

### III

РАЗДЕЛ

## РАЗРАБОТКА И РЕАЛИЗАЦИЯ УПРАВЛЯЮЩИХ ПРОГРАММ ДЛЯ СБОРКИ УЗЛОВ ИЛИ ИЗДЕЛИЙ

Глава 7. Методы программирования сборочного процесса

Глава 8. Программирование промышленных роботов

### Глава 7

#### МЕТОДЫ ПРОГРАММИРОВАНИЯ СБОРОЧНОГО ПРОЦЕССА

##### 7.1. ПРОГРАММИРОВАНИЕ С ПОМОЩЬЮ CAD-, CAM- И CAE-СИСТЕМ

В настоящий период для достижения успеха на рынке промышленное предприятие вынуждено работать над сокращением срока выпуска продукции, снижением ее себестоимости и повышением качества. Стремительное развитие компьютерных и информационных технологий привело к появлению CAD/CAM/CAE-систем, которые являются наиболее продуктивными инструментами для решения этих задач.

**CAD-системы** (computer-aided design — компьютерная поддержка проектирования) — система программного обеспечения, позволяющая автоматизировать работу инженера-конструктора и решать задачи проектирования изделий и оформления технической документации с помощью компьютера.

**CAM-системы** (computer-aided manufacturing — компьютерная поддержка изготовления) — системы, позволяющие автоматизировать расчеты траекторий движения инструмента для обработки на станках с ЧПУ, и обеспечивают выдачу управляющих программ (УП) с помощью компьютера.

**CAE-системы** (computer-aided engineering — компьютерная поддержка инженерных расчетов) разработаны для решения разнообразных инженерных задач, например расчет гидравлических систем и механизмов, анализ тепловых процессов, расчет конструктивной прочности.

Развитие CAD/CAM/CAE-систем продолжается уже несколько десятилетий. За это время произошло некоторое разделение или, точнее, ранжирование систем на уровни. Появились системы тяжелого, среднего и легкого уровней. Тяжелые системы обладают огромным набором функций и возможностей, но для работы с ними требуется высокая квалификация. Такие системы являются достаточно дорогими, поэтому работают с ними в основном круп-

ные предприятия. Легкие системы имеют довольно ограниченные функции, но просты в изучении. Системы среднего уровня являются золотой серединой. Они обеспечивают пользователя достаточными для решения большинства задач инструментами, при этом относительно доступны и просты для изучения и работы.

Система автоматизированного проектирования (САПР) — сложный комплекс средств, предназначенный для автоматизации проектирования.

Согласно принятым в 1980-х гг. стандартам САПР — не просто некая программа, установленная на компьютере, это информационный комплекс, состоящий из аппаратного обеспечения (компьютера), программного обеспечения, описания способов и методов работы с системой, правил хранения данных и многое другое.

Однако с приходом на отечественный рынок иностранных систем широкое распространение получили аббревиатуры CAD — проектирование с применением компьютера, и CAD-system — система для проектирования с помощью компьютера.

В настоящее время в среде специалистов по САПР многие термины утратили свой первоначальный смысл, а термин «САПР» теперь обозначает любую программу для автоматизированного проектирования. Другими словами, то, что раньше называлось «программное обеспечение (ПО) САПР» или «CAD-система», теперь принято называть «система автоматизированного проектирования (САПР)». Также можно встретить названия «CAD-система», «КАД-система», «система САПР» и многие другие, но все они обозначают одно — программу для автоматизированного проектирования.

На современном рынке существует большое количество САПР, которые решают разные задачи. Далее представлены основные системы автоматизированного проектирования в области машиностроения.

**Базовые и легкие САПР.** Легкие системы САПР предназначены для 2D-проектирования и черчения, а также для создания отдельных 3D-моделей без возможности работы со сборочными единицами.

Безусловный лидер среди базовых САПР — AutoCAD.

**AutoCAD** — это базовая САПР, разрабатываемая и поставляемая компанией Autodesk. AutoCAD — самая распространенная CAD-система в мире, позволяющая проектировать как в двумерной, так и трехмерной среде. С помощью AutoCAD можно строить 3D-модели, создавать и оформлять чертежи и многое другое. AutoCAD является платформенной САПР, т. е. эта система не имеет четкой ориентации на определенную проектную область, в ней

можно выполнять строительные и машиностроительные проекты, работать с изысканиями, электротехническими схемами и др.

Система автоматизированного проектирования AutoCAD обладает следующими отличительными особенностями:

- фактический стандарт в мире САПР;
- широкие возможности настройки и адаптации;
- средства создания приложений на встроенных языках (AutoLISP и др.) и с применением API;
- обилие программ сторонних разработчиков.

Кроме того, Autodesk разрабатывает вертикальные версии AutoCAD: AutoCAD Mechanical, AutoCAD Electrical и другие, которые предназначены для специалистов в соответствующей области.

**Bricscad.** В настоящее время на рынке появился целый ряд систем, которые позиционируются как альтернатива AutoCAD. Среди них можно отдельно отметить Bricscad от компании Bricsys, которая очень активно развивается, поддерживает напрямую формат DWG и имеет целый ряд отличий от AutoCAD, включая инструменты прямого вариационного моделирования, поддержку BIM-технологий.

**САПР среднего уровня.** САПР среднего уровня — это программы для 3D-моделирования изделий, проведения расчетов, автоматизации проектирования электрических, гидравлических и прочих вспомогательных систем. Данные в таких системах могут храниться как в обычной файловой системе, так и в единой среде электронного документооборота и управления данными (PDM- и PLM-системах). Часто в системах среднего уровня присутствуют программы для подготовки управляющих программ для станков с ЧПУ (CAM-системы) и другие программы для технологического проектирования.

САПР среднего уровня — самые популярные системы на рынке. Они удачно сочетают в себе соотношение «цена/функциональность», способны решить подавляющее число проектных задач и удовлетворить потребности большей части клиентов.

**Autodesk Inventor** — профессиональный комплекс для трехмерного проектирования промышленных изделий и выпуска документов. Разработчик — компания Autodesk.

Среди особенностей Autodesk Inventor стоит отметить:

- продвинутые инструменты 3D-моделирования, включая работу со свободными формами и технологию прямого редактирования;
- поддержку прямого импорта геометрии из других САПР с сохранением ассоциативной связи (технология AnyCAD);
- тесную интеграцию с программами Autodesk (AutoCAD, 3ds Max, Alias, Revit, Navisworks и др.), что позволяет использовать

- Autodesk Inventor для решения задач в разных областях, включая дизайн, архитектурно-строительное проектирование и др.; поддержку отечественных стандартов при проведении расчетов, моделировании и оформлении документации;
- обширные библиотеки стандартных и часто используемых элементов;
  - обилие мастеров проектирования типовых узлов и конструкций (болтовые соединения, зубчатые и ременные передачи, проектирование валов и колес и др.);
  - широкие возможности параметризации деталей и сборок, в том числе управление составом изделия;
  - встроенную среду создания правил проектирования iLogic.
- Для эффективного управления процессом разработки изделий, управления инженерными данными и организации коллективной работы над проектами Autodesk Inventor может быть интегрирован с PLM-системой Autodesk Vault и схожими системами других разработчиков.
- SolidWorks** — трехмерный программный комплекс для автоматизации конструкторских работ промышленного предприятия. Разработчик — компания Dassault Systemes.
- Особенности системы, выгодно отличающие ее от других CAD-систем:
- продуманный интерфейс пользователя, ставший образцом для подражания;
  - обилие надстроек для решения узкоспециализированных задач;
  - ориентация как на конструкторскую, так и на технологическую подготовку производства;
  - библиотеки стандартных элементов;
  - распознавание и параметризация импортированной геометрии;
  - интеграция с системой SolidWorks PDM.
- SolidEdge** — система 3D-моделирования машиностроительных изделий, которую разрабатывает компания Siemens PLM Software. Среди особенностей системы следует отметить:
- комбинацию технологий параметрического моделирования на основе конструктивных элементов и дерева построения с технологией прямого моделирования в рамках одной модели;
  - расчетные среды, включая технологию генеративного дизайна;
  - поддержку ЕСКД при оформлении документации;
  - расширенные возможности проектирование литых деталей и оснастки для их изготовления;
  - встроенный модуль автоматизированного создания схем и диаграмм;

- тесную интеграцию с Microsoft SharePoint и PLM-системой Teamcenter для совместной работы и управления данными.
- Компас-3D** — отечественная система параметрического моделирования деталей и сборок, используемая в областях машиностроения, приборостроения и строительства. Разработчик — компания «Аскон» (Россия).

Особенности системы «Компас-3D»:

- несложный интерфейс;
- использование трехмерного ядра собственной разработки (С3Д);
- полная поддержка стандартов и ЕСКД при проектировании и оформлении документации;
- большой набор надстроек для проектирования отдельных разделов проекта;
- гибкий подход к оснащению рабочих мест проектировщиков, что позволяет сэкономить при покупке;
- возможность интеграции с системой автоматизированного проектирования технологических процессов ВЕРТИКАЛЬ и другими системами единого комплекса.

**T-FLEX** — отечественная САПР среднего уровня, построенная на основе лицензионного трехмерного ядра Parasolid. Разработчик системы — компания «ТопСистемы» (Россия).

Отличительные особенности системы:

- мощнейшие инструменты параметризации деталей и сборок;
- продвинутые средства моделирования;
- простой механизм создания приложений без использования программирования;
- интеграция с другими программами комплекса T-FLEX PLM и других известных производителей;
- инструменты расчета и оптимизации конструкций.

**Тяжелые САПР.** Системы этого уровня предназначены для работы со сложными изделиями (большие сборки в авиастроении, кораблестроении и др.). Функционально они выполняют те же задачи, что и системы среднего уровня, но в них заложена совершенно другая архитектура и алгоритмы работы.

**PTC Creo** — система 2D- и 3D-параметрического проектирования сложных изделий от компании PTC. САПР PTC Creo широко используется в самых разных областях проектирования.

Отличительные особенности системы от конкурирующих решений:

- эффективная работа с большими и очень большими сборками;
- моделирование на основе истории и инструменты прямого моделирования;

- работа со сложными поверхностями;
- возможность масштабирования функциональности системы в зависимости от потребностей пользователя;
- разные представления единой централизованной модели, разрабатываемой в системе;
- тесная интеграция с PLM-системой PTC Windchill.

**NX** — флагманская система САПР производства компании Siemens PLM Software, которая используется для разработки сложных изделий, включающих элементы со сложной формой и плотной компоновкой большого количества составных частей.

Ключевые особенности NX:

- поддержка разных операционных систем, включая UNIX, Linux, Mac OS X и Windows;
- одновременная работа большого числа пользователей в рамках одного проекта;
- полнофункциональное решение для моделирования;
- продвинутые инструменты промышленного дизайна (свободные формы, параметрические поверхности, динамический рендеринг);
- инструменты моделирования поведения мехатронных систем;
- глубокая интеграция с PLM-системой Teamcenter.

**CATIA** — система автоматизированного проектирования от компании Dassault Systemes, ориентированная на проектирование сложных комплексных изделий, в первую очередь в области авиастроения и кораблестроения.

Отличительные особенности системы:

- фактический стандарт в авиастроении;
- ориентация на работу с моделями сложных форм;
- глубокая интеграция с расчетными и технологическими системами;
- возможности для коллективной работы тысяч пользователей над одним проектом;
- поддержка междисциплинарной разработки систем.

