

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ

«БРАТСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

**Кафедра подъемно-транспортных, строительных,
дорожных машин и оборудования**

УТВЕРЖДАЮ:

Проректор по учебной работе

Е.И.Луковникова

«_____» декабря 2018 г.

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ

РОБОТОТЕХНИКА В СТРОИТЕЛЬСТВЕ

Б1.В.06

НАПРАВЛЕНИЕ ПОДГОТОВКИ

23.03.02 Наземные транспортно-технологические комплексы

ПРОФИЛЬ ПОДГОТОВКИ

**Подъемно-транспортные, строительные, дорожные машины и
оборудование**

Программа академического бакалавриата

Квалификация (степень) выпускника: бакалавр

1. ПЕРЕЧЕНЬ ПЛАНИРУЕМЫХ РЕЗУЛЬТАТОВ ОБУЧЕНИЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ, СООТНЕСЕННЫХ С ПЛАНИРУЕМЫМИ РЕЗУЛЬТАТАМИ ОСВОЕНИЯ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ ПРОГРАММЫ	3
2. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ ПРОГРАММЫ	4
3. РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ОБЪЕМА ДИСЦИПЛИНЫ	4
3.1 Распределение объёма дисциплины по формам обучения.....	4
3.2 Распределение объёма дисциплины по видам учебных занятий и трудоемкости	5
4. СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ	5
4.1 Распределение разделов дисциплины по видам учебных занятий	5
4.2 Содержание дисциплины, структурированное по разделам и темам	7
4.3 Лабораторные работы.....	7
4.4 Практические занятия.....	8
4.5 Контрольные мероприятия: курсовой проект (курсовая работа), контрольная работа, РГР, реферат.....	8
5. МАТРИЦА СООТНЕСЕНИЯ РАЗДЕЛОВ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ К ФОРМИРУЕМЫМ В НИХ КОМПЕТЕНЦИЯМ И ОЦЕНКЕ РЕЗУЛЬТАТОВ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ	10
6. ПЕРЕЧЕНЬ УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ДЛЯ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ ОБУЧАЮЩИХСЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ	11
7. ПЕРЕЧЕНЬ ОСНОВНОЙ И ДОПОЛНИТЕЛЬНОЙ ЛИТЕРАТУРЫ, НЕОБХОДИМОЙ ДЛЯ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ.....	11
8. ПЕРЕЧЕНЬ РЕСУРСОВ ИНФОРМАЦИОННО – ТЕЛЕКОММУНИКАЦИОННОЙ СЕТИ «ИНТЕРНЕТ» НЕОБХОДИМЫХ ДЛЯ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ	12
9. МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ДЛЯ ОБУЧАЮЩИХСЯ ПО ОСВОЕНИЮ ДИСЦИПЛИНЫ.....	12
9.1. Методические указания для обучающихся по выполнению практических занятий	12
9.2. Методические указания по выполнению контрольной работы	75
10. ПЕРЕЧЕНЬ ИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ, ИСПОЛЬЗУЕМЫХ ПРИ ОСУЩЕСТВЛЕНИИ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО ПРОЦЕССА ПО ДИСЦИПЛИНЕ	76
11. ОПИСАНИЕ МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЙ БАЗЫ, НЕОБХОДИМОЙ ДЛЯ ОСУЩЕСТВЛЕНИЯ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО ПРОЦЕССА ПО ДИСЦИПЛИНЕ	76
Приложение 1. Фонд оценочных средств для проведения промежуточной аттестации обучающихся по дисциплине.....	77
Приложение 2. Аннотация рабочей программы дисциплины	82
Приложение 3. Протокол о дополнениях и изменениях в рабочей программе	84

1. ПЕРЕЧЕНЬ ПЛАНИРУЕМЫХ РЕЗУЛЬТАТОВ ОБУЧЕНИЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ, СООТНЕСЕННЫХ С ПЛАНИРУЕМЫМИ РЕЗУЛЬТАТАМИ ОСВОЕНИЯ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ ПРОГРАММЫ

Вид деятельности выпускника

Дисциплина охватывает круг вопросов, относящихся к проектно-конструкторскому виду профессиональной деятельности выпускника в соответствии с компетенциями и видами деятельности, указанными в учебном плане.

Цель дисциплины

Целью изучения дисциплины является подготовка бакалавра к участию в составе коллектива исполнителей в разработке технических условий на проектирование и техническое описание роботизированных наземных транспортно-технологических машин; технической документации для производства, модернизации, эксплуатации и технического обслуживания роботизированных наземных транспортно-технологических машин и их технологического оборудования; в проведении испытаний роботизированных наземных транспортно-технологических машин и их технологического оборудования; в организации производства и эксплуатации роботизированных наземных транспортно-технологических машин и их технологического оборудования; в организации технического контроля при исследовании, проектировании, производстве и эксплуатации роботизированных наземных транспортно-технологических машин.

Задачи дисциплины

Задачами преподавания дисциплины, связанными с ее конкретным содержанием, является получение представления:

- об основных тенденциях и направлениях развития роботизации в строительстве, промышленности строительных материалов и системах инженерного обеспечения городов, зданий и сооружений;
- о специфике основного содержания специализаций в области роботизации в строительстве, промышленности строительных материалов и системах инженерного обеспечения городов, зданий и сооружений;
- об основных характеристиках и технико-экономических показателях комплексной механизации и автоматизации;
- о принципах построения автоматических систем управления строительными машинами и оборудованием на базе микропроцессорной техники и структуре ее аппаратно-программного обеспечения.

Код компетенции	Содержание компетенций	Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине
1	2	3
ПК-4	способностью в составе коллектива исполнителей участвовать в разработке конструкторско-технической документации новых или модернизируемых образцов наземных транспортно-технологических машин и комплексов	знать: принципы работы, технические характеристики, конструктивные особенности существующих роботов и их недостатки; уметь: пользоваться чертежами узлов оригинальных наземных транспортно-технологических машин в объеме, достаточном для понимания устройства и осуществления сборочно-разборочных работ; владеть: навыками разработки и оформления конструкторско-технической документации.

2. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ ПРОГРАММЫ

Дисциплина Б1.В.06 Робототехника в строительстве относится к вариативной части.

Дисциплина Робототехника в строительстве относится к вариативной части базируется на знаниях, полученных при изучении дисциплин: Теория механизмов и машин, Технические основы создания машин.

Основываясь на изучении перечисленных дисциплин, Робототехника в строительстве представляет основу для изучения дисциплин: Конструкция наземных транспортно-технологических машин, Технология производства и ремонт подъемно-транспортных, строительных и дорожных машин, Эксплуатация подъемно-транспортных, строительных и дорожных машин.

Такое системное междисциплинарное изучение направлено на достижение требуемого ФГОС уровня подготовки по квалификации бакалавр.

3. РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ОБЪЕМА ДИСЦИПЛИНЫ

3.1. Распределение объема дисциплины по формам обучения

Форма обучения	Курс	Семестр	Трудоемкость дисциплины в часах						Курсовая работа (проект), контрольная работа, реферат, РГР	Вид промежуточной аттестации
			Всего часов (с экз.)	Аудиторных часов	Лекции	Лабораторные работы	Практические занятия	Самостоятельная работа		
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Очная	3	6	108	54	18	-	36	54	кр	зачет
Заочная	4	-	108	12	4	-	8	92	кр	зачет
Заочная (ускоренное обучение)	2	-	108	8	4	-	4	96	кр	зачет
Очно-заочная	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

3.2. Распределение объема дисциплины по видам учебных занятий и трудоемкости

Вид учебных занятий	Трудоемкость (час.)	в т.ч. в интерактивной, активной, инновационной формах, (час.)	Распределение по семестрам, час
			6
1	2	3	4
I. Контактная работа обучающихся с преподавателем (всего)	54	12	54
Лекции (Лк)	18	4	18
Практические занятия	36	8	36
Контрольная работа	+	-	+
Групповые (индивидуальные) консультации	+	-	+

II. Самостоятельная работа обучающихся (СР)	54	-	54
Подготовка к практическим занятиям	26	-	26
Подготовка к зачету	16	-	16
Выполнение контрольной работы	12	-	12
III. Промежуточная аттестация зачет	+	-	+
Общая трудоемкость дисциплины час.	108	-	108
	зач. ед. 3	-	3

4. СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

4.1. Распределение разделов дисциплины по видам учебных занятий

- для очной формы обучения:

№ раз- дела	Наименование раздела дисциплины	Трудоемкость, (час.)	Виды учебных занятий, включая самостоятельную работу обучающихся и трудоемкость; (час.)		
			учебные занятия		Самостоятельная работа обучающихся
			лекции	практические занятия	
1	2	3	4	5	6
1.	Основные задачи и направления развития робототехники	8	2	-	6
2.	Общие сведения о роботах	24	4	8	12
3.	Робототехнические наземные транспортно-технологические машины	38	6	12	20
4.	Проектирование роботизированной технологии в строительстве. Гибкие производственные, технологические и транспортно-складские модули (ГПМ), комплексы (ГПК), и системы (ГПС)	38	6	16	16
	ИТОГО	108	18	36	54

- для заочной формы обучения:

№ раз- дела и темы	Наименование раздела и тема дисциплины	Трудоемкость, (час.)	Виды учебных занятий, включая самостоятельную работу обучающихся и трудоемкость; (час.)		
			учебные занятия		Самостоятельная работа обучающихся
			лекции	практические занятия	
1	2	3	4	5	6
1.	Основные задачи и направления развития робототехники	17	1	-	16
2.	Общие сведения о роботах	23	1	1	21
3.	Робототехнические	34	1	3	30

	наземные транспортно-технологические машины				
4.	Проектирование роботизированной технологии в строительстве. Гибкие производственные, технологические и транспортно-складские модули (ГПМ), комплексы (ГПК), и системы (ГПС).	30	1	4	25
	ИТОГО	104	4	8	92

- для заочной формы обучения (ускоренное обучение):

№ раздела и темы	Наименование раздела и тема дисциплины	Трудоемкость, (час.)	Виды учебных занятий, включая самостоятельную работу обучающихся и трудоемкость; (час.)		
			учебные занятия		Самостоятельная работа обучающихся
			лекции	практические занятия	
1	2	3	4	5	6
1.	Основные задачи и направления развития робототехники	17	1	-	16
2.	Общие сведения о роботах	22	1	1	21
3.	Робототехнические наземные транспортно-технологические машины	34	1	1	32
4.	Проектирование роботизированной технологии в строительстве. Гибкие производственные, технологические и транспортно-складские модули (ГПМ), комплексы (ГПК), и системы (ГПС).	30	1	2	27
	ИТОГО	104	4	4	96

4.2. Содержание дисциплины, структурированное по разделам и темам.

№ раздела	Наименование раздела	Содержание лекционных занятий	Вид занятия в интерактивной, активной, инновационной формах, (час.)
1	2	3	4
1.	Основные задачи и направления развития робототехники	Основные положения и понятия. Выбор объектов роботизации. Основные сведения об объектах роботизации.	Лекция пресс-конференция (1 час.)
2.	Общие сведения о роботах	Классификация роботов. Технические показатели роботов. Взаимозависимости основных параметров роботов.	Разбор конкретных ситуаций (1 час.)

		Устройство и принцип действия роботов.	-
		Рабочие органы и системы управления роботами.	-
3.	Робототехнические наземные транспортно-технологические машины	Роботы для транспортирования грузов.	Лекция с текущим контролем (1 час.)
		Напольные роботы. Подвесные роботы.	-
		Наземные роботы. Шагающие роботы.	-
4.	Проектирование роботизированной технологии в строительстве. Гибкие производственные, технологические и транспортно-складские модули (ГПМ), комплексы (ГПК), и системы (ГПС)	Особенности применения средств роботизации для различных технологических процессов в строительстве.	-
		Технические требования и средства роботизации для монтажа конструкций крупнопанельных зданий.	-
		Принципиальная схема кранов-манипуляторов. Перспективы применения роботизированной технологии в строительстве.	Лекция-диспут (1 час.)

4.3. Лабораторные работы.

Учебным планом не предусмотрено.

4.4. Практические занятия.

<i>№ п/п</i>	<i>Номер раздела дисциплины</i>	<i>Наименование тем практических занятий</i>	<i>Объем (час.)</i>	<i>Вид занятия в интерактивной, активной, инновационной формах, (час.)</i>
1	2.	Технические показатели роботов.	4	-
2	2.	Взаимодействие основных параметров роботов.	4	-
3	3.	Устройство наземных роботов.	8	-
4	3.	Захватные устройства роботов и манипуляторов.	4	тренинги (2 час.)
5	4.	Пример роботизации процессов транспортирования грузов.	8	деловая игра (3 час.)
6	4.	Подбор оборудования технологических линий ЖБИ.	8	тренинги (3 час.)
ИТОГО			36	8

4.5. Контрольные мероприятия: контрольная работа.

Цель: Определение степеней свободы строительного манипулятора.
Структура.

Отчёт по контрольной работе должен иметь следующую структуру:

- титульный лист;
- задание на отдельном листе;
- содержание;
- список использованных сокращений и обозначений;
- введение [1-2 стр.];
- основная часть;
- заключение [1 стр.];
- список использованных источников.

Тема. Особенности применения манипуляторов в строительстве.

Рекомендуемый объем. Оформление контрольной работы: объём отчёта должен составлять 8-10 страниц печатного текста.

Выдача задания, прием контрольной работы проводится в соответствии с календарным учебным графиком.

5. МАТРИЦА СООТНЕСЕНИЯ РАЗДЕЛОВ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ К ФОРМИРУЕМЫМ В НИХ КОМПЕТЕНЦИЯМ И ОЦЕНКЕ РЕЗУЛЬТАТОВ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

<i>№, наименование разделов дисциплины</i>	<i>Компетенции</i>	<i>Кол-во часов</i>	<i>Компетенции</i>		<i>Σ комп.</i>	<i>t_{ср}, час</i>	<i>Вид учебных занятий</i>	<i>Оценка результатов</i>
			<i>ПК</i>					
			<i>1</i>					
1	2	3	4	5	6	7		
1. Основные задачи и направления развития робототехники.		8	+		1	8	Лк, СР	Зачет, тесты
2. Общие сведения о роботах.		24	+		1	24	Лк, ПЗ, СР	Зачет, тесты
3. Робототехнические наземные транспортно-технологические машины.		38	+		1	38	Лк, ПЗ, СР	Зачет, тесты
4. Проектирование роботизированной технологии в строительстве. Гибкие производственные, технологические и транспортно-складские модули (ГПМ), комплексы (ГПК), и системы (ГПС).		38	+		1	38	Лк, ПЗ, СР	зачет, тесты, кр
всего часов		108		108	1	108		

6. ПЕРЕЧЕНЬ УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ДЛЯ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ ОБУЧАЮЩИХСЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ

1. 123 эксперимента по робототехнике: учебное пособие / М. Предко. - Москва : НТ Пресс, 2007. - 544 с. - (Электроника для начинающего гения) – URL: <http://ecat.brstu.ru/catalog/Приобретенные%20издания/Предко%20М.123%20эксперимента%20по%20робототехнике.2007.pdf>

7. ПЕРЕЧЕНЬ ОСНОВНОЙ И ДОПОЛНИТЕЛЬНОЙ ЛИТЕРАТУРЫ, НЕОБХОДИМОЙ ДЛЯ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

№	<i>Наименование издания (автор, заглавие, выходные данные)</i>	<i>Вид зая -тия</i>	<i>Количес тво экземпля ров в библиот еке, шт.</i>	<i>Обеспечен -ность, (экз./ чел.)</i>
Основная литература				
1.	Колтыгин Д.С. Технические и программные средства робототехнического комплекса : учебное пособие / Д. С. Колтыгин, И. А. Седельников. - Братск : БрГУ, 2014. - 110 с. - Б. ц.	Лк СР	48	1
2.	Предко М. 123 эксперимента по робототехнике: учебное пособие / М. Предко. - Москва : НТ Пресс, 2007. - 544 с. - (Электроника для начинающего гения) URL: http://ecat.brstu.ru/catalog/Приобретенные%20издания/Предко%20М.123%20эксперимента%20по%20робототехнике.2007.pdf	кр СР	ЭР	1
3.	Гончаревич, И.Ф. Основы робототехники. Механизмы выдвижения и поворота робота-погрузчика с пневмоприводом : методические рекомендации / И.Ф. Гончаревич, К.С. Никулин ; Министерство транспорта Российской Федерации, Московская государственная академия водного транспорта. - М. : Альтаир-МГАВТ, 2014. - 63 с. : ил., табл., схем. - Библиогр. в кн.. ; То же [Электронный ресурс]. - URL: http://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=429847	ПЗ СР	ЭР	1
Дополнительная литература				
4.	Афонин, В.Л. Интеллектуальные робототехнические системы : курс лекций / В.Л. Афонин, В.А. Макушкин. - М. : Интернет-Университет Информационных Технологий, 2005. - 208 с. : ил., табл., схем. - (Основы информационных технологий). - ISBN 5-9556-0024-8 ; То же [Электронный ресурс]. - URL: http://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=232978 (16.11.2017).	Лк СР	ЭР	1
5.	Булгаков А.Г. Промышленные роботы. Кинематика, динамика, контроль и управление : монография / А. Г. Булгаков, В. А. Воробьев. - Москва : Солон-Пресс, 2007. - 488 с. - (Библиотека инженера).	Лк ПЗ СР	10	0,5
6.	Колтыгин Д.С. Введение в робототехнику. Цикловое управление манипуляторами и технологическим оборудованием : учебное пособие / Д. С. Колтыгин, С. Г. Рудученко. - Братск : БрГТУ, 2002. - 233 с. - Б. ц.	Лк ПЗ СР	10	0,5

8. ПЕРЕЧЕНЬ РЕСУРСОВ ИНФОРМАЦИОННО - ТЕЛЕКОММУНИКАЦИОННОЙ СЕТИ «ИНТЕРНЕТ» НЕОБХОДИМЫХ ДЛЯ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

1. Электронный каталог библиотеки БрГУ
http://irbis.brstu.ru/CGI/irbis64r_15/cgiirbis_64.exe?LNG=&C21COM=F&I21DBN=BOOK&P21DBN=BOOK&S21CNR=&Z21ID=.
2. Электронная библиотека БрГУ
<http://ecat.brstu.ru/catalog>.
3. Электронно-библиотечная система «Университетская библиотека online»
<http://biblioclub.ru>.
4. Электронно-библиотечная система «Издательство «Лань»
<http://e.lanbook.com>.

9. МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ДЛЯ ОБУЧАЮЩИХСЯ ПО ОСВОЕНИЮ ДИСЦИПЛИНЫ

Работа на лекциях: ведение конспекта лекционного материала для успешного использования его при подготовке к зачету, закреплению и расширения теоретических знаний. После проработки лекционного материала обучающийся должен четко владеть следующими аспектами по каждой лекции:

- знать тему;
- четко представлять план лекции;
- уметь выделять основное, главное;
- усвоить значение примеров и иллюстраций.

Самостоятельная работа выполняет функцию закрепления, повторения изученного материала. Выполнение самостоятельной работы способствует углублению знаний и более успешному формированию умений и навыков, связанных с изучением конкретных тем.

Характер самостоятельной работы: решение задач, которые выполняются по заданию и при методическом руководстве преподавателя, а также без его непосредственного участия. Правильное выполнение заданий по самостоятельной работе развивает способности самостоятельно работать с информацией, используя учебную и научную литературу. Самостоятельная работа дисциплинирует обучающихся, развивает произвольное внимание и совершенствует навыки целесообразного восприятия.

Практические работы выполняются группами из 2-3 человек.

Отчеты по лабораторным работам должны содержать:

1. Цель работы.
2. Задание.
3. Принципиальная схема работы лабораторной установки.
4. Поэтапное выполнение задания.
5. Заключение.

9.1. Методические указания для обучающихся по выполнению практических работ.

Практическое занятие №1.

Тема: Технические показатели роботов.

Цель работы: Изучение технических показателей роботов.

Определение основных конструктивно - технологических показателей ПР:

Грузоподъемность - определяют по типоразмерному ряду ПР, Она должна превышать массу объекта манипулирования не менее чем на 10%.

1. Размеры рабочей зоны ПР определяются:

- размерами, формой и расположением рабочих зон обслуживаемого оборудования;
- числом позиций и их взаимным расположением;

- способом подачи объекта и удаления из рабочей зоны робота.

2. Число степеней подвижности ПР в большой степени определяется его назначением, размерами раб.зоны и структурой кинематической схемы : $\eta = \eta_0 + \eta_T + \eta_K$,

где η_0 , η_T , η_K , число независимых степеней подвижности конструкции, необходимое для реализации соответственно ориентирующих, транспортирующих и координатных перемещений, необходимых для выполнения основных технологических операций.

