ТЕМА 9.3 ВВЕДЕНИЕ В РОБОТОТЕХНИКУ

Автор: старший преподаватель ИППТ СПбПУ Шимченко А.В.

9.3.1. ИСТОРИЯ РАЗВИТИЯ РОБОТОТЕХНИКИ

В современной экономике, создание технологического преимущества является ключевым фактором для обеспечения конкурентоспособности страны на международной арене. Возможно именно робототехника станет тем ключевым направлением, в рамках которого в течение ближайших 15 лет будут сделаны прорывные открытия, которые позволят обеспечить разницу в качестве промышленности и экономике различных стран. Развитие данного направления потенциально способно повлиять на все области мирового хозяйства и как следствие изменить весь образ деятельности человека. Многие специальности могут уйти в прошлое, в то время как новые профессии, обусловленные более высоким уровнем автоматизации, будут требовать новых умений и компетенций.

Причиной возникновения и развития робототехники явилась историческая потребность современного производства в гибкой автоматизации, с устранением человека из непосредственного участия в машинном производстве и недостаточность для этой цели традиционных средств автоматизации.

Хотя современная робототехника берет свое начало во второй половине XX столетия, её корни уходят в глубокую древность. Например, статуи богов с подвижными частями тела (руки, голова) создаваемые в Древнем Египте, Вавилоне, Китае. Аристотель упоминает о приводимых в движение с помощью ниток куклах-марионетках, из которых создавались целые механические театры. Описанные Героном Александрийским (I век н.э.) автоматы и механизмы древности приводились в движение за применения в качестве источника энергии – воды, пара, гравитации и т.д.

В средние века были распространены различные часы с движущимися фигурами людей, ангелов и т.п. К этому периоду также относятся первые упоминания о подвижных человекоподобных механических фигурах («андроиды»). Так, андроид алхимика Альберта Великого (1193— 1280) представлял собой куклу в рост человека, которая, когда стучали в дверь, открывала и закрывала ее, кланяясь при этом входящему. В 1495 году Леонардо да Винчи разработал детальный проект механического человека, способного двигать руками и поворачивать голову (рис. 4). А в 1500 году он построил механического льва, который при въезде короля Франции в Милан выдвигался, раздирал когтями грудь и показывал герб Франции. Работы по созданию андроидов достигли наибольшего развития в XVIII в. одновременно с расцветом часового мастерства.

Целый ряд человекоподобных автоматов был создан швейцарскими часовщиками Пьером-Жаком Дро (1721—1790) и его сыном Анри Дро (1752 – 1791). От имени последнего было образовано позднее и само название «андроид». Эти человекоподобные игрушки

представляли собой многопрограммные автоматы с оперативно сменяемыми программами. Программы задавались с помощью сменных кулачков, устанавливаемых на вращающемся барабане, и других подобных механических устройств.

Идеи создания «механических» людей, начавшие было затухать вместе с ослаблением роли часового дела в дальнейшем развитии техники, вновь возродились в 20 в. на основе электроники и электротехники. Американский инженер Венсли построил управляемый на расстоянии с помощью свистка автомат «Телевокс», который мог не только выполнять ряд элементарных операций, но и произносить с помощью звукозаписывающей аппаратуры несколько фраз.

Современными предшественниками роботов явились различного рода устройства для манипулирования на расстоянии объектами, непосредственный контакт человека с которыми опасен или невозможен. Первые полностью автоматически действующие манипуляторы были созданы в США в 1960—1961 гг. В 1961 г. был разработан такой манипулятор, управляемый от ЭВМ и снабженный захватным устройством, очувствленным с помощью различного типа датчиков — контактных и фотоэлектрических. Этот манипулятор МН-1 получил название «рука Эрнста» по фамилии его создателя Г. Эрнста.

В 1962 г. на рынке США появились первые роботы марки «Версотран» (фирмы «Америкэн мэшин энд фаундри»), предназначенные для промышленного применения. В то же время в США появились роботы «Юнимейт-1900», которые получили первое применение в автомобильной промышленности на заводах фирм «Дженерал моторс», «Форд» и «Дженерал электрик»

В 1968 г. в СССР (Институтом океанологии Академии наук СССР совместно с Ленинградским политехническим институтом и другими вузами) был создан телеуправляемый от ЭВМ подводный робот «Манта» с очувствленным захватным устройством, а в 1971 г. — следующий его вариант с техническим зрением и системой целеуказания по телевизионному экрану.