**Облачные САПР.** В последнее время активно развиваются облачные САПР, которые работают в виртуальной вычислительной среде, а не на локальном компьютере. Доступ к этим САПР осуществляется либо через специальное приложение, либо через обычный браузер. Неоспоримое преимущество таких систем перед платформенными — возможность их использования на компьютерах с маломощными процессорами, так как вся работа происходит в облаке.

Облачные САПР активно развиваются, и если несколько лет назад их можно было отнести к легким САПР, то теперь они прочно обосновались в категории средних САПР.

**Fusion 360** ориентирована на решение широкого круга задач, начиная от простого моделирования и заканчивая проведением сложных расчетов. Разработчик системы — компания Autodesk.

Особенности Fusion 360:

- продвинутый интерфейс пользователя;
- сочетание разных методов моделирования;
- продвинутые инструменты работы со сборками;
- возможность работы в онлайн- и офлайн-режимах (при наличии и отсутствии постоянного подключения к сети Интернет);
- доступная стоимость приобретения и содержания;
- расчеты, оптимизация, визуализация моделей;
- встроенная CAM-система;
- возможности прямого вывода моделей на 3D-печать.

Полностью облачная САПР **Onshape** разработана компанией Onshape.

Особенности системы Onshape:

- доступ к программе через браузер или мобильные приложения;
- работа только в режиме онлайн;
- узкая направленность на машиностроительное проектирование;
- полный набор функций для моделирования изделий машиностроения;
- контроль версий создаваемых проектов;
- поддержка языка FeatureScript для создания собственных приложений на основе Onshape.

## 7.2. МЕТОДЫ РАБОТЫ С CAD/CAM-СИСТЕМАМИ ПРИ СБОРКЕ

Базовые системы автоматизации проектирования и управления изготавлением изделий в технологической подготовке производства (ТПП). Под **компьютерным проектированием** в общем случае понимается разработка конструкторского проекта изделия на основе трехмерного геометрического моделирования деталей и сборочных единиц с последующим автоматизированным формированием комплекта чертежно-конструкторской документации.

Система, выполняющая компьютерное проектирование, называется **CAD-системой**. Если CAD-система при проектировании решает только задачу автоматизации получения комплекта чертежно-конструкторской документации, то ее относят к классу 2D (т. е. «плоских») систем.

CAD-система, в которой проектирование выполняется на основе 3D-моделей, относится к классу 3D-систем (т.е. «объемных»). Далее, говоря о CAD-системах, мы будем иметь в виду 3D-системы.

Под **компьютерным изготовлением** понимается автоматизированное формирование изделий на основе имеющейся геометрической модели изделия, управляющих программ для изготовления деталей изделия на оборудовании с ЧПУ. Система, решающая данную задачу, называется CAM-системой.

Некоторые CAM-системы имеют ограниченные средства для моделирования, но обычно модели деталей, на основании которых строится процесс обработки, принимаются из CAD-системы через согласованные интерфейсы.

**CAD/CAM-системой** называется система, которая обеспечивает интегрированное решение задач разработки конструкторского проекта изделия и формирования управляющих программ для обработки деталей изделия на оборудовании с ЧПУ. Объединение этих, достаточно различных классов задач в рамках одной системы обусловлено тем, что их решение базируется на использовании единой трехмерной геометрической модели изделия. Общность модели позволяет избежать всех проблем, связанных с передачей данных из одной системы в другую, обеспечивает интегрированное решение проектных задач.

Построение пространственной геометрической модели проектируемого изделия является центральной задачей компьютерного проектирования.

Именно эта модель используется в CAD/CAM-системе для дальнейшего решения задач формирования чертежно-конструкторской документации, проектирования средств технологического оснащения, разработки управляющих программ для станков с ЧПУ. Кроме того, эта модель передается в CAE-системы и используется в них для проведения инженерных исследований. По компьютерной модели с помощью методов и средств быстрого прототипирования может быть получен физический образец изделий.

Мышление конструктора, применяющего 3D-моделирование, отличается от мышления конструктора, работающего только с чертежами.

Эти отличия состоят в следующем:

- 1) мысленные образы чертежей заменяются образами моделей, что раскрепощает пространственное мышление и способствует более быстрому принятию решений;
- 2) свобода в создании сложных геометрических форм и понимание того, что эти формы могут быть легко реализованы в металле

с помощью интегрированных технологий, стимулируют творчество, повышают интерес к работе;

3) используя при проектировании созданную ранее модель похожего изделия (изделия-аналога), конструктор может иногда в десятки раз сократить общее время работы над проектом. Этот фактор способствует упорядочению информации о выполненных разработках, приводит к большей систематизации мышления.

Важно также, что при 3D-проектировании резко уменьшается число ошибок в проекте. Это происходит по следующим причинам:

- конструктор может наглядно видеть результат своей работы уже в процессе проектирования;
- виды чертежа формируются на основании модели автоматически, поэтому исключаются ситуации, когда информация в одном виде не соответствует другому;
- при проектировании сборочных единиц имеется возможность проверять собираемость и выявлять ошибки на уровне моделей.

Создаваемая конструктором геометрическая модель хранится в памяти компьютера как некоторое математическое описание и отображается на экране в виде пространственного объекта. Объект может отображаться в различном представлении: каркасном, с удалением невидимых линий, полупрозрачном и полутонах.

**Эффективные приемы программирования в CAD/CAM-системах.** Алгоритм работы с CAD/CAM-системой.

**Этап 1.** В CAD-системе разрабатывают 3D-модель детали или ее электронный чертеж.

**Этап 2.** 3D-модель детали или ее электронный чертеж импортируют в CAM-систему. Технолог-программист определяет поверхности и геометрические элементы, необходимые для обработки, делает выбор стратегии обработки, режущего инструмента и задает режим резания. Система вычисляет траектории перемещений инструмента.

**Этап 3.** В CAM-системе проводят визуальную проверку возможных траекторий. Программист имеет возможность достаточно легко исправить ошибки, которые могут обнаружиться на этом этапе, просто заново вернувшись к предыдущему.

**Этап 4.** Завершающим продуктом работы CAM-системы является код управляющей программы (УП). Такой код создается с помощью постпроцессора, который в свою очередь подготавливает УП под характеристики определенного станка и системы ЧПУ.

**Оценка точности сборки узлов или деталей в CAM-системе.** Известно, что сборки становятся более сложными, ввиду постоянного повышения кинематической сложности и уменьшения раз-

меров проектируемых изделий. С точки зрения компьютерного моделирования, одним из эффективных способов работы системы визуализации является скрытие компонентов (команды Hide/Show), а также использование отключаемых слоев.

При реализации оценки точности необходимо выделить из конструкторского чертежа параметры, влияющие на работоспособность изделия. Оценка точности и качества сборочного узла осуществляется посредством автоматических измерительных средств путем сравнения 3D-моделей изделий с результатами измерений.

#### КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Для чего предназначены CAD/CAM/CAE-системы?
2. В чем состоит различие между легкими, средними и тяжелыми САПР?
3. Опишите общую схему работы с CAD/CAM-системой при сборке.
4. Что такое компьютерное проектирование?
5. Расскажите о компьютерном изготовлении изделий.

## Глава 8

### ПРОГРАММИРОВАНИЕ ПРОМЫШЛЕННЫХ РОБОТОВ

#### 8.1. ОСОБЕННОСТИ ПРОГРАММИРОВАНИЯ ПРОМЫШЛЕННЫХ РОБОТОВ

Промышленными роботами управляют с помощью специальных программ, которые устанавливают порядок действий робота и последовательность позиций, в которые должен прийти манипулятор робота в зависимости от задач и условий производства.

*Программирование промышленного робота* представляет собой процесс накопления и последующего запоминания в системе управления информации, необходимой для выполнения роботом конкретной технологической операции. Любую сколь угодно сложную двигательную операцию разбивают при этом на ряд последовательных относительно простых шагов, описывающих каждый элементарный двигательный переход. Поэтому программа робота, как правило, содержит информацию о последовательности переходов, для каждого из которых включена информация:

- о положении захвата робота и его состоянии (закрыт, открыт);
- времени выстоя в требуемом положении, после истечения которого вырабатывается сигнал на отработку следующего перехода;
- требуемом состоянии периферийных устройств и оборудования участка (управление участком по каналам вывода от системы управления робота);
- о том, какие датчики внешней среды и самого робота опрашивать и как логически обрабатывать полученные данные о состоянии датчиков в целях изменения или доопределения указанной ранее информации для последующего элементарного перехода.

К датчикам среды относятся системы технического зрения, датчики усилий и моментов, тактильные сенсоры, датчики безопасности и др. Все они подключены к каналам ввода системы управления роботом.

В зависимости от типа производства и специфики выполняемых задач роботы подразделяются на гибко программируемые роботы

и автооператоры (манипуляторы, имеющие постоянную программу работы).

**Гибко программируемые промышленные роботы** способны решать гораздо более широкий круг задач за счет более развитой кинематики движений и возможности работать по сложным программным алгоритмам. Тенденция к снижению серийности производства для ускорения выпуска новых изделий приводит к необходимости применения универсальных роботов, способных самостоятельно принимать отдельные решения и переключаться на выполнение различных задач. Робот может получать информацию об окружающей среде от датчиков давления, видеокамер, звуковых датчиков и другого оборудования, и на основе этой информации выполнять те или иные действия.

**Автооператоры** выполняют неизменный цикл последовательности действий по заложенной в памяти программе. Такие программы требуют жесткого задания координат и положения объектов. Автооператоры способны выполнять относительно простые движения и значительно дешевле роботов, поэтому, как правило, используются в массовом, крупносерийном или серийном производстве, не требующем частой переналадки.

В настоящее время получили широкое распространение два способа введения этой информации в систему управления роботом.

**Способ 1 (прямой)** — обучение показом: управляя роботом в ручном режиме, его выводят в требуемую конфигурацию, запоминают в ней показания датчиков обратных связей по положению и используют их в качестве программных значений. Такой способ программирования называют **онлайн-программированием**.

**Способ 2 (косвенный)**: по модели робота и внешней среды на основании заранее проведенных расчетов определяют требуемую программную конфигурацию робота, т. е. программные значения положений элементов робота, оснащенных датчиками обратных связей. Этот способ называется **оффлайн-программированием**.

Современная система управления роботом строится на основе вычислительной техники, чаще всего на микропроцессорной базе с соответствующей атрибутикой: логическими и арифметическими устройствами (часто многопроцессорными), развитой оперативной и постоянной памятью, большим числом каналов ввода и вывода как дискретной, так и аналоговой информации, развитым математическим обеспечением, включающим специализированные языки программирования.

Способ онлайн-программирования применяется в основном для цикловых и позиционных ПР. В отличие от него способ аналити-

ческого программирования в чистом виде — оффлайн-программирования — заключается в независимой подготовке программ на автономном устройстве с последующим переносом на программируемый объект. Иногда при достаточной мощности вычислительных средств робота подготовку программы можно вести в режиме фоновой задачи (робот при этом может выполнять уже отлаженные технологические операции).

## 8.2. ОНЛАЙН-ПРОГРАММИРОВАНИЕ ПРОМЫШЛЕННЫХ РОБОТОВ

Онлайн-программирование ПР выполняется в ходе обучения. В это время оператор находится непосредственно около самого робота, который оборудован специальным пультом управления (рис. 8.1). С помощью пульта управления оператор выполняет все необходимые движения, которые записываются в память системы, и таким образом формируется программа работы.

