



## ПРОМЫШЛЕННЫЕ РОБОТЫ И ИХ КЛАССИФИКАЦИЯ

**Г. А. СПЫНУ**, д-р техн. наук (НТУУ «Киевский политехнический институт»),  
**В. Н. БЕРНАДСКИЙ**, канд. техн. наук (Ин-т электросварки им. Е. О. Патона НАН Украины)

Рассмотрены принятые Международной федерацией робототехники основные принципы и системы классификации многофункциональных промышленных роботов, в том числе сварочных. Дана краткая информация о состоянии современного мирового рынка и парка промышленных роботов.

*Ключевые слова:* промышленные роботы, производство, парк промышленных роботов, системы классификации, классификаторы

Современное промышленное производство отличается интенсивным ростом применения промышленных роботов (ПР), что обеспечивает наиболее эффективное решение проблемы автоматизации производственного процесса одновременно с повышением производительности и обеспечением стабильно высокого качества продукции. Тенденции развития современной робототехники наиболее полно отражены в экономико-статистических обзорах Международной федерации робототехники (IFR) и Европейской экономической комиссии ООН (UN ECE), которые ежегодно проводят сбор и анализ статистических данных мирового и национального производства и потребления ПР. В соответствии с принятой IFR классификацией ПР разграничиваются на две категории — многоцелевые и специализированные. В упомянутых ежегодных обзорах статистические данные охватывают только многоцелевые роботы-манипуляторы, отвечающие требованиям стандарта ISO 8373 «Многоцелевые манипуляционные промышленные роботы. Определение и классификация». Специализированные ПР (для загрузки/выгрузки инструмента, автоматизированных систем складирования, оборудование для клеймения и др.) в статистику IFR не включаются.

На конец 2003 г. общемировой парк единичных ПР по данным официальной статистики IFR насчитывал примерно 800 тыс., а фактически около 1 млн ед. Такой разброс связан с тем, что на практике многие роботы успешно эксплуатируются уже после истечения их нормативного срока службы. Несмотря на некоторые годичные колебания мировой рынок и парк ПР в последнее десятилетие имеют устойчивую тенденцию роста. По прогнозу IFR в 2006 г. ожидаемый объем общемировых продаж превысит 91,0 тыс. ед., а общемировой (нормативный) парк составит 875,0 тыс. ед. ПР [1].

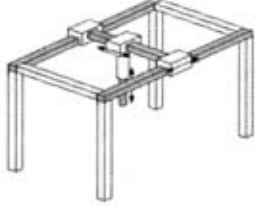

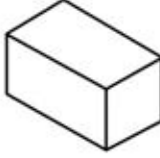
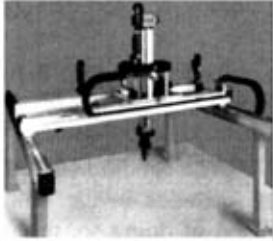
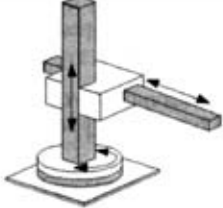



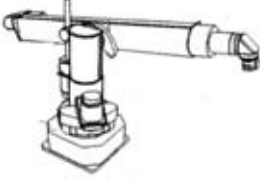
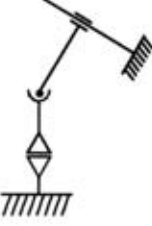



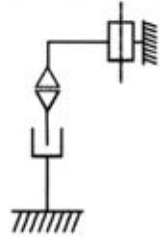






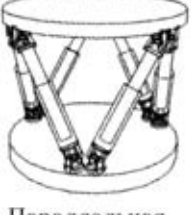
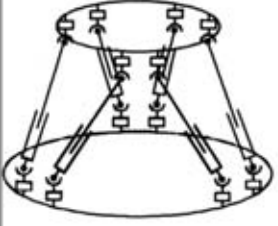


Непрерывно расширяются технологические области применения ПР. В соответствии с принятой IFR системой предусмотрена базовая классификация ПР по отраслям их технологического применения или видам операций, которая охватывает технологические процессы электрофизической, физико-химической и механической обработки и со-