В 1971 г. в Японии также были разработаны экспериментальные образцы роботов с техническим зрением и элементами искусственного интеллекта: робот «Хивип», способный самостоятельно осуществлять механическую сборку простых объектов по предъявленному чертежу, и робот ЭТЛ-1.

В этот период и в ряде других стран создают подобные экспериментальные установки, так называемые интегральные роботы, включающие манипуляторы, управляющие ЭВМ, различные средства очувствления и общения с человеком-оператором, которые предназначены для проведения исследований в области создания роботов следующих поколений, а также искусственного интеллекта.

9.3.2. СОВРЕМЕННАЯ КЛАССИФИКАЦИЯ РОБОТОВ

Современные роботы представляют собой огромный класс устройств с разнообразным функционалом и конструкционным исполнением, обусловленным достижениями таких отраслей как электроника и информационные технологии. По факту робот – это любой механизм, выполняющий предназначенную работу, при этом состоящий из таких систем, как:

- исполнительная система, взаимодействующая с объектом труда;
- сенсорная система, оценивающая состояние как самого механизма, так и окружающей среды;
- и системы управления, подающая сигналы на исполнительный механизм для осуществления заданной программы, с учетом информации поступающей от сенсорной системы.

На сегодняшний день, роботы получили наибольшее распространение в промышленности и прежде всего в машиностроении. Первые роботы, применяемые в рамках производственного процесса с развитым очувствлением, включая техническое зрение, и микропроцессорным управлением появились на рынке и начали получать практическое применение в 1980 – 1981 гг. прежде всего на сборке, дуговой сварке, контроле качества, для взятия неориентированных предметов, например, с конвейера.

Существует множество критериев для классификации роботов, однако главным из них является – область их применения. Наряду с использованием в промышленности, роботы применяются и в других областях народного хозяйства и человеческой деятельности:

- на транспорте (включая создание шагающих транспортных машин);
- в сельском хозяйстве (автоматизированные комбайны);
- здравоохранении (протезирование, хирургия – стерильная, дистанционная, обслуживание больных и инвалидов, транспортировка);
- в сфере обслуживания (роботы продавцы, умные терминалы);
- для исследования и освоения океана и космоса и выполнения работ в других экстремальных условиях (стихийные бедствия, аварии, военные действия);
- в научных исследованиях.

По критерию «область применения», выделяют две большие группы, сформулированные в международном стандарте ISO 8373:2012 как – роботы промышленные и роботы сервисные.

Сервисный робот – робот, выполняющий нужную для человека или оборудования работу, за исключением применений в целях промышленной автоматизации. Сервисные роботы представляют собой механизмы, применяемые в разнообразных отраслях: от сельского хозяйства до медицины. Яркими представителями данного класса являются – робот пылесос iRobot и медицинский робототехнический комплекс Da Vinci, предназначенный

для проведения малоинвазивных операций. Данный класс оборудования обладает следующей классификацией:

по возможности передвижения:

- мобильные сервисные роботы;
- стационарные сервисные роботы.

по области применения:

- персональные;
- профессиональные.

по степени автономности управления роботов:

- программируемые;
- телеуправляемые;
- супервизорные;
- коллаборативные;
- автономные, включая беспилотные.

по конструкции робототехнические средства подразделяются на:

- манипуляторы;
- робототехнические платформы;
- экзоскелеты;
- нано и микро-роботы;
- антропоморфные;
- другие виды роботов.

Промышленные же роботы предназначены для выполнения различных технологических операций или же вспомогательных действий на производстве. **Промышленный робот** – автоматически управляемый, перепрограммируемый робототехнический механизм, программируемый по трем или более степеням подвижности, который может быть установлен стационарно или на мобильной платформе для применения в целях промышленной автоматизации.

Это могут быть как промышленные манипуляторы, так и роботы с другим конструкционным исполнением, такие как транспортные платформы и фасовочные механизмы. В общем случае, по конструктивно-техническому исполнению, выделяют 7 групп промышленных роботов:

Группа I - с выдвижной рукой и консольным механизмом подъема, работающие в цилиндрической или прямоугольной системе координат основных движений

Группа II - с выдвижной рукой, установленной на подъемной каретке, работающие в цилиндрической или прямоугольной системе координат

Группа III - с качающейся выдвижной рукой, работающие в полярной сферической системе координат основных движений.