В начале 1950-х гг. при разработке систем автоматизации металлообрезного оборудования был предложен способ, в соответствии

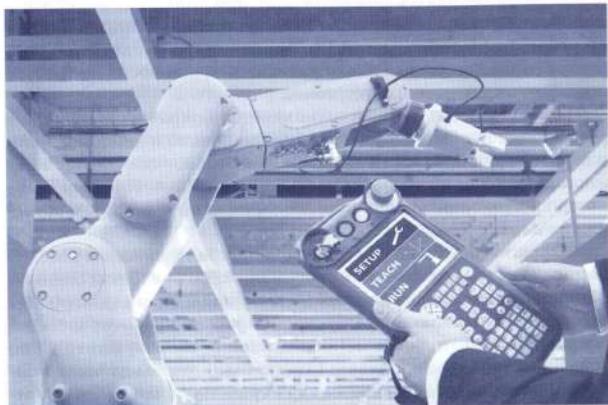


Рис. 8.1. Программирование робота с помощью пульта

с которым программа работы станка формировалась как копия ручного процесса обработки первой детали партии, выполняемого высококвалифицированным оператором. Для этого универсальный станок оснастили соответствующими датчиками для фиксации на программном носителе всех движений оператора, а затем эти движения воспроизвели на автоматическом станке для получения остальных деталей партии. В металлообработке такой способ не нашел широкого применения в связи с тем, что металлообработка — достаточно тонкий технологический процесс и даже в случае производства не очень сложных деталей практически не удается безошибочно изготовить первую деталь без соответствующих контрольных операций и поправок. В результате данный способ не смог конкурировать с расчетным способом подготовки управляющих программ — использованием систем с ЧПУ.

Для программирования роботов, предназначенных для достаточно грубых операций, идея копирования первого ручного цикла, лежащая в основе прямого обучения, оказалась наиболее плодотворной, особенно на начальном этапе развития, когда внедрение вычислительных средств в промышленную робототехнику еще не было экономически целесообразным. Обучение состоит в том, что, пользуясь выносным пультом, оператор выполняет первый технологический цикл, управляемый вручную движением инструмента, закрепленного в захвате робота, при этом все перемещения инструмента последовательно записываются в запоминающее устройство робота (см. рис. 8.1). Этот способ прост, доступен оператору соответствующей квалификации и практически не требует никаких дополнительных устройств.

Первый цикл движений выполняется оператором в ручном режиме, все необходимые параметры движений и действий запоминаются в системе управления, а затем этот же цикл может быть многократно повторен в автоматическом режиме. Поэтому часто метод программирования путем показа называют *методом обучения по первому циклу*.

Эффективность такого подхода при программировании роботов обусловлена тем, что точности зрительной обратной связи оператора, как правило, вполне достаточно для выполнения двигательных актов робота, поскольку при программировании рабочих позиций оператор ориентируется непосредственно по результату — по конечному положению захвата относительно технологических позиций, размещенных в рабочем пространстве робота. Для оператора не имеет значения связь между декартовыми координатами пространства, в котором он привык работать, и обобщенными

координатами робота. На результат программирования практически не влияют также абсолютная погрешность датчиков обратных связей и нелинейность их характеристики. Основное требование, которое предъявляется к системе при таком способе программирования, — высокая повторяемость выхода захвата в заданные позиции. Поэтому для РР повторяемость является одной из важнейших точностных характеристик.

Существует два метода онлайн-программирования: Teach-In (обучение) и PTP (от точки к точке).

**Метод программирования Teach-In** заключается в том, что оператор управляет роботом вручную с помощью джойстиков, выполняя те действия, которые требуются для той или иной операции. Все произведенные действия в точности запоминаются роботом, включая угловые вращения, траектории и скорость движений. Впоследствии робот будет самостоятельно выполнять все выученные действия.

**Метод программирования PTP (от точки к точке)** также выполняется оператором с пульта, но робот не запоминает в точности траекторию, а просто перемещает объект из точки A в точку B по максимально короткому пути. В отличие от метода Teach-In метод PTP не зависит от физиологии оператора. При перемещении PTP траектория не соблюдается, а всего лишь выполняется интерполяция осей на цель, поэтому относительно инструмента могут возникнуть непредвиденные ускорения и скорости, а также опасности столкновения. Поэтому такие перемещения необходимо проверять на предмет потери или повреждения заготовки и (или) инструмента.

Способ онлайн-программирования прост и доступен квалифицированному рабочему. Достаточно с помощью джойстика показать роботу последовательность положений, что избавляет от необходимости владеть специализированным программным обеспечением.

Недостатком данного способа является низкая точность позиционирования робота в процессе обучения. Не во всех случаях роботом удобно управлять, и качество работы во многом зависит от квалификации и опыта рабочего. Метод обучения подходит для программирования небольшого количества действий, но не пригоден для создания объемных программ со сложной логикой. Необходимость остановки производственного процесса на время обучения также является существенным недостатком этого метода управления.

Для достижения максимальной точности воспроизведения программы необходимо стремиться сохранить условия выполнения движений при обучении и при автоматическом воспроизведении

программы. Практически это никогда не выполняется: скорости движения при обучении, как правило, в два-три раза ниже, чем при отработке программы; при обучении позиция достигается обычно последовательным включением приводов отдельных степеней подвижности, а отработка движений осуществляется при одновременном движении по нескольким степеням подвижности.

Вследствие неодинаковых начальных условий и изменившейся динамики процессов движения погрешность позиционирования может быть значительной. В результате необходимо корректировать программу, созданную по первому циклу, и обучение робота превращается в достаточно длительный и трудоемкий итерационный процесс.

При *методе раздельного обучения* для программирования одной точки позиционирования достаточно только одной группы запоминающих устройств. Если же в эту точку необходимо выводить захват несколько раз за цикл, причем из различных точек рабочего пространства (подход к заданной точке с разных сторон), то погрешность такого выхода может значительно возрасти из-за наличия зоны нечувствительности приводов и зазоров в кинематических цепях.

Длительный итерационный процесс обучения обуславливает низкую производительность операций программирования роботов. Поэтому в системах с прямым обучением в отличие от аналитического программирования представляет интерес создание системы обучения с автоматической коррекцией погрешностей позиционирования. В такой системе за счет введения дополнительного комплекта датчиков реализуется возможность за несколько автоматических циклов (от двух до четырех) выявить погрешность позиционирования, обусловленную несовпадением условий обучения и автоматического воспроизведения программы, и запомнить скорректированную величину сигнала, определяющего программу позиции.

Этап программирования робота осуществляется итерационными циклами и состоит из режима первого прохода с управлением оператором и режима автоматической коррекции. В результате формируется программа движений робота, в которой программируемые значения, характеризующие положения захвата в рабочем пространстве, будут скорректированы по результатам движения на рабочих скоростях.

Метод обучения путем показа имеет следующие ограничения, которые сужают область его использования только для простых роботов и относительно несложных технологических операций:

- невозможность использования сенсорной информации (от многокомпонентных силомоментных датчиков, систем технического зрения, тактильных матриц), требующей математической обработки;
- отсутствие возможности выполнения вычислительных операций, повторения некоторых совокупностей элементов цикла движений, переходов на различные элементы цикла по условиям, часто определяемым по текущим показаниям датчиков.

Данные ограничения снимаются при построении системы управления роботом на базе вычислительной техники и при использовании для целей программирования языковых средств, присущих современным ЭВМ.

### 8.3. ОФЛАЙН-ПРОГРАММИРОВАНИЕ ПРОМЫШЛЕННЫХ РОБОТОВ

Программирование промышленных роботов удаленно, за персональным компьютером называется *офлайн-программированием*. Для этого используют специализированное программное обеспечение, в котором генерируют управляющую программу, а затем загружают в память робота. Языковое программирование позволяет создать программы практически любой сложности. Многие компании — изготовители ПР разрабатывают собственное ПО. К ним относятся ABB (RobotStudio), Mitsubishi (RT ToolBox2 и MELFA WORKS), KUKA (WorkVisual). Крупные разработчики CAD/CAM-систем тоже предлагают свои продукты: Siemens PLM Software (RobotExpert), Robotmaster (совместно с Mastercam), Dassault Systemes (DELMIA).

Офлайн-программирование осуществляют следующими видами программирования:

- текстовое программирование — простейший способ создания программ, заключающийся в написании программы в обычном текстовом редакторе;
- графическое программирование на основе 3D-моделей (рис. 8.2) — наиболее популярный вид офлайн-программирования роботов, при котором можно подготовить необходимые траектории движения в трехмерной среде, а затем сформировать управляющую программу. Данный вид программирования позволяет создать точную модель рабочего пространства с роботами и периферийным оборудованием, и выполнить полную симуляцию всего технологического процесса, отследив при этом возможные коллизии.

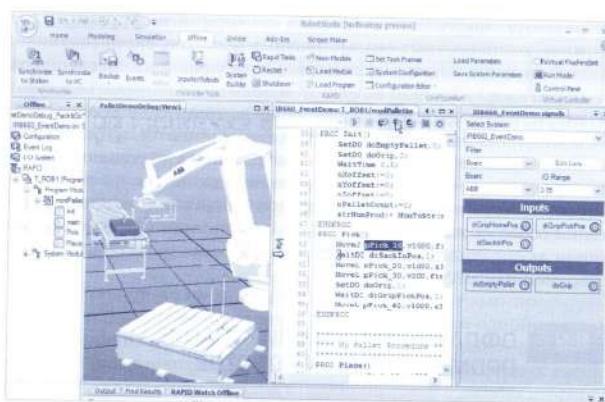


Рис. 8.2. Программирование робота в виртуальной среде

**Достоинство** оффлайн-программирования заключается в том, что пока идет разработка программы, робот продолжает выполнять текущие производственные задачи. Программист может работать удаленно, даже не выезжая на объект автоматизации. Робот будет задействован только для процедуры отладки готовой программы.

Оффлайн-программирование позволяет значительно точнее позиционировать захваты или инструмент, так как координаты точек получают непосредственно с 3D-моделей объектов.

Виртуальная симуляция дает возможность избежать поломки оборудования из-за ошибочных действий оператора. Получаемое наглядное изображение позволяет предварительно, еще на стадии планирования и конструирования робототехнического комплекса, решить ряд задач:

- выбрать тип робота;
- оценить, в состоянии ли робот достичь желаемой позиции в пространстве;
- позиционировать детали в пространстве;
- выявить вероятность возможного столкновения робота и вспомогательного оборудования;
- определить продолжительность рабочего цикла и т.д.

Виртуальная оценка рабочего пространства робота со всех перспектив дает четкое представление о расположении узлов установки, что в реальности не всегда возможно.

**Недостатком** оффлайн-программирования является необходимость наличия CAD-данных, по возможности, всех узлов робототехнической установки. Чем точнее и полнее данные, тем точнее осуществляется программирование робота. На практике не всегда возможно получение всех 3D-моделей и, как правило, их точность по сравнению с реальной средой оставляет желать лучшего. Также довольно трудно оценить расположение труб водопровода, газоснабжения и проводов энергоснабжения, смонтированных на роботе и изменяющих свое положение в зависимости от конфигураций осей робота.

Также к недостаткам оффлайн-программирования можно отнести высокую стоимость существующих сред оффлайн-программирования.