В зависимости от требований к точности число степеней подвижности для осуществления независимых ориентирующих движений

$$\eta_0 = 2 \div 4$$

для транспортных перемещений $\eta_T \geq 3$

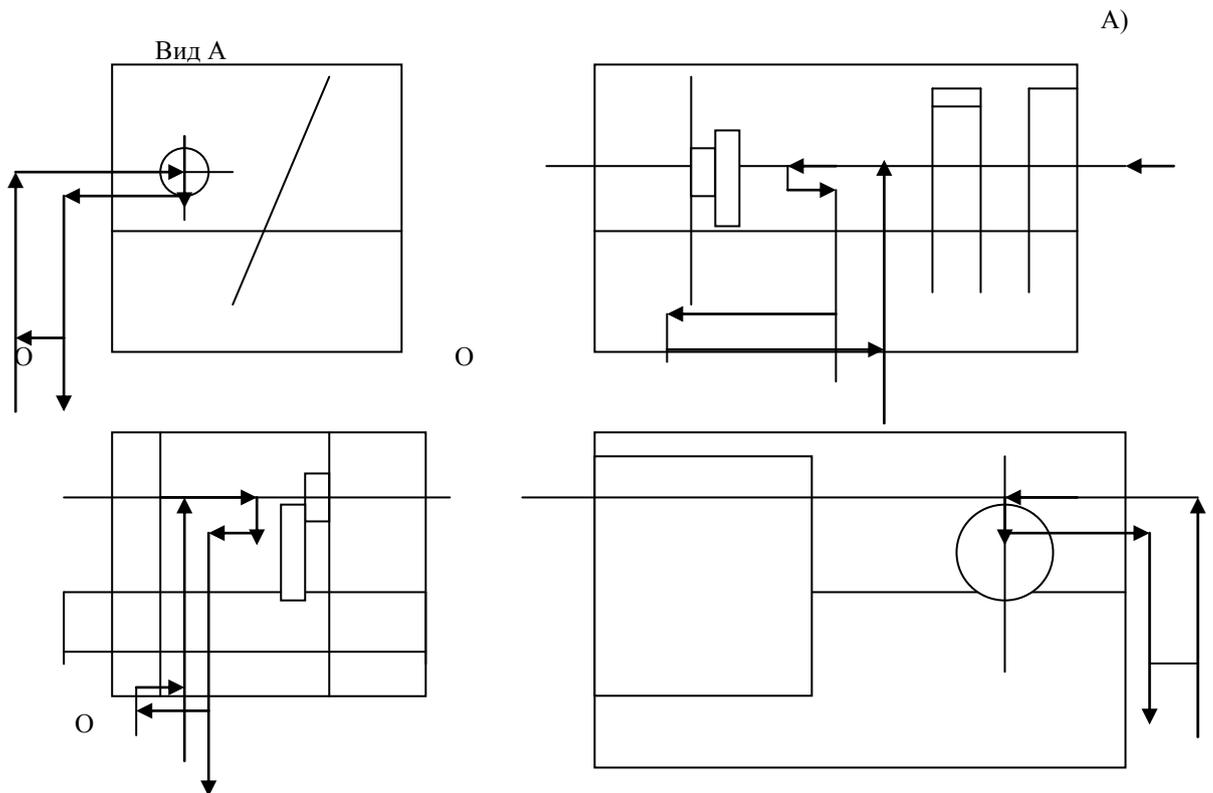
а для координатных $\eta_K \leq 2$

для Пром. роботов $\eta \approx 5 \div 8$

На рис.11 приведены схемы перемещений детали при загрузке и выгрузке деталей со станков различного типа

- при загрузке-выгрузке $\eta = \eta_T = 2$
- при установке детали с вынужденными независимыми движениями $\eta = \eta_T + \eta_0 = 2 + 1$
- при перебазирувании детали $\eta = \eta_0 = 1 \div 2$
- но могут быть случаи, когда $\eta_T = 2 \div 6$
- обычно $\eta_0 \leq 3$

Взаимосвязь координат основных движений ПР и его структурно-кинематической схемы с формой рабочей зоны основного технологического оборудования сведены в таблицу Z.



В)

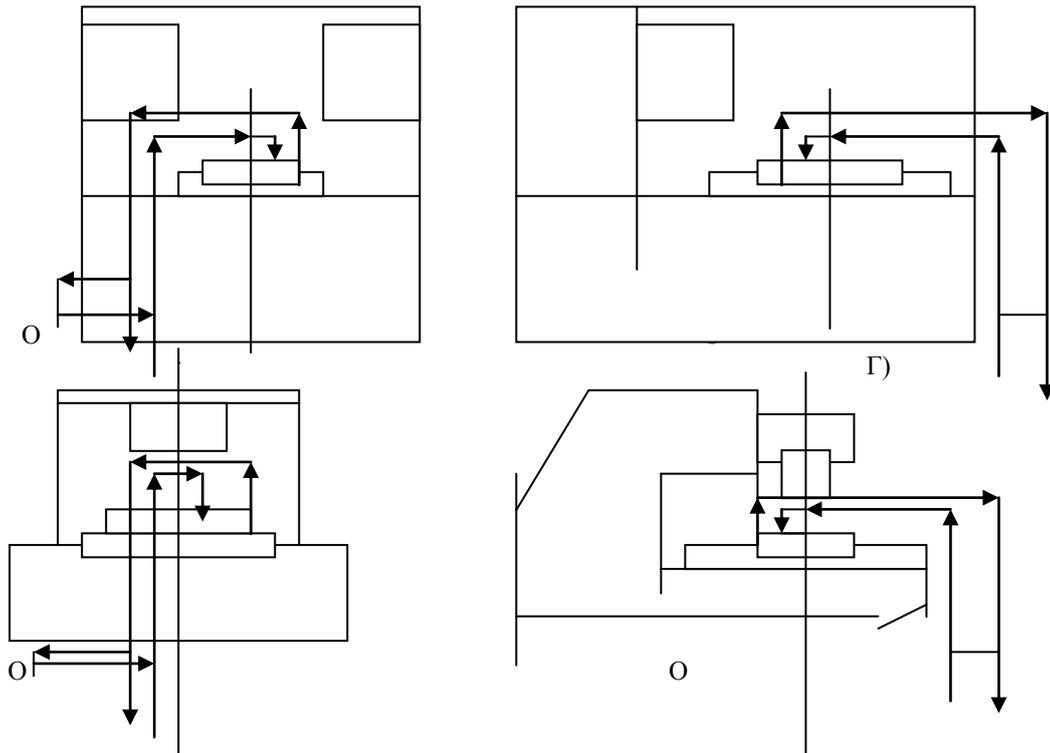


Рис. 11 Схемы загрузки станков:

А – центровых, патронных и патронно-центровых;

Б – лоботокарных;

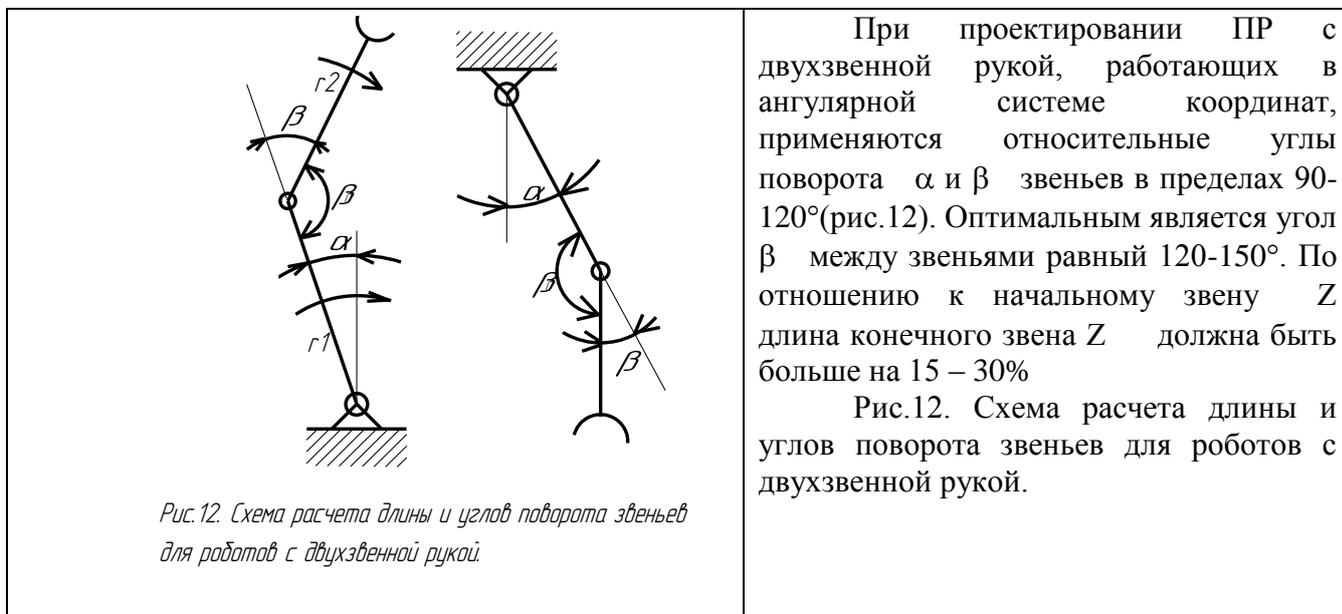
Г - токарных вертикальных;

Д – вертикальных(сверлильных, фрезерных).

3. Система координат основных движений и структурно-кинематическая схема ПР выбирается исходя из минимизации числа степеней подвижности. Выбор определяется размерами и формой рабочей зоны и числом роботизированных позиций.

4. Траекторий перемещений объекта устанавливается из наименьшего пути и минимизации числа степеней подвижности и зависит от формы, размеров и расположения рабочих зон обслуживаемого оборудования, числа роботизированных позиций и планировки комплекса, а также от способа подачи и удаления объекта из рабочей зоны ПР.

По принятой траектории наименьших перемещений уточняют структурно-кинематическую схему, выбирают его компоновку и устанавливают величины рабочих ходов, относительные перемещения и соотношения длин отдельных звеньев



- скорости перемещения конечного звена ПР устанавливают в соответствии с требуемой производительностью и зависит от траектории перемещения объекта, планировки комплекса, ограничений по времени возможных простоев оборудования, от количества рук и захватных устройств;

5. Погрешность позиционирования определяется исходя из требований к точности выполнения основной технологической операции или максимально возможным отклонением детали от базирующих поверхностей приспособления, фиксирующего деталь в рабочей зоне обрабатывающей машины линейная $\pm \Delta$ мм, угловая $\pm \alpha^\circ$

При загрузке центровых и патронных станков деталями типа тел вращения отклонение оси симметрии детали от оси шпинделя станка не должно превышать значения d_0 , при котором еще гарантируется правильный зажим и надежное позиционирование детали в патроне станка. В противном случае центры станка не попадают в центральные отверстия вала, что приводит к смещению деталей.

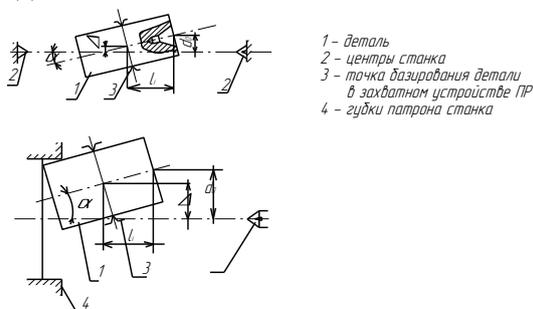


Рис.13. Схема для расчета погрешностей позиционирования конечного звена при работе при загрузке вала в центровой (а) и фланцевый патрон станка.

Связь между составляющими погрешности позиционирования и допустимой величиной смещения оси детали относительно оси шпинделя для центровых и патронных станков выразится:

$$\Delta \leq d_0 - l_1 \operatorname{tg} \alpha;$$

$$\alpha \leq \operatorname{arctg}$$

6. Податливость конечного звена манипулятора, компенсирующая смещение детали при зажиме в базирующем приспособлении, вызванное погрешностью позиционирования δ

где $K = 2-4$ – коэф. запаса учитывающий динамические нагрузки;

P – грузоподъемность ПР;

D_0 - отклонение оси симметрии детали от оси шпинделя станка

7. Режим работы зависит от степени загруженности робота, коэффициента его использования и частоты включения механизмов

- степень загруженности определяется коэффициентом относительной загрузки

$$K_{cp} = \frac{P_{cp}}{P}$$

где: P_{cp} - среднее значение рабочей нагрузки

P - грузоподъемность

- коэффициент использования

$$K_u = \frac{T_{раб}}{\Phi_o}$$

где $T_{раб}$ - время работы робота за год;

Φ_o - расчетный фонд времени использования робота за год

Π_{ϕ} - частота включения отражает среднее число переходов в цикле, связанных с включением приводов за одну минуту.

Расчет кинематических цепей

Кинематический анализ выбранного привода выполняют методами, используемыми при анализе дифференциальных механизмов. При этом определяют:

- передаточные отношения исполнительного механизма привода
- влияние кинематических зависимостей между отдельными звеньями и их положениями
- характер взаимных связей между отдельными приводами манипулятора при их одновременной работе
- скорость на конечном звене руки робота
- длину пути и углы поворотов звеньев и т.п

Определение кинематических характеристик основана на результатах решения обратных задач о положениях. Обратная задача о положении механизмов ПР состоит в определении значений обобщенных координат их исполнительных механизмов по заданным положениям перемещаемых объектов. С решения этой задачи обычно начинается расчет исполнительного механизма ПР.

Необходимыми предпосылками применения данного метода определения кинематических характеристик является наличие данных о размещении технологического оборудования, о законах и значениях перемещений заготовок и деталей в техпроцессе.

При кинематических расчетах определяют следующие кинематические характеристики:

1. Определение относительных положений звеньев (степеней подвижностей) по заданному положению объекта. Определение относительных положений звеньев и связанных с ними осями координат осуществляется с помощью матриц четвертого порядка

для каждого звена. При решении задач используются комбинированный матрично-векторный метод.

2. Определение абсолютных положений звеньев манипулятора. Знание абсолютных положений звеньев манипулятора в каждый момент времени т.е. положений его звеньев относительно неподвижной системы координат необходимо для исключений их столкновений при выполнении заданных операций, а так же устранить возможность задеть объекты расположенные в рабочей зоне. При известных обобщенных координатах механизма эта задача сводится к перемножению матриц четвертого порядка, определяющих относительное положение звеньев.

3. Линейные и угловые скорости звеньев манипулятора. Определим абсолютные угловые скорости при заданных обобщенных скоростях. Эти величины можно найти путем решения линейной системы уравнений связей, полученной дифференцированием уравнений связей.

4. Линейные скорости центров масс звеньев манипулятора. Линейная скорость движения ЗУ является одним из основных проектных параметров ПР. Через этот параметр так же определяют кинематическую энергию звеньев манипулятора.

5. Все эти показатели из-за их громоздкости расчетов теперь считают на ЭВМ.

Расчет кинематических цепей, назначения, требования к кинематическим цепям, сущность кинематического расчета, его последовательность.

Исследование кинематики является важным этапом проектирования манипуляторов. На этом этапе производится:

- Стыковка геометрических характеристик проектируемых модулей (степеней подвижности) и манипулятора в целом с рабочим пространством и рабочей зоной робота.

- Определяются возможности манипулятора с точки зрения кинематики выполнения технологических операций.

- Учитываются различные неблагоприятные факторы (упругая податливость и др.)

На этом этапе происходит устранение взаимного влияния кинематических цепей ПР и т.п.

Результаты таких исследований обычно используют корректировки конструкторских решений и для проектирования системы управления.

Кинематические цепи ПР должны:

- обеспечивать технологически необходимую возможность подхода конечного звена к заданной точке рабочего пространства и выполнение ориентирующих перемещений.

- Устранять взаимное влияние кинематических цепей.

- Исключать возможность возникновения самопроизвольных движений под действием внешних нагрузок.

- Обеспечивать уравнивание звеньев для снижения требуемой мощности двигателя.

Для постановки и решения задач составляется кинематическая модель манипулятора, в основу которой положены геометрические размеры звеньев, а также типы, количество и распределение кинематических пар.

Манипулятор представляет собой открытую кинематическую цепь, элементы которой соединены друг с другом посредством кинематических пар. Как правило, это одноподвижные кинематические пары пятого класса – вращательные или поступательные.

Если кинематическая цепь не содержит внутренних замкнутых контуров, то число кинематических пар n определяет число степеней подвижности манипулятора.

Звенья кинематической цепи соединены кинематическими парами так, одно крепят к подвижному или не подвижному основанию, а другое несет на себе рабочий орган (схват или инструмент).

Положение кинематической цепи в пространстве определяется с помощью обобщенных координат g ($i=1,2,3\dots n$) характеризующих относительные перемещения в кинематических парах.

Для определения относительных положений рабочего органа в пространстве введем координаты z_j ($j=1,2,\dots m$), где $m \leq 6$. В общем случае $m=6$ т.е. необходимо ввести шесть скалярных величин, например три координаты некоторой точки схвата, принятой за полюс, и три угла характеризующих ориентацию системы координат, жестко связанной со схватом, относительно опорной системы координат.

Решение определения относительных положений осуществляется с помощью прямой задачи о положениях манипуляторов. При решении рассчитывают положение рабочего органа и звеньев манипулятора по заданным относительным перемещениям g_i ($i=1,2,\dots n$) в кинематических парах, где геометрические характеристики рабочего пространства и рабочей зоны манипулятора, точностные характеристики погрешности Δz_i , координаты схвата z_j , отработка относительных перемещений в кинематических парах, сервисные характеристики.

Решая обратную задачу о положении манипулятора определяют обобщенные координаты (g_i) манипулятора.

С помощью решения обратной и прямой задачи решаются и другие кинематические характеристики.

Устранение взаимного влияния кинематических цепей ПР, двигатели которого расположены в общем моторном блоке, заключается в обеспечении взаимного соответствия между поворотом i -го звена в n -ом шарнире на угол φ_i и поворотом вала соответствующего двигателя на угол φ_i .

Связь кинематических цепей описывается матрицей в прямой и обратной задачах частных передаточных отношений.

Необходимым и достаточным условием развязки кинематических цепей является диагональность матрицы. Это достигается включением в кинематическую цепь специальных компенсирующих дифференциальных механизмов.

Расчет характеристик двигателей приводов робота

- Методика и последовательность расчета
- Выбор и обоснование типов двигателей
- расчет элементов приводов и мощности двигателей исполнительных органов

После выбора типа привода ПР и, следовательно, вида исполнительных двигателей важной задачей является нахождение мощности двигателя и последующий выбор его конкретной модели.

Электропривод выбирают, исходя из следующих факторов:

- требуемых динамических свойств при пуске, торможении и изменении нагрузки
- диапазона регулирования скоростей
- вида требуемой механической характеристики режима работы во времени и требуемой точности поддержания заданного режима
- частоты включений приводного механизма

(Методика проектирования электропривода манипулятора изложена в книге Андреев С.И., Ворошилов, Петров. Проектирование приводов манипуляторов. Лен. Маш. 1975 г.)

Для выбора двигателя постоянного тока необходимы следующие исходные данные:

φ_m – угол поворота оси механизма (рад), соответствующей максимальному перемещению исполнительного органа

t_p и t_0 – длительность работы и паузы (сек)

$t_{ц} = t_p + t_0$ – время цикла работы

I_m – момент инерции исполнительного механизма, кгм²

M_c – статический момент от нагрузки на выходном валу, Нм

Расчет выполняют исходя из минимального значения требуемого момента двигателя.

Диаграмма изменения скорости характеризуется величиной ξ ; при $\xi=0$ диаграмма имеет треугольный вид, при $\xi \neq 0$ трапецеидальный.

Коэффициент, характеризующий параметры исполнительного механизма и режим работы ' μ '

Закон изменения скорости по координате – трапецеидальный

$$\mu = \frac{4\gamma_m I_m}{t_p^2 M_c} = \frac{M_{\max_0}}{M_c}$$

По параметрам таблицы (4 стр. 381 Козырев) строят кривые и находят коэффициенты, характеризующие оптимальный режим.

$$\kappa_m = f(\mu) \qquad \xi = f(\mu) \qquad \frac{M_d}{M_c} = f(\mu)$$

На основании полученных данных определяют скорость (рад/сек) установившегося движения входной оси механизма:

$$\omega_m = \frac{2\varphi_m}{t_p(1+\xi)}$$

эквивалентная мощность (Вт) механизма

$$P_m = \omega_m M_0 \frac{M_d}{M_c} \sqrt{\frac{t_p}{t_{ц}}}$$

По расчетному значению P_m подбирают двигатель с паспортными данными

P_n (кВт); ω_d (рад/сек); I_d (кгм²)

Из условия согласования скоростей двигателя и исполнительного механизма выбирают передаточное отношение редуктора.

$$i = \omega_d / \omega_m$$

Затем проводится уточнительный расчет эквивалентного момента M_d , эквивалентной мощности двигателя (P_d); максимального момента двигателя $M_{d\max}$ и определяют коэффициент нагрузки двигателя:

$$k_n = \frac{M_{d\max}}{M_d}$$

Полученные параметры сравнивают с параметрами выбранного электродвигателя и, если они удовлетворяют заданным условиям, используют для дальнейшего расчета.

Гидропривод и конструктивные параметры гидросистемы определяют по параметрам каждой степени подвижности:

- максимальной скорости

линейной v_{\max} (мм/сек)

угловой ω_{\max} (рад/сек)

и максимальной нагрузке силой F_{\max} или моментом M_{\max}

По этим значениям определяют рабочее давление гидросистемы:

Для гидроцилиндров $P = \frac{F_{\max}}{S}$	Для гидромоторов $P = \frac{2\pi M_{\max}}{q}$	Для неполноповоротных двигателей $P = \frac{8M_{\max}}{zb(D^2 - d^2)}$
--	---	---

Где – S – площадь поршня (см²)

q – удельная производительность гидромотора (см³/оборот)

z – число пластин

b – ширина пластины (см)

d - D – соответственно диаметр вала, несущего пластину, и внутренний диаметр цилиндра

Расход рабочей жидкости см³/сек:

Для гидроцилиндров $Q = \sigma_{\max} \cdot S$	Для гидромоторов $Q = q \frac{\omega_{\max}}{2\pi}$	Для неполноповоротных двигателей $Q = \frac{\omega_{\max} b(D^2 - d^2)}{8}$
---	--	--

Для ПР с совмещенными по степеням подвижности движениями расход жидкости определяют по сумме расходов совмещенных движений.