единения материалов, а также таких сопутствующих процессов, как метрология, неразрушающий контроль, упаковка и др. [2]. Вспомогательной является классификация ПР по отраслям промышленности, применяющим ПР, что отражает их отраслевое распространение, она соответствует Международной классификации экономической деятельности (ISIC) [1]. Основной установившейся сферой технологического применения ПР является сварка (класс IFR: 160). Так, из общего количества введенных в эксплуатацию в 2002 г. ПР сварочные роботы составили 32 %. С учетом ПР для специальных, родственных сварке процессов (класс IFR: 190) и сборки (класс IFR: 200) в 2002 г. в мировом сварочном производстве установлено более 40 % общего количества введенных в эксплуатацию ПР. Следует отметить, что доля собственно сварочных роботов в промышленности различных стран колеблется в среднем от 30 до 53 % общей численности парка ПР [2].

До последнего времени ПР находили применение преимущественно в серийном и крупносерийном производстве. Первое место по их применению занимает автомобилестроение, а затем отрасли, производящие строительно-дорожное, электротехническое и энергетическое оборудование. Нарастают объемы применения ПР, и в первую очередь сварочных, в судостроительном производстве.

Расширение мирового производства роботов сопровождается снижением цены единичных ПР. Среднемировая цена последних в США снизилась со 103,0 в 1999 г. до 50,0 тыс. дол. в 2002 г. Уменьшение стоимости последних моделей ПР при одновременном повышении их функциональных показателей во многом определяется переходом к блочно-модульной конструкции их с учетом международной стандартизации и унификации набора узлов, элементов и компонентов как механической части, так и системы управления ПР. Все это создает реальные предпосылки для роботизации мелкосерийного и серийного производства, в том числе в условиях малых и средних предприятий. Именно здесь применение сварочных роботов в производстве сварных изделий и конструкций позволяет создавать гибкие, легко перестраиваемые производственные ячейки и робототехнические системы с высокой степенью автоматизации технологического цикла. Роботизация сварочного производства на таких предприятиях наряду с повышением производительности и качества обеспе-

Классификация ПР по их компоновке - механической структуре [1]

№ рисунка	Конструкция ПР и наименование компоновки	Кинематическая схема	Конфигурация рабочего пространства	Внешний вид образца ПР
1	 Прямоугольная			
2	 Цилиндрическая			
3	 Сферическая			
4	 SCARA робот			
5	 Шарнирная			
6	 Параллельная			

создает условия для ликвидации постоянного дефицита квалифицированного сварочного персонала, а также повышения экологической безопасности сварочного производства [3]. Последнее сегодня

жестко регламентировано требованиями международного стандарта ISO 14000.

В условиях глобализации мировой экономики происходит и концентрация производства ПР. Се-



годня их выпуск в основном обеспечивают пять-шесть транснациональных корпораций и объединений, среди которых ABB (США), FANUC (Япония), International Robotics (США) и KUKA (Германия). Кроме того, созданы специализированные производства по изготовлению соответствующего технологического инструментария и оснастки. Сварочная индустрия ведущих промышленных стран выпускает специализированное сварочное оборудование, горелки для сварки, резки и напыления; технологические лазерные системы; источники питания, системы управления и др., предназначенные для оснащения единичных роботов-манипуляторов или робототехнологических комплексов. Таким образом, мировой и национальные рынки ПР и сварочной техники сегодня предлагают производителям широкий выбор роботов и соответствующего технологического оборудования и оснастки.

В зависимости от конкретных задач производства, рабочей технологии и типа изготавливаемой продукции проводится первичный выбор модели ПР. При этом оцениваются основные параметры технологического функционирования: количество степеней свободы, скорость перемещения, точность позиционирования, воспроизводимость, надежность, грузоподъемность, структура и параметры системы программирования и управления ПР, рабочие и установочные габариты и др. Практика производителей показала, что в условиях значительного конструкционного разнообразия базовым моментом выбора манипуляционного ПР, в частности для целей сварки, резки и других смежных технологий, является выбор собственно типа ПР. Для облегчения этой инженерно-технологической задачи в конце 1990-х гг. IFR расширил систему классификации ПР, разработав и включив в нее три дополнительных классификатора:

1. *Классификация ПР по количеству степеней свободы:*

- роботы с тремя степенями свободы;
- роботы с четырьмя степенями свободы;
- роботы с пятью и более степенями свободы.

2. *Классификация ПР по типам управления:*

- программное управление (воспроизведение перемещения от точки к точке);
- контурное управление (воспроизведение непрерывной траектории);
- адаптивные роботы (ПР с сенсорным или адаптивным управлением);
- телеуправляемые (дистанционно управляемые оператором) и другие типы ПР.

3. *Классификация ПР по их компоновке — механической структуре.*

В отечественной литературе по робототехнике более широкое распространение получил термин «компоновка промышленного робота», которая несколько шире, чем манипулятор или механическая структура ПР. По мере развития конструктивных особенностей расширялись и типы компоновок — механических структур ПР, что постепенно пополнило их классификацию [3, 4]. IFR предложила обобщающую классификацию ПР по их компоновке — механической структуре [1], которая

представлена в виде таблицы-рисунка. Краткое описание отдельных типов ПР по этой классификации приведено ниже. Представленный материал может оказать помощь пользователям в выборе необходимой компоновки модели робота, отвечающей заданным условиям их технологического применения, в том числе и в условиях сварочного производства, в частности, предусмотрена возможность оценки геометрии и параметров рабочего пространства ПР.

*Прямоугольная компоновка (ПР)* (рис. 1) существует достаточно давно, за многие годы накоплен большой опыт эксплуатации ПР такого типа. Перемещение рабочего инструмента совпадает с декартовыми координатами  $X$ ,  $Y$ ,  $Z$  и осуществляется по трем линейным направляющим. Максимальный горизонтальный размер зоны обслуживания всегда меньше длины основания и линейных направляющих. Определенным недостатком этой компоновки следует считать большую площадь основания и малую зону рабочего пространства. ПР прямоугольной компоновки применяются в сварочном производстве в тех случаях, когда стоит задача сварки длинных прямолинейных швов и при создании специальных сварочных комплексов. Привод перемещения подвижных частей, как правило, электромеханический. Устройство управления всегда монтируют в отдельном шкафу.

*Цилиндрическая компоновка ПР* (рис. 2) названа по форме рабочего пространства — рабочей зоны обслуживания, которая представляет собой усеченный тор. Основные координаты — одна вращательная и две поступательные оси образуют цилиндрическую систему координат. Площадь основания невелика, устройство управления монтируется в отдельном шкафу. Зона обслуживания имеет небольшие размеры. Привод роботов этого типа, как правило, комбинированный, иногда электромеханический. ПР этой компоновки главным образом применяют для перемещения технологического инструмента или деталей малой массы, а также выполнения несложных циклов. Широкого производственного распространения данный тип роботов не получил.

*Сферическая компоновка ПР* (рис. 3) — первая в истории создания ПР. В этом случае рабочие оси соответствуют полярной системе координат. Отличается большой площадью основания и тем, что манипулятор объединен с устройством управления в один блок. Зона обслуживания относительно невелика, основные координаты: две вращательные оси и одна поступательная. Привод комбинированный электрогидравлический, в корпусе имеется специальная насосно-аккумуляторная станция. Кинематика манипулятора достаточно сложна в конструктивном и технологическом отношении. ПР этого типа, несмотря на очевидные недостатки, получили широкое распространение в 1960–1970 гг. в США, Японии и некоторых странах Европы. В последние годы XX в. и в настоящее время выпуск ПР этого типа практически прекращен.

*Горизонтально-плечевая компоновка ПР* (рис. 4) известна больше под названием «SCARA». Отличается малой площадью основания, имеет три вра-

щательных движения в параллельных плоскостях и одно поступательное по вертикали. Эта компоновка построена на принципе ориентированной руки, имеет относительно небольшой объем зоны обслуживания, применяется для сборки, укладки деталей на палеты. Манипуляции с технологическим инструментом или деталями массой до 10 кг. Обладает большой жесткостью в вертикальной плоскости. Привод электромеханический, устройство управления монтируется в отдельном шкафу.

*Шарнирно-рычажная (антропоморфная) компоновка ПР* (рис. 5) относится к современному решению, отличающемуся высокими конструктивными и эксплуатационными показателями. Площадь основания роботов этой компоновки имеет минимальные размеры, зона рабочего обслуживания по объему самая большая среди прочих компоновок. Манипулятор имеет три основные вращательные пары (шарниры), линейные перемещения отсутствуют. В настоящее время именно для ПР шарнирно-рычажного типа наиболее широко применяется модульный принцип конструирования. Изложенные выше соображения привели к тому, что сегодня почти все ведущие фирмы мира перешли на выпуск ПР шарнирной компоновки, что свидетельствует о ее несомненной перспективности.

Идея *параллельной компоновки ПР* (рис. 6) впервые опубликована в 1982 г. и более подробно представлена в работе [5] как манипулирующая система ПР по «методу  $l$  координат». В настоящее время эта компоновка достаточно широко рассматривается в литературе по мехатронике и робототехнике. Выходное звено в ней (платформа Стюарта) связано с основанием шестью кинематическими цепями, каждая из которых имеет свой привод и определяет положение выходного звена в пространстве. Такие механизмы в отличие от традиционных компоновок и механических структур роботов имеют замкнутые кинематические цепи и воспринимают нагрузку как пространственные фермы, что обеспечивается их высокой точностью. Зона рабочего обслуживания такого манипулятора сравнительно невелика и имеет вид полусферы. Рабочий орган устанавливается в центре верхней платформы вверху или внизу. Эта компоновка получила применение в конструкциях специали-

зированных металлообрабатывающих станков, в частности, фрезерных.

По схеме параллельной компоновки в Европе уже созданы и выпущены первые промышленные образцы сварочных роботов серии TRICEPT (модели 600 и 805), предназначенные для выполнения пространственных швов способом сварки трением с перемешиванием. На выходном звене такого специализированного робота укрепляется приводная головка со сварочным инструментом — вращающимся шпинделем. Конструкция манипулятора сварочных роботов TRICEPT обеспечивает необходимые для сварки с перемешиванием высокие усилия по вертикали (15...45 кН) и вдоль траектории сварки (3,5...10 кН). Предельная скорость перемещения сварочного инструмента 40...90 м/мин [6].

Все представленные и классифицированные в таблице ПР успешно применялись и применяются в конструкциях сварочных роботов для дуговой и контактной сварки, лазерной резки, сварки и обработки, гидроабразивной резки, нанесения газотермических покрытий. Наиболее распространенной и эффективной компоновкой современных ПР является шарнирно-рычажная (рис. 5). Совершенство конструкции и технологических характеристик манипуляционных ПР, особенно в повышении точности позиционирования и расширения возможностей систем управления, позволяют уверенно прогнозировать расширение применения этого оборудования также для роботизации заготовительных и сборочных операций в производстве сварных конструкций и изделий.

1. *World robotics 2003: United Nations Economic Commission for Europe (UN ECE)*. — New York; Geneva: IFR, 2003. — 370 p.
2. *Бернадский В. Н.* Промышленные роботы в современном производстве (Обзор) // *Автомат. сварка*. — 2001. — № 11. — С. 37–42.
3. *Спину Г. О., Бернадський В. М., Даниленко О. В., Юмашев В. Є.* Промислові роботи в машинобудуванні. — Житомир: Житомир. держ. техн. ун-т, 2003. — 128 с.
4. *Патон Б. Е., Спину Г. А., Тимошенко В. Г.* Промышленные роботы для сварки. — Киев: Наук. думка, 1977. — 224 с.
5. *Манипуляционные системы роботов* / Под ред. А. И. Корендзяева. — М.: Машиностроение, 1989. — 108 с.
6. *Strombeck A. von, Schillina C., Santos J. F.* Zrobotyzowane zgrzewanie tarciove z mieszaniam materiału zgrzeiny — narzędzie, technologia i zastosowanie // *Biuletyn Instytutu Spawalnictwa w Gliwicach*. — 2001. — № 6. — S. 49–51.

The paper deals with the main principles and systems of classification of multifunctional industrial robots, including welding robots, accepted by the International Federation of Robotics. Brief information is given on the status of the modern world market and industrial robot fleet.

Поступила в редакцию 18.02.2004