Практически все компании — производители робототехники разрабатывают собственные языки программирования и средства вспомогательного программного обеспечения. Большинство ПР имеют комплексную программную оболочку, в которую при необходимости можно интегрировать разнообразные дополнительные модули расширения. Так, например, существует возможность подключения модулей коммуникаций с внешними сенсорными устройствами: систему видеонаблюдения, систему измерения прилагаемой нагрузки, вращающего момента, что дает возможность робототехнической системе реагировать на изменение внешних условий.

#### 8.4. ФУНКЦИОНАЛЬНАЯ СХЕМА СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ПРОМЫШЛЕННЫМИ РОБОТАМИ

Современное развитие робототехники связано с интенсивной разработкой программного обеспечения, направленного на реализацию в системах управления ПР элементов искусственного интеллекта.

Проблема создания языка программирования высокого уровня, в котором программист оперирует командами, близкими по своему содержанию к технологическим операциям или их завершенным элементам, тесно связана с более общими задачами по исследованию искусственного интеллекта. Поэтому закономерно, что основные принципы построения языков программирования

для роботов были разработаны в научных коллективах, занимающихся теоретическими вопросами машинного разума.

В настоящее время известно очень много робототехнических языков как оригинальных, так и базирующихся на традиционных универсальных языках современных ЭВМ. Далее рассмотрена укрупненная классификация, учитывающая специфику задач, решаемых на различных уровнях управления роботом.

Совершенствование роботов происходит в направлении последовательного наращивания более высоких уровней системы управления вплоть до реализации элементов искусственного интеллекта. При этом за счет наращивания технических средств и обогащения программного обеспечения расширяются функциональные возможности каждого уровня, повышается универсальность и автономность робота путем придания ему адаптивных свойств по отношению к внешней среде.

Оператор должен иметь возможность взаимодействия с роботом на разных уровнях иерархии системы управления. При этом каждому уровню должен соответствовать свой входной язык, адекватный задачам, решаемым на данном уровне иерархии. Заметим, что лишь на нижнем уровне иногда допускается прямой способ обучения.

Функциональная схема системы управления ПР разбита на уровни, среди которых следует выделить четыре уровня системы управления: уровень исполнения, тактический, стратегический и интеллектуальный.

На **уровне исполнения** движение руки робота задается в кодах значений обобщенных координат по отдельным степеням подвижности. Эти коды преобразуются в управляющие сигналы, отрабатываемые в функции времени приводами робота. В результате синхронизации по времени захват робота перемещается в рабочем пространстве по некоторой траектории, обеспечивающей выполнение заданной операции.

На **тактическом уровне** движение задается в терминах координат захвата в декартовом пространстве. Здесь в результате математической обработки требуемая траектория автоматически формируется как некоторая последовательность прохождения узловых точек, между которыми осуществляется интерполяция (например, сплайнами). Декартовы координаты узловых точек преобразуются в обобщенные координаты робота. На выходе тактического уровня формируется последовательность векторов обобщенных координат робота в функции времени.

Для решения указанных задач на тактическом уровне требуется полная информация о роботе, которая оформляется как некоторая

совокупность данных, характеризующих его модель. Модели могут быть выполнены на кинематическом или динамическом уровне. Модель робота составляет одну из важнейших подсистем общей базы данных системы управления.

Все типовые тактические задачи (например, задача интерполяции), составляющие основу программного обеспечения тактического уровня, привязываются к конкретному роботу через его модель. Полное программное обеспечение нельзя перенести с одного робота на другой. Любое изменение конструкции робота в части его структуры, длины звеньев, расположения кинематических пар, а также распределения масс звеньев или характеристик приводов в случае динамической модели должно быть учтено соответствующим изменением данных, описывающих модель.

На **стратегическом уровне** управления задание формируется путем указания операций, которые необходимо выполнить над объектом манипулирования. В отличие от более низких уровней управления здесь задание отвечает на вопрос: что сделать, а не как сделать. Программист уже не формирует движения робота, не оперирует декартовыми координатами захвата или обобщенными координатами робота, вместо этого он оперирует только символьными именами объектов или их элементов. Все эти имена должны быть определены в системе.

Задача обработки информации на стратегическом уровне состоит в преобразовании полученного программного задания на операцию в последовательность элементарных движений и действий захвата робота в декартовой системе координат с учетом имеющихся ограничений. Для решения этой задачи должна быть известны расположение объектов, их ориентация, состояние связей между объектами, состояние периферийного оборудования и др. Вся эта информация составляет модель окружающей среды, которая является второй важнейшей подсистемой базы данных робота. Любое преобразование среды роботом, а также технологическим или вспомогательным периферийным оборудованием должно сопровождаться адекватным преобразованием текущего состояния ее модели. Основным источником информации для дополнительного определения модели среды служит сенсорная система робота.

На **интеллектуальном уровне** задание формируется в терминах технологической задачи без детализации действий на низких уровнях иерархии системы управления. На данном уровне осуществляется автоматическое преобразование программного задания в последовательность укрупненных действий робота над объектами среды. При этом с помощью сенсорной системы исследуется теку-

щая ситуация, сложившаяся в зоне работы робота, анализируются различные планы достижения поставленной цели, на основании анализа текущей ситуации автоматически принимается решение о выборе рационального плана из рассмотренных, выбранный план конкретизируется до уровня задания последовательности действий над объектами среды.

Последовательное укрупнение задач в иерархической структуре системы управления роботом четко отражается в структуре применяемых языков программирования. На уровне исполнения преобладают машинно-ориентированные (по типу используемых процессов) языки типа ассемблера. На тактическом уровне управления, где формируются двигательные функции в координатах захвата, используют робото-ориентированные языки программирования.

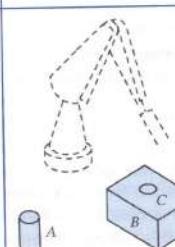
И, наконец, для стратегического и интеллектуального уровней, полностью абстрагированных от особенностей геометрии и кинематики робота, активно разрабатываются и проходят опытно-промышленную апробацию задачно-ориентированные языки программирования. Поскольку для функционирования верхних уровней управления исходной информацией служат полные геометрические модели среды с описанием всех объектов, включая и сам робот, то задачно-ориентированный язык часто называют языком программирования объектного уровня или системой моделирования рабочей обстановки.

Робото- и задачно-ориентированные языки программирования, как правило, подобны или базируются на языках высокого уровня универсальных ЭВМ. При этом уровень интеграции команд в задачно-ориентированных языках выше, чем в робото-ориентированных. Поэтому входной текст программ на задачно-ориентированном языке отличается большей компактностью и наглядностью.

Представление о структуре программы для роботизированной операции сборки двух элементов на языках программирования различного уровня дает пример, приведенный в табл. 8.1. Видно, что при использовании задачно-ориентированных языков программирования достигается весьма важное для практики качество: в значительно меньшей степени требуются знания пользователя в области программирования ЭВМ и построения алгоритмов движения роботов.

Обеспечение минимальных требований к уровню профессиональной подготовки оператора-программиста — одно из главных условий, предъявляемых к языку программирования роботов. Уровень языка определяет производительность программирования на нем. Как показали исследования, число операторов, отложенных

**Таблица 8.1. Пример программирования задачи сборки двух элементов на робото- и задачно-ориентированном языках программирования**

Язык программирования	Описание работы	Последовательность операций
Робото-ориентированный язык программирования		1. Перевести схват робота в точку, находящуюся над точкой <i>P</i> на расстоянии 50 мм. 2. Опустить схват в точку <i>P</i> . 3. Сжать пальцы схвата. 4. Поднять схват на высоту 50 мм над точкой <i>P</i> . 5. Перевести схват в точку, находящуюся над точкой <i>F</i> на расстоянии 50 мм. 6. Опустить схват в точку <i>K</i> . 7. Раскрыть пальцы схвата. 8. Поднять схват на 50 мм над точкой <i>K</i> . 9. Перевести схват в исходную точку <i>I</i>
Задачно-ориентированный язык программирования		Поместить втулку <i>A</i> в отверстие <i>C</i> объекта <i>B</i>

в день программистом, — приблизительно постоянно и не зависит от уровня языка. Объем же текста программы, необходимой для решения данной задачи, с переходом на язык высокого уровня уменьшается.

Простота программирования, особенно при синтезе алгоритмов движения на основе информации от сенсорной системы робота, дости-

тается за счет существенного обогащения и развития операционной среды (системного, сервисного и служебного программного обеспечения), в которой функционирует прикладная программа пользователя.

Основу системного обеспечения, как и в любой ЭВМ, составляет операционная система — набор взаимосвязанных между собой программ, являющихся фактически посредниками между аппаратными средствами и сервисными программами или программами пользователя. В функции операционной системы входят организация и управление процессами ввода-вывода информации для различных периферийных устройств. Наряду со стандартными для ЭВМ устройствами типа клавиатуры, мониторов, принтеров и дисковых накопителей, периферийными устройствами также являются приводы робота, его сенсорная система и датчики среды. Операционная система осуществляет управление внешней памятью и файловой системой, обслуживание прерываний как от встроенных таймеров, так и от инициативных датчиков среды, например от датчиков, регистрирующих появление человека в зоне работы робота. Наконец, в функции операционной системы входят синхронизация работы нескольких процессоров (если каждая степень подвижности робота управляется своим микропроцессором), организация мультизадачной обработки, т. е. распределение времени процессора между задачами, параллельно решаемыми в системе, выявление ошибочных ситуаций в действиях оператора и самой системы управления с последующей индикацией ошибок, запуск и выполнение сервисных программ и программ пользователя.

К сервисным программам относятся непосредственно компиляторы или интерпретаторы с входными языками программирования, программы-редакторы, компоновщики, отладчики, программы создания баз данных. Служебными программами являются планировщики заданий, а также масса специальных программ, реализующих отдельные функции сенсорной системы робота и алгоритмы построения движений. Если многие из этих программ входили в отдельные пакеты, которые использовались в мощных универсальных ЭВМ, то в настоящее время по мере наращивания уровней управления роботом они образуют комплекс взаимосвязанных программ.

Такой комплекс обеспечивает автоматический перевод заданий с входного языка высокого уровня на язык более низкого уровня, и так последовательно до выдачи команд управления приводами непосредственно на уровне исполнения. Таким образом, простота и компактность входного языка, которым оперирует человек при программировании робота, достигается за счет создания мощного программного обеспечения.

## 8.5.

### СТРУКТУРА ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ПРОМЫШЛЕННЫМИ РОБОТАМИ

Опыт создания программного обеспечения для сложных систем показал, что наиболее целесообразно строить программное обеспечение как совокупность логически завершенных программ-модулей или их пакетов, каждый из которых отвечает за реализацию отдельных функций робототехнической системы. Модульность позволяет создавать и отлаживать программы независимо друг от друга, согласовав их только по входным и выходным данным. При этом существенно облегчается компоновка всей системы из уже отлаженных модулей, а также достигается гибкость и возможность модернизации и совершенствования созданной системы за счет замены или модификации отдельных программ.

Каждый блок структуры программного обеспечения робота представляет собой пакет программ-модулей, предназначенный для обслуживания соответствующих каналов ввода-вывода компьютерной системы управления. В общем случае существует четыре группы каналов связи:

- 1) с сенсорными устройствами (в основном на ввод информации);
- 2) технологическим оборудованием;
- 3) исполнительными механизмами (на вывод информации — прямое управление, а на ввод — для контроля и организации обратных связей);
- 4) канал взаимодействия с оператором (на ввод информации — для указания директив и программы работы оборудования, на вывод — для отображения результатов работы системы).