Насосную станцию выбирают по требуемой мощности (кВт)

$$N = 10^{-3} P Q$$

Где P – рабочее давление гидросистемы, Мпа

При проектировании гидроцилиндров следует учитывать, что отношение длины к диаметру должно быть не более 18-20, поскольку увеличение этого отношения способствует возникновению вибраций и автоколебаний.

Более подробно можно посмотреть Беляшин Проектирование и разработка роботов стр.70.

Пневмопривод проектируют согласно рекомендациям Герц Е.В. Расчеты пневмопривода. Справочное пособие. М. М. 1975г. (и Бурдаков стр.80)

В предварительном расчете пользуются зависимостью:

$$mF = \frac{\pi D^2}{4} \cdot p$$

где F – усилие на штоке цилиндра: (чем определяется и как)

D – диаметр цилиндра: (определяется – ?)

p – давление в сети: (дается 4-5)

$m=1,5$ для поршней с манжетным уплотнением

$m=1,1-1,3$ для поршней с металлическими кольцами

По каталогам подбирают ближайший типоразмер пневмоцилиндра и по его конструктивным данным производят проектный расчет согласно методике.

Для обеспечения мягкой безударной остановки при подходе к упорам достигается путем применения гидроамортизаторов. Типоразмер выбирается в соответствии с энергией поглощаемой им за цикл.

Мембранные пневмомеханизмы применяют для получения небольших ходов до 60 мм при малых габаритах конструкции.

Поворотные пневмодвигатели для осуществления неполноповоротных движений механизмов ПР выбирают по номинальному крутящему моменту на выходном валу, требуемому углу поворота и угловой скорости вращения.

В комбинированном гидropневмоприводе в качестве исполнительного двигателя используется пневмоцилиндр, стабилизация скорости и гидравлическая фиксация положения которого осуществляются гидросистемой. Имеет ограниченное применение.

В комбинированном гидropневмоприводе в качестве исполнительного – применяют гидродвигатели. Применение пневмосистемы для создания необходимого давления позволяет отказаться от гидронасосных станций.

Нахождение мощности двигателей.

1. Ориентировочный расчет по данным технического задания:

- Мощность привода вращательных степеней подвижности (Вт)

$$N_B = \frac{\omega \cdot r \cdot m}{\eta} \cdot \left(\frac{k_2}{2k_1} \cdot \frac{2\omega^2}{\varphi} + k_3 g \sin \alpha \right)$$

- Для механизма вращения руки относительно вертикальной оси угол $\alpha=0$.

При значениях $K_1=0,1$ $K_2=2$ получим мощность привода Вт.

$$N_{BZ} = \frac{10mz^2\omega^3}{\eta\varphi}$$

- Для координаты с прямолинейным поступательным движением мощность привода (кВт)

$$N_n = \left(\frac{v}{\eta} \right) (P_n + P_n)$$

- Для прямолинейных движений мощность привода

$$N_n = \frac{K_4 \cdot v \cdot m}{\eta} \left(\frac{1}{2K_1} \cdot \frac{v^2}{S} + g \sin \alpha \right)$$

- Для привода с горизонтальным перемещением
и при $K_1=0,1$ и $K_4=2$

$\alpha=0$

$$N_{nx} = \frac{10mv^2}{\eta S}$$

- Для привода с вертикальным перемещением

$\alpha=1,57$ рад и

$$N_{nz} = \frac{10K_4vm}{\eta} \cdot \left(\frac{v^2}{2S} + 1 \right)$$

Точно определить мощность привода на стадии проектирования не представляется возможным ввиду отсутствия истинных значений массы звеньев и координат их центра масс. Поэтому на стадии проектирования необходимо сделать ряд допущений и приближений, которые тем не менее позволяют вполне удовлетворительно оценить значение мощности привода.

Где m – грузоподъемность манипулятора или масса переносимого груза (кг)

r – максимальный радиус действия (м)

$\varphi_{(1,2)}$ и S – максимальные перемещения груза на угол (рад) и линейные (м)

ω, v - номинальные скорости перемещения угловые и линейные (рад/с) (м/с)

η - КПД передач связывающих двигатель с исполнительным звеном

α - угол наклона плоскости вращения к горизонтальной плоскости.

g – ускорение свободного падения

$K_1 \approx 0,1$

K_2 – коэффициент конструкции $K_2 = 1,8 \div 2,3$

K_3 – коэффициент конструкции, учитывающий момент неуравновешенности подвижных частей относительно оси вращения

$$K_3 = M_n / (mgz)$$

M_n – момент неуравновешенности

$$M_n = I_n \cdot \varepsilon$$

где I_n – момент инерции вращения частей манипулятора кг·м²

ε - угловое ускорение рад/сек²

P_n – инерционная сила действующая на привод в период разгона и замедления (Н)

P_n – сила действующая на привод от неуравновешенных масс (в том числе переносимого груза) (Н)

$$P_n = K_4 \cdot m \cdot a$$

Где K_4 – коэффициент конструкции, учитывающий массу подвижных частей манипулятора

$$K_4 = \frac{m_n}{m} \quad \text{где } m_n \text{ – общая масса перемещающихся частей}$$

a – ускорение

$$P_n = m_n g \sin \alpha = K_4 m g \sin \alpha$$

2. Выбор по каталогам подходящих по мощности двигателей на каждую степень подвижности с различными ω_d и M_d

3. Расчет оптимальных по быстродействию передаточных чисел для каждого двигателя

$$i = \frac{M_n}{M_d \eta}$$

Для каждой степени подвижности вращательной или поступательной существуют уточненные формулы подсчета передаточного числа.

4. Выбор двигателя, обеспечивающего наименьшее время отработки типового цикла перемещений и наиболее компактную конструкцию.

т.е. определяют оптимальную угловую или линейную скорость исполнительного звена, что позволяет выбрать нужные параметры передаточного механизма: диаметр зубчатого колеса и реечной передачи, ход винта в винтовой передаче и т.п.

Эти расчеты так же можно использовать при разработке циклограммы работы робота.

Точностные и прочностные показатели роботов и их расчёт.

Характерными особенностями ПР являются: большее число циклов нагружения, достаточно высокие скорости и ускорения, наличие сосредоточенных и рассредоточенных нагрузок на консолях, значительные изменения нагрузок за время одного цикла на различные элементы робота.

Если требования к точности и жёсткости конструкций роботов ниже, чем у станков, при наличии больших инерционных сил, возникающих при манипулировании, при разработке их конструкции следует стремиться к максимальному облегчению всех элементов и узлов робота и применения беззачорных соединений и передаточных механизмов.

При расчёте механической системы ПР основными являются следующие параметры критерии:

- прочность по допускаемым напряжениям и предельным нагрузкам для всех элементов робота;
- усталостная прочность и выносливость при заданной долговечности для деталей, испытывающих нагрузки, в основном знакопеременные;
- жёсткость элементов ПР;
- вибростойкость основных несущих элементов, особенно конечного звена по величине колебаний, времени их запуска и уровню резонанса;
- устойчивость от опрокидывания под действием аварийных и рабочих нагрузок.

Показатели этих критериев разделяются на статические и динамические.

К статическим показателям относятся: геометрическая и кинематическая точность, статическая прочность и жёсткость.

К динамическим показателям относятся: усталостная прочность и виброустойчивость.

Геометрическая и кинематическая точность элементов роботов в основном воздействуют на точность позиционирования и исполнения команд по линейным и угловым перемещениям элементов роботов. Для роботов высокой точности эти показатели не требуются, поэтому для них следует устанавливать средние требования по геометрической и кинематической точности. При этом необходимо обеспечить требования по точности к этим показателям с качеством сборки и точности датчиков системы информации.

Расчёт кинематической точности цепи от привода к захватному устройству проводится по теории размерных цепей или специальной методики на ЭВМ.

Расчёт кинематической точности ПР проводится по общеизвестным методикам курсов "Детали машин" и "Металлорежущих станков и автоматов".

Под прочностными показателями элементов ПР понимается их статическая и усталостная прочность.

Статическая прочность роботов в основном относится к их элементам, т.е. руке, её звеньям, стойке, а так же к многим элементам приводов - валам, зубчатым колёсам, муфтам, подшипникам и др.

Основным требованиям к деталям и элементам роботов по статической прочности являются: высокая прочность при минимальном, металлоёмкость и числа поломок при эксплуатации.

Расчёты этих элементов проводятся на изгиб, срез или скручивание в зависимости от вида нагрузок на каждый из рассчитываемых элементов. Эти расчёты проводятся по методикам курсов "Сопротивление материалов" и "Детали машин".

Детали и элементы роботов, работавших со знакопеременной нагрузкой рассчитываются на усталостную прочность.

Известно, что усталостная прочность деталей характеризуется прочностью их поверхностного слоя к знакопеременным нагрузкам, т.е. числу циклов нагружения по времени.

Поверхностный слой детали имеет предел выносливости к знакопеременным нагрузкам, при достижении которого на поверхностях деталей появляются микротрещины, трещины, затем шелушение и отслоение поверхностного слоя деталей, т.е. выработан ресурс их работы и они подлежат замене.

При закаливании или нанесении специальных покрытий предел усталости поверхностного слоя детали значительно повышается. Эти способы являются одними из основных для повышения ресурса работы деталей роботов.

Расчёт деталей на усталостную прочность проводится по уравнениям и методикам курсов "Сопротивление материалов" и "Детали машин".

Срок службы деталей и элементов роботов определяется расчетным числом циклов нагружения, при этом он должен быть не меньше ресурса работа робота.

Расчет конструкции роботов на жесткость.

Основную нагрузку при работе робота несёт манипулятор. Его конструкция представляет собой незамкнутые стержневые системы с высокой кинематической подвижностью исполнительных звеньев.

Для таких систем жёсткость и динамическая долговечность конструкции являются основными критериями расчёта.

Под жёсткостью манипуляторов роботов понимается их способность сопротивляться появлению упругих отжатий или деформаций, Жёсткость системы выражается уравнением:

$$j = \frac{P}{\delta}$$

Где P - нагрузка, Н,

δ - величина отжатия или деформации, мкм

Жёсткость механической системы подразделяется на 2 вида: контактную и собственную.

Собственная жёсткость конструкции - это жёсткость её звеньев - сойки, руки, звена, кисти и др.

Контактная жёсткость конструкции - это деформации её в стыках и опорах подвижных звеньев.

При проектировании требуется достичь оптимальной величины жёсткости и правильно её распределить по звеньям с учётом уровня их влияния на величину общего смещения захвата. Этим достигается наименьшая металлоёмкость и достаточная динамическая устойчивость робота.

Манипуляторы роботов обычно работают по Г и П- образным схемам.

Г-образные манипуляторы могут быть следующих видов: с неподвижной (рис. 1.6) и подвижной (рис. 16.а) стойкой, с постоянным (рис. 16.б) и переменным (рис. 16.в) расстоянием между опорами.

Расчёт на жёсткость Г - образного манипулятора проводится по определённой расчётной схеме (рис. 17).

Такая расчётная схема учитывает как полезную нагрузку P по осям - P_1, P_2, P_3 , а так же распределённую нагрузку - g от собственной тяжести манипулятора.

Уравнение деформаций системы по этой схеме получается путём дифференцирования уравнения потенциальной энергии этой системы. При этом смещение по осям x и z захвата будут выражаться уравнениями:

$$\delta_x = \frac{a^2}{24EI_1} (8P_1 + 3ga) + \frac{ah}{2EI_h} [2P_1a + g(a^2 - b^2)]$$

$$\delta_z = \frac{h^2}{4EI_h} [2P_1a + g(a^2 - b^2)]$$

где I_1 и I_h - осевые моменты инерции горизонтального плеча и вертикальной стойки,

E - модуль упругости, a, b, h - размеры.

Из этих уравнений следует, что прогиб в вертикальном направлении, по оси z вызывается деформациями горизонтального плеча руки и вертикальной стойки, а по горизонтали, оси x , только деформацией вертикальной стойки.

Влияние некоторых конструктивных параметров манипулятора на величину деформаций будет следующим.

При максимальном вылете плеча руки, т.е. $a = l, l = h$ и $I_1 = I_h$ уравнения примут вид:

$$\delta_{z \max} = \frac{15l^3}{24EI} (2,13P_1 + gl)$$

$$\frac{\delta_{z \max}}{\delta_{x \max}} = 2,5 \frac{2,13P_1 + gl}{2P_1 + gl} > 2,5$$

$$\delta_{x \max} = \frac{l^3}{4EI} (2P_1 + gl)$$

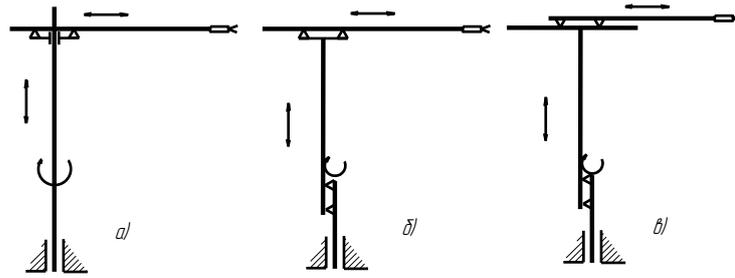


Рис.16. Схемы конструкций манипуляторов

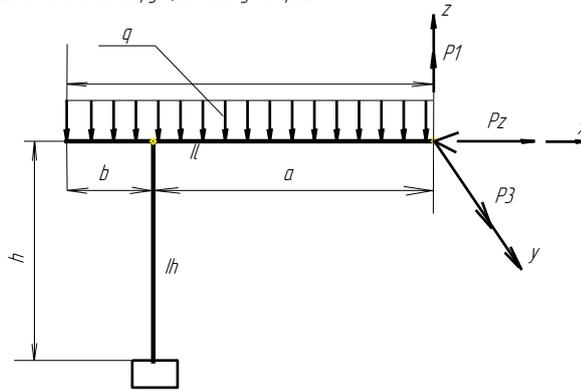


Рис.17. Расчетная схема деформации ПР

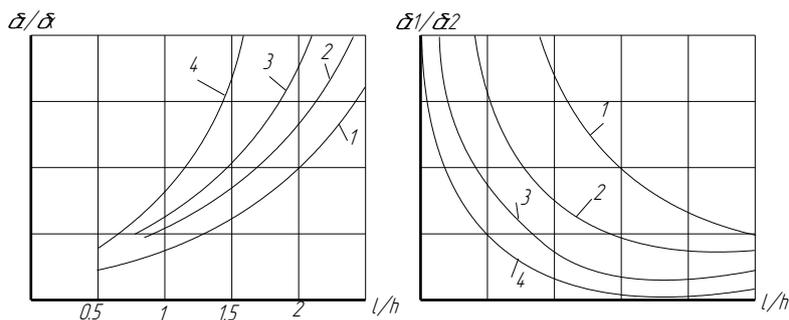


Рис.18. Относительные деформации стоек манипулятора

Деформация в вертикальном направлении примерно в 2,5 раза больше, чем в горизонтальной. Она складывается из вертикальных и горизонтальных деформаций, поэтому уравнение можно представить в виде:

$$\delta_z = \frac{l^3}{24EI} (\delta_{z_2} + \delta_{z_6}) \quad \delta_{z_2} : \delta_{z_6} \approx 3$$

Из этого анализа видно, что жёсткость вертикальной стойки должна быть значительно выше горизонтальной. Но уравнениям и определяются оптимальные размеры и сечения стойки и плеча манипулятора.

Где 1 - $I_h : I_1 = 0,5$; 2 - $I_h : I_1 = 1$; 3 - $I_h : I_1 = 1$; 3 - $I_h : I_1 = 1$; 4 - $I_h : I_1 = 4$

Соотношение деформаций системы $\delta_z : \delta_x ; \delta_{z_2} : \delta_{z_6}$ даны на диаграммах (рис. 18. а и б).

Эти диаграммы - графики позволяют подбирать оптимальные соотношения жесткостей вертикальной стойки и горизонтального плеча, а, следовательно, соотношения линейных размеров стоек, плеч и вылетов, а также их сечений по виду и размерам.

Расчет контактной жесткости роботов.

В манипуляторах роботов имеется значительное количество опор, шарнирных и других соединений звеньев.

Контактные деформации опор и других соединений звеньев дают дополнительные смещения кисти руки при работе манипуляторов.

Влияние контактных деформаций на смещения кисти руки рассматриваются по следующей расчётной схеме (рис.19). По этой схеме деформация кисти в вертикальном направлении $\Delta z = \Delta z_1 + \Delta z_2$, вызваны наличием зазоров в опорах его вертикали Δz_2 и горизонтали - Δz_1 .

Смещение кисти руки его горизонтали зависит только от зазоров и контактных деформаций вертикальной стойки, т.е. $\Delta x_1 = \Delta x_2$. Величина контактных деформаций кисти выразится уравнениями:

$$\Delta z = \Delta z_1 + \Delta z_2 = \left[(\Delta_1 + \Delta_2) \frac{d}{l_1} + \Delta_1 \right] + (\Delta_3 + \Delta_4) \frac{l}{l_2}$$

$$\Delta x = \Delta x_2 = (\Delta_3 + \Delta_4) \frac{h}{l_3} + \Delta_3$$

где Δ_{1-4} - величины зазора и контактных деформаций в опорах системы;

a, l, h- линейные размеры положения опор;

l_1 и l_2 - расстояния между опорами.

Из анализа схемы и уравнений видно, что суммарное смещение кисти руки зависит от числа опор и соединений, их геометрического расположения, величины зазора и контактных деформаций в каждом из них.

Для уменьшения суммарного смещения необходимо уменьшение числа опор и соединений, соотношений a: l_1 , l: l_2 , H: l_2 и применение беззазорных соединений и опор.

При этом необходимо учитывать, что размеры a, l и H определяют величину хода руки, а расстояния между опорами при увеличении ведут к увеличению размеров манипулятора. В связи с этим, изменения их возможны только в определенных диапазонах, ограниченных характеристикой роботов.

На величину суммарного смещения кисти руки оказывают влияние расположение опор руки относительно оси z (рис. 19).

Для применяемых в манипуляторах схем опор рук (рис. 20) величины изгибающих моментов будут следующими:

$$\text{а) } M_0 = R_A l_1 \qquad \text{б) } M_0 = (R_A + R_B) \frac{l_1}{l_2} \qquad \text{в) } M_0 = R_B l_1$$

Наиболее оптимальна схема рис. 4.5. а, т.к. имеет более нагруженную опору В, совмещённую со стойкой $R_B > R_A$ и меньшую деформацию.

Для компенсации влияния статических моментов от массы звеньев на жёсткость конструкции роботов, а так же снижения мощности двигателей робота в его конструкции необходимо предусматривать противовесы. Особенно это важно, когда двигатели звеньев расположены на их поверхности.

В качестве таких механизмов применяются следующие виды таких уравновешивателей: противовесы грузовые, пружинные, пневматические и гидравлические. Конструкции их типовые и подбираются в зависимости от конструкции и массы робота.

Момент инерции противовеса рассчитывается по уравнению:

$$I_n = I_0 + \frac{Q}{g} R^2$$

Где I_0 - момент инерции движущихся частей;

G - масса противовеса;

g - ускорение свободно падающего тела;

R - расстояние от оси до центра тяжести противовеса.

Для пружинных противовесов уравнивающий момент упругой силы - M_y определяется текущим моментом положения звена, его жёсткостью и схемой установки пружины.

Грузовые противовесы более просты по конструкции, но имеют большую инерционность.

Динамические характеристики робота и их расчет.

Производительность роботов в основном зависит от скорости и времени перемещений роботов и их элементов.

В свою очередь предельные возможности скоростей перемещений роботов и их элементов ограничиваются их динамическими характеристиками. В связи с этим, к динамическим характеристикам роботов и их элементов устанавливаются повышенные требования.

Динамическими характеристиками роботов являются их виброустойчивость и устойчивость их конструкций в переходные периоды.

Для проведения динамического анализа роботов принимаются следующие исходные положения:

- манипулятор - это стержневая система, нагруженная массой объекта;
- звено - это цилиндрический стержень с определённой длиной, массой и моментом;
- стержни манипулятора принимаются невесомыми с конечным числом сосредоточенных масс.

В первой расчётной схеме (рис.21.а) массой стержня пренебрегают, во второй (рис.21.б) - она учтена. Для первой схемы частота собственных колебаний манипулятора является более важной характеристикой колеблющейся системы.

Она зависит только, от параметров системы - жёсткости, массы и демпфирования. Исходное уравнение по принципу Даламбера:

$$x_i = - \sum_{j=1}^n \delta_{ij} m_j \ddot{x}_j$$

где δ_{ij} - коэффициенты, учитывающие перемещение масс в направлении / от действия единичной силы в направлении j;

m_i - масса;

..

\ddot{x}_j - ускорение массы в направлении;

i - число степеней свободы.