Группа IV - с многозвенной рукой, работающей в ангулярной (цилиндрической или сферической) системе координат основных движений

Группа V - подвесные передвижные тельферного типа с одной (или более) рукой (выдвижной или многозвенной), установленной на каретке, перемещающейся по монорельсу.

Группа VI - подвесные передвижные мостового типа

Группа VII - колесные транспортные роботы (робокары).

Пригодность промышленного робота для выполнения действий в рамках промышленного процесса определяется, отталкиваясь от характеристик данного оборудования. Так классификация промышленных роботов подразумевает следующее разделение:

по виду производства промышленных роботов делят на специальные, специализированные и универсальные.

- Специальные выполняют определенную технологическую операцию или вспомогательную модель оборудования;
- Специализированные выполняют операции одного вида, например, сварку, сборку и обслуживают определенную группу моделей оборудования;
- Универсальные являются наиболее усовершенствованными представителями промышленных роботов, служат для выполнения разных операций и функционируют с оборудованием различного назначения (разнородных операций).

по грузоподъемности различают:

- сверхлегкие (грузоподъемность не более 1 кг.);
- легкие (грузоподъемность от 1 до 10 кг.);
- средние (грузоподъемность от 10 до 200 кг.);
- тяжелые (грузоподъемность от 200 до 1000 кг.);
- сверхтяжелые (где грузоподъемность свыше 1000 кг.).

по возможности передвижения промышленных роботов подразделяют на стационарные и подвесные.

- Стационарные имеют ориентирующие и транспортирующие движения;
- Транспортирующие дополнительно к этим двум движениям (ориентирующие и транспортирующие) и координатные перемещения.

по числу степеней подвижности выпускают роботы с количеством осей до 6 (шести).

по способу установки промышленных роботов делят на:

- встроенные (хотя встроенные промышленные роботы и считаются компактными в плане габаритов, но при этом они обслуживают только один станок);
- подвесные и напольные (возможность обслуживания до 2-х и более станков, но при этом они имеют более сложные задачи, например, обеспечить смену инструмента).

Почему же, выделяют отдельный класс промышленных роботов, а системы, предназначенные для применения в других отраслях принято рассматривать как один общий класс - «сервисные роботы»? Во многом, это обусловлено значительной ролью роботов и робототехнических комплексов, как ключевого инструмента развития промышленности.

Со времен первой промышленной революции, основным вектором развития производства, было внедрение новых технологий и оборудования для совершенствования процесса изготовления продукции, а также для снижения рисков, связанных с человеческим фактором.

Так появление универсальной паровой машины привело к переходу от традиционного к индустриальному этапу развития производства, ключевыми особенностями, которого было:

- преобладающая роль в экономике играет промышленное производство с массовым использованием технологических машин и оборудования;
- ускорение темпов урбанизации населения;

С появлением конвейера (вторая промышленная революция), производство было перестроено под внедрение поточных линий, что привело к:

- появлению массового производства;
- повышению доступности производственных товаров, за счет снижения себестоимости изготовления данной продукции.

Третья промышленная революция тесно связанна с постиндустриальным периодом развития как науки, так и производства. Появление и внедрение информационных систем воплотилось в:

- применение более наукоемких технологий для изготовления более высококачественной продукции, а также контроля, тестирования и сертификации выпускаемой партии;
- появлении систем автоматического управления (САУ) для контроля производственного процесса.

Четвертая промышленная революция не стала исключением, ведь на сегодняшний день изменения происходят как со средствами производства, так и с самим подходом к процессу изготовления товаров.

Если результатом первых трех промышленных революций был подход, основанный на массовом выпуске доступных и зачастую однотипных изделий, то на сегодняшний день конкурентоспособность производителей во многом определяется возможностью выпуска высококачественной кастомизированной продукции, соответствующей индивидуальным запросам каждого заказчика. При этом стоимость выпуска данной продукции должна обладать минимальной зависимостью от размера выпускаемой партии.

