

**Библиотека  
Инженера**



Будяков А. Г., Воробьев В. А.

# Промышленные роботы

Кинематика, динамика,  
контроль и управление

Роботизация строительства

Системы строительных роботов

Приводы промышленных роботов

Измерительные системы

Особенности управления

Находка для специалиста!



УДК 621.39  
ББК 32.88+22.13  
Б 90

Булгаков А. Г., Воробьев В. А.

Б90 Промышленные роботы. Кинематика, динамика, контроль и управление. Серия «Библиотека инженера». — М.: СОЛОН-ПРЕСС, 2011. — 488 с.: ил.

ISBN 978-5-91359-013-8

В монографии изложены теоретические основы адаптации промышленных роботов для целей строительства. Рассмотрены технологические особенности строительных процессов и задачи их роботизации, сформулированы требования к роботизации строительных процессов и представлена структурная организация роботов и РТК для автоматизации строительных процессов. Описаны манипуляционные системы строительных роботов, алгоритмы решения задач кинематики и динамики манипуляторов и приводы промышленных роботов строительного назначения. Особое внимание уделено информационно-измерительным системам строительных роботов. Рассмотрены задачи планирования траекторий движений роботов при выполнении строительных операций и особенности управления строительными роботами.

Для инженерно-технических работников строительных, проектных и научных организаций, занимающихся вопросами механизации, роботизации и автоматизации в строительстве, а также для студентов и аспирантов вузов.

#### КНИГА — ПОЧТОЙ

Книги издательства «СОЛОН-ПРЕСС» можно заказать наложенным платежом (оплата при получении) по фиксированной цене. Заказ оформляется одним из трех способов:

1. Послать открытку или письмо по адресу: 123242, Москва, а/я 20.
2. Оформить заказ можно на сайте [www.solon-press.ru](http://www.solon-press.ru) в разделе «Книга — почтой».
3. Заказать по тел. (495) 254-44-10, 252-73-26.

**Бесплатно** высылается каталог издательства по почте. Для этого присылайте конверт с маркой по адресу, указанному в п. 1.

При оформлении заказа следует правильно и полностью указать адрес, по которому должны быть высланы книги, а также фамилию, имя и отчество получателя. Желательно указать дополнительно свой телефон и адрес электронной почты.

Через Интернет вы можете в любое время получить свежий каталог издательства «СОЛОН-ПРЕСС», считав его с адреса [www.solon-press.ru/kat.doc](http://www.solon-press.ru/kat.doc).

**Интернет-магазин** размещен на сайте [www.solon-press.ru](http://www.solon-press.ru).

По вопросам приобретения обращаться: ООО «АЛЬЯНС-КНИГА КТК»

Тел: (495) 258-91-94, 258-91-95, [www.abook.ru](http://www.abook.ru)

Сайт издательства «СОЛОН-ПРЕСС»: [www.solon-press.ru](http://www.solon-press.ru)

E-mail: [solon-avtor@coba.ru](mailto:solon-avtor@coba.ru)

ISBN5-978-5-91359-013-8 © Макет и обложка «СОЛОН-ПРЕСС», 2011  
© Булгаков А. Г., Воробьев В. А., 2011

# **Глава 1. Особенности и эффективность роботизации в строительстве**

## **1.1. Технологические особенности строительных процессов и задачи их роботизации**

Роботизация строительного производства связана с целым рядом характерных особенностей. Объекты строительства отличаются большим разнообразием по назначению, объему, планировочным решениям, видам применяемых конструкций и материалов. В зависимости от конструктивных решений строятся монолитные, кирпичные, сборные и другие здания и сооружения. По строительно-технологическим признакам возводимые объекты могут быть однородными и неоднородными. Однородные объекты отличаются большей степенью унификации конструкций, имеют более стабильный технологический процесс, который характеризуется четко выраженными стадиями выполнения работ и наличием специализированных потоков. Отличительными особенностями неоднородных объектов являются индивидуальность конструктивных решений, использование разнохарактерных строительных конструкций, неравномерное распределение объемов работ, нестабильность строительной технологии и отсутствие четко выраженной стадии производства работ [7].