Для второй модели (рис.21.б), пренебрегая продольными колебаниями стержней и моментами инерции вокруг вертикальной оси, уравнения колебательного движения будут:

$$\begin{cases} x_1 + \delta_{11}(m_1 + m_2 + \frac{m_3}{2})\ddot{x}_1 + \delta_{12}(m_1 + \frac{m_2}{2})\ddot{x}_2 = 0 \\ x_2 + \delta_{21}(m_1 + m_2 + \frac{m_3}{2})\ddot{x}_1 + \delta_{22}(m_1 + \frac{m_2}{2})\ddot{x}_2 = 0 \text{ горизонтальная ось} \\ x_3 + \delta_{33}(m_1 + \frac{m_2}{2})\ddot{x}_3 = 0 \end{cases}$$

вертикальная ось

При решении этих уравнений учитывается, что комбинация по каждой координате происходит по гармоническому закону:

$$x_i = u_i \cdot \text{Cos}(v_t + \varphi)$$

где u_i - амплитудные отклонения;

v - круговая частота собственных колебаний;

φ - фаза колебаний.

Определив X_i из 3-х уравнений, подставляем в последнее получим уравнение частот колебаний и их амплитуды.

Движение масс системы с n степенями свободы можно представить уравнением:

$$x_i(t) = \sum_{i=1}^n g_k(t) \cdot u_{ik}$$

где $g_k(t)$ - главные координаты;

u_{ik} - амплитудные отклонения массы при i -той форме собственных колебаний.

Для системы с демпфированием, главные координаты определяются из уравнения:

$$\ddot{Q}_k + 2K_k g_k + v_k g_k = 0$$

где K_k - коэффициент демпфирования.

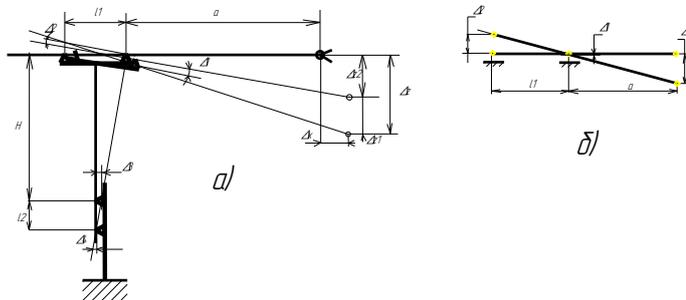


Рис.19. Схема для расчета контактной жесткости в опорах

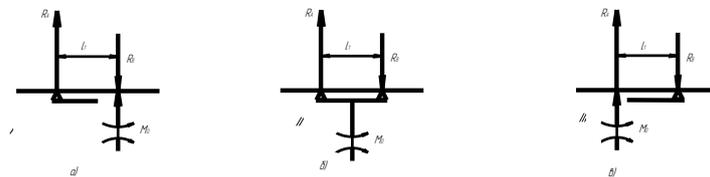


Рис.20. Схема расположения опор руки.

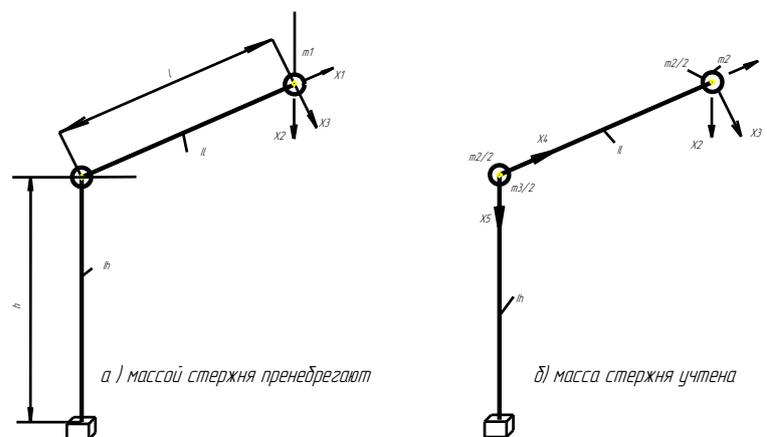


Рис.21. Расчетная схема динамических характеристик манипулятора

Расчёт динамики манипуляторов проводится на ЭВМ по программе Ю.А.Степаненко. Блок-схема алгоритма представлена на рис.22.

Предложенный им алгоритм - универсален. Он позволяет анализировать практически любые кинематические схемы рук манипуляторов. Анализ заключается в том, что оперируя численными значениями параметров и исходных данных ЭВМ шаг за шагом повторяет те операции с ними при решении уравнений, которые выполнял бы человек.

Результаты расчёта - это частота и амплитуда колебаний, как собственных, так и внешних, рассматриваемого манипулятора.

Форма отчетности:

Отчет должен содержать:

1. Цель работы.
2. Задание.
3. Поэтапное выполнение задания.
4. Заключение.

Основная литература

[3]

Дополнительная литература

[5,6]

Практическое занятие №2.

Тема: Взаимодействие основных параметров роботов.

Цель работы:

В современном строительном производстве технологические процессы практически полностью определены и установлены их взаимосвязи с применяемыми средствами механизации. При проектировании рабочих процессов машин и механизмов в период становления и развития отрасли строительства не учитывались возможности применения манипуляторов и роботов. Поэтому технологические процессы, оборудование, машины, конструктивные элементы зданий, инструмент, оснастка не приспособлены к применению роботов.

Начальным условием роботизации строительства следует считать разработку технических требований к роботам и манипуляторам с учетом особенностей строительства. При разработке конструктивного решения робота и манипулятора (например, для монтажных работ) необходимо учитывать форму, габаритные размеры и массу строительных конструкций, а также их физико-механические свойства. Эти показатели определяют общую схему и компоновку узлов робота, конструкцию и величину усилия сжатия захватного устройства, тип привода и принцип управления им, скорость перемещения и манипулирования с учетом ветровых и инерционных нагрузок, точность позиционирования и др.

Кроме того, важными факторами являются вид и характер строительного процесса и используемого оборудования, от которых, в свою очередь, зависит характер манипуляций (особенности взятия конструкции со стеллажа или стенда, перенос и установка ее на монтажном горизонте с временным или постоянным креплением и др.), а также технические параметры оборудования (вылет стрелы, высота подъема захватного устройства, габариты монтажной зоны, направления и траектории движения манипулируемой конструкции и др.).

Указанные выше факторы и особенности технологии строительства являются основными при выборе и определении: рациональной кинематической схемы с

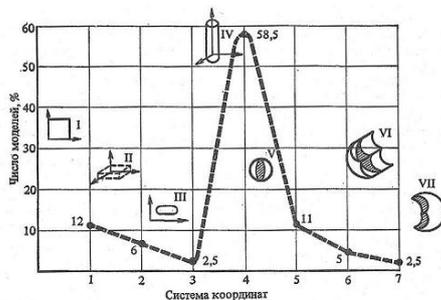
соответствующим числом степеней {подвижности робота (манипулятора), необходимых размеров |звеньев с охватом роботизируемой зоны; кинематических параметров— угловых и линейных перемещений, скоростей и траекторий | рабочего органа с монтируемой конструкцией, определяющих тип привода; точности позиционирования в зависимости от типа управляющего устройства; мобильности робота (манипулятора).

Кроме рассмотренных факторов рекомендуется учитывать факторы окружающей среды, которые влияют на вид конструктивного исполнения робота (взрывоопасное, пылезащищенное и тепло-защищенное), а также на выполнение им различных программ при изменении состояния окружающей среды.

Изучение вышеприведенных факторов позволило сделать выводы о том, что проектирование роботов (манипуляторов) для строительных и монтажных работ должно производиться на основе:

- 1) анализа особенностей конструктивных элементов зданий;
- 2) внесения изменений в конструкции зданий, обусловленных применением роботов (манипуляторов);
- 3) исследования технологического процесса устройства конструктивного элемента здания в построечных условиях и используемого в нем основного и вспомогательного технологического оборудования;
- 4) внесения изменений в технологический процесс, учитывающих модернизацию существующего и разработку нового вспомогательного технологического оборудования и оснастки, обеспечивающих роботизацию;
- 5) анализа технических решений средств роботизации, выработанных в результате проведенных исследований;
- 6) определения и расчета технико-экономических показателей сравниваемых вариантов роботизации и выбора из них оптимальных;
- 7) разработки технологических требований к роботизируемому процессу;
- 8) разработки технических требований и задания на проектирование робота (манипулятора).

В данной книге рассмотрены все основные вопросы, за исключением п. 4. Для решения этой задачи рассмотрим приспособленность промышленных роботов к устройству конструктивных элементов зданий. С этой целью проведен анализ 500 моделей современных промышленных роботов. В качестве основного критерия может быть принята технологичность промышленного робота, под которой понимается степень приспособленности промышленного робота к устройству конструктивных элементов зданий с наименьшими трудовыми и материальными затратами и продолжительностью производства работ. Этот показатель функционально зависит от множества факторов, в том числе от главных параметров роботов (манипуляторов), объемно-планировочных и конструктивных решений зданий, технологии строительно-монтажных работ. Расчет проводится в два этапа. На первом этапе определяется соответствие технических параметров робота (манипулятора) парадмам здания. На втором этапе производятся расчет и оценка экономических показателей — приведенных затрат, трудоемкости и продолжительности работ с применением средства роботизации. Для обоснования и выбора эффективных параметров строительного робота (манипулятора) необходимо выявление тенденций изменения аналогичных показателей при использовании их в производственных условиях различных промышленных предприятий. В результате анализа были отобраны следующие показатели: вид системы координат основных движений звеньев механической части робота: число степеней подвижности; тип привода; значения вылета руки, грузоподъемности, способов и погрешности позиционирования и др. Системы координат основных движений звеньев механической части современных промышленных роботов (по Ю. Г. Козыреву) приводятся на рис. Наибольшая доля роботов (58,5%) работает в цилиндрической системе координат. Наибольшее число роботов применяется с четырьмя степенями подвижности.

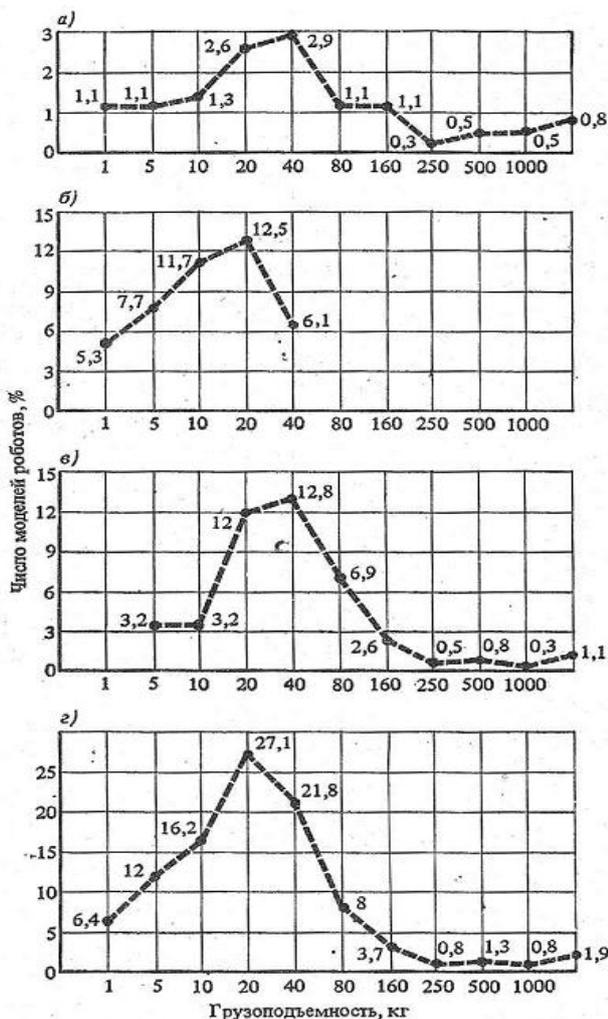


Распределение роботов по системам координат основных движений звеньев:

I — плоская прямоугольная; II — пространственная прямоугольная; III — плоская полярная; IV — цилиндрическая; V — сферическая; VI — угловая цилиндрическая; VII — угловая сферическая



Распределение роботов по числу степеней подвижности

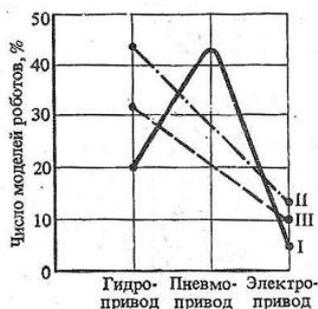


Распределение роботов по грузоподъемности в зависимости от типа привода:

а — с электроприводом (13,3%); б — с пневмоприводом (43,3%); в — , с гидроприводом (43,4%);

г — общее количество (100%)

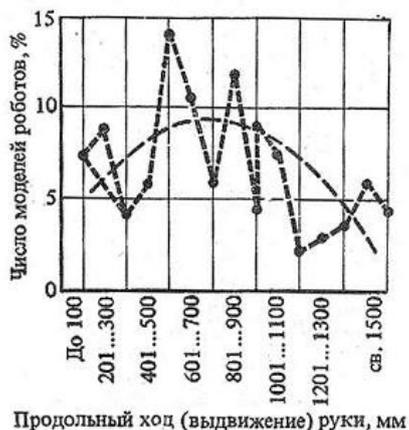
На рис. показано применение роботов в зависимости от типа привода. Чаще используются роботы с гидроприводом (43,4%) и пневмоприводом (43,3%). И только 13,3% составляют роботы с электроприводом. При применении этих приводов грузоподъемность роботов имеет наибольшую величину, равную 20 кг (27,1%). При сравнении роботов по типу привода и способу позиционирования видно, что у роботов, оснащенных пневмоприводом, 43 ... 44% применяется позиционная система управления. ;У роботов с гидроприводом наряду с позиционной системой (~20%) используется контурная (43...45%) и комбинированная (32 ...35%) системы управления. Из приведенного на рис. распределения промышленных роботов с позиционной системой управления видно, что примерно 55% моделей роботов приходится на оснащение системой программного управления с объемом памяти 10...49 управляющих команд.



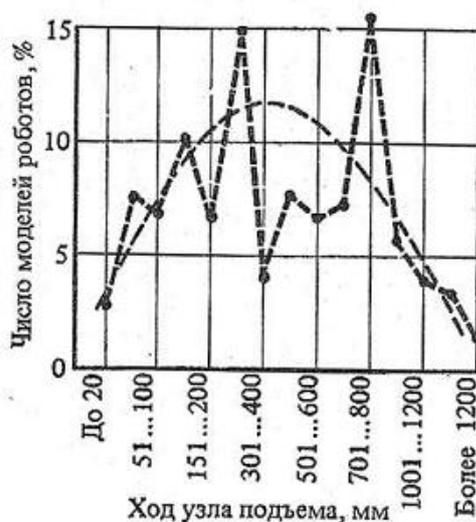
Соотношение между типами привода и способами позиционирования, обеспечиваемыми системой управления: I — позиционной; II — контурной и III — комбинированной



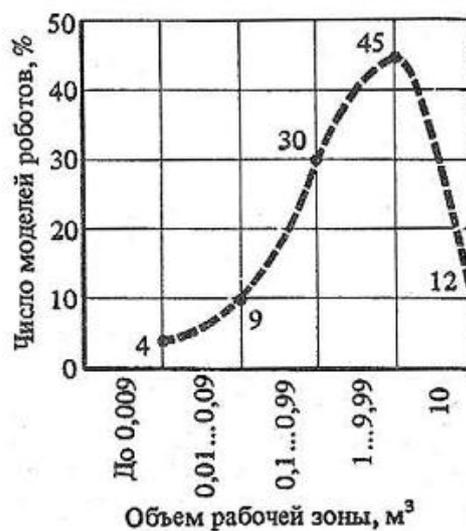
Распределение роботов с позиционной системой управления в зависимости от числа управляющих команд



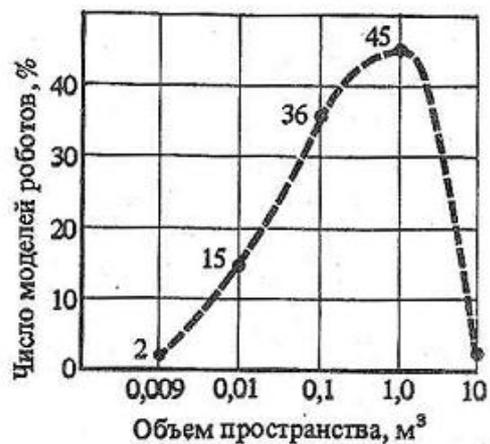
Распределение роботов по величине продольного хода выдвижения руки



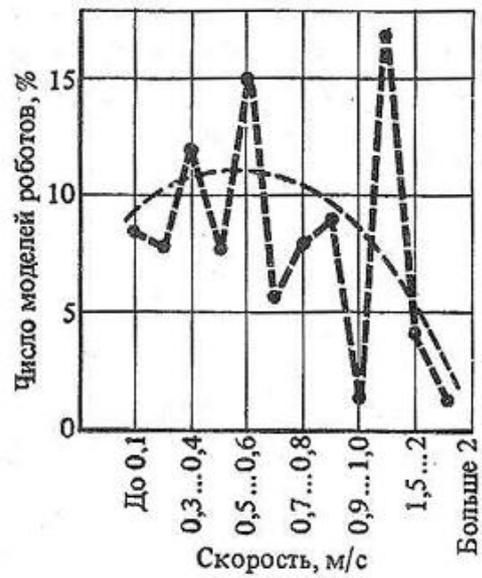
Распределение роботов по величине хода узла подъема



Распределение роботов по объему рабочей зоны



Распределение роботов по объему занимаемого пространства



Распределение роботов по скорости линейных перемещений



Распределение роботов по скорости угловых перемещений



Распределение моделей роботов в зависимости от погрешности позиционирования

Результаты анализа величин продольного хода (выдвижения) руки и хода узла подъема приведены на рис. Из приведенного видно, что характер изменения продольного хода руки имеет вид выпуклой параболы, наибольшее значение которой соответствует 500...900 мм. Аналогично этому имеет вид и показатель «ход узла подъема». Экстремальное значение данного параметра находится в интервале 300...800 мм.

Гистограммы распределения показателей «объем рабочей зоны» и «объем занимаемого пространства» свидетельствуют, что наибольшее значение (45%) приходится на роботы с рабочей зоной до 10 м³ и объемом занимаемого пространства до 1,0 м³. Рассматривая модели роботов по скорости линейных и угловых перемещений, необходимо отметить, что в первом случае характер дискретно выраженной параболической зависимости имеет наибольшее значение в интервале 0,5... 1,5 м/с, а во втором — 45 ... 135 град/с. Распределение моделей промышленных роботов в зависимости от погрешности позиционирования приведено на рис. Из рисунка видно, что характер кривой близок по формуле к кривой нормального распределения. Большая часть роботов (31,5%) имеет погрешность позиционирования 0,11 ... 0,5 мм. Наряду с этим от 6 до 25% роботов имеют погрешность позиционирования 0,1... 3,0 мм и 2 ... 5%—5 мм и более.

Анализируя приведенные на рис. 3.5...3.16 графики, можно отметить, что они позволяют выявить частоту распределения промышленных роботов не только в зависимости от типа привода, вида системы координат движений, способа позиционирования, но и значения таких параметров, как продольный ход руки и ход узла подъема, объемы рабочей зоны и занимаемого пространства, скорости линейных и угловых перемещений, погрешность позиционирования. Эти данные в значительной мере помогают при выборе и проектировании новых роботов. Однако, как показал анализ, их оказывается недостаточно для прогнозирования новых технических решений роботов и манипуляторов, особенно для не машиностроительных отраслей. В первую очередь необходимы сведения о закономерностях и взаимосвязи технических параметров. С этой целью исследовались технические характеристики более 350 современных промышленных роботов, изготовленных в СССР и за рубежом.

В данном учебном пособии приводятся зависимости между основными техническими показателями роботов. Принятая ниже схема изложения в виде подробного разъяснения предназначена для студентов при выполнении исследовательской работы, например, по выявлению зависимостей между грузоподъемностью и вылетом руки, числом степеней подвижности и вылетом руки, числом степеней подвижности и погрешностью позиционирования, грузоподъемностью и погрешностью позиционирования. Для проведения исследования предположим, что такого рода процессы являются сложными стохастическими моделями. В математическом смысле детерминированные модели являются частным случаем стохастических, вероятность осуществления событий в которых равна единице. Использование методов теории корреляции позволяет определить количественную

зависимость между различными, в том числе и вышеприведенными, факторами.

Корреляционная зависимость — это такая зависимость, при которой изменение одной случайной величины вызывает изменение среднего значения другой. При этом конкретных значений зависимого переменного, соответствующих одному значению независимого, может быть несколько. В нашем случае с помощью корреляционного анализа предполагается решить следующие задачи:

- 1) установить наличие связи (корреляции) между исследуемыми параметрами роботов;
- 2) установить форму линии связи (линии регрессии);
- 3) определить параметры линии регрессии;
- 4) определить достоверность установленной зависимости и отдельных параметров.

Тесноту связи между двумя величинами можно определить визуально по отношению короткой и продольной осей эллипса рассеяния наблюдений, нанесенных на поле корреляции. Чем больше отношение продольной стороны к короткой, тем связь теснее. Более точно теснота связи характеризуется коэффициентом корреляции для прямолинейных и корреляционным отношением — для криволинейных зависимостей. Для численного выражения параметров линии регрессии, выражающих связь между двумя величинами, применяется метод наименьших квадратов. Он заключается в том, что выбирается такая линия, при которой сумма квадратов разностей между фактическими наблюдениями зависимой переменной и расчетными значениями, полученными по регрессионной формуле, минимальна.