По всем этим каналам информация может поступать в виде сигналов трех типов:

1) аналоговый — сигнал переменного уровня, который с помощью аналого-цифрового преобразователя формируется в соответствующий двоичный код;

2) цифровой — комбинация двоичных кодов;

3) инициативный — в виде одиночного импульса, поступающего в систему прерываний управляющей ЭВМ.

Цифровые и аналоговые каналы опрашиваются по инициативе ЭВМ периодически или по мере необходимости при выполнении тех или иных программ. Поступление сигнала по инициативному каналу может произойти в любое время. Он прерывает текущую работу процессора и вызывает соответствующую программу реак-

ции. Разрешение конфликтов между различными инициативными каналами осуществляется с помощью системы назначаемых приоритетов. Канал более высокого приоритета может прервать программу реакции канала более низкого приоритета.

Система управления инициируется по команде оператора. Он на входном языке формирует пользовательскую программу работы оборудования, которая воспринимается системой как некоторый завершенный объем символьной информации (файл), представленный последовательностью двоичных кодов. Под управлением операционной системы этот символьный файл обрабатывается программой-интерпретатором или программой-компилятором со входного языка. В результате формируется последовательность команд (рабочая программа), представленная также в виде двоичных кодов, но уже содержащая все необходимые проверки требуемых условий и переходы к служебным программам-модулям функциональных пакетов программ.

При обнаружении синтаксических или логических ошибок в символьном файле система выдает оператору диагностические сообщения. По инициативе оператора символьный файл может быть обработан сервисными программами (программой-редактором, отладчиком и др.), что позволяет достаточно быстро и эффективно получить отложенную на уровне синтаксиса рабочую программу пользователя. На этом заканчивается первый этап отладки пользовательской программы.

На втором этапе рабочая программа по директиве оператора может быть выполнена в пошаговом режиме с выдачей управляющих воздействий и приемом информации по всем задействованным каналам ввода-вывода. Оператор, наблюдая за выполнением каждого элемента цикла на работающем оборудовании и отслеживая выполняемые команды, воспроизводимые на экране дисплея, может ввести соответствующие поправки или непосредственные значения данных. К таким данным, в частности, относятся значения координат позиций, в которые перемещается захват робота. Данные вводятся обычно по сигналу оператора после того как он с помощью пульта ручного управления вывел захват в требуемую позицию. Здесь, как видим, при способе программирования с помощью команд присутствуют элементы прямого обучения.

После завершения необходимых коррекций и ввода требуемых установок заканчивается второй этап и скорректированная рабочая программа готова к реализации в рабочем режиме. Оператор может воспользоваться сервисными программами для организации ее хранения на долговременном носителе и для выдачи ее на печа-

тющее устройство. В пошаговом и рабочем режимах программа выполняется с использованием требуемых служебных пакетов программных модулей системы, «зашитых» в постоянном запоминающем устройстве.

К таким пакетам относятся: программы управления движением робота; программы управления внешним оборудованием, например, режимом работы источника тока при роботизированной сварке или краскопультом при окраске, и программы обработки сенсорной информации о внешней среде. В свою очередь программные модули управления движением используют данные программной модели робота, а модули обработки сенсорной информации используют и обновляют данные модели среды, сформированные в оперативной памяти.

Все эти программные модули работают под управлением системных программ, обслуживающих как внешние запросы (по инициативным сигналам от внешних устройств, включая оператора), так и внутренние запросы от различных программных модулей на обработку данных и опрос внешних каналов. В функцию именно этого ядра программного обеспечения входят организация службы реального времени и системы прерываний с учетом приоритетов устройств и модулей.

## 8.6. ЯЗЫКИ ПРОГРАММИРОВАНИЯ ПРОМЫШЛЕННЫХ РОБОТОВ

Существует достаточно много языков программирования роботизированных систем. Вот только некоторые из них: AL, AML, MELFA Basic 4, Movemaster Command, IRL, KRL, RAPID, Vplus, FROB, RPL, RPS, RCCL, Saphira, Colbert. Все эти языки различаются уровнем работы робота. Так, некоторые предназначены для общения с внешним миром, например, с оператором, другие языки — для реализации логики алгоритма на машинном уровне (языки низкого уровня). Также есть отличие в задачах, которые призваны решать эти языки. Возможно, некоторые из них являются более теоретическими и представляют собой результат разработки универсального способа общения человека и робота, в то время как другие, наоборот, призваны решать более прикладные задачи конкретных типов механизмов в конкретных сферах производственной деятельности человека. Также многообразие языков программирования определяется тем, что многие из них разрабатывались для конкретных платформ и сред исполнения конкретными производителями. Так, например, язык

AML был разработан компанией IBM для своих роботов типа IBM RS-1, языки MB4 и MRL — компанией Mitsubishi для своих систем. Выделяют следующие уровни языков программирования.

**Уровень 1 (низший).** На этом уровне происходит программирование непосредственно узлов исполнения механизма (приводов). На этом уровне приходится брать во внимание структуру самого манипулятора, например, чтобы позиционировать захват в необходимой точке пространства, необходимо отдать соответствующие отдельные команды позиционирования для каждой оси.

**Уровень 2 (средний, или тактический).** На этом уровне программирование идет командами типа «ВЗЯТЬ», «ПЕРЕНЕСТИ», «ОТКРЫТЬ ДВЕРЦУ» и т. д. Эти команды расшифровываются вычислительной машиной и переводятся на языки низшего уровня. На этом уровне для позиционирования захвата необходимо только определить трехмерную точку назначения, а соответствующие команды для осей будут выработаны компилятором языка самостоятельно.

**Уровень 3 (высший, или стратегический).** Команды на этом уровне имеют более общую формулировку задания, например «СОБРАТЬ УЗЕЛ», «РАЗГРУЗИТЬ КОНТЕЙНЕР» и т. д. Эти обобщенные команды переводятся на языки низшего уровня, а возможно и тактического, с учетом информации о свойствах внешней среды, рабочих объектов, причем возможные варианты алгоритмов для достижения заданной цели определяются и сравниваются по критериям оптимизации. Например, на этом уровне для движения по заданным точкам может использоваться интерполяция, т. е. в предыдущих двух уровнях позиционирование осуществлялось в точно указанных точках, а на этом уровне позиционирование будет осуществляться по интерполяционной траектории, возможно, с обработкой ситуации возникновения препятствия на пути.

Очевидно, что чем выше уровень языка, тем он сложнее в своей реализации, но более прост в своем использовании.

Основная часть перечисленных ранее языков предназначена для управления универсальными роботизированными системами. Но есть и более узкие по своему применению системы, которые также призваны решать задачи автоматизации производства. Такие системы могут разрабатываться для конкретного предприятия. Примером такой системы может служить автоматизированная технологическая линия. Обычно для параметризации и программирования такой системы могут использоваться не языки программирования, а табличное представление шагов, которые необходимо выполнить механизму во время одного технологиче-

ского такта. Таким же образом перечисляются точки назначения, из которых состоят эти шаги, и параметры, с которыми механизм должен выполнять тот или иной шаг. Тут необходимо сделать замечание, что не следует путать средство программирования самой системы и язык программирования аппаратной части исполнительного механизма этой системы. Так, например, если роботизированная система построена на основе программируемого логического контроллера семейства SIMATIC компании Siemens, то такой логический контроллер может быть запрограммирован на языке SCL (Structured Control Language). Другими словами, «движок» этой системы может быть реализован средствами указанного языка. Однако средство программирования системы разрабатывается проектировщиком этой системы и предназначено для предоставления оператору технологической линии средства для формирования алгоритма работы этой системы, может представлять собой язык программирования, табличное представление шагов, необходимых для выполнения технологических тактов, или имеет иное представление.

Выбор того или иного средства формирования алгоритма зависит от конкретного проекта и, возможно, от его универсальности.

## 8.7. ИНСТРУМЕНТАРИЙ ОФЛАЙН-ПРОГРАММИРОВАНИЯ РОБОТИЗИРОВАННЫХ СИСТЕМ

Создание гибких производственных систем является ключевой стратегической целью любого машиностроительного предприятия. Благодаря таким очевидным достоинствам, как повышение качества изделий, производительности и безопасности труда, снижение брака, высокая степень воспроизводимости параметров изделий, подобное применение роботов приобретает все большую популярность. Однако дальнейшему прогрессу мешает одно существенное ограничение: применение традиционных методов программирования процесса изготовления и сборки изделий оказывается сложным и трудоемким делом, сопровождающимся длительными простоями оборудования, что до сих пор делало роботизацию операций металлообработки и сборки экономически не выгодной для мелкосерийного производства. Настройка робота на операции порой становится весьма сложным делом. Появляется необходимость в привлечении высококвалифицированных специалистов и больших затратах их дорогостоящего рабочего времени. Как

правило, автоматизация оправдывается лишь в случаях массового производства.

На производствах, где объем партии выпускаемых изделий не превышает 50 шт. или в основном заняты работники невысокой квалификации, нередко отсутствуют стимулы к вложению средств в автоматизацию. В подобных случаях требуется программный инструментарий, которым могли бы пользоваться операторы, не обладающие специальными знаниями в области робототехники и имеющие весьма скромный опыт работы со средствами автоматизированного проектирования. Это должен быть инструментарий, позволяющий без труда осуществлять программирование в автономном режиме и моделировать работу гибкого автоматизированного участка (ГАУ) на персональном компьютере.

Такой инструментарий позволяет операторам станков, имеющим лишь элементарные познания в области робототехники и программного обеспечения, программировать и моделировать работу робота. При этом от пользователя полностью скрыты все сложные технические узлы робота, а программирование выполняется с помощью интуитивно понятного интерфейса.

Последовательность технологических операций определяется в интерактивном режиме посредством моделирования работы робота и рабочего цикла. В ходе прогона системы в рабочем цикле на каждой стадии автоматически проверяется возможность достижения роботом требуемых объектов, рабочая зона и вероятность столкновений. На случай обнаружения проблемных ситуаций предусмотрен ряд инструментов, позволяющих вносить необходимые изменения. После того как система проверит рабочий цикл, траектория движения манипулятора может быть преобразована в формат, совместимый с языком робота, а полученный файл загружен в память контроллера робота. Часть программы, относящаяся к отдельным операциям, сразу генерируется, поэтому после экспресс-проверки программы непосредственно на ГАУ новое изделие можно запускать в производство.

## 8.8. ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТЬ ПРОГРАММИРОВАНИЯ РОБОТОТЕХНИЧЕСКИХ КОМПЛЕКСОВ

В начале программирования производится конфигурирование и настройка ГАУ, определение схемы размещения модулей производственного участка путем выбора типа и места установки эле-

ментов системы. Для всех моделей роботов и системных модулей имеются соответствующие библиотеки.

Далее необходимо задать параметры геометрической формы детали, подлежащей программированию путем импорта 3D-модели, выполненной в одной из CAD-систем.

Затем задаются начальные параметры ГАУ с помощью различных инструментальных наборов установочных параметров применяемого оборудования, захватного устройства робота и прочих настраиваемых модулей, входящих в состав робототехнической системы.

После этого задается последовательность сборочных операций и генерирование программы изготовления и сборки изделия.

## 8.9. ПРОИЗВОДСТВЕННАЯ СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ ДАННЫМИ

Средства программирования робототехнических комплексов входят в состав производственной PDM-системы (project data

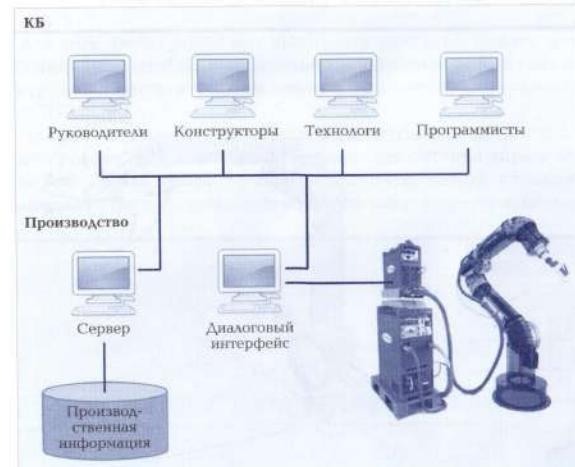


Рис. 8.3. Производственная PDM-система

management — управление данными об изделии), т.е. имеют открытые интерфейсы, обеспечивающие сопряжение с другими инструментальными средствами САПР. Предусмотрена возможность вызова технологической информации с общего сервера в целях немедленной передачи ее на цеховой уровень, т.е. для введения в станок и в робот (рис. 8.3).

Интеграция средств программирования робототехнических комплексов с PDM-системой позволяет реализовать прямую вертикально интегрированную связь между производством и конструкторским бюро, оснащенным средствами автоматизированного проектирования, что дает возможность сразу же переносить на производство любые изменения в конструкторской документации.

## 8.10. ПРОГРАММИРОВАНИЕ РОБОТА В СИСТЕМЕ RobotStudio

**RobotStudio** — это программное обеспечение для моделирования и оффлайн-программирования роботизированных ячеек, разработанное компанией ABB. Система позволяет выполнять такие

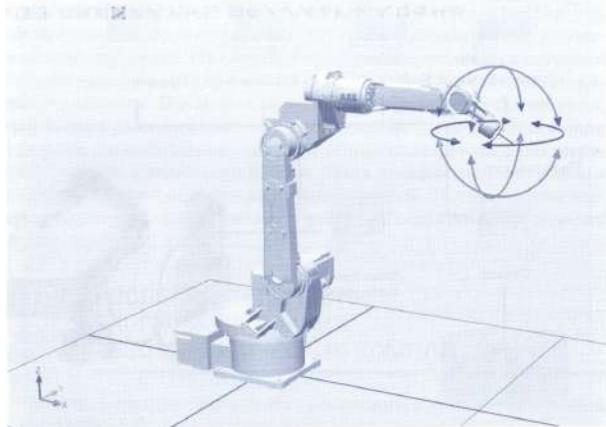


Рис. 8.4. Управление роботом в ручном режиме

задачи, как обучение, программирование и оптимизация роботов на обычном персональном компьютере в офисе без остановки производства.

В оффлайн-режиме RobotStudio моделирует процессы посредством виртуального контроллера, который является копией реального физического контроллера IRC5. При подключении к компьютеру реального контроллера RobotStudio будет управлять реальным роботом в онлайн-режиме.

Система имеет встроенную библиотеку с готовыми моделями роботов и оборудования. При необходимости пользователи могут создавать собственные модели.

Основное окно программы представляет собой виртуальное пространство производственной ячейки, в которой располагается сам робот и необходимое оборудование. После добавления модели робота в проект к нему необходимо подключить виртуальный контроллер (Robot System), после этого он будет готов к работе.

С помощью инструмента Freehand пользователь может свободно вращать и перемещать звенья робота компьютерной мышью в доступных для каждого из них координатах (рис. 8.4). Помимо этого каждому звену можно задать точные координаты в пространстве (рис. 8.5).

Для того чтобы робот мог выполнять полезную работу, в его рабочий орган необходимо установить захватное устройство или инструмент, которые можно найти в библиотеке оборудования (рис. 8.6).

Далее следует добавить модель обрабатываемой детали и элементы роботизированной ячейки, такие как система управления роботом, столы, накопители, конвейерные ленты, стеллажи, ограждения (рис. 8.7). Модели оборудования могут быть созданы



Рис. 8.5. Задание точных координат



Рис. 8.6. Библиотека оборудования

в любой CAD-системе, а затем импортированы через стандартные форматы.

Траекторию движения инструмента робота можно задать либо по заранее рассчитанному массиву координат, либо с помощью привязки к геометрии модели. Все дополнительные механизмы будут двигаться по автоматически рассчитанным траекториям в соответствии с кинематической схемой робота, точно позиционируя инструмент (рис. 8.8).

После отработки всех перемещений генерируется программа работы, которую можно загружать в реальный робот. Однако вна-

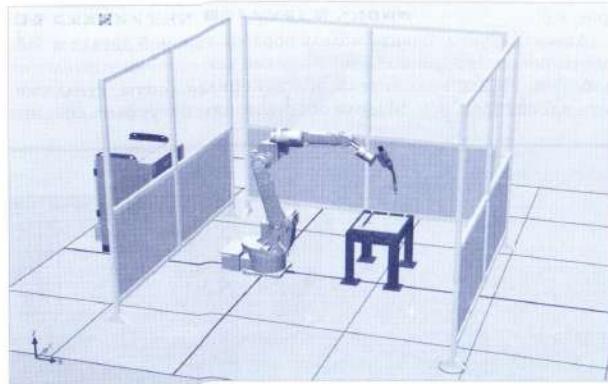


Рис. 8.7. Расстановка оборудования

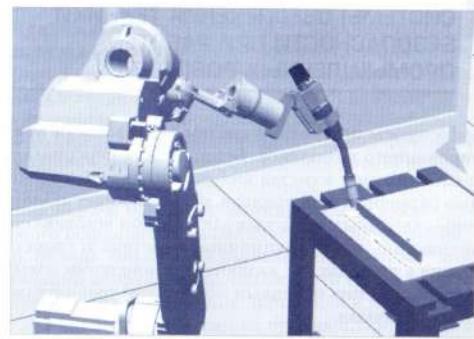


Рис. 8.8. Траектория обработки

чало нужно отработать корректность всех перемещений и проверить отсутствие столкновений, выполнив виртуальную симуляцию. Система программирования способна самостоятельно обнаружить столкновения в процессе симуляции и внести в программу необходимую коррекцию. Полученный программный код можноедактировать вручную для более точной настройки (рис. 8.9).

```

T_ROBOT/Module1.x
1 MODULE Module1
2   COST_retarget Target_10=[[0, 947995571, 75, -4279000004, 5],[0,530275731, -0,128281113, -0,109848487,
3   0, 021094440],[0, 0, 0, 0],[97+09, 9C+09, 91+09, 94+09, 97+09]];
4   CONST retarget Target_11=[[0, 947995571, 75, -4279000004, 5],[0,530275731, -0,128281113, -0,109848487,
5   0, 0220946794],[1, -1, 0, 0],[01+09, 95+09, 94+09, 93+09, 95+09],[0, 5379065034, 0,131292275, -0,089853399,
6   0, 0220946794],[1, -1, 0, 0],[01+09, 95+09, 94+09, 93+09, 95+09]];
7   CONST retarget Target_30=[[109, 193000352, -10, -70,1060334, 5],[0,537906024, 0,131292275, -0,089853399,
8   0, 0220946794],[0, -1, 0, 0],[91+09, 93+09, 94+09, 95+09, 96+09]];
9   CONST retarget Target_40=[[182, 041770446, -47, -205380469, 5],[0,5331818735, 0,11304156, 0,17440607,
10   0, 0220946794],[0, -1, 0, 0],[90+09, 93+09, 94+09, 95+09, 96+09]];
11   CONST retarget Target_50=[[182, 047900071, 79, -4279000004, 5],[0,517089306, -0,259351698, 0,168812501,
12   0, 0220946794],[0, -1, 0, 0],[90+09, 93+09, 94+09, 95+09, 96+09]];
13
14 PROC main()
15   Path_1R;
16   /* add your code here */
17 ENDPROC
18
19 PROC Path_1R()
20   move Target_10,v50,fine,PR1_500@Obj1::workobject_2;
21   move Target_20,v50,fine,PR1_500@Obj1::workobject_2;
22   move Target_30,v50,fine,PR1_500@Obj1::workobject_2;
23   move Target_40,v50,fine,PR1_500@Obj1::workobject_2;
24   move Target_50,v50,fine,PR1_500@Obj1::workobject_2;
25
26 ENDPROC
27
28 ENDMODULE

```

Рис. 8.9. Программа обработки

## 8.11. СИСТЕМЫ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ТЕХНИКИ БЕЗОПАСНОСТИ ПРИ РАБОТЕ ПРОМЫШЛЕННЫХ РОБОТОВ

**Общие вопросы построения систем безопасности при работе роботизированного комплекса.** Безопасность персонала, работающего с комплексами, в состав которых входят ПР, обеспечивают с помощью различных мероприятий, целью которых является предупреждение аварийных и опасных для здоровья человека ситуаций. ПР, выполняющие манипуляционные действия и транспортные перемещения в пределах РК, являются устройствами повышенной опасности и могут стать основным источником травматизма обслуживающего персонала.

Основными причинами возникновения аварийных ситуаций при работе РК могут стать:

- неправильные (непредусмотренные) движения ПР во время обучения и автоматической работы, в том числе погрешность позиционирования рабочих органов;
- авария технологического оборудования на участке;
- ошибочные действия оператора во время наладки и ремонта;
- доступ человека в рабочее пространство ПР при его работе в автоматическом режиме;
- нарушение номинальной грузоподъемности ПР;
- неудобное и тесное размещение технологического оборудования, пультов управления, тары, накопителей и транспортных средств на участке;
- размещение пультов управления внутри рабочего пространства ПР и отсутствие специального ограждения;
- отключение при аварийной остановке ПР устройств, перерыв в работе которых связан с возможностью травмирования персонала;
- отсутствие у оператора четкой информации о ситуациях на участке и причинах возникновения неполадок.

Безопасность при эксплуатации РК достигается за счет их рациональной планировки, безопасности и безаварийной работы оборудования, а также с помощью специальных устройств, обеспечивающих безопасность обслуживающего персонала. Главная цель этих мероприятий и устройств состоит прежде всего в исключении возможности одновременного нахождения человека и механизмов робота в одном месте рабочего пространства.

Планировка комплексов оборудования роботизированных участков и линий должна обеспечивать свободный, удобный

и безопасный доступ обслуживающего персонала к ПР, основному и вспомогательному технологическому оборудованию, к органам управления и аварийного отключения всех видов оборудования и механизмов, входящих в состав РК. Желательно, чтобы органы управления и аварийных блокировок были размещены на общем пульте управления и дублированы вдоль фронта оборудования по трассе возможных перемещений обслуживающего персонала.

При планировании РК необходимо обеспечить нормальные условия освещения и обзора для оператора.

Планировка РК (участков, линий) зависит также от типа используемого основного технологического оборудования, его компоновки, формы, размеров и расположения рабочих зон, уровня автоматизации оборудования, надежности его работы и степени информационного обеспечения; компоновки и структурно-кинематической схемы ПР, а также от уровня его информационного оснащения. Например, требованиям обеспечения свободного доступа к оборудованию и его осмотра в большей степени соответствуют подвесные передвижные ПР, в том числе ПР, рабочие зоны которых не совмещены с рабочими зонами оператора. Оснащение ПР развитой системой информации о состоянии внешней среды также способствует улучшению условий безопасности обслуживающего персонала и безаварийной работе оборудования в составе РК.

С точки зрения обеспечения безопасности обслуживающего персонала следует рассмотреть три типа планировок РК, характеризующихся расположением рабочих зон ПР и операторов (рис. 8.10).

Комплексы, исключающие возможность появления оператора в пределах рабочей зоны ПР при его автоматической работе, показаны на рис. 8.10, а. Обычно это комплексы с круговым ограждением, при раскрытии створки которого посыпается командный сигнал на останов ПР. К числу таких комплексов относятся и те, в которых использованы ПР, встроенные в основное технологическое оборудование. Требуемые переналадки и коррекция работы РК должны осуществляться на пультах оператора вне рабочей зоны ПР. Ограждение не должно затруднять визуальный контроль оператора за работой РК.

Устранение поломок и необходимую профилактическую работу осуществляют при выключении автоматического режима.

Комплексы с совмещением рабочих зон оператора и ПР показаны на рис. 8.10, б. В таких комплексах требуется принимать специальные меры безопасности обслуживающего персонала. Это комплексы с автономными ПР, осуществляющими единичное или

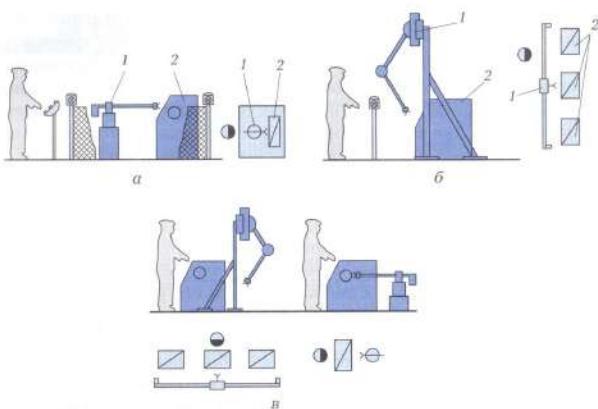


Рис. 8.10. Основные типы планировок роботизированных технологических комплексов:

*a* — комплексы, исключающие возможность появления оператора в пределах рабочей зоны ПР при его автоматической работе; *б* — комплексы с совмещением рабочих зон оператора и ПР; *в* — комплексы с разделением рабочих зон оператора и ПР; 1 — ПР; 2 — станок

групповое обслуживание оборудования. Если такие комплексы оснащены ПР, работающими по жесткой программе, то появление человека в рабочей зоне робота должно вызывать автоматическую блокировку его работы. При использовании ПР с гибким управлением (в том числе адаптивных ПР) последовательность и порядок отработки кадров управляющей программы не задаются исходно, а определяются в процессе функционирования на основании информации, поступающей с оборудования, входящего в состав комплекса. При совмещении рабочих зон оператора и ПР в адаптивных РТК с гибким управлением остановка движений ПР должна осуществляться только в той точке (зоне) рабочего пространства, где находится оператор.

Комплексы с разделением рабочих зон оператора и ПР, например, когда ПР загружает оборудование с тыла, а оператор перемещается вдоль фронта станков, показаны на рис. 8.10, *в*. В этом случае появление человека в рабочей зоне ПР должно вызывать блокировку работы робота автоматически.

Устройство защиты РК должны формировать командный сигнал на останов движений ПР в опасной для человека зоне его рабочего пространства. Для формирования такого командного сигнала устройства защиты должны осуществлять регистрацию пространственного положения ПР и отдельных его механизмов, а также местонахождения обслуживающего персонала при появлении его в рабочей зоне ПР. Снятие сигнала должен выполнять сам оператор, осуществляющий наладку и обслуживание РТК.

Конструкция ПР должна учитывать условия эксплуатации и особенности окружающей среды, которые могут повлиять на обеспечение надежности, безаварийности и безопасности работы. При эксплуатации в условиях агрессивных сред ПР должен быть поставлен в соответствующем защите исполнения с учетом требований ГОСТ 12.1.004—91 «Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Пожарная безопасность. Общие требования», ГОСТ 12.1.010—76 «ССБТ. Взрывобезопасность. Общие требования», ГОСТ 12.2.020—76 «ССБТ. Электрооборудование взрывозащищенное. Термины и определения. Классификация. Маркировка» и др.

Внезапное отключение питания не должно приводить к повреждению ПР или травмированию обслуживающего персонала. Захватное устройство при отключении питания должно удерживать объект манипулирования. Основные требования к элементам конструкции должны соответствовать ГОСТ 12.2.003—91 «ССБТ. Оборудование производственное. Общие требования безопасности». При выборе средств аварийной и предупредительной сигнализации следует отдавать предпочтение звуковым сигналам.

Пульт управления ПР должен размещаться вне рабочей зоны в месте, обеспечивающем хорошее наблюдение за работой ПР и оборудования, входящего в состав РК.

Организация РК, автоматизированных участков и линий должна предусматривать максимальную механизацию и автоматизацию вспомогательных операций, связанных с воздействием на работающих опасных и вредных факторов. Ограждение, знаки безопасности и сигнальные цвета, наносимые на оборудование РК, должны отвечать требованиям ГОСТ 12.4.026—2015 «ССБТ. Цвета сигнальные, знаки безопасности и разметка сигнальная. Назначение и правила применения. Общие технические требования и характеристики. Методы испытаний». Расстояние ограждения РК от границ рабочей зоны ПР должно быть не менее 0,8 м.

При перемещении объектов манипулирования над рабочими местами, проходами и проездами под трассой ПР необходимо предусматривать защитные сетки, экраны или другие устройства.

Если РК оснащен несколькими пультами управления, необходимо предусматривать соответствующие блокировки, исключающие возможность параллельного управления от различных пультов.

Автоматические линии и автоматизированные участки с применением ПР должны оснащаться кнопками аварийных блокировок работы ПР и оборудования других видов. Кнопки аварийных блокировок должны быть расположены в пределах рабочей зоны оператора на расстоянии не более 4 м одна от другой.

К работе по наладке и эксплуатации РК допускаются только лица, прошедшие специальную подготовку. Контроль за мероприятиями и средствами обеспечения безопасности и соблюдением персоналом требований техники безопасности должен осуществляться службой безопасности предприятия. Рациональные режимы труда и отдыха персонала, обслуживающего конкретные РК, регламентируются на основе межотраслевых и ведомственных нормативов.

Общие требования безопасности регламентируются ГОСТ 12.2.072—98 «Работы промышленные. Роботизированные технологические комплексы. Требования безопасности и методы испытаний».

**Специальные устройства обеспечения безопасной и безаварийной работы оборудования РК.** Устройства контроля отработки управляющей программы (УП) предназначены для проверки правильности выполнения ПР заданных перемещений. Способы этого контроля определяются конструкцией ПР, используемым типом привода и системы управления. В ПР со следящим приводом контроль УП обеспечивается датчиками обратной связи. В ПР с разомкнутой системой управления могут применяться различного рода устройства контроля правильности отработки геометрической информации.

В том случае, когда ошибка позиционирования накапливается постепенно, например, в результате каких-либо систематических погрешностей в работе устройства ЧПУ, применяют контроль позиционирования ПР в особых точках внутри автоматизированного комплекса. Как правило, такие точки связаны с размещением отдельных единиц основного и вспомогательного технологического оборудования; например, точка исходной позиции перед сканированием пространства тары при адаптивном разборе навала, исходная позиция перед заходом в станок при его загрузке (выгрузке) и т.д. При малом числе контрольных точек (2–3 по каждой координате) используют специальным образом настроенные предельные выключатели, располагаемые на самих ПР. Увеличение контрольных точек приводит к необходимости размещения чувствительных элементов в пределах всего РК.

Устройства контроля параметров взаимодействия со средой обеспечивают сокращение тяжести последствий аварийных ситуаций. Эти устройства должны осуществлять аварийную блокировку работы ПР при воздействии на отдельные его элементы предельных усилий со стороны обслуживаемого оборудования. Для этого часто рекомендуют использовать силовые (моментные) датчики. В зависимости от конструкции ПР могут быть применены и другие, более простые устройства.

Захватные устройства часто оснащаются защитными скобами, представляющими собой тактильные датчики на основе микропереключателей, срабатывающие при контакте захвата с препятствием на пути его перемещения.

Помимо описанных ранее устройств на общие показатели эксплуатационной надежности и безопасности работы влияет степень приспособляемости ПР к изменяющимся параметрам внешней среды, т.е. доля адаптивного управления в общем времени управления и развитость информационного оснащения. Адаптивное управление, особенно на входных позициях РК, позволяет избежать аварий и поломок при неточном позиционировании заготовок на входе участка, а также при отклонениях формы и размеров заготовок.

Ограждение рабочей зоны ПР может быть выполнено на основе устройств, использующих различные контактные, силовые, ультразвуковые, индукционные, светолокационные и другие датчики. К числу таких устройств относят трапики, переходные мостики, буфера и др. Исходя из требований малой стоимости при высокой эксплуатационной надежности, можно рекомендовать:

- контактные либо бесконтактные выключатели (для ПР с разомкнутой СПУ) — для определения пространственного положения ПР и отдельных его звеньев датчики положений отдельных степеней подвижности (для ПР со следящим приводом);
- светолокационные датчики (например, датчики, работающие на просвет) — для определения местоположения человека в рабочей зоне ПР.

Система световой защиты рабочей зоны ПР выполняется по модульному принципу с применением светолокационных датчиков. Система обеспечивает эффективную защиту человека при любых конфигурациях РК. В состав системы входят стойки светоизлучателей и фотоприемников, применяемых попарно, а также блок логических преобразователей.

Конструктивно стойка светоизлучателя содержит собственно излучатель, сигнальный светофор и кнопку сброса. Стойка фотоприемника включает в себя приемник, сигнальный светофор, кнопку сброса и пла-

ту усиления выходного сигнала фотоприемника. Назначение стоек излучателей и фотоприемников состоит в регистрации момента появления человека в соответствующей зоне рабочего пространства ПР.

Блок логических преобразователей (БЛП) осуществляет логическое преобразование сигналов фотоприемников и сигналов, характеризующих местонахождение ПР в соответствии с конкретной применяемой схемой роботизированного производственного участка и вырабатывает соответствующий командный сигнал аварийной остановки движения ПР и сигнал сброса этой команды.

Информация о местонахождении ПР поступает на БЛП с бесконтактных микровыключателей, расположенных вдоль всего рабочего пространства ПР на монорельсе.

Изменение логики преобразования сигналов БЛП в соответствии с требуемой конфигурацией роботизированного участка осуществляется путем требуемой замены печатных плат БЛП. На рис. 8.11

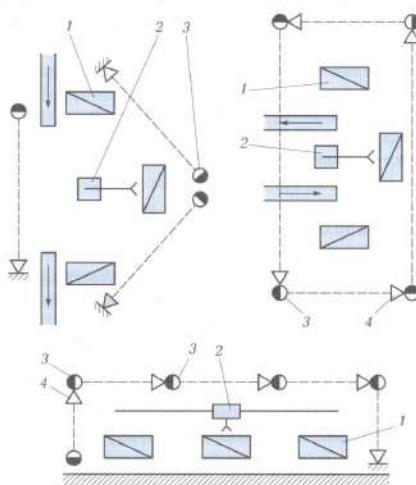


Рис. 8.11. Типовые планировки роботизированных комплексов и размещение на них светолокационных стоек:

1 — основное технологическое оборудование; 2 — ПР; 3 — излучатель; 4 — приемник.

показаны типовые конфигурации участков и размещение на них светолокационных стоек.

Устройство работает следующим образом. Пересечение светового луча при входе человека в зону рабочего пространства приводит к включению всех лампочек-светофоров стоек, ограничивающих эту зону.

Если в этом случае ПР находится в этой зоне либо входит в нее, что регистрируется соответствующими бесконтактными выключателями, то формируется команда на аварийное торможение и выключение движения робота, которая поступает с БЛП в устройство ЧПУ, вызывая прекращение движения ПР.

При необходимости может быть вновь дано разрешение на отработку прерванной программы ПР путем сознательного нажатия человеком на одну из кнопок «Сброс», находящихся на стойках, ограничивающих запрещенную зону ПР. Вместе с тем для увеличения безопасности обслуживающего персонала предусматриваются дополнительные устройства. Одно из них — выдвижные упоры, расположенные в местах, ограничивающих рабочую зону ПР. Эти упоры выдвигаются как по команде оператора, так и по сигналу устройства световой защиты при появлении в данной зоне человека и препятствуют перемещению робота в эту зону. Могут использоваться и другие дублирующие устройства.

### КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Назовите отличия гибко программируемых роботов от автоператоров.
2. В чем заключаются способы онлайн- и оффлайн-программирования роботов?
3. Чем характеризуются языки программирования нижнего, среднего и высокого уровней?
4. Какова последовательность программирования робототехнических комплексов?
5. Назовите основные причины возникновения аварийных ситуаций робототехнических комплексов.
6. Перечислите основные цели, достигаемые при планировке комплексов оборудования роботизированных участков.

## Список литературы

- Захватные устройства промышленных роботов / [К. А. Украженко, Ю. В. Янчевский, А. А. Кулебякин, А. Ю. Торопов]. — Ярославль : Изд-во ЯГТУ, 2007.
- Иоппа А. В. Оборудование и устройства для автоматизации механосборочных производств / А. В. Иоппа, Б. Б. Мойзес. — Томск : Изд-во ТПУ, 2008.
- Козырев Ю. Г. Промышленные роботы : справочник / Ю. Г. Козырев. — М. : Машиностроение, 1988.
- Корендысов А. И. Теоретические основы робототехники / А. И. Корендысов, Б. А. Саламандра, А. И. Тывес. — М. : Наука, 2006.
- Лихачев В. А. Электродуговая сварка. Пособие для сварщиков и специалистов сварочного производства / В. А. Лихачев. — М. : СОЛООН-Пресс, 2006.
- Овчинников В. В. Сварка и резка деталей из различных сталей, цветных металлов и их сплавов, чугунов во всех пространственных положениях / В. В. Овчинников — М. : Издательский центр «Академия», 2017.
- Овчинников В. В. Справочник сварщика / В. В. Овчинников. — М. : КниРус, 2013.
- Овчинников В. В. Технология изготовления сварных конструкций / В. В. Овчинников. — М. : Форум ; ИНФРА-М, 2015.
- Овчинников В. В. Технология электросварочных и газосварочных работ / В. В. Овчинников. — М. : Издательский центр «Академия», 2018.
- Сварка и резка материалов / [М. Д. Банов, Ю. В. Казаков, М. Г. Козулин и др.] ; под ред. Ю. В. Казакова. — М. : Издательский центр «Академия», 2010.
- Юревич Е. И. Основы робототехники / Е. И. Юревич. — СПб. : БХВ-Петербург, 2017.
- Яблочников Е. И. Компьютерные технологии в жизненном цикле изделия / Е. И. Яблочников, Ю. Н. Фомина, А. А. Саломатина. — СПб. : Изд-во СПбГУ ИТМО, 2010.

## Оглавление

Предисловие.....	4
РАЗДЕЛ I	
СОЕДИНЕНИЯ ДЕТАЛЕЙ МАШИН, ИЗГОТОВЛЯЕМЫЕ В СБОРОЧНОМ ПРОИЗВОДСТВЕ	
Глава 1. Основные этапы сборочного процесса .....	9
1.1. Сборочный процесс с применением промышленных роботов .....	9
1.2. Схемы механизмов схватов роботов.....	16
Глава 2. Соединения деталей .....	23
2.1. Типы соединений.....	23
2.2. Разъемные соединения .....	26
2.2.1. Резьбовые соединения .....	26
2.2.2. Шпоночные соединения .....	37
2.2.3. Шлицевые соединения.....	41
2.2.4. Штифтовые соединения .....	43
2.2.5. Шплинтовые соединения .....	45
2.2.6. Уплотнительные соединения .....	46
2.3. Неразъемные соединения .....	51
2.3.1. Заклепочные соединения .....	51
2.3.2. Соединение деталей с гарантированными зазором и натягом (прессовые соединения) и переходные соединения.....	62
2.3.3. Сварные соединения .....	69
2.4. Расфиксация и извлечение собранного изделия .....	74
РАЗДЕЛ II	
АВТОМАТИЗИРОВАННОЕ СБОРОЧНОЕ ОБОРУДОВАНИЕ	
Глава 3. Автоматизация сборки.....	77
3.1. Основы выбора автоматизированного сборочного оборудования, применяемого на сборочных участках машиностроительных производств .....	77
3.2. Виды приводов сборочной технологической оснастки .....	78

<b>Глава 4. Особенности устройства и конструкции сборочного оборудования с программным управлением.....</b>	92
<b>Глава 5. Оценка подготовленности конструкции изделия к автоматизированной сборке .....</b>	106
5.1. Технологичность собираемых изделий.....	106
5.2. Технологичность изделий при ручной механизированной сборке .....	108
5.3. Технологичность изделий при механизированной и автоматизированной сборке.....	110
<b>Глава 6. Виды робототехнических комплексов.....</b>	112
6.1. Сборочные робототехнические комплексы.....	112
6.2. Сварочные робототехнические комплексы.....	118
6.3. Проектирование автоматизированной сборочной технологической ячейки для сборки крышек роторов и подшипников .....	121
<b>РАЗДЕЛ III</b>	
<b>РАЗРАБОТКА И РЕАЛИЗАЦИЯ УПРАВЛЯЮЩИХ ПРОГРАММ ДЛЯ СБОРКИ УЗЛОВ ИЛИ ИЗДЕЛИЙ</b>	
<b>Глава 7. Методы программирования сборочного процесса.....</b>	145
7.1. Программирование с помощью CAD-, CAM- и CAE-систем.....	145
7.2. Методы работы с CAD/CAM-системами при сборке.....	151
<b>Глава 8. Программирование промышленных роботов.....</b>	155
8.1. Особенности программирования промышленных роботов....	155
8.2. Онлайн-программирование промышленных роботов.....	157
8.3. Оффлайн-программирование промышленных роботов.....	161
8.4. Функциональная схема системы управления промышленными роботами.....	163
8.5. Структура программного обеспечения системы управления промышленными роботами.....	169
8.6. Языки программирования промышленных роботов .....	171
8.7. Инструментарий оффлайн-программирования роботизированных систем .....	173
8.8. Последовательность программирования робототехнических комплексов.....	174
8.9. Производственная система управления данными .....	175
8.10. Программирование робота в системе RobotStudio .....	176
8.11. Системы обеспечения техники безопасности при работе промышленных роботов.....	180
<b>Список литературы.....</b>	188

*Учебное издание*

Хайбуллов Константин Анатольевич,  
Рязанов Денис Юрьевич,  
Левчук Владимир Игоревич

**Управляющие программы для автоматизированной сборки узлов и изделий**

**Чтобыник**

Редактор В.А. Савосик  
Компьютерная верстка: Р.Ю. Волкова  
Корректоры Л.В. Гаврилина, С.Ю. Свиридова

Изд. № 101119855. Подписано в печать 30.01.2020. Формат 60×90/16.  
Гарнитура «Балтика». Бумага офсетная. № 1. Печать офсетная. Усл. печ. л. 12,0.  
Тираж 1500 экз. Заказ № 2639.

ООО «Издательский центр «Академия», www.academia-moscow.ru  
129085, Москва, пр-т Мира, 101Б, стр. 1. Тел./факс: (495) 648-0507, 616-0029.  
Сертификат соответствия № РОСС RU.AM05.H01493 от 30.05.2019.

Отпечатано с электронных носителей издательства.  
ОАО «Тверской полиграфический комбинат», 170024, г. Тверь, пр-т Ленина, 5.  
Телефон: (4822) 44-52-03, 44-50-34. Телефон/факс: (4822) 44-42-15.  
Home page — www.tverpk.ru Электронная почта (E-mail) — sales@tverpk.ru



## Издательский центр «Академия»

Учебная литература  
для профессионального  
образования

**Наши книги можно приобрести (оптом и в розницу)**

**Москва:**

129085, Москва, пр-т Мира, д. 101в, стр. 1  
(м. Алексеевская)  
Тел.: (495) 648-0507, факс: (495) 616-0029  
E-mail: [sale@academia-moscow.ru](mailto:sale@academia-moscow.ru)

**Филиалы:**

**Северо-Западный**  
194044, Санкт-Петербург, ул. Чугунная,  
д. 14, оф. 319  
Тел./факс: (812) 244-9253  
E-mail: [spboffice@ecadizdat.ru](mailto:spboffice@ecadizdat.ru)

**Приволжский**  
603101, Нижний Новгород, пр. Молодежный,  
д. 31, корп. 3  
Тел./факс: (831) 259-7431, 259-7432, 259-7433  
E-mail: [pf-academia@bk.ru](mailto:pf-academia@bk.ru)

**Уральский**  
620142, Екатеринбург, ул. Чапаева, д. 1а, оф. 12а  
Тел.: (343) 257-1006  
Факс: (343) 257-3473  
E-mail: [academia-ural@mail.ru](mailto:academia-ural@mail.ru)

**Сибирский**  
630007, Новосибирск, ул. Кривоцкокская, д. 15, корп. 3  
Тел./факс: (383) 362-2145, 362-2146  
E-mail: [academia\\_sibir@mail.ru](mailto:academia_sibir@mail.ru)

**Дальневосточный**  
680038, Хабаровск, ул. Серышева, д. 22, оф. 519, 520, 523  
Тел./факс: (4212) 96-8810  
E-mail: [filaldv-academia@yandex.ru](mailto:filaldv-academia@yandex.ru)

**Южный**  
344082, Ростов-на-Дону, ул. Пушкинская, д. 10/65  
Тел.: (863) 293-5512  
Факс: (863) 269-5365  
E-mail: [academia-UG@mail.ru](mailto:academia-UG@mail.ru)

**Представительства:**

**в Республике Татарстан**  
420034, Казань, ул. Горсоветская, д.17/1, офис 36  
Тел./факс: (843) 562-1045  
E-mail: [academia-kazan@mail.ru](mailto:academia-kazan@mail.ru)

**в Республике Казахстан**  
Алматы, пр-т Абая, д. 26А, оф. 209  
Тел.: (727) 230-0316, моб.тел.: (701) 014-3775  
E-mail: [academia\\_kazakhstan@mail.ru](mailto:academia_kazakhstan@mail.ru)

**в Республике Дагестан**  
Тел.: 8-928-962-9248

**[www.academia-moscow.ru](http://www.academia-moscow.ru)**