И если прежний подход нуждался в инструментах, позволяющих автоматизировать процесс производства небольшой номенклатуры изделий, но со значительным размером партии, что соответствует массовому производству, то с наступлением четвертой

промышленной революции, передовыми являются технологии и оборудование, позволяющие добиться автоматизации единичного и серийного производства, для которых наиболее характерными являются – выпуск небольших партий огромного количества разнообразных изделий, существенно отличающихся друг от друга как с точки зрения конструкции, так и с точки зрения производственного процесса.

Новые средства производства, в которых нуждается современная модель, являются сочетанием как физического оборудования, непосредственно выполняющего действия в рамках производственного процесса, так и информационно-вычислительных систем, контролирующих и управляющих работой оборудования. Основой для создания подобных киберфизических систем является современная робототехника.

Данные механизмы могут быть спроектированы как под выполнения специальных работ, так и в качестве универсального оборудования способного выполнять различные действия.

Именно пригодность к выполнению различных операций и видов работ, представляет важность при построении Фабрик Будущего. Такая разно плановость зависит не только от конструкции робота, но и от возможности его обучения и перепрограммирования.

9.3.3. ОСНОВНЫЕ МЕТОДЫ ПРОГРАММИРОВАНИЯ ПРОМЫШЛЕННЫХ РОБОТОВ

В общем случае, программирование роботов подразумевает задание условий и параметров работы исполнительной системы, в зависимости от времени и данных поступающих от сенсорной системы. В целом можно выделить две большие группы: метод непосредственного обучения и метод программирования off_line. В первом случае речь идет о непосредственной работе с самим роботом, когда инженер задает необходимую последовательность действий, посредством перемещения исполнительного механизма вручную или же через пульт управления. Недостатком данного метода является необходимость остановки производственного процесса для переобучения единицы оборудования. А в случае, когда на предприятии имеется существенное количество «переобучаемых» роботов, процесс приводит к снижению эффективности всего производства. Более подходящим является метод программирования off_line, представляющий собой работу с цифровой моделью оборудования, которая позволяет не только создать управляющую программу, но и выполнить отладку процесса посредством виртуальной симуляции.

Обучение в режиме off_line, в частности, подразумевает цифровое планирование траектории перемещения исполнительного механизма промышленного робота. Планирование траектории выполняется с целью определения ключевых точек пространства внешней среды, через которые должна проходить траектория перемещения рабочего органа

промышленного робота. Планирование траектории можно выполнять как в кинематическом режиме, так и в динамическом режиме. В динамическом режиме план траектории строится с учетом динамических характеристик исполнительного механизма промышленного робота. В кинематическом способе план траектории строится посредством задания перемещений и смещений в шарнирах исполнительного механизма. Кинематический способ подразумевает наличие корректирующего воздействия со стороны оператора в процессе выполнения работы, т.к. на этапе построения траектории не учитывается большинство динамических характеристик (скорость, ускорение, моменты двигателей и т.д.).

Результатом работы алгоритмов построения плана траектории является таблица значений обобщенных переменных моделируемого промышленного робота при выполнении заданной технологической операции. Эта таблица служит основой для построения функций управления. Прямое использование этих данных для построения непрерывных функций управления приводит к значительным колебаниям рабочего инструмента или же исполнительного механизма при выполнении запланированной технологической операции. Это приводит к повышенному износу механизмов промышленного робота, увеличению расхода энергоресурсов и снижению точности выполнения операции. Для решения этой проблемы выполняется сглаживание таблицы обобщенных переменных. В основу этого метода сглаживания положена модификация метода наименьших квадратов, заключающаяся во введении дополнительных условий: начальная и конечная точки сглаженной траектории должны совпадать с начальным и конечным положением рабочего органа. Затем, используя любой метод аппроксимации, строятся непрерывные функции изменения обобщенной переменной в каждом приводе промышленного робота. В дальнейшем эти функции изменения обобщенных переменных будут преобразованы в функции управления приводами промышленного робота.

Полученные функции управления, в виде управляющей программы, в дальнейшем могут быть мгновенно отправлены на оборудование без остановки или с минимальным простоем на участках.

Параметры работы промышленных роботов не ограничиваются исключительно траекторией перемещения исполнительных механизмов. Наряду с управлением перемещением часто требуется управление силой, с которой исполнительный механизм воздействует на объекты внешней среды. Это необходимо при выполнении таких технологических операций как зачистка, шлифовка и полировка поверхностей, механическая сборка и т.п. Для осуществления управления силой исполнительный механизм промышленного робота снабжается сенсорным устройством измерения вектора силы (например, тензометрическим). Программа управления величиной силы обычно заключается в поддержании ее постоянного значения или в изменении в функции от перемещения. Возможен и обратный вариант управления перемещением в функции от развиваемой силы воздействия на среду. Последние варианты называются позиционно-силовым управлением.

Говоря о методах обучения промышленных роботов, следует также выделить так называемых роботов второго поколения – механизмов, оснащенных адаптивным управлением, основанным на обработке и анализе обратной связи от окружающей среды. Процесс программирования адаптивных роботов помимо стандартного обучения также подразумевает задание функции от параметров внешней среды, корректирующей основную программу. Подобные системы управления позволяют обеспечить правильное выполнение операций при условии непостоянства каких-либо параметров выполняемой работы или же при заранее неизвестных условиях. Примером адаптивного управления является использование коллаборативных промышленных роботов, представляющих собой оборудование способное осуществлять работу совместно с человеком-рабочим, подстраиваясь под скорость его действий и его положения вблизи робота. Ещё одним примером системы адаптивного управления является система управления промышленным роботом для дуговой сварки. Сам процесс сварки ведется по программе, однако перед этим автоматически осуществляется поиск места стыка свариваемых деталей, затем движение вдоль стыка при определенных ориентации и расстоянии электрода относительно стыка. Эти задачи реализуются с помощью различного типа датчиков угла наклона и расстояния (например, индуктивных и контактных), которые размещены на сварочной головке манипулятора.

Одним из главных современных трендов является разработка третьего поколения роботов – интеллектуальных роботов. Данные механизмы уже оснащены искусственным интеллектом и не нуждаются в первоначальном программировании. Отсутствие заданной программы компенсируется самостоятельным обучением робота методом проб и ошибок. Что позволит в будущем наиболее полно заменить человека в рамках производственного процесса. Тем не менее, самыми распространенными механизмами на сегодняшний день являются именно роботы первого и второго поколений.

9.3.4. МЕСТО ПРОМЫШЛЕННЫХ РОБОТОВ В РАМКАХ ФАБРИК БУДУЩЕГО

В общем случае, универсальные промышленные роботы первого и второго поколения за счет возможности их переобучения являются многофункциональным инструментом, который совместно с прочим ЧПУ оборудованием составляет так называемый гибкий производственный модуль – некая производственная ячейка, предназначенная для выполнения отдельной технологической операции. Гибкие производственные модули (ГПМ) или гибкая производственная ячейка (ГПЯ), каждый из которых состоит из единицы технологического оборудования, соответствующего средства автоматизации основных и вспомогательных операций и дополнительного периферийного оборудования; структурно ГПМ являются наиболее простыми автономно функционирующими гибкими производственными системами и могут, объединяясь между собой, образовывать более

сложные, т.е., служат "кирпичиками", из которых складываются сложные производственные системы, такие как:

- Гибкие автоматизированные линии (ГАЛ) и участки (ГАУ), включающие ряд ГПМ, которые объединяются общей автоматизированной системой управления; при этом в гибких автоматизированных линиях оборудование располагается по технологическому маршруту в заданной последовательности, а на участках - свободно в любой последовательности;

- Гибкие автоматизированные цехи (ГАЦ), представляющие собой совокупности гибких автоматизированных линий и участков, а также отдельных модулей;

- Гибкие автоматизированные заводы (ГАЗ), полностью интегрированные в единую систему комплексы гибких автоматизированных цехов, причем в общем случае в состав завода, помимо автоматизированных систем, могут входить также отдельные автономные неавтоматизированные цехи и участки.

Подобная схема построения производственного предприятия называется гибкой производственной системой (ГПС). В зарубежной литературе для обозначения ГПС широко используется аббревиатура FMS – Flexible Manufacturing Systems. Существующие ГПС отличаются как по степени масштабности (ГПМ, ГАУ, ГАЦ, ГАЗ), так и по степени автоматизации их работы.