Для решения первой из поставленных задач составляется табл. 3.2 по специальной форме и в ней размещаются исходные данные: вылет руки x , m , и грузоподъемность робота y , t (форма таблицы принимается в соответствии с полем корреляции).

Исходные данные

№ п/п	$x(L)$	$y(Q)$	$\frac{1}{x}$	x^2	$\frac{1}{x^2}$	$(\frac{1}{x})y$
1	0,65	0,03	1,53	0,42	2,38	0,04
2	1,25	0,06	0,8	1,56	0,64	0,05
3	1,4	0,06	0,71	1,96	0,51	0,04
4	1,5	0,03	0,66	2,25	0,44	0,02
5	1,5	0,06	0,66	2,25	0,44	0,04
6	1,75	0,03	0,57	3,06	0,32	0,017
7	1,9	0,10	0,52	3,61	0,27	0,052
8	2,0	0,12	0,5	4	0,25	0,06
9	2,0	0,18	0,5	4	0,25	0,09
10	2,0	0,18	0,5	4	0,25	0,09
11	2,0	0,27	0,5	4	0,25	0,13
12	2,1	0,72	0,47	4,41	0,22	0,34
13	2,12	0,8	0,47	4,49	0,22	0,37
14	2,15	0,8	0,46	4,62	0,21	0,37
15	2,2	0,8	0,45	4,84	0,20	0,36
$n=15$	$\sum x = 26,52$	$\sum y = 4,24$	$\sum 1/x = 9,30$	$\sum x^2 = 49,47$	$\sum 1/x^2 = 6,85$	$\sum (1/x)y = 2,05$

Решая систему нормальных уравнений с двумя неизвестными, находим коэффициенты уравнения гиперболы:

$$\begin{cases} an + \sum(1/x)b = \sum y \\ \sum(1/x)y + \sum(1/x^2)b = \sum(1/x)y \end{cases}$$

Взятые из табл. 3.2 значения сумм подставляем в нормальные уравнения:

$$\begin{cases} a15 + 9,3b = 4,24; \\ 9,3a + 6,85b = 2,05; \end{cases} \quad \begin{cases} a15 + 9,3b = 4,24; \\ 9,3 \cdot 1,61 + 6,85 \cdot 1,61b = 2,05 \cdot 1,61; \end{cases}$$

$$b = -0,54; \quad a = 0,62.$$

$$0,62 \cdot 15 + 9,3(-0,54) = 9,3 - 5,02 = 4,28 > 4,24.$$

$$Q = 0,62 - 0,54/L$$

(3.1)

Формула (3.1) справедлива для значений \tilde{y} , приведенных в табл.

Q, т	-	0,18	0,26	0,31	0,35	0,37
L, м	0,65	1,25	1,5	1,75	2,0	2,2

Для измерения степени тесноты корреляционной зависимости необходимо вначале определить средний квадрат отклонений (по ординате) точек корреляционного поля от линии общей средней, параллельной оси абсцисс, и средний квадрат отклонений эмпирической линии регрессии от линии общей средней соответственно:

$$\sigma_y^{-2} = \frac{1}{n} \sum (y - \tilde{y})^2 \quad \text{и} \quad \sigma_{yx}^2 = \frac{1}{n} \sum (\tilde{y}_x - \tilde{y})^2.$$

Выражение $\sqrt{\sigma_{xy}^2 / \sigma_y^{-2}}$ называется корреляционным отношением и обозначается η . η – измеритель тесноты в зависимости y от x . Для определения σ_{xy}^2 и σ_y^{-2} воспользуемся таблицей.

№ п/п	y	y - \tilde{y}	(y - \tilde{y}) ²	\tilde{y}_x (определяется из формулы 3.1)	$\tilde{y}_x - \tilde{y}$	($\tilde{y}_x - \tilde{y}$) ²
1	0,03	-0,25	0,0625	-0,21	0,020	0,000400
2	0,06	-0,22	0,0484	0,188	0,009	0,000081
3	0,06	-0,22	0,0484	0,234	-0,046	0,002116
4	0,03	-0,25	0,0625	0,26	-0,02	0,000400
5	0,06	-0,22	0,0484	0,26	-0,02	0,000400
6	0,03	-0,25	0,0625	0,31	0,030	0,000900
7	0,10	-0,18	0,0324	0,335	0,055	0,003025
8	0,12	-0,16	0,0256	0,35	0,070	0,004900
9	0,18	-0,10	0,0100	0,35	0,07	0,004900
10	0,18	-0,10	0,0100	0,35	0,07	0,004900
11	0,27	-0,01	0,0001	0,35	0,07	0,004900
12	0,72	0,44	0,1936	0,36	0,08	0,006400
13	0,80	0,52	0,2704	0,36	0,08	0,006400
14	0,80	0,52	0,2704	0,368	0,088	0,007740
15	0,80	0,52	0,2704	0,374	0,094	0,008830
n=15	$\sum y = 4,24$ $\tilde{y} = \sum y / n = 0,28$	-	$\sum (y - \tilde{y})^2 = 1,4156$	-	-	$\sum (\tilde{y}_x - \tilde{y})^2 = 0,056292$

Корреляционное отношение определяется по формуле

$$\eta = \sqrt{\frac{\sigma_{xy}^2}{\sigma_y^{-2}}} = \sqrt{\frac{\sum (\tilde{y}_x - \tilde{y})^2 / 15}{\sum (y - \tilde{y})^2 / 15}} = \sqrt{\frac{0,056 / 15}{1,415 / 15}} = 0,198.$$

Средняя ошибка корреляционного отношения находится по формуле Н.Л. Леонтьева:

$$\mu = \pm \frac{1 - \eta^2}{\sqrt{n}} = \frac{1 - 0,198^2}{\sqrt{15}} = 0,248.$$

Оценка достоверности корреляционного отношения производится по формуле $\eta / \mu \geq 4,0$, откуда $0,198 / 0,248 = 0,798 < 4,0$.

Результаты оценки достоверности корреляционного отношения гиперболической зависимости не подтверждают наличия соответствующей закономерности. Это, в свою очередь, потребовало проведения дополнительных исследований. В частности, применяем метод выявления закономерности по прямолинейной зависимости.

Взятые из табл. значения сумм подставляем в нормальное уравнение (3.2).

№ п/п	y	x	y ²	x ²	xy
1	0,03	0,65	0,0009	0,42	0,0195
2	0,06	1,25	0,0036	1,56	0,075
3	0,06	1,4	0,0036	1,96	0,084
4	0,03	1,5	0,0009	2,25	0,045
5	0,06	1,5	0,0036	2,25	0,09
6	0,03	1,75	0,0009	3,06	0,0525
7	0,10	1,9	0,01	3,61	0,19
8	0,12	2,0	0,0144	4	0,24
9	0,18	2,0	0,0324	4	0,36
10	0,18	2,0	0,0324	4	0,36
11	0,27	2,0	0,0729	4	0,54
12	0,72	2,1	0,5184	4,41	1,512
13	0,8	2,12	0,64	4,49	1,696
14	0,8	2,15	0,64	4,62	1,72
15	0,8	2,2	0,64	4,84	1,76
n=15	∑y=4,24	∑x=26,52	∑y ² =2,6140	∑x ² =49,47	∑xy=8,7440

Коэффициенты уравнения прямолинейной зависимости определяются с помощью системы нормальных уравнений:

$$\begin{cases} na + b\sum x = \sum y; \\ a\sum x + b\sum x^2 = \sum xy. \end{cases} \quad \begin{cases} 15a + b26,52 = 4,24; \\ a26,52 + b49,47 = 8,74 \\ -2,53b = -1,23; \\ b = 0,48 \end{cases}$$

$$15a + 0,48 \cdot 26,52 = 4,24;$$

$$15a = -8,49$$

$$a = -0,56, \text{ или}$$

$$Q = -0,56 + 0,48L.$$

(3.3)

Степень тесноты парной корреляционной зависимости факторов y и x определяется по формуле:

$$r = \frac{n \sum xy - \sum x \sum y}{\sqrt{n \sum x^2 - (\sum x)^2} \sqrt{n \sum y^2 - (\sum y)^2}} = \frac{15 \cdot 8,74 - 26,52 \cdot 4,24}{\sqrt{15 \cdot 49,47 - 26,52^2} \sqrt{15 \cdot 2,61 - 4,24^2}} = 0,65.$$

Ошибка коэффициента корреляции составляет

$$\mu = \pm \frac{1-r^2}{\sqrt{n}} = \frac{1-0,65^2}{\sqrt{15}} = 0,15.$$

Степень достоверности коэффициента корреляции:

$$r / \mu \geq 4, \text{ или } 0,65 / 0,15 = 4,33 > 4$$

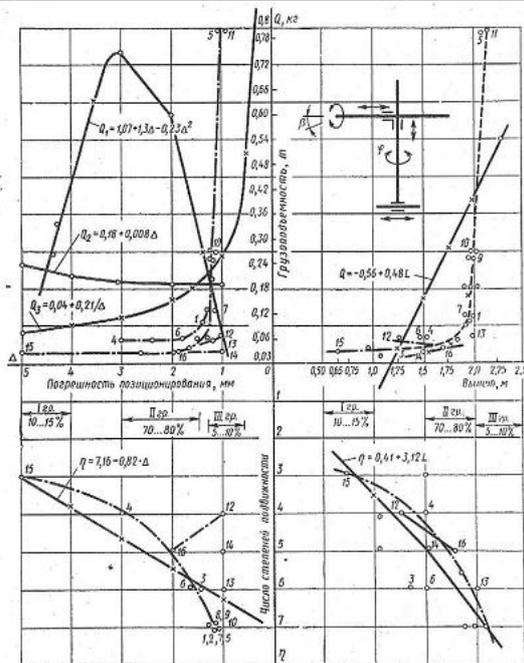
Значения L для расчета формулы (3.3) приведены в табл.

L, м	0,65	1	1,25	1,4	1,5	1,75	1,9	2	2,1	2,15	2,2
Q, т	-	-	0,04	-	0,16	0,28	-	0,4	-	-	0,49

Из приведенного видно, что прямолинейная зависимость по отношению криволинейной более точно отражает характер влияния исследуемого фактора L на величину Q: коэффициент корреляции ($r=0,65$) > ($\eta=0,198$), степень достоверности: ($r/\mu = 4,33$) ($\eta/\mu = 0,798$).

Проведенные исследования подтверждают, что выбор формы зависимости Q—L осуществлен правильно (рис. 3.17).

№ п/п	y(η)	x(Z)	y ²	x ²	xy
1	3	0,65	9	0,42	1,95
2	4	1,25	16	1,56	5
3	6	1,4	36	1,96	8,4
4	3	1,5	9	2,25	4,5
5	4	1,5	16	2,25	6
6	5	1,5	25	2,25	7,5
7	6	1,5	36	2,25	9
8	5	1,75	25	3,05	8,75
9	7	1,9	49	3,61	13,3
10	6	1,9	36	3,61	11,4
11	7	1,9	49	3,61	13,3
12	7	1,9	49	3,61	13,3
13	7	2,0	49	4	14
14	7	2,0	49	4	14
15	7	2,10	49	4,41	14,7
16	7	2,10	49	4,41	14,7
17	7	2,12	49	4,49	14,84
18	7	2,15	49	4,62	15,05
19	7	2,15	49	4,62	15,05
20	7	2,2	49	4,84	15,4
n=20	Σy=119	Σx=35,47	Σy ² =747	Σx ² =65,83	Σxy=220,14



Частота изменения погрешности позиционирования Δ напольных роботов с горизонтальной выдвижной рукой и подъемной кареткой в зависимости от грузоподъемности Q, вылета L и числа степеней подвижности η : 1, 2, 3, 5 - НРБ (РБ-231, РБ-234); 4 — СССР (МАН-63С); 6...11 — США (Versatran), 12...6 — Япония (Type RA Machine — man Hand); — . — — экспериментальные данные; — — — — расчетные данные

Аналогично приведенному выше по описанной методике находим форму зависимости между факторами L— η . Для этого определим значения сумм (табл. 3.7) и подставим их в нормальное уравнение.

Параметры уравнения прямолинейной зависимости определяются с помощью системы нормальных уравнений:

$$\left\{ \begin{array}{l} na + b\sum x = \sum y; \\ a\sum x + b\sum x^2 = \sum xy. \\ b \approx 3,12; a = 0,41; \\ \eta = 0,41 + 3,12L. \end{array} \right. \quad \left\{ \begin{array}{l} 20a + b35,47 = 119; \\ a35,47 + b65,83 = 220,14 \end{array} \right.$$

Степень тесноты парной корреляционной зависимости факторами L и η определяем по формуле

$$r = \frac{n\sum xy - \sum x \sum y}{\sqrt{n\sum x - \sum(x)^2} \sqrt{n\sum y - (\sum y)^2}} = \frac{20 \cdot 220,14 - 35,47 \cdot 119}{\sqrt{20 \cdot 65,83 - 35,47^2} \sqrt{20 \cdot 747 - 119^2}} = 0,85.$$

Ошибка коэффициента корреляции составляет

$$\mu = \pm \frac{1-r^2}{\sqrt{n}} = \frac{1-0,85^2}{\sqrt{20}} = 0,062.$$

Степень достоверности коэффициента корреляции:

$$r / \mu \geq 4, \text{ или } 0,85 / 0,062 = 13,7 > 4.$$

Высокое значение коэффициента корреляции ($r=0,85$), малая ошибка ($\mu=0,062$) и высокая степень достоверности $13,7 > 4$ дают основание считать, что выбор формы зависимости осуществлен правильно.

Рассчитаем параметры зависимости и сведем их в табл.

η	2,43	3,53	4,31	5,09	5,87	6,33	6,65	6,96	7,27
L, м	0,65	1	1,25	1,5	1,75	1,9	2	2,1	2,2

Используя данную методику, находим форму зависимости между факторами η — Δ соответственно число степеней подвижности и погрешность позиционирования. Для этого рассчитаем значения сумм с помощью табл.

№ п/п	y(η)	x(Δ)	y ²	x ²	xy
1	3	1	9	1	3
2	4	1	16	1	4
3	6	1	36	1	6
4	3	5	9	25	15
5	4	3	16	9	12
6	5	1	25	1	5
7	6	1,5	36	2,25	9
8	5	2	25	4	10
9	7	1	49	1	7
10	6	1,5	36	2,25	9
11	6	1,5	36	2,25	9
12	7	1,20	49	1,44	8,4
13	7	1,20	49	1,44	8,4
14	7	1,20	49	1,44	8,4
15	7	1,20	49	1,44	8,4
16	7	1,25	49	1,56	8,75
17	7	1,25	49	1,56	8,75
18	7	1,25	49	1,56	8,75
19	7	1,25	49	1,56	8,75
20	7	1,50	49	2,25	10,5
n=20	$\sum y=118$	$\sum x=35,47$	$\sum y^2=734$	$\sum x^2=65,83$	$\sum xy=220,14$

Полученные значения сумм подставляем в нормальное уравнение:

$$\left\{ \begin{array}{l} a_{20} + b_{30,8} = 118; \\ 1,54 = 118 \cdot 1,54; \\ a_{30,8} + b_{64} = 168,1. \end{array} \right.$$

$$\left\{ \begin{array}{l} a_{20} \cdot 1,54 + b_{30,8} \cdot \\ a_{30,8} + b_{64} = 168,1. \\ -16,57b = 13,62; \end{array} \right.$$

$$b = -0,82; a = 7,16; \\ \eta = 7,16 - 0,82\Delta.$$

Значения Δ приведены в табл. 3.10

η	6,34	6,17	6,13	5,93	5,52	4,7	3,88	3,06
Δ , мм	1	1,2	1,25	1,5	2	3	4	5

Степень тесноты парной корреляционной зависимости факторами L и η определяем по формуле

$$r = \frac{n \sum xy - \sum x \sum y}{\sqrt{n \sum x^2 - (\sum x)^2} \sqrt{n \sum y^2 - (\sum y)^2}} = \frac{20 \cdot 168,1 - 30,8 \cdot 118}{\sqrt{20 \cdot 64 - 30,8^2} \sqrt{20 \cdot 734 - 118^2}} = 0,54.$$

Ошибка коэффициента корреляции составляет

$$\mu = \pm \frac{1-r^2}{\sqrt{n}} = \frac{1-0,54^2}{\sqrt{20}} = 0,158.$$

Степень достоверности коэффициента корреляции:

$$r / \mu \geq 4, \text{ или } 0,54 / 0,158 = 3,4 < 4.$$

Используем вышеприведенный методический подход и к нахождению формы зависимости между факторами Q— Δ . Для этого рассчитаем значения сумм с помощью табл. 3.11

№ п/п	x(Δ)	y(Q)	xy	x ²	x ² y	x ³	x ⁴
1	1	0,03	0,03	1	0,03	1	1
2	1	0,06	0,06	1	0,06	1	1
3	1	0,06	0,06	1	0,06	1	1
4	1,2	0,10	0,12	1,44	0,14	1,73	2,07
5	1,25	0,10	0,12	1,56	0,16	1,95	2,44
6	1,25	0,18	0,22	1,56	0,28	1,95	2,44
7	1,2	0,18	0,21	1,44	0,26	1,73	2,07
8	1,2	0,25	0,30	1,44	0,36	1,73	2,07
9	1,2	0,27	0,32	1,44	0,38	1,73	2,07
10	1,25	0,27	0,33	1,56	0,42	1,95	2,44
11	1,2	0,80	0,96	1,44	1,15	1,73	2,07
12	1,25	0,80	1,0	1,56	1,12	1,95	2,44
13	1,5	0,06	0,09	2,25	0,13	3,37	5,06
14	2,0	0,03	0,06	4,0	0,12	8,0	16,0
15	3,0	0,06	0,18	9,0	0,54	27,0	81,0
16	5,0	0,03	0,15	25,0	0,75	125,0	625,0
17	1,6	0,03	0,96	2,56	0,15	4,09	6,55
n=17	$\sum x=27,10$	$\sum y=3,34$	$\sum xy=5,17$	$\sum x^2=59,2$	$\sum x^2y=6,2$	$\sum x^3=186,91$	$\sum x^4=756,72$

Коэффициенты квадратичного уравнения a, b, c можно найти, решая следующую систему трех нормальных уравнений с тремя неизвестными:

$$an + b\sum x + c\sum x^2 = \sum y;$$

$$a\sum x + b\sum x^2 + c\sum x^3 = \sum xy;$$

$$a\sum x^2 + b\sum x^3 + c\sum x^4 = \sum x^2y.$$

С ростом степени полинома вычисления необходимо повторить заново и снова вычислить все коэффициенты. Используя ортогональные полиномы Чебышева,

перечисленные недостатки можно устранить.

Взятые из табл. 3.11 значения сумм подставляем в нормальные уравнения:

$$a17 + b27,1 + c59,25 = 3,34; \quad (3.4)$$

$$a27,1 + b59,25 + c186,91 = 5,17; \quad (3.5)$$

$$a59,25 + b186,91 + c756,72 = 6,23. \quad (3.6)$$

Систему решаем методом исключения переменных. Все члены первого уравнения умножаем на $(27,1/17=1,59)$:

$$\begin{cases} a17 \cdot 1,59 + b27,1 \cdot 1,59 + c59,25 \cdot 1,59 = 3,34 \cdot 1,59; \\ a27,1 + b59,25 + c186,91 = 5,17; \\ -b16,17 - c92,7 = 0,14. \end{cases} \quad (3.7)$$

Далее исключаем a из уравнений (3.5) и (3.6). Для этого умножим все члены уравнения (3.5) на $(2,186=59,25/27,1)$

$$\begin{cases} a27,1 \cdot 2,186 + b59,25 \cdot 2,186 + c186,91 \cdot 2,186 = 5,17 \cdot 2,186; \\ a59,25 + b186,91 + c756,72 = 6,23 \\ -b57,38 - c348,13 = 5,07. \end{cases} \quad (3.8)$$

Из уравнений (3.7) и (3.8) исключаем b и определяем c :

$$\begin{cases} -b16,17 \cdot 3,54 - c92,7 \cdot 3,54 = 0,14 \cdot 3,54; \\ -b57,38 - c348,13 = 5,07; \\ c \cdot 19,97 = -4,57; \end{cases}$$

$$c = -0,23; \quad b = 1,3; \quad a = -1,07.$$

$$Q = -1,07 + 1,3\Delta - 0,23\Delta^2, \text{ т.}$$

Для проверки найденные значения коэффициентов подставляем в одно из исходных уравнений (3.5):

$$-1,07 \cdot 27,1 + 1,3 \cdot 59,25 - 0,23 \cdot 186,91 = 5,17; \quad 5,17 = 5,17.$$

Окончательно получаем квадратичное уравнение:

$$Q1 = -1,07 + 1,3\Delta - 0,23\Delta^2, \text{ т.} \quad (3.9)$$

Вычисляем предсказанные значения $\hat{y}(Q)$:

$$\begin{aligned} \hat{y}_{1-3} &= -1,07 + 1,3 \cdot 1 - 0,23 \cdot 1 = 0; \\ \hat{y}_{4,7-9,11} &= -1,07 + 1,3 \cdot 1,2 - 0,23 \cdot 1,44 = 0,15; \\ \hat{y}_{5,6,10,12} &= -1,07 + 1,3 \cdot 1,25 - 0,23 \cdot 1,56 = 0,19; \\ \hat{y}_{13} &= -1,07 + 1,3 \cdot 1,5 - 0,23 \cdot 2,25 = 0,36; \\ \hat{y}_{14} &= -1,07 + 1,3 \cdot 2 - 0,23 \cdot 4 = 0,61; \\ \hat{y}_{15} &= -1,07 + 1,3 \cdot 3 - 0,23 \cdot 9 = 0,76; \\ \hat{y} &= -1,07 + 1,3 \cdot 4 - 0,23 \cdot 16 = 0,45; \\ \hat{y}_{16} &= -1,07 + 1,3 \cdot 5 - 0,23 \cdot 25 = 0,32; \\ \hat{y}_{17} &= -1,07 + 1,3 \cdot 1,6 - 0,23 \cdot 2,56 = 0,42. \end{aligned}$$

Вычисляем остаточную дисперсию и дисперсию y по форме табл. 3.12.

Таблица 3.12

№ п/п	y	\hat{y} (по формуле 3.9)	$(y - \hat{y})$	$(y - \hat{y})^2$	$y - \tilde{y}$	$(y - \tilde{y})^2$
1	0,03	0	0,03	0,0009	0,16	0,0256
2	0,06	0	0,06	0,0036	0,13	0,0169
3	0,06	0	0,06	0,0036	0,13	0,0169
4	0,10	0,15	0,05	0,0100	0,09	0,0081
5	0,10	0,19	0,04	0,0100	0,09	0,0081
6	0,18	0,19	0,01	0,0324	0,01	0,0001
7	0,18	0,15	0,03	0,0324	0,01	0,0001
8	0,25	0,15	0,10	0,0625	0,06	0,0036
9	0,27	0,15	0,12	0,0729	0,08	0,0064

10	0,27	0,19	0,08	0,0729	0,08	0,0064
11	0,80	0,15	0,65	0,6400	0,61	0,3721
12	0,80	0,19	0,61	0,6400	0,61	0,3721
13	0,06	0,36	0,30	0,0036	0,13	0,0169
14	0,03	0,61	0,31	0,0009	0,16	0,0256
15	0,06	0,76	0,70	0,0036	0,13	0,0169
16	0,03	0,32	0,30	0,0009	0,16	0,0256
17	0,06	0,42	0,36	0,0036	0,13	0,0169
$\sum_{n=17}$	$\sum y = 3,34$ $\bar{y} = 0,19$	-	-	1,5938	-	0,9383

Для проверки значимости уравнения регрессии в целом с использованием критерия Фишера F общую дисперсию S^2y сравнивают с остаточной дисперсией $\check{S}^2y_{ост.}$:

$$\check{S}^2y_{ост.} = \sum(y - \hat{y})^2 / (n-2) = 1,5938 / (17-2) = 0,106;$$

$$\check{S}^2y = \sum(y - \bar{y})^2 / (n-1) = 0,9383 / 16 = 0,0586;$$

$$F = \check{S}^2y / \check{S}^2y_{ост.} = 0,0586 / 0,106 = 0,55 < F_{\Gamma 16; 15; 5\%} = 2,32.$$

Таким образом, полученное уравнение предсказывает результаты опытов в 0,55 раза хуже среднего \bar{y} .

Так как квадратичная зависимость не подтвердилась, произведем расчет линейной зависимости. Для этого определим значения сумм из табл. 3.13 и подставим их в нормальное уравнение.

Решаем систему нормальных уравнений:

$$a \cdot 17 + b \cdot 27,1 = 3,34;$$

$$a \cdot 27,1 + b \cdot 59,25 = 5,17;$$

$$b = 0,0008; a \cdot 17 + 0,0008 \cdot 27,1 = 3,34; a = 0,18;$$

$$Q = 0,18 + 0,008\Delta, \text{ т.}$$

№ п/п	y(Q)	x(Δ)	y ²	x ²	xy
1	0,03	1	0,0009	1	0,03
2	0,06	1	0,0036	1	0,06
3	0,06	1	0,0036	1	0,06
4	0,10	1,12	0,01	1,44	0,12
5	0,10	1,25	0,01	1,56	0,12
6	0,18	1,25	0,0324	1,56	0,22
7	0,18	1,2	0,0324	1,44	0,21
8	0,25	1,2	0,0625	1,44	0,30
9	0,27	1,2	0,0729	1,44	0,32
10	0,27	1,25	0,0729	1,56	0,33
11	0,80	1,2	0,64	1,44	0,96
12	0,80	1,25	0,64	1,56	1,0
13	0,06	1,5	0,0036	2,25	0,09
14	0,03	2,0	0,0009	4	0,06
15	0,06	3,0	0,0036	9	0,18
16	0,03	5,0	0,0009	25	0,15
17	0,06	1,6	0,0036	2,56	0,96
n=17	$\sum y = 3,34$	$\sum x = 27,1$	$\sum y^2 = 1,5938$	$\sum x^2 = 59,25$	$\sum xy = 5,17$

Степень тесноты парной корреляционной зависимости факторами L и η определяем по формуле

$$r = \frac{17 \cdot 5,17 - 27,1 \cdot 3,34}{\sqrt{17 \cdot 59,25 - 27,1^2} \sqrt{17 \cdot 1,59 - 3,34^2}} = -0,039.$$

Ошибка коэффициента корреляции составляет

$$\mu = \pm \frac{1-r^2}{\sqrt{n}} = \frac{1-(-0,039)^2}{\sqrt{17}} = 0,24.$$

Степень достоверности коэффициента корреляции:

$$r / \mu \geq 4, 0,039 / 0,24 = 0,16 < 4.$$

Из результатов расчетов видно, что линейная зависимость также не подтвердилась, поэтому выполним решение по гиперболической зависимости. Для этого определяем значения сумм и подставляем их в нормальное уравнение.

Решая систему нормальных уравнений с двумя неизвестными, находим коэффициенты уравнения гиперболы:

$$\begin{cases} an + \sum \frac{1}{x} b = \sum y; \\ \sum \frac{1}{x} a + \sum \left(\frac{1}{x}\right)^2 b = \sum \left(\frac{1}{x}\right) y; \end{cases}$$

$$\begin{cases} a17 + b12,66 = 3,34; \\ a12,66 + b10,24 = 2,67; \end{cases}$$

№ п/п	y(Q)	x(Δ)	1/x	x ²	1/x ²	(1/x)y
1	0,03	1	1	1	1	0,03
2	0,06	1	1	1	1	0,06
3	0,06	1	1	1	1	0,06
4	0,10	1,12	0,83	1,44	0,69	0,083
5	0,10	1,25	0,8	1,56	0,64	0,08
6	0,18	1,25	0,8	1,56	0,64	0,144
7	0,18	1,2	0,83	1,44	0,69	0,149
8	0,25	1,2	0,83	1,44	0,69	0,207
9	0,27	1,2	0,83	1,44	0,69	0,224
10	0,27	1,25	0,8	1,56	0,64	0,216
11	0,80	1,2	0,83	1,44	0,69	0,664
12	0,80	1,25	0,8	1,56	0,64	0,64
13	0,06	1,5	0,66	2,25	0,44	0,039
14	0,03	2,0	0,5	4	0,25	0,015
15	0,06	3,0	0,33	9	0,11	0,019
16	0,03	5,0	0,2	25	0,04	0,006
17	0,06	1,6	0,62	2,56	0,39	0,037
n=17	∑y=3,34	∑x=27,1	∑(1/x)=12,66	∑x ² =59,2	∑(1/x ²)=10,2	∑[(1/x)y]=2,67

$$\begin{cases} - a17 + b12,66 = 3,34; \\ 12,66 \cdot a1,34 + 10,24 \cdot b1,34 = 2,67 \cdot 1,34; \\ -b1,06 = -0,23. \end{cases}$$

$$b = 0,21;$$

$$a17 + 12,66 \cdot 0,21 = 3,34; a = 0,04;$$

$$Q = 0,04 + 0,21/\Delta, \text{ т.}$$

Полученная в результате расчетов гиперболическая зависимость проверена на величину корреляционного отношения, среднюю ошибку и достоверность. Результаты анализа показали, что форма данной зависимости по указанным критериям в большей степени выражает характер взаимосвязи исследуемых факторов «грузоподъемность робота» и «погрешность позиционирования», чем параболическая и прямолинейная.

Проведенные исследования позволили выявить аналитические и графические зависимости главных параметров напольных роботов с горизонтальной выдвижной рукой и подъемной кареткой. При этом установлено, что данные средства роботизации имеют ряд особенностей, отличающихся от современных грузоподъемных кранов, применяемых в

строительстве. Так, по значениям основных параметров эта группа роботов может быть представлена тремя подгруппами.

В первую подгруппу (10...15%) входят роботы, у которых при низких значениях вылета руки (0,65... 1,0 м) грузоподъемность также находится на низком уровне (0,03... 0,06 т), а погрешность позиционирования достигает наибольшей величины 4... 5 мм при минимальном числе степеней подвижности 3.

Во вторую подгруппу (70... 80%) входят роботы, у которых вылету руки 1,5 ...2,0 м соответствует грузоподъемность 0,120...0,180 т, число степеней подвижности 3...5 и погрешность позиционирования 3... 1,5 мм. Третью подгруппу (5... 10%) составляют роботы, у которых при вылете руки 2,0... 2,50 м грузоподъемность достигает 0,8 т, число степеней подвижности — наибольшая— 6 ... 7, а погрешность позиционирования — наименьшая — 1,2... 1,0 мм.

* **Выводы.** Сравнивая значения основных параметров промышленных роботов с технологически необходимыми в строительстве (см. гл. 1, 2), можно сделать выводы о том, что современные средства роботизации не приспособлены для производства строительномонтажных работ. Неприспособленность промышленных роботов объясняется не только низкой грузоподъемностью, недостаточной высотой подъема и вылета грузозахватного органа, но и отсутствием ходового устройства и возможности передвижения. Последнее обстоятельство особенно важно для построечных условий строительного производства, в которых в отличие от других перерабатывающих отраслей, и в частности металлообрабатывающей, строительной индустрии, продукция является неподвижной, а технические средства — подвижными. Однако делать выводы только по значениям параметров без учета устройства роботов нельзя. С целью не только констатации фактов о неприспособленности роботов, но и выявления положительных качеств промышленных роботов, и в частности приводов, характеристик линейных и угловых скоростей, и других характеристик необходимо ознакомиться с их устройством и принципом действия.

Форма отчетности:

Отчет должен содержать:

5. Цель работы.
6. Задание.
7. Поэтапное выполнение задания.
8. Заключение.

Основная литература

[3]

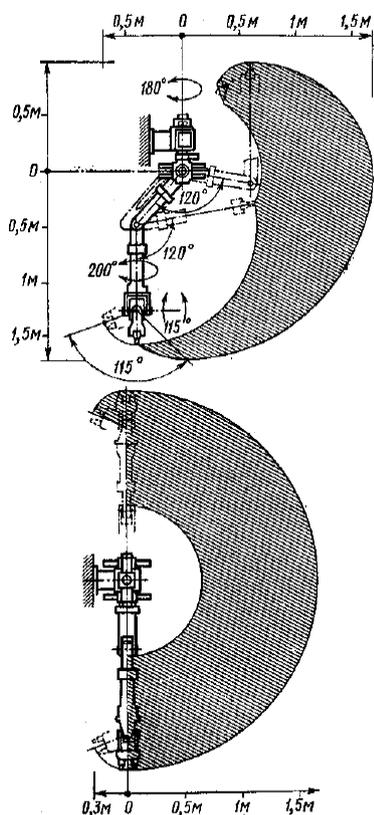
Дополнительная литература

[5,6]

Практическое занятие №3.

Тема: Изучение устройства наземных роботов.

Цель работы: Изучить устройство наземных роботов.



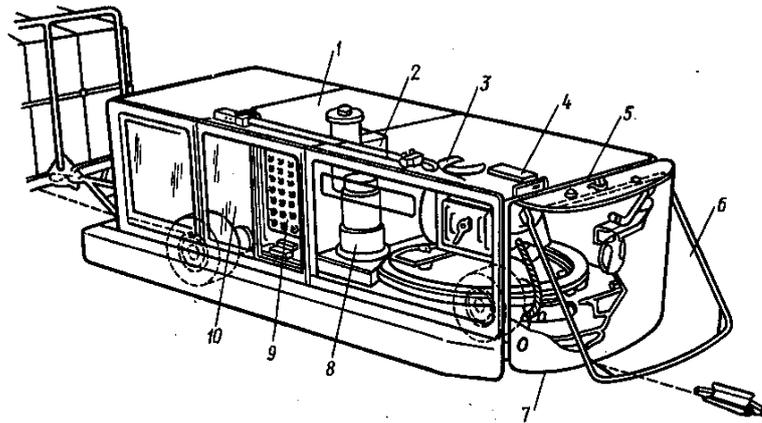
Рабочие зоны робота AND-ROMAT AS-30

Наземные роботы по сравнению с напольными имеют ряд преимуществ. Они мобильны, при поломке одного из них производится быстрая замена другим. Кроме того, они занимают меньше производственной площади, так как не имеют опор и колонн, препятствующих размещению технологического оборудования. Улучшается качество технологического обслуживания и ремонта в специализированных условиях. Между собой наземные роботы отличаются главным образом ходовым устройством и числом осей подвижных звеньев манипулятора. По ходовому устройству наземные роботы делятся на гусеничные и на пневмоколесном шасси.

В строительном производстве испытывается потребность в роботах-планировщиках на гусеничном ходу при вертикальной планировке и отрывке траншей заданной ширины n глубины. Наличие гусеничного движения значительно (в 7...8 раз) снижает удельное давление таких машин по сравнению с пневмо-колесными и повышает их проходимость в условиях строительной площадки и передвижения по грунту. Примерами реализации таких машин-автоматов на гусеничном ходу могут служить робототехнический комбайн и робот для бурения шпуров, а также исследовательский робот «Мобот». Последний снабжен двумя манипуляторами, подъемным краном грузоподъемностью 400 кг и автопогрузчиком, что позволяет выполнять погрузочно-разгрузочные работы.

Транспортные роботы на пневмоколесном шасси изготавливаются в виде автоматических тягачей, транспортных и функциональных тележек. Первые обеспечивают буксировку транспортных средств с грузом; вторые, являясь тягачом, перевозят и грузы в кузове; третьи — кроме транспортировки осуществляют саморазгрузку, ориентирование и укладку перевозимых изделий. Манипулирование с грузами эти транспортные средства осуществляют с помощью манипуляторов. Передвижение транспортных роботов основано на индукционном методе. При подаче электрического переменного тока по кабелю, уложенному на трассе движения, вокруг него образуются магнитные силовые линии, воздействующие на датчики робота. Изменением частоты переменного тока сообщают необходимую информацию о скорости и направлении движения, остановках и поворотах.

Ведутся работы по внедрению в промышленности строительных материалов роботов-каменщиков для укладки кирпича и его сортировки на конвейере. Такие роботы оснащены техническим зрением и дальномерной системой. Используются также и другие системы распознавания объектов.



Транспортная грузонесущая тележка-тягач, управляемая при помощи электромагнитного поля:

1 — тормозная катушка; 2 — транзисторное устройство; 3 — рукоятка торможения; 4 — привод; 5 — сигнальная лампа; 6 — устройство обеспечения безопасности движения; 7 — буферный щит; 8 — привод устройства управления; 9 — панель программирования; 10 — аккумуляторная батарея

Автоматические тягачи, используемые для транспортировки грузов, чаще движутся по замкнутой трассе по заданной программе. Для этого по трассе движения прокладывают металлическую полосу шириной 70 мм на глубине от поверхности не более 7 мм. В местах остановок выполняют разрывы. Слежение осуществляет индуктивный датчик, передающий команды на сервопривод рулевого устройства. Особенностью таких малогабаритных тягачей является наличие датчиков, предупреждающих наезд на препятствия, а также применение устройства переключения с автоматического на ручное управление. Тягачи обеспечивают буксировку транспортных средств с грузом до 1500 кг со скоростью до 3,5 км/ч и радиусом поворота 1,4 м.

Транспортные грузонесущие тележки, также и выполняющие функции тягача, управляются с помощью электромагнитного поля, образуемого при прохождении электрического тока по проводнику, выполненному в виде замкнутой петли по направлению движения. Функциональные тележки изготавливаются в виде электрокаров, обеспечивающих самозагрузку и выгрузку поддонов с грузом при помощи подъемника. Грузоподъемность этих тележек 1500 кг, скорость перемещения 2,7 км/ч. На электрокаре имеется электронный блок управления с силовой, аналоговой и логической частью.

Колёсный робот «SRX 1»

Идеальная среда обитания этого колёсного робота — парковая территория, изобилующая сетью дорожек и не переполненная путающимся на пути его движения персоналом, посетителями, автомобилями и прочими хаотически возникающими препятствиями. Дело в том, что робот движется по маршруту, который ему показали при первом проезде и всякий раз, когда на этом знакомом маршруте будет появляться препятствие, роботу придется искать путь его объезда, а это уже маршрут не знакомый и его придется исследовать. Со временем, конечно, он составит полную карту территории, но и в этом случае путь из точки А в точку Б займёт неконтролируемое количество времени и энергии. Поэтому хорошо бы создать оптимальные условия для эксплуатации транспортного робота, чтобы он мог выполнять поставленные ему задачи в ночное время или выбрать маршрут проездов с минимальной вероятностью появления на нем препятствий.



Колёса робота, его подвеска и конструкция размещения камер системы видеовождения гарантируют успешные проезды по ровной поверхности дорожек, газонов, асфальтированных площадок. Причём, материал дорожного покрытия существенной роли не играет, покрышки выбраны весьма эластичные и с хорошими цепляющими свойствами. Основное, на что стоит обратить внимание, чтобы поверхность была достаточно ровной, на вспаханное поле его лучше не пускать. Но и этот недостаток будет устранён в новом транспортном роботе «SRX 3». Наиболее сложные условия эксплуатации возникают зимой, и это не столько связано с низкими температурами и уменьшением количества видимых ориентиров, ввиду их массового погребения под снегом, сколько с количеством снега на дорожках. Потому, как шансы проехать по заваленному снегом газону у этого робота исчезают после второго снегопада. С проездом по дорожкам, все обстоит несравнимо лучше, в случае если их чистят. После прохода ручной снегоуборочной машинкой свойств протектора и мягкости резины более чем достаточно для уверенного передвижения. Для большей уверенности резину можно зашиповать и уже не обращать внимания на частые оттепели и ночные заморозки.

Робот «SRX 1», безусловно, полностью автономен, однако, интерфейсы для взаимодействия с оператором в нём предусмотрены. В первую очередь, это планшетный компьютер, который связан с транспортным роботом по WiFi или сотовой сети. Планшет используется для отображения местонахождения удалённого робота, индикации его состояния, смены или назначения задач по перемещению. Все возможные манипуляции с роботом могут быть осуществлены через планшет. Кроме него, в комплект поставки включён пульт дистанционного радиуправления промышленного исполнения. Если планшет лежит на рабочем месте оператора и ходить с ним особенно никуда не нужно, то пульт может спокойно использоваться на улице в снег или дождь, мороз или жару. Потребоваться он может в двух случаях. Первый — это когда робота нужно провести первый раз по маршруту, для того чтобы он его запомнил. Оператор, манипулируя джойстиком, не торопясь, проводит транспортного робота по всем путям возможных проездов, причём, если в процессе эксплуатации появятся новые возможные пути проезда, их можно легко дополнить в карту робота.

Второй случай маловероятен, но возможен. Изделие может оказаться в ситуации, когда оно не может пройти маршрут. Например, встретило препятствие, отклонилось от маршрута и застряло или потерялось в пространстве. В этом случае приходит тревожный

сигнал на планшетник и оператору ничего не остается, как идти вызволять чудо техники. Можно рассмотреть совсем уж невероятный случай — выход системы управления из строя, в этой ситуации пульт поможет вручную отвести робота в бокс для ремонта. Дело в том, что приёмник пульта системы дистанционного управления подключен непосредственно к регуляторам двигателей, обеспечивающих движение и повороты. И если самый сложный компонент системы видео вождения выйдет из строя, то радиоуправление позволит управлять роботом, минуя неисправную часть.



Третий, наиболее привлекательный интерфейс, установленный на роботе — это фара с цветной подсветкой. Благодаря ей оператор или просто человек осведомлённый может увидеть и понять состояние робота. Если фара зеленая — все нормально, робот на маршруте и трудится, если она начала синеть, значит, аккумуляторные батареи подмёрзли и, возможно, пора ему возвращаться в бокс на зарядку и обогрев. И ещё множество различных вариантов, о которых тщательно написано в инструкции по эксплуатации транспортного робота «SRX 1».

Стоит остановиться на вопросе эксплуатации железо-фосфатных аккумуляторных батарей в зимнее время. Как и подавляющее большинство аккумуляторов других систем, они не любят работу при низких температурах. При охлаждении до минус 20 градусов эти аккумуляторы сохраняют немногим более половины начальной ёмкости. В конструкции кузова заложены теплоизоляторы, препятствующие охлаждению аккумуляторных батарей в процессе эксплуатации на морозе. Но, как ни крути, мороз рано или поздно проберётся и через них, поэтому время эксплуатации зимой может быть уменьшено, ввиду потери ёмкости замерзшими аккумуляторами.



В этих условиях хорошо бы давать возможность нагреться батареям до нормальных плюсовых температур. Это можно сделать, увеличив время зарядки, ведь в ее процессе включаются нагреватели, подогревающие батареи в зимнее время, или производя зарядку в теплом помещении.

В условиях плюсовых температур, при пробеге порядка 25 км, требуется пара часов зарядки. В зимних условиях время зарядки может быть увеличено в два-три раза.

Ресурс работы колёсного робота с использованием электрической тяги в первую очередь ограничивается количеством циклов заряда/разряда аккумуляторных батарей и теми условиями, в которых они производятся. Работа в отрицательном диапазоне рабочих температур ускоряет деградацию аккумулятора. Не смотря на это, их ресурса достаточно для двухгодичной эксплуатации в режиме двух зарядок в сутки. Ресурс элементов конструкции шасси и электронных блоков заметно превышает ресурс аккумуляторных батарей и это позволяет гарантировать общий ресурс работы изделия - два года, без капитального ремонта, в режиме эксплуатации 14 часов в день или 30 тыс. км. пробега. Однако, не следует забывать, что транспортный робот, как и любое механическое устройство, требует регулярных работ по обслуживанию с периодом раз в квартал. Эти работы могут проводиться как сотрудниками специализированной сервисной компании, так и специалистами, прошедшими обучение на сертифицированных курсах проводимых «Сервис Центром» нашей компании.

Внедорожный робот «SRX 3»

«SRX 3» — беспилотное транспортное средство повышенной проходимости. Предназначено для перемещения полезной нагрузки весом до 100 кг по грунтовым дорогам, пересечённой луговой и степной местности, расчищенным лесным просекам и тропинкам. По проходимости не уступает полноприводному бензиновому квадроциклу с объёмом двигателя 350–400 см³.

Проезд по маршруту осуществляется в полностью автономном режиме, без участия оператора.

Маршрут движения робота может быть задан по карте или посредством тестового проезда. Во втором случае, первоначальный, тестовый проезд под управлением оператора позволяет сразу получить оптимальный маршрут и в дальнейшем практически не менять его, за исключением случаев возникновения непреодолимых препятствий. При автоматической прокладке первичного маршрута его оптимальность может быть достигнута лишь при

многократных проездах, с возможностью некоторого отклонения от первоначально заданного пути следования, в случае повышенных затрат энергии на участке движения.



Внедорожный робот «SRX 3»

Система автоматического управления движением обрабатывает данные от трех подсистем: приёмника спутниковой навигационной системы, датчика курсового угла по изображению курсовой камеры, блока инерциальной навигационной системы, в комплексе с механическими одометрами, смонтированными на оси каждого из колес. Комплексирование данных от выше перечисленных систем, имеющих разную физическую природу получения информации, обеспечивает надежное определение местоположения, и как следствие, выбор истинного пути перемещения. Особенностью такого подхода является его высокая надёжность в условиях неустойчивого приёма сигналов от глобальной навигационной системы (например, при перемещении в лесу), — движение будет продолжено по показаниям видеосистемы. Для объезда препятствий используется блок стереокамер, который позволяет вычислить расстояние до них и определить размер.

Конструкция колёсного робота выполнена на несущей пространственной раме. На ней смонтированы узлы и агрегаты. Для защиты от влаги и грязи конструкция защищена стеклопластиковым коконом. Крылья выполнены из листового ударопрочного пластика, обеспечивающего их не разрушение, в случае касательных столкновений с препятствиями (например, зацепление дерева при объезде).

Подвижность робота обеспечивают два высокомоментных вентильных электромотора. Моторы включены в трансмиссию отдельно для передней и для задней оси. Момент вращения на каждое колесо передается через привод, состоящий из двух шарниров равных угловых скоростей и вала. Независимая подвеска обеспечивает надёжный контакт с поверхностью и, тем самым, повышает проходимость колёсного робота. Кроме этого, снижает воздействие неровностей при их преодолении, обеспечивая плавность хода, необходимую для надёжной работы системы видеовождения.



Шасси колёсного робота

Движение осуществляется при постоянно подключенном заднем приводе, причём в его конструкции дифференциал не используется. На труднопроходимых участках маршрута движения включается мотор переднего привода и подключается редуктор передней оси. Он обеспечивает тяговое усилие в случае пробуксовки колёс задней оси и в тоже время, при их надёжном сцеплении с грунтом, не приводит к увеличению сопротивления движению в повороте.

С целью повышения маневренности робота при малой ширине колеи и как следствие ограниченных углах поворотах ШРУСов, обе оси выполнены поворотными. Их вращение осуществляется независимыми приводами. Передняя ось обеспечивает поворот при всех требуемых углах, задняя подключается при углах свыше 18 градусов.

Для уменьшения давления на грунт и облегчения преодоления колеиности используются шины низкого давления разработанные для утилитарных квадроциклов. Сочетание вышеперечисленных инженерных решений позволяет достичь высоких внедорожных качеств при малых энергетических затратах.

Энергетическая установка робота построена по гибридной схеме, состоит из блока железо-фосфатных аккумуляторных батарей и бензинового генератора. Движение осуществляется от электрической энергии, запасённой в аккумуляторных батареях, при их истощении, в случае длительного движения или преодоления энергетически затратного препятствия (например: затяжного подъёма или заболоченного участка), включается бензиновый генератор и заряжает аккумуляторы.

Выбор гибридной энергетической системы позволяет не резервировать избыточные мощности мотора для преодоления сложных участков, как в случае привода от бензинового двигателя. В тоже время, не требует аккумуляторных батарей большой ёмкости для преодоления редких, но крайне энергозатратных сложных участков маршрута движения, ввиду того, что затраченная энергия может быть быстро восстановлена от бензинового генератора. Правильно подобранный баланс мощностей и высокие зарядные токи железо-фосфатных аккумуляторных батарей позволяют осуществлять 60% зарядку в течение часа. Электрическая мощность бензинового генератора может быть использована для питания транспортируемого оборудования, ёмкость бензобака обеспечивает его непрерывную работу в течение 8 часов.

Запас хода колёсного робота определяется физическими свойствами пути перемещения, погодными и климатическими условиями, даже уже на многократно

пройденном маршруте, в зависимости от названных причин, может отличаться в разы. Использование бензинового генератора для подзарядки аккумуляторных батарей, позволяет нивелировать эту существенную разницу, и избежать риска остаться с разряженными аккумуляторными батареями, не завершив маршрут. При этом, масса перемещаемого резервного топлива незначительна по отношению к полной массе робота.

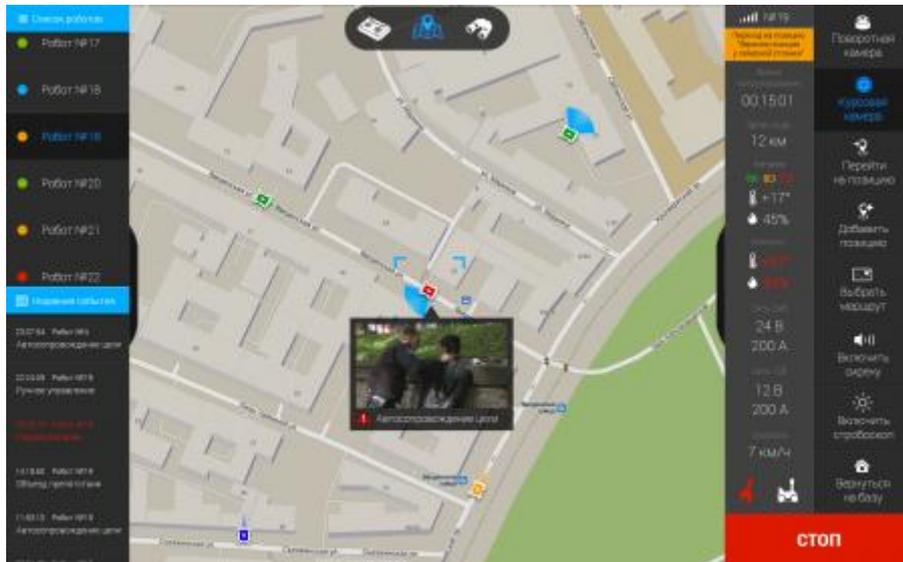
Немаловажным преимуществом применяемого электрического хода является его фактическая бесшумность, а использование малошумного бензинового мотора «Хонда» делает работу робота комфортной для окружающих, и в режиме зарядки аккумуляторных батарей и питания полезной нагрузки.

Транспортировка полезной нагрузки может осуществляться двумя способами. Посредством размещения на борту робота, её вес ограничен 100 кг, или в буксируемом колёсном прицепе, в этом случае её вес может быть увеличен вдвое.

Мультиагентное программное обеспечение с элементами искусственного интеллекта

В комплект поставки колёсных роботов «SRX» включен планшетный компьютер с предустановленным ПО оператора мобильного робота. ПО обеспечивает отображение карты местности с указанием местоположения мобильного робота на ней, отображает действия, выполняемые роботом и состояние его систем: заряд батарей, потенциал канала связи, температуру, запас хода. ПО имеет интуитивно понятный интерфейс и не требует специальных знаний и навыков от пользователя. В случае необходимости, в интерфейс приложения могут быть добавлены экраны управления режимами работы транспортируемой аппаратуры. В частности, для охранного робота в интерфейсе оператора предусмотрены дополнительные экраны онлайн видеонаблюдения и работы с видеоархивом. При совместном использовании колёсного робота и квадрокоптера предусмотрен экран интерфейса управления взлётом и посадкой БПЛА.

Для решения задач, связанных с работами на обширных территориях и подразумевающих использование большого количества роботов, создано и продолжает совершенствоваться специальное программное обеспечение с элементами искусственного интеллекта. Задачи управления большими группами роботов (интеллектуальными агентами) весьма сложны и, как правило, не имеют законченного алгоритмического решения, ввиду неполных знаний об окружающей среде, её нестационарности, наличия непрогнозируемых событий, приводящих к выходу из строя отдельных роботов и иных трудно формализуемых факторах практического взаимодействия группы роботов с реальной окружающей средой.

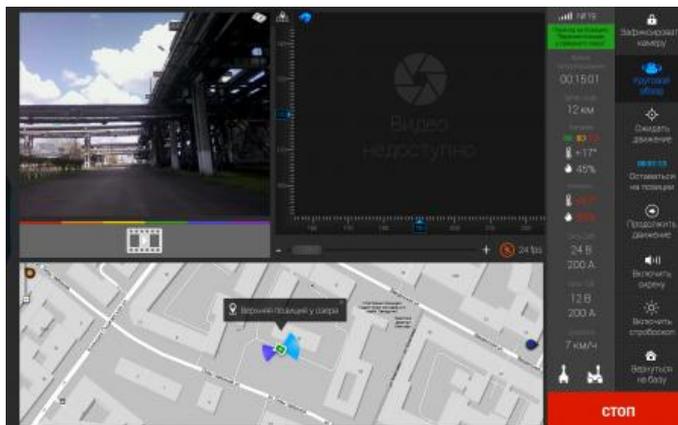


Главный экран программы «Robot Vision»

В тоже время, решение задач управления группировкой роботов позволяет наиболее полно раскрыть возможности роботизированных мобильных систем и получить максимальную эффективность от их использования.

Пакет программ «Patrol MAS» (Multi-agent system) предназначен для организации взаимодействия в группе мобильных роботов, для решения сложных задач в недетерминированной динамической среде. Подход, определяющий успешное решение этого нетривиального класса задач, опирается на три составляющие.

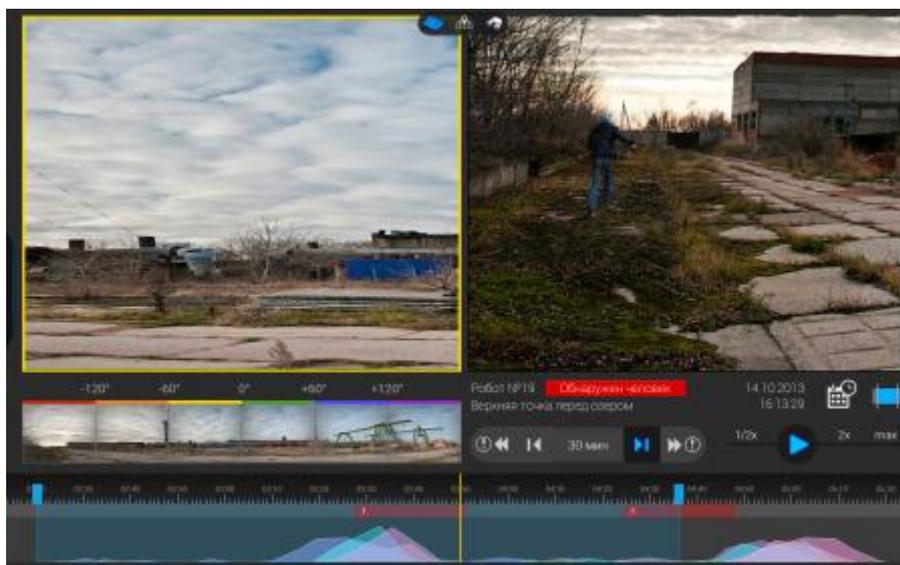
Первое, — количество роботов на единицу площади должно быть достаточным, а возможно и избыточным для решения как прямой задачи, так и вспомогательных, например, большая часть роботов обеспечивает транспортировку грузов, а небольшая часть обеспечивает разведку новых оптимальных путей транспортировки.



Экран просмотра онлайн видео программы «Robot Vision»

Второе, — обеспечение непрерывного канала связи как между соседними роботами, так и между любым из роботов группировки в целом. Свободное циркулирование информации необходимо для её непрерывного обновления, доступа всех роботов к успешным стратегиям решения локальных задач, динамического перераспределения локальных целей и задач. Обмен информацией между агентами подразумевает её оптимальную структурированность и формализованность, как по отношению к состоянию робота, так и по отношению к окружающей среде. Непрерывный обмен информацией между интеллектуальными агентами позволяет говорить о группировке роботов как о едином целом сверхорганизме.

Третье, — динамическое определение специализированных подзадач для каждого из роботов в целях успешного решения задачи для группы роботов в целом. Например, робот, транспортирующий полезную нагрузку, стал единственным звеном передачи информации для робота, выполняющего задачу разведчика (scout), в этом случае робот транспортирующий должен отложить свою задачу транспортировки, несмотря на то, что она первоочередная для группировки в целом, но при этом обеспечить канал связи для выполнения разведывательной задачи. Рекомбинация целей возможна при двух условиях, избыточности интеллектуальных агентов и их универсальности.



Экран просмотра архива программы «Robot Vision»

Вычислительные и сенсорные возможности интеллектуальных агентов-роботов не позволяют обрабатывать информацию об окружающей среде в целом, поэтому каждый из роботов вынужден довольствоваться фрагментом знаний. Однако, при этом группировка роботов в целом обладает всей полнотой достоверной информации об окружающей среде и роботах как её неотъемлемых компонентах. Задачи, которые может решать группировка роботов, обладающая таким роевым интеллектом (swarm intelligence) многократно превосходят возможности отдельных роботов, помноженных на их количество, — это прекрасная демонстрация случая, когда количество рождает новое качество.

Моделирование движущих систем наземных мобильных роботов

Одним из эффективных способов противодействия террору, является разработка наземных МР, предназначенных для выявления и ликвидации взрывоопасных устройств (ВУ), направленных на уничтожение гражданского населения, а также на разрушение объектов. Классификация, состав и функциональные возможности таких роботов подробно описаны в [1, 2]. Любой наземный МР специального назначения может быть представлен в виде совокупности трех больших систем: транспортной, рабочей и системы управления.

Транспортная система предназначена для доставки рабочего оборудования к месту проведения операции и играет решающую роль в возможности функционирования МР в недетерминированных (неорганизованных) средах (природные среды и среды, создаваемые аварийными ситуациями как в природных условиях, так и при разрушении сред, созданных человеком). Рассмотрим метод разработки и исследования движущих систем (ДС) транспортных средств (ТС) наземных МР, предложенный специалистами ОАО "Специальное конструкторское бюро приборостроения и автоматики" (ОАО "СКБ ПА", г. Ковров) при содействии специалистов из НИИ СМ МГТУ им. Н.Э. Баумана (г. Москва) и ЦСТ ФСБ России.

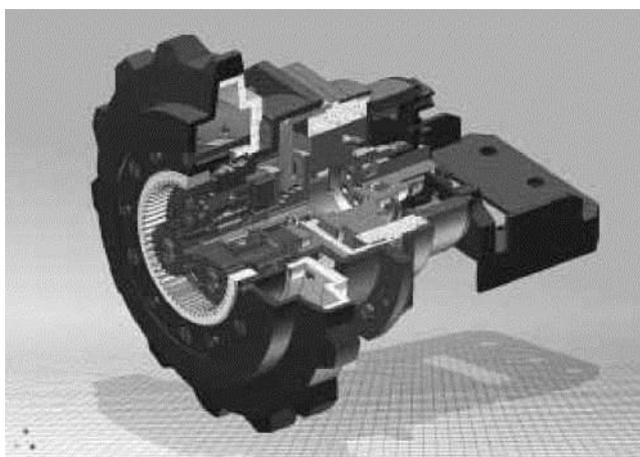
Понятие ДС включает совокупность двигательных, передаточных и исполнительных

устройств, взаимодействующих друг с другом с целью обеспечения требуемых тяговых, разгонных и скоростных характеристик, а также показателей опорной и профильной проходимости ТС. Создание ДС является весьма трудоемкой задачей, требующей от разработчика анализа среды функционирования МР, предъявляемых к ТС требований, определения нагрузок действующих на элементы ДС, выбора компоновочной схемы ДС, выбора параметров элементов ДС и т.п.

Существующие методы проектирования и исследования ДС наземных ТС общего назначения в большинстве случаев базируются на упрощенных аналитических зависимостях, полученных путем рассмотрения плоских моделей равновесного движения ТС (при оценке и исследовании тягово-динамических свойств машины), упрощения схем взаимодействия движителей с грунтом (при определении показателей опорной проходимости машины), исключения нелинейностей, связанных с отрывом элементов движителей от опорной поверхности (при исследовании профильной проходимости и динамической устойчивости).



Упрощенная структурная схема синтеза математического и имитационного моделирования



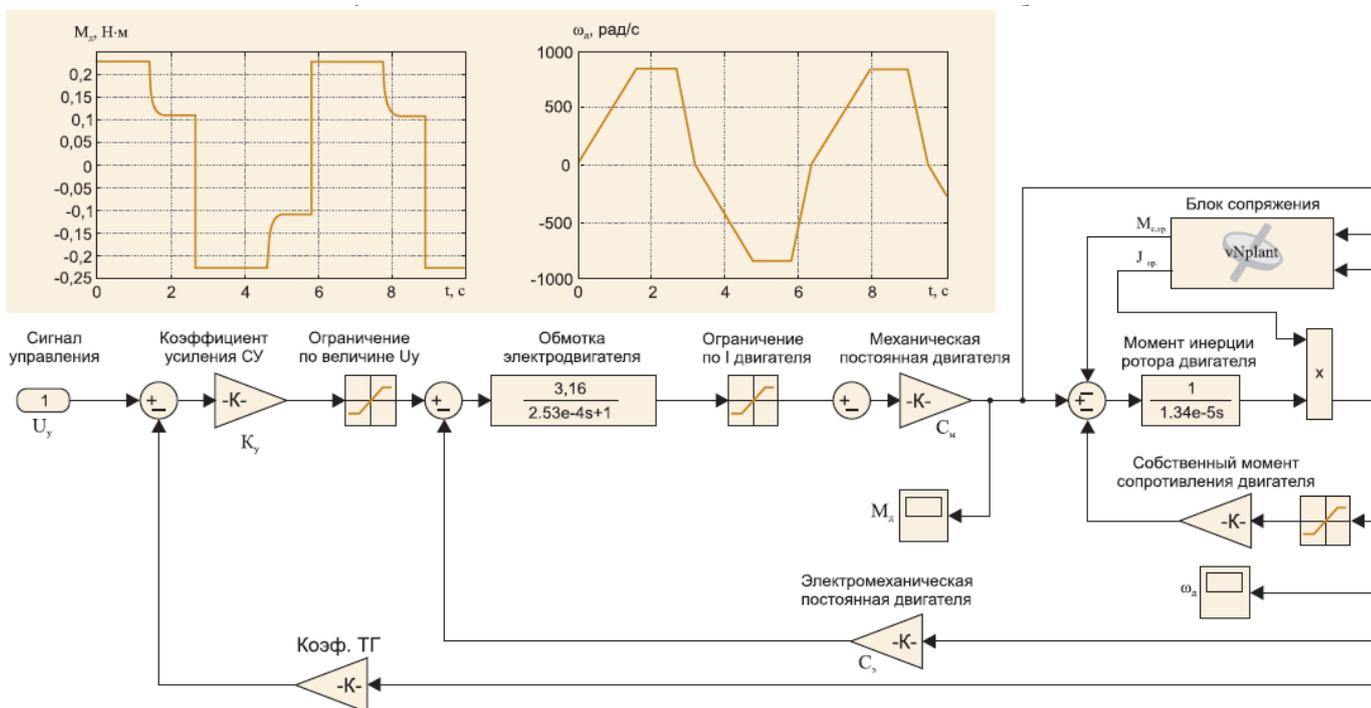
Трехмерная модель мотор-звездочки движущей системы в среде Autodesk Inventor Series

10

Существующие методы проектирования и исследования ДС наземных ТС общего назначения в большинстве случаев базируются на упрощенных аналитических зависимостях, полученных путем рассмотрения плоских моделей равновесного движения ТС (при оценке и исследовании тягово-динамических свойств машины), упрощения схем взаимодействия движителей с грунтом (при определении показателей опорной проходимости машины), исключения нелинейностей, связанных с отрывом элементов движителей от опорной поверхности (при исследовании профильной проходимости и динамической устойчивости машины) и т.п. Основные недостатки таких методов заключаются в необходимости выполнения большого объема вычислительных работ без использования ЭВМ, разрозненности проводимых расчетов и неточности получаемых результатов, трудности исследования взаимного влияния параметров ДС, МР и среды его функционирования на

характеристики и показатели проходимости ТС.