По сравнению с другими отраслями технологические процессы в строительстве характеризуются низкой производительностью, тяжелым, монотонным трудом, повышенной опасностью работ, загрязненностью рабочей зоны (табл. 1.1). Сложность строительного производства, разнообразие технологических операций и особые условия их выполнения обуславливают низкий уровень комплексной механизации и автоматизации строительных процессов. Рассмотренные особенности строительного производства наиболее четко проявляются в связи с необходимостью увеличе-

ния объема, повышения качества строительства и снижения его себестоимости. Это вызывает необходимость неотложного решения вопросов комплексной механизации и автоматизации строительных процессов, что позволит повысить технический уровень производства, поднять производительность труда, решить социально-экономические проблемы.

Важную роль в этом направлении призвана сыграть роботизация отдельных видов операций. На современной стадии развития робототехники могут быть автоматизированы многие виды строительных работ. Роботизация строительных операций позволяет устранить недостающие звенья в системе комплексной механизации и автоматизации строительного производства, по-новому взглянуть на особенности выполнения работ, выявить потенциальные возможности для значительного улучшения основных показателей, оказать стимулирующее влияние на совершенствование технологии. При этом необходимо подчеркнуть, что автоматизация многих сложных строительных операций, отличающихся повышенной трудоемкостью, возможна лишь благодаря использованию роботов. Масштаб строительной отрасли, ее зависимость от ручного труда создают явный экономический потенциал для автоматизации и роботизации строительных процессов.

Таблица 1.1

*Условия труда по различным видам строительных работ*

Вид работ	Условия труда									
	Опасные	Вредные	Физически тяжелые	Повышенной напряженности	Стесненные	Тяжелые грузы	Вибрация	Шум	Повышенная влажность	Большая загрязненность
Разработка грунтов				•	•		•	•		•
Бурение шпуров				•			•	•	•	
Сварные работы				•		•	•	•		
Кирпичная кладка			•		•				•	•
Укладка и уплотнение бетонной смеси			•		•		•	•	•	•
Установка арматуры				•	•					

Вид работ	Условия труда									
	Опасные	Вредные	Физически тяжелые	Повышенной напряженности	Стесненные	Тяжелые грузы	Вибрация	Шум	Повышенная влажность	Большая загрязненность
Монтаж и демонтаж опалубки, лесов			•		•					•
Монтаж панелей, колонн, металлоконструкций	•		•			•				
Штукатурные работы			•		•				•	•
Малярные работы		•		•	•			•	•	•
Облицовка плиткой				•	•				•	•
Оклеивания стен обоями					•				•	
Остекление витрин	•			•	•	•				
Устройство монолитных полов			•				•	•	•	•
Устройство кровель	•	•		•						•
Уборка помещений				•	•				•	•
Прокладка коммуникаций				•	•				•	•
Погрузочно-разгрузочные работы			•		•	•				

В мировой практике накоплен определенный опыт применения манипуляторов и роботов на строительных площадках при возведении различных объектов. В настоящее время исследования и разработки в области роботизации строительного производства выполняются во многих странах: Японии, США, Германии, Голландии, Франции, Англии, Польше и др. Положительную оценку российских и зарубежных строителей получили шарнирно-распределительные стрелы для подачи, распределения и укладки бетонной смеси. Рядом зарубежных фирм разработаны и внедрены в промышленное строительство многозвенные манипуляторы для горизонтального распределения, укладки и уплотнения бетонной смеси. Привлекает внимание строителей использование манипуляторов и роботов на погрузочно-разгрузочных операциях. Для этих целей созданы специализированные манипуляторы и роботы различной грузоподъемности.

Рядом зарубежных фирм получены обнадеживающие результаты по применению роботизированных средств на строительно-монтажных работах. Имеются предложения по использованию манипуляторов для выполнения монтажных операций: монтажа и демонтажа опалубок и инвентарных лесов, прокладки трубопроводов, установки внутренних перегородок зданий и др. Промышленные роботы начинают применяться для окрашивания строительных конструкций. Отечественные и зарубежные специалисты ведут разработку специализированных роботов с адаптивным управлением для нанесения малярных составов и лакокрасочных покрытий на вертикальные и горизонтальные поверхности. Интенсивно ведутся работы по роботизации штукатурных работ.

Однако для широкомасштабного внедрения средств робототехники на строительных площадках и создания на их основе комплексов строительного оборудования с автоматическим управлением требуется решение сложных инженерно-технических задач. Это связано с многообразием выполняемых операций, их повышенной сложностью, многофакторностью, частой сменяемостью, разнообразием условий окружающей среды. Способы и условия производства работ также подвержены частым изменениям, что существенно затрудняет их механизацию и роботизацию. Технология многих строительных операций и отдельных видов работ нуждается в усовершенствовании и изменении с целью получения при внедрении роботов и РТК высоких технико-экономических показателей. Особенности строительного производства ставят проблему комплексного подхода к решению вопросов автоматизации и роботизации рабочих операций. Эффективность внедрения в строительстве средств робототехники и автоматики прямо зависит от того, насколько рационально организован технологический процесс на строительной площадке, как комплексно и полно решаются вопросы технологии, механизации, роботизации и автоматизации. Проведенный авторами анализ строительных процессов позволил определить перспективные направления внедрения средств робототехники в строительстве (табл. 1.2).

Особое внимание необходимо уделять выбору технически и экономически целесообразных объектов роботизации, учитывая при этом как экономические, так и социальные факторы. В планы роботизации следует включать в первую очередь операции связанные с повышенной трудоемкостью, опасными и вредными услови-

ями, которые не могут быть механизированы и автоматизированы более простыми и дешевыми средствами.

Таблица 1.2

*Основные направления применения средств робототехники в строительном производстве*

Вид работ	Область применения робототехники	Объекты строительства			
		Ж	Г	П	И
Земляные	Бурение и закладка шпуров			•	•
	Разработка и закрепление грунтов	•		•	•
Свайные	Подача свай в сваебойное оборудование	•	•	•	•
	Обрезка свай	•	•	•	
Каменные	Подача и расстиление раствора	•	•		
	Укладка кирпича	•	•		
Монтажные	Установка оконных и дверных блоков	•	•	•	
	Монтаж колонн		•	•	•
	Монтаж стальных конструкций		•	•	•
	Установка панелей и перегородок	•		•	
	Герметизация и заделка стыков	•	•	•	
	Сварка конструкций при монтаже	•	•	•	•
	Крепление конструкций при монтаже		•	•	•
Бетонные	Очистка и окраска металлоконструкций		•	•	•
	Укладка бетонной смеси	•	•	•	•
	Уплотнение бетонной смеси	•			
	Установка и крепление арматурных элементов	•	•	•	•
	Монтаж и демонтаж щитов опалубки	•	•	•	•
	Очистка и смазка щитов опалубки	•	•	•	•
	Установка закладных деталей	•	•	•	•
Отделочные	Установка преобразователей	•	•	•	•
	Нанесение и разравнивание штукатурных составов	•	•	•	•
	Затирка поверхности	•	•	•	•

Вид работ	Область применения робототехники	Объекты строительства			
		Ж	Г	П	И
Отделочные	Подготовка поверхности под окраску	•	•	•	•
	Нанесение грунтовок, окрасочных составов	•	•	•	•
	Оклеивание стен обоями	•			
	Облицовка стен плиткой	•	•	•	•
	Облицовка стен декоративными плитами		•		
	Монтаж подвесных потолков		•	•	
	Покрытие полов плиткой		•	•	
	Остекление витрин		•	•	
	Уборка помещений	•	•	•	
Кровельные	Подготовка поверхности	•	•	•	
	Нанесение мастичных покрытий			•	
Специальные	Клейка рулонного ковра	•	•	•	
	Прокладка инженерных коммуникаций	•	•	•	•
	Монтаж технологического оборудования			•	•
	Разборка зданий и сооружений	•		•	
	Теплоизоляция трубопроводов	•		•	•
	Монтаж и демонтаж лесов	•	•		
Погрузочно-загрузочные	Заделка оконных и дверных блоков	•	•		
	Погрузка и разгрузка конвейеров и поддонов, строительных конструкций	•	•	•	•
Ремонтные	Транспортировка и подача конструкций в рабочую зону	•	•	•	•
	Окрашивание фасадов	•	•	•	•
	Очистка фасадов	•	•	•	•
	Ремонт и окрашивание швов между панелями	•		•	
	Очистка и окраска стальных конструкций			•	•
Испытательные и проверочные работы		•	•	•	

\* Ж — жилые; Г — гражданские; П — промышленные;  
И — инженерно-технические



## 1.2. Требования к роботизации строительных процессов

Роботизация технологических процессов на строительных площадках и предприятиях стройиндустрии проводится с учетом большого числа разнообразных требований: технологических, конструктивных, эргономических, эксплуатационных, социальных и экономических. Эти требования учитывают целенаправленное назначение средств робототехники, условия их эксплуатации, особенности технологии и организации производства, перспективы его развития, опыт роботизации в других отраслях народного хозяйства, а также нормативы и рекомендации нормативно-технической документации и техники безопасности.

Эффективность роботизации в первую очередь определяется, насколько полно учтены технологические требования, которые формируются на основании анализа технологии выполнения отдельных операций и роли в ней средств робототехники. В ходе анализа устанавливаются следующие основные показатели технологического процесса: состав и временные параметры производственных операций; состав и расположение оборудования в зоне обслуживания; его конструктивно-технологические характеристики; порядок взаимодействия оборудования и средств роботизации; предполагаемое расположение роботизируемых позиций; технические показатели объектов манипулирования. Эта информация позволяет сформулировать объективные требования к содержанию манипуляционных действий, параметрам зоны обслуживания, статическим и динамическим нагрузкам на рабочие органы манипуляторов, быстродействию и точности позиционирования, особенностям взаимодействия рабочего органа с объектом роботизации. Технологические требования служат основанием для определения целого ряда технических характеристик манипуляторов и роботов: числа степеней подвижности; структурных и кинематических схем; степени универсальности; грузоподъемности; усилий захвата, скорости перемещения объекта манипулирования, погрешности позиционирования.

Необходимым условием создания РТК является автоматизация сопрягаемого с роботами технологического оборудования и вспомогательных операций. Поэтому в состав технологических требований для РТК следует включать пункты по модернизации и переводу оборудования на автоматическое управление, а также условия

его переналадки в процессе функционирования комплекса. Важную роль в составе роботизированных комплексов, линий и участков играют транспортно-накопительные системы. Они обеспечивают накопление, хранение, ориентацию, выдачу и транспортировку конструкций, изделий и материалов как внутри РТК, так и между ним и окружающей техносредой. Это требует при выборе и разработке транспортно-накопительных систем обязательно учитывать способ хранения и выдачи конструкций, изделий и материалов, особенности их ориентации и комплектации на начальной позиции РТК, вместимость накопителей, транспортные связи. Требования к вспомогательному оборудованию, включаемому в состав комплексов, определяются конструкцией комплекса, типом, формой, материалом и размерами деталей, изделий и конструкций, составом технологического оборудования. Технологическая оснастка РТК выбирается с учетом необходимого взаимодействия с объектом роботизации, требуемой точности базирования объекта манипулирования и необходимой надежности.

Важную роль при роботизации производственных процессов играют конструктивные требования, которые устанавливают совокупность условий, нормативов и рекомендаций для номенклатуры основных параметров, компоновочных и конструктивных решений показателей надежности и долговечности. Эти требования позволяют обеспечить соответствие средств роботизации современному уровню развития робототехники и технологии строительного производства, их унификацию и стандартизацию, удобство технического обслуживания, необходимую степень устойчивости и подвижности оборудования, взаимозаменяемость составных частей, узлов и блоков.

В соответствии с конструктивными требованиями при роботизации строительного производства необходимо максимально использовать стандартные и разработанные ранее компоновочные, кинематические и структурные решения, а также агрегатно-модульный принцип построения с учетом особенностей строительных площадок. Разработку и проектирование средств робототехники следует выполнять в соответствии с действующими государственными и отраслевыми стандартами, строительными нормами и правилами, а также с учетом технических условий на конкретные модели манипуляторов и роботов. Значения параметров должны выбираться исходя из технологических требований и типоразмерных рядов, установленных стандартами. Грузоподъемность средств

роботизации должна не менее чем на 10% превышать предельную массу объекта манипулирования с технологической оснасткой и учитывать действия ветровой нагрузки. Окончательное значение грузоподъемности выбирается из типоразмерного ряда, задаваемого ГОСТ 25204-82, а основные показатели линейных и угловых перемещений и абсолютной погрешности позиционирования должны отвечать ГОСТ 26050-89. Скорость перемещения рабочего органа определяется технологическими параметрами или производительностью работы технологического оборудования. Основные параметры составных частей строительных манипуляторов и роботов должны удовлетворять требованиям стандартов, перечисленных в табл. 1.3. Конструкция манипуляторов, роботов и РТК должна обеспечивать удобство монтажа агрегатов и узлов, доступ к местам крепления, контроль регулировки и смазки, а также ремонтпригодность. Узлы и элементы должны заменяться без регулировки других функциональных частей.

Таблица 1.3

*Перечень стандартов, регламентирующих требования к составным частям манипуляторов и роботов*

Стандарт	Устанавливаемые параметры
ГОСТ 25204-82 ГОСТ 26050-89 ГОСТ 26063-84 ГОСТ 27122-86 ГОСТ 26055-84 ГОСТ 24505-80	Номинальная грузоподъемность Максимальные угловые и линейные перемещения, абсолютная погрешность позиционирования Присоединительные размеры захватных устройств Основные параметры электромеханических модулей Требования к строительно-монтажным манипуляторам Символы на пультах управления

Робототехнические устройства, внедряемые в строительное производство, должны иметь не только необходимые технические показатели, но и удовлетворять основным эргономическим требованиям, которые обеспечивают целесообразное распределение функций и удобство взаимодействия человека-оператора и системы управления, а также безопасность условий труда. Эргономические требования формируются на основе системного подхода. Эти требования наряду с техническими и технологическими требованиями определяют выбор пульта управления, место его расположения, состав и форму органов контроля, управления и сигнализации. Требования эргономики составляют в соответствии с

ГОСТ 22269-76. Символы, наносимые на пульта управления и шкафы автоматизации, и другое оборудование, должны быть едиными для строительной отрасли. Больше внимания при создании средств строительной робототехники следует уделять их дизайну, а также обеспечению нормальных условий освещенности и обзора оператора при работе оборудования.

Особое значение в строительной робототехнике отводится удовлетворению эксплуатационных требований, которые учитывают условия работы оборудования, удобство его монтажа, наладки, ремонта и транспортировки, требования техники безопасности. Сложные условия строительной площадки, возможность наличия в зоне расположения манипуляторов и роботов пыли, высокой влажности, брызг растворов, аэрозольных частиц малярных составов, выдвигают повышенные требования к воздействию внешней среды. Они должны отвечать требуемым условиям запыленности, влажности, виброустойчивости, температурного диапазона. При этом должна предусматриваться пылезащита шарнирных соединений и подвижных штоков исполнительных органов манипулятора, местная герметизация отдельных блоков, узлов и элементов. Особое внимание необходимо уделять защите от воздействия окружающей среды систем управления. Выполнение требований, продиктованных внешней средой, создает условия повышенной надежности работы строительных манипуляторов и роботов. С учетом внешней среды выбирают конструкционные материалы, покрытия, смазки, электронное и другое оборудование. Конструкция окрасочных роботов должна обеспечивать надежную работу в условиях мелкодисперсной аэрозольной среды, образованной при распылении лакокрасочных и малярных составов. При работе с лакокрасочными материалами робот должен иметь искробезопасное исполнение.

Температурный диапазон работы роботов и манипуляторов, предназначенных для использования на строительных площадках, выбирается в соответствии со строительными нормами и правилами на производство определенного вида работ. Робототехнические устройства обыкновенного исполнения могут работать в условиях вибрации с амплитудой не более 0,1 мм и частотой до 25 Гц. При повышенных уровнях вибрации они должны изготавливаться в виброустойчивом исполнении.

Учитывая условия работы манипуляторов, роботов и РТК в строительстве, в оценку их надежности включаются такие показа-

тели, как безотказная наработка, срок службы до первого капитального ремонта, средний срок службы до списания, средняя оперативная трудоемкость выполнения капитального ремонта. Требования на показатели надежности устанавливаются в соответствии с ГОСТ 27.003-90, а также строительными нормами. К робототехническим устройствам предъявляются жесткие требования по безопасности обслуживания, которые подлежат обязательному выполнению в процессе проектирования, монтажа и эксплуатации оборудования. По условиям безопасности конструкция манипуляторов и роботов выполняется с учетом удобства управления, необходимой степени защиты обслуживающего персонала от различного рода травм, свободного доступа к механизмам и блокам при наладочных, профилактических и ремонтных работах. При этом особое внимание необходимо обращать на обеспечение свободного и быстрого доступа к органам аварийного отключения. Пульты управления следует размещать вне рабочей зоны оборудования, в месте, обеспечивающем хорошее наблюдение за действиями исполнительных органов. Для исключения присутствия человека в рабочей зоне манипулятора в стационарных условиях обязательно предусматривается установка ограждения, а в условиях строительных площадок следует применять фотоэлектрические или сенсорные датчики контроля. Появление человека в рабочей зоне должно вызывать блокировку работы манипулятора, снятие которой может быть выполнено только оператором. Средства робототехники, размещаемые на строительных площадках, должны снабжаться устройствами защиты, исключающими их использование посторонними лицами.

Для передвижных манипуляторов и роботов предусматривается необходимый запас устойчивости при работе с номинальными грузами, поднятыми на предельную высоту на любом радиусе действия. При этом у роботов, предназначенных для работы на открытом воздухе, устойчивость должна сохраняться при скоростном напоре ветра, допустимые значения которого определяются СНиП III-4-80.

Все работы по роботизации строительного производства выполняются с учетом социальных и экономических требований. Социальные требования направлены на улучшения условий труда рабочих. В связи с этим при решении вопросов роботизации важное значение отводится реализации таких требований, как исключение участия людей из тяжелых, монотонных, вредных и напря-

женных технологических операций, вывод их из опасных зон, сокращение рабочих на отдельных видах работ и общей их численности. Достичь минимальной стоимости производства работ возможно только при соблюдении основных экономических требований. При роботизации производственных процессов выбираются такие технические решения, которые обеспечивают при определенном соотношении производительности оборудования, его стоимости, затрат на эксплуатацию и прочих капиталовложениях наименьшую стоимость производства работ. На опасных и вредных видах работ предпочтение может быть отдано роботизации даже при некотором повышении стоимости продукции в виду улучшения социальных факторов.

### **1.3. Структурная организация роботов и РТК для автоматизации строительных процессов**

Промышленным и строительным роботам свойственно активное и целенаправленное взаимодействие с внешней средой. Это достигается за счет структурной организации робота, определяемой назначением, характером технологических операций, видом движений, требованиями к грузоподъемности и точности позиционирования [15]. Промышленный робот для строительного производства в общем случае можно представить в виде структурной схемы, приведенной на рис. 1.1. Основными составляющими робота являются исполнительное устройство, устройство управления и датчики состояния.

Основу любого робота составляет исполнительное устройство, которое обеспечивает выполнение всех его двигательных функций и взаимодействие с объектами роботизации на базе управляющих воздействий, формируемых устройством управления. Для большинства строительных роботов исполнительное устройство, кроме манипулятора с рабочим органом, включает механизм передвижения. Манипуляторы перемещают рабочие органы в соответствии с заданными законами движения, определяемыми технологическими требованиями. Манипуляторы строительных роботов представляют многозвенные механизмы, состоящие из ряда кинематических пар с поступательным или вращательным движением, и отличаются значительными зонами обслуживания, большими

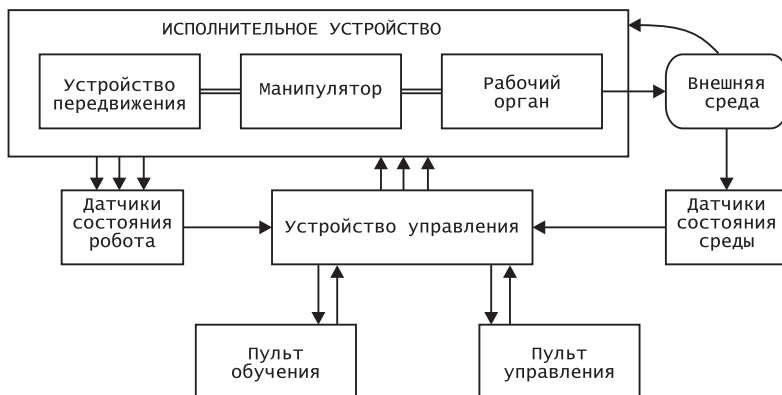


Рис. 1.1. Структурная схема промышленного робота

длинами звеньев. Для приведения в действия звеньев манипулятора этих роботов в основном используются гидравлические и электромеханические приводы. В отдельных видах отделочных роботов возможно использование пневматических приводов. В качестве основных характеристик манипуляторов в первую очередь следует рассматривать число степеней подвижности, грузоподъемность, зону обслуживания и его динамические свойства. Манипуляторы для строительного производства в большинстве случаев должны обеспечивать поступательные движения рабочих органов по трем координатам и их поворот вокруг одной, двух или трех осей, вращательные движения относительно одной оси с одновременным поступательным перемещением относительно двух других или два вращательных и одно поступательное в радиальном направлении. Манипуляторы снабжаются рабочим органом, который непосредственно взаимодействует с объектом роботизации или выполнения различных технологических операций. В строительных роботах в качестве рабочего органа могут быть специализированные захватные устройства либо специальный рабочий инструмент.

Захватные устройства строительно-монтажных роботов, кроме обычных функций взятия и удержания в определенном положении объектов манипулирования, могут выполнять ориентацию объекта в одной или нескольких плоскостях. Принцип действия и конструкция захватных устройств строительных роботов весьма разнообразны. Они определяются формой, размерами и весом строительных конструкций и деталей, используемыми материалами, конструктивными особенностями. В зависимости от выбран-

ного способа захвата и удержания объектов могут быть использованы механические, электромагнитные, вакуумные или комбинированные захватные устройства. Захватные устройства строительно-монтажных и погрузочно-разгрузочных роботов могут снабжаться дополнительными приводами, осуществляющими самостоятельные поступательные и вращательные движения. При выполнении целого ряда строительных операций целесообразно использовать оцувствленные захватные устройства, снабженные специальными датчиками, дающими информацию о взятии и установке предмета, усилии сжатия, скорости перемещения, положении охвата относительно объекта манипулирования и др. В строительных роботах используются как универсальные, так и специальные захватные устройства. Во многих специализированных строительных роботах рабочим органом служит технологический инструмент: сварочные клещи, краскопульты, затирочный, шлифовальный или сборочный инструмент.

Устройство передвижения мобильных строительных роботов отличаются принципом действия и могут иметь самую разнообразную конструкцию. В строительных роботах наряду с традиционными движителями: колесными и гусеничными, перспективно использование движителей на воздушной подушке, шагового типа, многозвенных гусеничных и др. При создании передвижных строительных роботов обязательно предусматриваются устройства фиксации его положения, которые позволяют сохранять неизменными его положение при воздействии на рабочий орган возмущающих усилий. Представляет интерес создание устройств передвижения, обеспечивающих перемещение робота по лестничным переходам с этажа на этаж. При комплексной механизации и автоматизации промышленного строительства для роботизации технологических операций возможно использование монорельсовых и мостовых устройств передвижения. Особый интерес для промышленного строительства вызывает применение в качестве устройства передвижения платформы на воздушной подушке. Важное значение для строительных роботов имеет компоновка исполнительного устройства. При размещении манипуляторов на устройстве передвижения обязательно учитываются особенности технологии выполнения работ, ограниченность пространства на строительных объектах, необходимость перемещения через узкие дверные проемы и ряд других факторов.



# Содержание

Предисловие .....	3
<b>Глава 1. Особенности и эффективность роботизации в строительстве.....</b>	<b>5</b>
1.1. Технологические особенности строительных процессов и задачи их роботизации .....	5
1.2. Требования к роботизации строительных процессов.....	11
1.3. Структурная организация роботов и РТК для автоматизации строительных процессов.....	16
1.4. Эффективность роботизации в строительстве .....	21
<b>Глава 2. Манипуляционные системы строительных роботов.....</b>	<b>26</b>
2.1. Принципы построения кинематических схем строительных роботов.....	26
2.2. Кинематические структуры строительных роботов и их специализация.....	33
2.3. Кинематические модели строительных роботов.....	41
2.4. Динамические модели строительных роботов .....	57
2.5. Приводы строительных роботов и их динамические свойства .....	63
<b>Глава 3. Информационно-измерительные системы строительных роботов.....</b>	<b>78</b>
3.1. Измерительные преобразователи параметров манипуляционной системы.....	78
3.2. Сенсорные устройства контроля положения строительных роботов.....	88
3.3. Лазерные информационно-измерительные системы строительно-монтажных роботов .....	97
3.4. Ультразвуковые системы контроля роботов.....	113
3.5. Системы технического зрения строительных роботов .....	118
<b>Глава 4. Планирование траекторий движения робота при выполнении операций.....</b>	<b>127</b>
4.1. Постановка задачи планирования движения строительных роботов.....	127
4.2. Построение каркаса траектории движения робота.....	132

---

4.3. Планирование движений манипулятора на основе аппроксимации сплайнами.....	146
4.4. Аппроксимирование планируемых траекторий движения .....	154
4.5. Построение прогнозирующих и адаптивных алгоритмов планирования движений .....	160
4.6. Планирование движений манипулятора при работе с системой технического зрения .....	170
<b>Глава 5. Управление строительными роботами.....</b>	<b>176</b>
5.1. Многоуровневый характер управления строительными роботами.....	176
5.2. Дистанционное и интерактивное управление роботами ..	183
5.3. Системы программного управления роботами .....	193
5.4. Адаптивное управление роботами .....	202
5.5. Логическое управление робототехническими комплексами .....	208
5.6. Программное обеспечение и языки программирования роботов .....	212
<b>Глава 6. Роботизация и автоматизация земляных работ .....</b>	<b>227</b>
6.1. Технологические предпосылки и особенности применения средств роботизации в строительстве .....	227
6.2. Бортовые информационные системы землеройных машин.....	233
6.3. Автоматизация выемки и перемещения грунта .....	237
6.3.1. Автоматизация экскаваторов.....	237
6.3.2. Автоматизация бульдозеров.....	245
6.3.3. Автоматизация погрузчиков .....	247
6.4. Роботизированные комплексы для выполнения свайных работ .....	249
<b>Глава 7. Роботизация установки и монтажа строительных блоков и элементов .....</b>	<b>257</b>
7.1. Краны-манипуляторы.....	257
7.2. Мини-краны.....	271
7.3. Кинематические решения строительных роботов для каменной кладки .....	274
7.4. Интеллектуальное управление в системах автоматизации строительных кранов .....	279
7.5. Роботизация процесса каменной кладки.....	284

<b>Глава 8. Автоматизации и роботизация бетонных работ .....</b>	<b>300</b>
8.1. Системы автоматизации приготовления бетонной смеси.....	300
8.2. Роботы для подачи и укладки бетона .....	304
8.3. Принципы управления мехатронным скользящим комплексом .....	313
8.4. Планирование движений мехатронного комплекса .....	318
<b>Глава 9. Роботы и роботизированные комплексы для отделочных работ.....</b>	<b>325</b>
9.1. Характеристика штукатурных работ и их технологические особенности .....	325
9.2. Основные направления роботизации штукатурных работ и требования к штукатурным роботам.....	330
9.3. Технология автоматизированного выполнения штукатурных работ .....	334
9.4. Принципы построения штукатурных роботов .....	343
9.5. Конструктивное исполнение штукатурных роботов.....	355
9.6. Роботизированные штукатурные комплексы .....	361
<b>Глава 10. Автоматизация и роботизация работ в подземном строительстве.....</b>	<b>368</b>
10.1. Требования к проведению подземных строительных работ .....	368
10.2. Автоматизированное управление тоннелепроходческими щитами .....	369
10.3. Управление мобильными установками для бурения шпуров .....	382
10.4. Роботизированные комплексы для укладки тубингов ..	388
10.5. Автоматизация строительства мини-тоннелей .....	403
10.6. Роботы для торкретирования сводов тоннелей .....	410
<b>Глава 11. Роботизация строительных операций.....</b>	<b>426</b>
11.1. Технологические предпосылки и особенности применения средств роботизации в строительстве .....	426
11.2. Роботизированные комплексы для выполнения монтажных работ .....	432
11.3. Роботизация производства бетонных работ.....	445
11.4. Роботы и роботизированные комплексы для штукатурных работ .....	452
11.5. Малярные роботы и роботизированные комплексы.....	459

11.6. Роботизация земляных и свайных работ.....	464
<b>Заключение .....</b>	<b>470</b>
<b>Список литературы .....</b>	<b>473</b>