По уровню автоматизации ГПС принято разделять на два вида: гибкие производственные комплексы (ГПК) и гибкие автоматизированные производства (ГАП). Основное отличие ГПК от ГАП заключается в том, что в состав последнего дополнительно к автоматизированным системам управления технологическими и транспортно-складскими операциями вводятся автоматизированные системы: проектирования (САПР), технологической подготовки производства (АСУ ТПП) и некоторые другие, т.е. ГАП по отношению к ГПК находится на более высокой ступени автоматизации.

Гибкое производство, как один из трендов в рамках концепции Фабрик Будущего, подразумевает возможность перенастройки имеющихся производственных мощностей с минимальными финансовыми и временными затратами. Достигается это, в-первую очередь, за счет использования универсального перепрограммируемого off_line оборудования. Также для функционирование подобной архитектуры производства, необходимо создание автоматизированных транспортных связей между складом и отдельными модулями. Помимо транспортировки полуфабрикатов, так же должна быть реализована система автоматической переналадки инструментов и вспомогательной оснастки. Ну и конечно же для обеспечения контроля и быстрого реагирования на изменение производственной программы, требуется внедрение автоматизированных систем управления предприятием.

Отталкиваясь от данной архитектуры, следует понимать, что одной из основных характеристик при выборе промышленного робота является стыкуемость его с общей системой управления и с прочим оборудованием. Для решения подобной проблемы, большинство современных роботов оснащается коммуникационной системой, реализующей

как интерфейс человек-оборудование, так и связь оборудование-оборудование для применения концепции Интернета вещей.

Однако, зачастую сложно совместить различное робототехническое оборудование в рамках одной системы. Причина кроется в различиях программного обеспечения, которым оснащает свое оборудование каждый отдельный производитель. В результате чего, средства программирования роботов значительно отличаются, а передаваемая между данным оборудованием информация имеет различные стандарты.

На решение данной проблемы направлено развитие так называемых метаязыков программирования. Такие открытые языки, как Robot Control Meta Language, позволяют абстрагироваться от аппаратной части оборудования и сосредоточиться только на функциях робота. В результате чего, возникает возможность объединения роботов различных производителей. Что является довольно таки важным с учетом быстрого развития робототехники.

Так темпы роста рынка промышленных роботов с 2011 по 2016 года в среднем составляет 14%. Если, например, в 2014 году было продано 229 тыс. роботехнических комплексов, то в 2016 году данная цифра составила – 294 тыс. промышленных роботов. При этом 70% мировых продаж пришлось на 5 стран: Китай, Япония, США, Республика Корея и Германия.

В 2017 году, мировой эксплуатационный парк промышленных роботов составлял порядка 1,8 млн. единиц, изготовленных 343 различными компаниями, крупнейшими из которых являются компании Fanuc (Япония), Kuka (Германия), ABB (Швеция, Швейцария), Motoman (Япония)и др. По оценкам различных аналитиков (International Federation of Robotics (IFR)), к 2020 году численность промышленных роботов достигнет более 3 млн. единиц. При этом лидерами по роботизации промышленности (количество применяемых роботов на 10 000 работников отрасли) являются такие страны, как Корея, Япония, Германия, США, Италия, Франция. При этом средний мировой показатель составляет – 66 единиц оборудования на 10 000 работников (по состоянию на 2015 год).

При этом следует учитывать также тренд, направленный на объединение промышленной и сервисной робототехники в единую группу. Ведь уже сейчас для реализации транспортных систем используются логистические системы – транспортные беспилотные модули, относящиеся к группе сервисных роботов. А для работы на складах, планируется использование вспомогательных экзоскелетов, выпускаемых компаниями Kindred и Sacros.

Однако, вне зависимости от реализации данных прогнозов, уже сейчас очевидна важность робототехники для построения Умных Фабрик. Универсальность роботов предполагает возможность выполнения ими целенаправленных действий, которые требуют определенных интеллектуальных способностей. Это открывает широкие возможности использования роботов в качестве как основного технологического оборудования (на сборке, сварке, окраске и т.п.), так и вспомогательного – для замены рабочих, занятых на

обслуживании такого оборудования. Применение роботов наряду с конкретным технико-экономическим эффектом, связанным с повышением производительности труда, сменности работы оборудования и качества продукции, является важным средством решения социальных проблем, позволяя освобождать людей от тяжелого, опасного и монотонного труда.