С целью исключения перечисленных недостатков предлагается при разработке и исследовании ДС опираться на синтез математического и имитационного моделирования. Данный подход объединяет в едином информационном пространстве связанные расчетные программы и имитационные модели, описывающие движение МР в реальных условиях работы. Упрощенная структурная схема синтеза приведена на рисунке.



Упрощенная модель тягового двигателя мотор-звездочки с блоком сопряжения

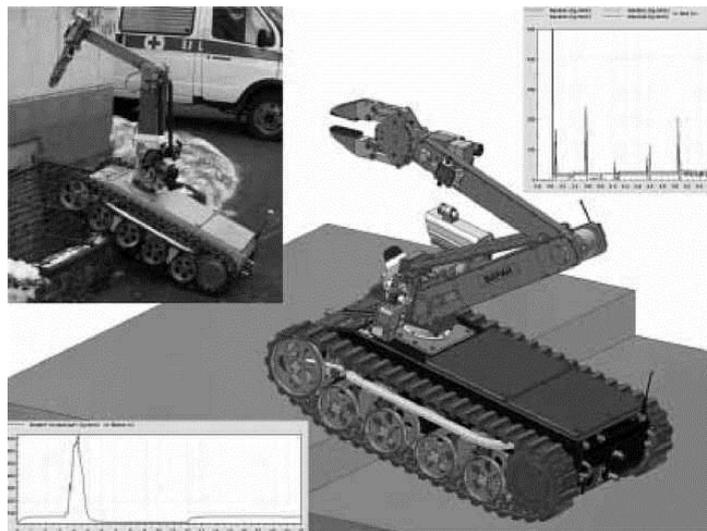
Надежность работы узлов и механизмов ДС при воздействии на них внутренних (обусловленных развиваемыми и передаваемыми моментными усилиями в приводах и элементах ДС) и внешних нагрузок (обусловленных взаимодействием движителя ТС с опорной поверхностью) в процессе движения и маневрирования МР проверяется путем проведения соответствующих прочностных расчетов в среде имитационного моделирования (например, MSC.visualNastran 4D).

Одним из существенных достоинств предложенного метода разработки и исследования ДС ТС наземных МР является возможность распределения задач разработки требуемых для синтеза моделей среди специалистов предприятия, что позволяет существенно сократить время расчетно-проектировочных работ при создании ДС ТС.

Таким образом, основываясь на синтезе математического и имитационного моделирования, можно с минимальными временными и материальными затратами проводить объемный анализ характеристик и показателей ТС с целью оптимизации параметров его ДС и обеспечения надежности его работы в реальных условиях

эксплуатации.

Авторы статьи благодарят "Русскую Промышленную Компанию" (www.cad.ru) за предоставленную для тестирования Autodesk Inventor Series 10.



Преодоление МР порогового препятствия в имитационной модели

Алгоритм проведения расчетных и исследовательских работ при создании ДС наземных МР с использованием синтеза математического и имитационного моделирования представлен на рис.

От блоков формирования команд управления поступают управляющие воздействия на тяговые двигатели ДС. Развиваемые двигателями моментные усилия и угловые скорости посредством блоков сопряжения передаются в среду имитационного моделирования (например, MSC.visualNastran 4D) где приводят в движение элементы трансмиссии, распределительные устройства и движитель ДС, конструктивно объединенные с моделью МР.

При моделировании движения МР учитываются его геометрические и конструктивные параметры (положение центра масс, массогабаритные характеристики, клиренс ТС и т.п.), характер взаимодействия его движителя с опорной поверхностью (отрыв от опорной поверхности, сцепление, скольжение, буксование, ударное воздействие и т.п.), а также его управляемость и поворачиваемость.

Нагрузки, действующие на исполнительные узлы ДС в среде имитационного моделирования, и сигналы обратной связи с датчиков, установленных на МР, поступают (посредством блоков сопряжения) на тяговые двигатели и блоки формирования команд управления ДС ТС. Знание нагрузок позволяет определять энергозатраты (влияющие на длительность непрерывной работы МР от автономных источников питания) и показатели эффективности работы ДС (характеризующие механические потери в ДС) при движении и маневрировании.

Форма отчетности:

Отчет должен содержать:

9. Цель работы.
10. Задание.
11. Поэтапное выполнение задания.
12. Заключение.

Основная литература

[3]

Дополнительная литература

[5,6]

Практическое занятие №4.

Тема: Захватные устройства роботов и манипуляторов

Цель работы: Изучить захватные устройства роботов и манипуляторов.

Одной из главных составных частей исполнительного устройства является рабочий орган манипулятора. В качестве рабочего органа применяются инструменты и автоматические захватные устройства. К рабочим инструментам относятся: окрасочный пистолет, шлифовальные и затирочные машины, сварочные клещи, сборочный инструмент, устройство для набрызга бетона, клинья, сверлильные машины и другие инструменты с которыми манипулятор производит различные строительные операции. Наиболее часто используют в качестве рабочего органа грузозахватные устройства (рис. 2.9). Они различны по конструкции, приводу, способу работы. Многообразие захватных устройств определяется различными технологическими операциями. Строительные изделия отличаются между собой по прочности, массе, габаритам, конфигурации, шероховатости поверхности и др. Монтируемые предметы изготавливаются из разных строительных материалов. Один и тот же манипулятор может выполнять различные операции. Поэтому часто для каждой модели мани- м\ штора создается множество различных захватов, которые при необходимости легко и быстро заменяются.

Но способу удержания груза захватные устройства подразделяются •и поддерживающие, зажимные, притягивающие (контактные) и зачерпывающие для сыпучих грузов.

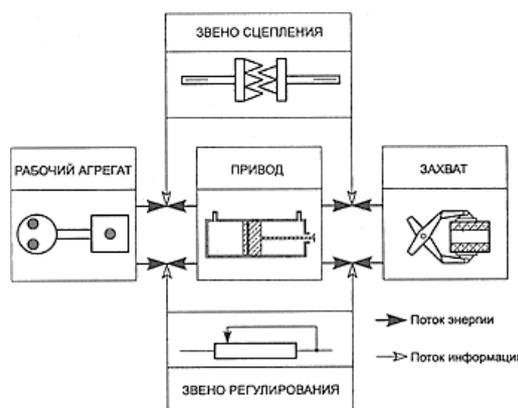


Схема построения грузозахватного устройства

В поддерживающих захватах груз опирается на его элементы и поддерживается ими. В процессе соединения захватного устройства с грузом последний прижимается его элементами (лапами, вилами, штырями и т.д.) или закрепляется крюками, скобами и петлями.

Наибольшее применение получили рычажно-клещевые, рычажно-фрикционные, эксцентриковые, клиновые (цанговые), а также комбинированные захватные устройства, сочетающие в себе элементы различных типов.

В захватных устройствах применяют пружинные пальцы с закрепленными на них сменными накладками. Закрепление груза осуществляется за счет упругости пружин, а раскрепление - пневмо- или гидроприводом. Гибкие мягкие надувные пальцы с эластичной оболочкой при подаче в них воздуха изгибаются в соответствии с конфигурацией поверхности захватываемого груза.

В притягивающих (контактных) захватах груз удерживается за счёт электромагнитного или вакуумного взаимодействия между ними. Электромагнитные захваты

используются только в работе с магнитными материалами. Вакуумные захваты имеют возможность быстрого взятия и освобождения от перегружаемых изделий.

Кинематические схемы механических захватных устройств манипуляторов могут быть самые разнообразные. Выбор конструкции зажимного механизма определяется рядом факторов: параметрами и свойствами груза, характером операций с грузом, точностью ориентирования и позиционирования, скоростью и радиусом манипулирования, необходимым ходом захвата.

Для получения информации о правильной установке грузов, скорости V и их перемещения, об усилии сжатия груза, о положении устройств относительно груза находят применение сенсорные датчики, устанавливаемые на захватных органах.

Для увеличения срока службы захватных устройств, предназначенных для подъемно-транспортных работ в условиях интенсивного износа, губки пальцев изготавливают из быстроремных пластин.

Вакуумные грузозахватные устройства применяются преимущественно при работе с ровными поверхностями для устранения подсосом воздуха под присоску. Эти захваты отличает простота конструкции и небольшая масса. Одним из основных элементов вакуумного захвата является резиновая или пластмассовая чашка-присоска.

Откачивание воздуха из-под присоски производится воздушным насосом или с помощью эжектора.

Многообразие захватных устройств позволяет создать манипуляторы со специализированными рабочими органами, максимально отвечающие требованиям эксплуатации и способствующие повышению производительности, качества выполнения строительных работ, удобства монтажа и обслуживания.

В связи с тенденцией к универсальности манипуляторов, модульности агрегатности и быстроте переналадки особое внимание уделяется развитию захватных устройств.

При создании захватных устройств строительных манипуляторов учитывается, что они работают в самых разнообразных условиях, применяются на нескольких операциях и взаимодействуют с различными объемами манипулирования, которые могут быть единичными, в пакетах, в контейнерах, таре и т.д. Монтируемые строительные конструкции и изделия могут быть изготовлены из железобетона, различных металлов, стекла, пластмасс и т.д. К ним относятся: пространственные фермы, железобетонные плиты и блоки, фосфогипсовые объемные готовые элементы зданий, колонны, технологическое оборудование, трубопроводы, стальные и асбестоцементные листы, мелкоштучные строительные изделия (кирпич и т.д.), стеклоблоки, утеплитель и др.

При проектировании манипуляторов для монтажа строительных конструкций необходимо учитывать внешние воздействия и условия их работы, а также формы, размеры и массу строительных конструкций. Эти факторы определяют конструкцию захватного устройства манипулятора и необходимые значения усилий на захвате, вид привода и систему регулирования, скорость перемещения захвата с учетом влияния инерционных сил, ветровых нагрузок и точность позиционирования.

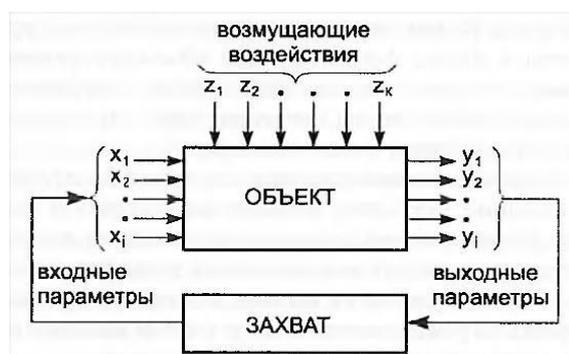
Грузозахватное средство манипулятора позволяет перемещать строительную конструкцию без ее крепления к захвату с помощью строп.

В общем случае грузозахватное устройство включает в себя следующие основные функциональные элементы: непосредственно захват как инструмент; привод и устройство для передачи усилий; соединительные звенья. Подводимая разного рода энергия преобразуется в механическую энергию. С помощью регулирующих звеньев можно изменять усилия и движение захвата. Сенсоры служат для локализации местонахождения и

обнаружения объекта при его захвате с целью перемещения. К захватам при производстве СМР предъявляются следующие основные требования: надежность при захвате и удержании объекта манипулирования, стабильность положения объекта и исключение его повреждения, высокая точность позиционирования объекта схвата, высокая скорость при смене за- ч патов и изменяемость усилий схвата в зависимости от массы объектов (адаптивность).

Адаптивным захватом является устройство, у которого в момент схвата изделия автоматически изменяются конструктивные параметры, обеспечивающие надежность работы захвата при изменении внешних возмущающих воздействий в объекте схвата, то есть без вмешательств извне происходит адаптация схвата с объектом (рис. 2.10). Процесс можно представить в виде многомерной модели. Различные воздействия, оказывающие влияние на схват, могут быть разделены на следующие группы

- X_1, X_2, \dots, X_i - входные параметры (изменение массы, геометрических размеров объектов схвата, которые могут меняться за счет внешних помех);
- Y_1, Y_2, \dots, Y_i - выходные параметры (усилие и ширина схвата, затрачиваемая энергия);
- Z_1, Z_2, \dots, Z_i - возмущающее воздействие (например, изменяющиеся свойства поверхности).



Модель структуры «Захват – Объект»

Между X , Y , Z имеются различные связи. Изменение одного входного параметра, превышающее определенное пороговое значение, обуславливает изменение одного или нескольких выходных параметров.

Для примера произведем расчет адаптивного вакуумного захвата, у которого захват и удержание объекта осуществляется за счёт создания разрежения между рабочим элементом и его поверхностью (эффект присоса).

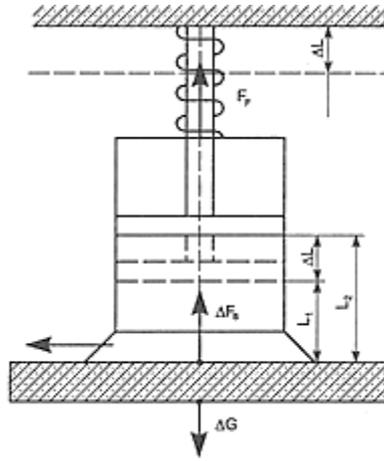
Адаптивная часть схвата начинает работу при условии, если масса объекта схвата увеличивается на ΔG . При подъеме схвата пружина растягивается на величину Δl . До этого времени положение вакуумной камеры остается неизменным. Поршень перемещается соответственно удлинению пружины на величину $\Delta l = l_2 - l_1$. Вакуум повышается как в цилиндре, так и в вакуумной камере. При этом сила всасывания увеличивается на ΔF_s :

$$\Delta F_s = K_i \cdot S(P_2 - P_1),$$

где S - площадь вакуумной камеры;

P_1, P_2 - разрежение при всасывании воздуха в цилиндре до и после увеличения массы;

K_i ; - коэффициент пропорциональности, определяющий повышение массы груза в зависимости от i - го фактора.



Конструктивная схема вакуумного захвата

Для удержания груза, который увеличился за счет внешних воздействий, должно выполняться следующее условие:

$$\Delta F_s + F_F \geq \Delta G$$

Сила пружины определяется:

$$F_F = \lambda \Delta l,$$

где λ - модуль упругости пружины.

С учетом силы всасывания из уравнений (2.5 и 2.7) получим выражение:

$$K_1 S (P_2 - P_1) + \lambda \Delta l \geq \Delta G$$

При постоянной температуре окружающей среды выполняется ос- ионной закон термодинамики:

$$P_1 V_1 = P_2 V_2$$

где V_1, V_2 - объемы поршневой полости цилиндра до и после увеличения массы.

При постоянном поперечном сечении цилиндра по всей его длине в этом уравнении объемы можно заменить величинами перемещения поршня:

$$P_1 l_1 = P_2 l_2$$

где l_1, l_2 ,- расстояние поршня от всасывающей поверхности вакуумной камеры до и после повышения массы объекта, причем:

$$l_2 = l_1 + \Delta l$$

После преобразования этого уравнения получаем:

$$P_1 l_1 = P_2 (l_1 + \Delta l)$$

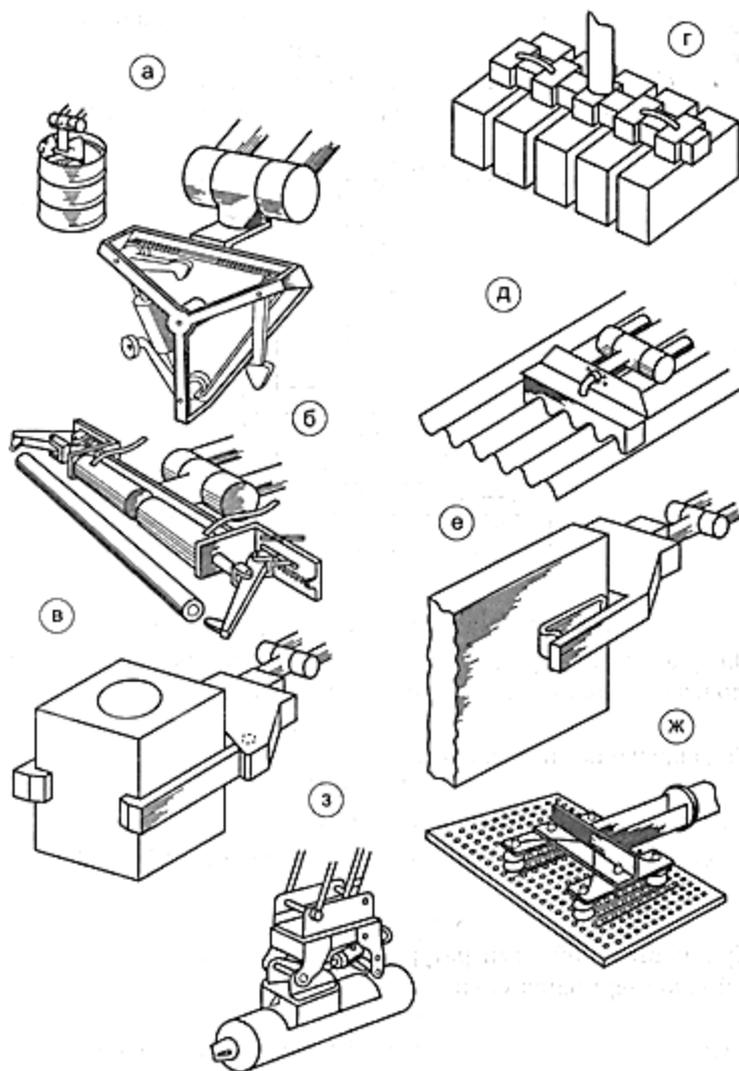
Откуда:

$$P_2 = P_1 l_1 / l_1 + \Delta l$$

Подставив эти выражения в уравнение (2.8), получим:

$$K_i S (P_1 l_1 / l_1 + \Delta l - P_1) + \lambda \Delta l \geq \Delta G$$

При заданных значениях $K_i, S, P_1, l_1, \lambda$, являющимися неизменными для каждого определенного схвата, неравенство (2.14) является функцией от ΔG до Δl . При заданном ΔG (область возможного изменения массы объекта) с учетом приведенных зависимостей рассчитывается значение Δl . Исходя из этого, можно задавать размеры схвата, например, размер поршня.



Модификация основных захватов строительных манипуляторов:

а - для изделий с цилиндрической внутренней поверхностью; б - для трубчатых деталей; в - для крупных прямоугольных изделий; г - вакуумный захват для кирпичей; д - вакуумный захват для рельефных листов; е - для плоских деталей; ж - магнитный захват для перфорированных стальных листов, з - магнитный захват для цилиндрических изделий

Манипуляторы оснащаются захватами различных конструкций в соответствии с видом перемещаемых изделий или инструментов. Конструктивно они выполняются в виде шарнирно - рычажных зажимов с жесткими и ни эластичными губками, вакуумных присосок, электромагнитов для позиционирования плоских элементов (рис. 2.12).

Форма отчетности:

Отчет должен содержать:

13. Цель работы.
14. Задание.
15. Поэтапное выполнение задания.
16. Заключение.

Основная литература

[3]

Дополнительная литература

[5,6]

Практическое занятие №5.

Тема: Пример роботизации процессов транспортирования грузов.

Цель работы: Изучить пример роботизации процессов транспортирования грузов.

С начала развития человеческой цивилизации задачи транспортировки грузов были наиболее востребованными. И если с грузами с весом от нескольких сотен килограмм человечество справилось, то для перевозки меньших грузов до сих пор не редко используются тачки и тележки, в лучшем случае, прицепы к мини тракторам или квадроциклам. Такое решение может и целесообразно, но только не в случае повторяющихся проездов или на расстояние в несколько километров. Например, вывоз скошенной травы, собранных листьев или мусора.

Специализированный транспортный робот (СТР-1) это легендарный и общеизвестный (по кадрам хроник ликвидации аварии) аппарат, принимавший активное участие в очистке крыши **ЧАЭС** от завалов высокоактивных элементов разрушенного реактора. Робот эксплуатировался при уровнях гамма-фона до 3000 Рентген в час. В некоторых местах (у основания вентиляционной трубы №2) уровни излучения доходили до 10000 Рентген в час.

Опыт применения роботов на ЧАЭС для таких условий показал возможность проведения дезактивации робототехническими средствами, что позволило снизить уровни фона на несколько порядков и уберечь от облучения около 1000 человек, которые надо было бы использовать для выполнения этой работы. СТР разрабатывался десятками научных институтов — ВНИИ АЭС, ИФТП, ВНИИ «Трансмаш», «Пролетарский завод», НПО «Источник», НПО «Электронмаш», ГОИ, НИИ телевидения, Киевским институтом автоматики и многими другими. