задается единственной точкой). Как известно, задачи такого типа являются NP полными и не могут быть решены за полиномиальное время. Поэтому применяют различные эвристические алгоритмы, дающие приемлемые с инженерной точки зрения решения, одним из которых является метод 2-перестановки. В данной работе этот метод усовершенствован применительно к рассматриваемой задаче, причем в отличие от классического метода 2-перестановки предложенный алгоритм использует оригинальную процедуру вычисления целевой функции, основанную на динамическом программировании (так как перестановка элементов последовательности не сохраняет узловых точек от предыдущего решения, что требует пересчета оптимального пути и нахождения соответствующих узловых точек). При этом для сокращения времени вычислений нахождение решения методом динамического программирования начинается не с начальной точки, а с точки, предшествующей заменяемой точке с меньшим индексом.

Как показали проведенные расчеты, разработанный алгоритм дает оптимальное или квазиоптимальное решение за гораздо меньшее время, чем полный перебор. Причем при количестве групп швов более 10 (при сетке 5 град), классический алгоритм перебора вообще не позволяет получить решение за приемлемое время. Аналогичный результат получен и для 7 групп швов при сетке 1 град. В качестве примера на рис.4 изображена эволюция последовательности обхода семи групп швов, которая подтверждает эффективность предложенного метода.

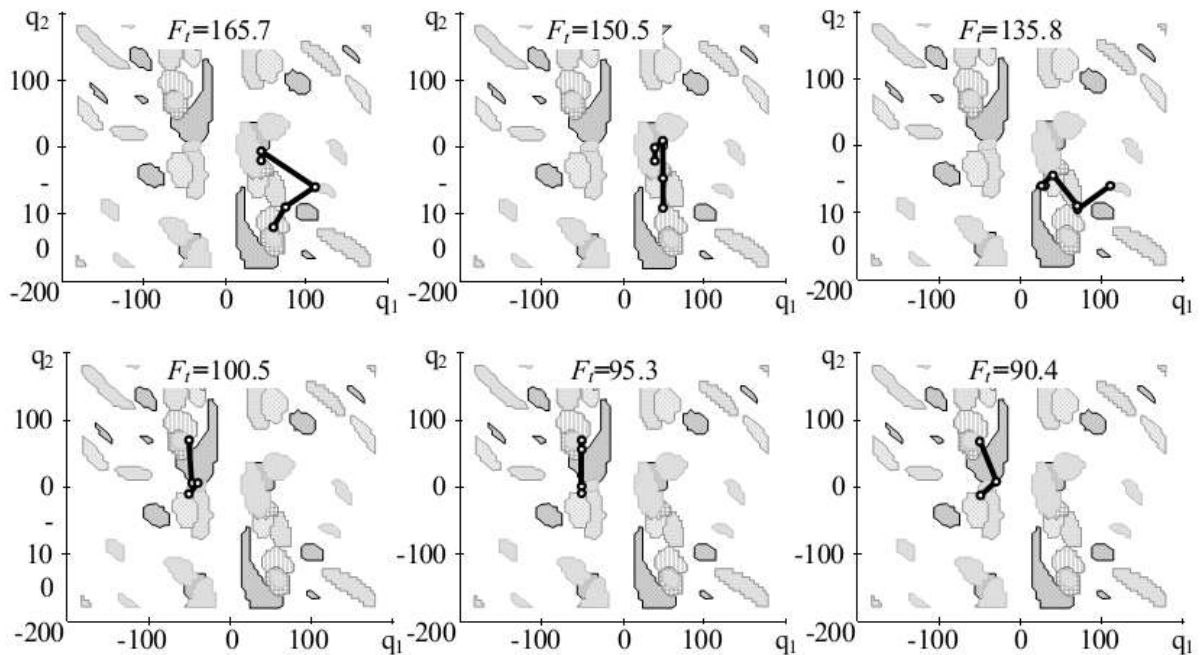


Рис. 4. Эволюция пути обхода при использовании модифицированного метода 2-перестановки.

**7. И.Б.Бурдонов.** Обход неизвестного ориентированного графа конечным роботом. "Программирование". 2004. No. 4, с. 3-25.

Обход ориентированного графа – это маршрут, проходящий через все вершины и дуги графа, причем дуга проходится только в направлении ее ориентации. Обход, начинающийся с любой начальной вершины, существует только для сильно-связных графов, в которых из каждой вершины можно попасть в каждую вершину по некоторому маршруту. Сильная связность – это единственное ограничение на рассматриваемый класс графов. Как известно, на классе таких графов длина обхода  $\Theta(nm)$ , где  $n$  – число вершин, а  $m$  – число дуг графа. Для любого графа существует обход длиной  $O(nm)$  и существуют графы с минимальной длиной обхода  $\Omega(nm)$ . Обход неизвестного графа означает, что топология графа заранее неизвестна, и мы узнаем ее только в процессе движения по графу. В каждой вершине видно, какие дуги из нее исходят, но в какую вершину ведет дуга можно узнать, только пройдя по ней. Это аналогично задаче обхода лабиринта роботом, находящимся внутри него и не имеющим плана лабиринта. Если робот – это «компьютер общего вида» без ограничения на число его состояний, то известны алгоритмы обхода с той же оценкой  $O(nm)$ .

**8. А. Г. Схиртладзе, В. И. Выходец, Н. И. Никифоров, Я. Н. Отений.** Оборудование машиностроительных предприятий: Учебник. Волгоград, 2005 г., с. 4-23.

В главе книги описаны основные виды классификации сварки, раскрываются технологические особенности каждого из классов, а так же их области применения.

Дуговой сваркой называется сварка плавлением, при которой нагрев свариваемых кромок осуществляется теплотой электрической дуги. Наибольшее применение получили четыре вида дуговой сварки.

Ручная дуговая сварка. Может производиться двумя способами: неплавящимся и плавящимся электродами. Первый способ предусматривает следующее (рис. 5): свариваемые кромки изделия 5 приводят в соприкосновение. Между неплавящимся (угольным, графитовым) электродом 3 и изделием возбуждают дугу 4. Кромки изделия и вводимый в зону дуги присадочный материал 2 нагреваются до плавления, образуется ванночка расплавленного металла 1. После затвердевания металл в ванночке образует сварной шов. Этот способ используется при сварке цветных металлов и их сплавов, а также при наплавке твердых сплавов. Во втором случае используется электрод, этот способ является основным при ручной сварке. Электрическая дуга возбуждается аналогично первому способу, расплавляет электрод и кромки изделия. Получается общая ванна расплавленного металла, которая, охлаждаясь, образует шов.

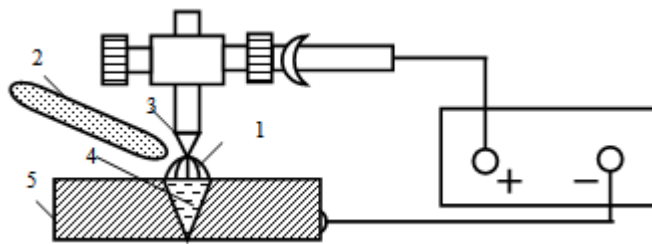


Рис 5. Схема ручной дуговой сварки

**9. Воротников С.А.** Информационные устройство робототехнических систем. Издательство МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2005г., с.243-326.

Изложены принципы действия, характеристики и примеры построения информационных устройств робототехнических систем. Даны основы расчета кинестетических, локационных, визуальных и тактильных датчиков; показаны способы их сопряжения с системами управления роботов. Приведены алгоритмы обработки сенсорной информации. Рассмотрены варианты реализации различных сенсорных функций в бионических системах.

Рассматриваемая глава посвящена системам технического зрения, необходимому оборудованию, алгоритмам, а так же задаче распознавания образов.

**10. Майк Предко.** Устройства управления роботами: схемотехника и программирование. ДМК Пресс, 2005г., с. 54-78.

Книга посвящена разработке и программированию автоматических устройств на основе популярных микроконтроллеров PIC16F84 и PIC16F627 фирмы Microchip. Автор начинает с описания архитектуры микроконтроллеров PICmicro, доступно излагая основы

их программирования на языке С, типовых схем подключения периферийных устройств, методов программирования и отладки приложений на языках высокого и низкого уровней, приводит схему и объясняет принцип работы программатора. Постепенно уровень изложения повышается: рассматриваются механические и бесконтактные детекторы столкновений, дистанционные методы обнаружения объектов, световые датчики, инфракрасные детекторы и ультразвуковые дальномеры, оптические измерители скорости, методы генерирования ШИМ-сигналов для управления двигателями, способы сопряжения микроконтроллеров друг с другом и с персональным компьютером, прием и декодирование команд дистанционного управления, в том числе и звуковых. Приводятся принципиальные и монтажные схемы, тексты программ на языке С, а также советы по их сборке и настройке.

**11. П. К. Лопатин.** Компьютерная имитация управления манипуляционными роботами в неизвестной среде на основе точного и упрощенного алгоритмов, г. Красноярск, 2006 г., с. 2-8.

Приведены точный и упрощенный алгоритмы управления манипуляторами в среде с неизвестными препятствиями. Точный алгоритм гарантирует достижение целевой конфигурации п-звенного манипулятора за конечное число шагов. Приведены результаты компьютерной имитации движения в неизвестной среде двухзвенного манипулятора на основе точного алгоритма и семизвенного манипулятора на основе упрощенного алгоритма.

**12. Ю.Н. Дементьев, А.Ф. Князьков, С.А. Князьков.** Система геометрической адаптации специализированного сварочного робота. Известия Томского политехнического университета, 2008 г., с. 3-6.

Предложена система геометрической адаптации для действующего макета специализированного робототехнологического комплекса. Представлена функциональная схема системы управления углом наклона в функции пространственного положения сварочной ванны в соответствии с требуемым законом при любом диаметре трубы и скорости сварки.

Для реализации закона изменения угла наклона сварочной головки была разработана система геометрической адаптации, состоящая из манипулятора сварочной головки и системы управления. Манипулятор сварочной головки представлен на рис. 6.



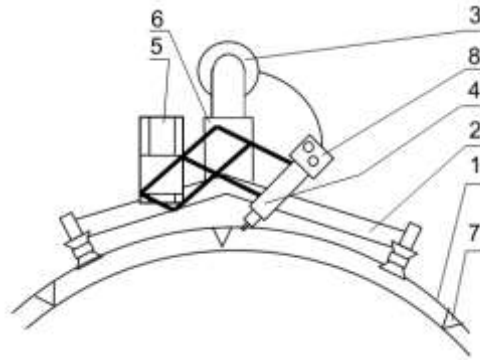


Рис. 6. Функциональная схема манипулятора сварочной головки.

Манипулятор содержит направляющую – 1, выполненную в виде гибкой разъемной ленты, установленной на трубе на изолирующих стойках – 7, по которой движется тележка – 2 с приводом. На тележке – 2 расположены катушка со сварочной проволокой – 3, головка – 4 с токоподводящим наконечником и механизмом подачи проволоки – 8, механизм поперечной корректировки горелки относительно линии стыка – 5 и механизм – 6, обеспечивающий корректировку угла наклона сварочной головки.

### 13. ГОСТ 5264-80. Ручная дуговая сварка. Соединения сварные. Основные типы, конструктивные элементы и размеры. Текст актуализирован 19.01.2010. с. 2-3.

Настоящий стандарт устанавливает основные типы, конструктивные элементы и размеры сварных соединений из сталей, а также сплавов на железоникелевой и никелевой основах, выполняемых ручной дуговой сваркой. Стандарт не распространяется на сварные соединения стальных трубопроводов по ГОСТ 16037-80.

Таблица 1

Тип соединения	Форма подготовленных кромок	Характер сварного шва	Форма поперечного сечения		Толщина свариваемых деталей, мм	Условное обозначение соединения	
			подготовленных кромок	сварного шва			
Стыковое	С отбортовкой кромок	Односторонний			1–4	C1	
					1–12	C28	
	С отбортовкой одной кромки				1–4	C3	
						C2	
	Без скоса кромок		Односторонний на съемной подкладке			1–4	C4
			Односторонний на остающ...				C5

### 14. Алямовский А.А. Инженерные расчеты в SolidWorks Simulation. – М.: ДМК Пресс, 2010 г., с. 334-368.

В этой книге интерес для научно-исследовательской работы будет представлять глава 2 «Кинематический и динамический анализ посредством COSMOSMotion».

Модуль представляет из себя средство для симуляции движения готовой трехмерной модели. В книге описан на примере конусной дробилки (рис. 7). Показано решение симуляции движения посредством наложения на модель виртуальных кинематических связей с последующим заданием законов движения.



Рис. 7. Конусная дробилка

**15. А.Ю. Поливанов, К.В. Шатунов.** Адаптивное управление роботом с использованием системы технического зрения. «Электротехнические комплексы и системы управления» № 3/2012, с. 60-64.

Описываются современные системы адаптивного управления, особенности применения систем технического зрения для адаптивных систем, приводится пример реализации такой системы.

Для определения узлов, где необходима сварка может быть использована система технического зрения (СТЗ).

Для современных робототехнических систем также характерно использование функций адаптации к изменениям параметров самого робота с использованием набора аппаратных и программных средств самодиагностики. Другим примером адаптивной системы может служить система по отслеживанию швов компании MEL (рис. 8), которая позволяет определять координаты сварочного шва в реальном масштабе времени. Надежное определение координат осуществляется за счет лазерной подсветки, встроенной в сканер. Измеряются поперечное смещение стыка и расстояние до него. Отклонения в положении стыка компенсируются роботом, а при больших отклонениях сварка приостанавливается.



Рис. 8. Система по отслеживанию швов фирмы MEL

Сложность точного определения положения манипулятора с помощью СТЗ связана с искажениями и шумами, возникающими при работе системы. Это искажения, связанные с перспективой (когда объекты на переднем плане имеют большие линейные размеры, чем аналогичные на заднем плане), искажения поля зрения камеры, связанные с несовершенством оптики камеры, а также искажения, возникающие из-за неравномерной засветки рабочей области.

Одним из методов решения такой проблемы может быть фиксация ориентации и расстояния от камеры до рабочей области и проведения предварительной калибровки камеры по заранее известным точкам при подобранных характеристиках освещения.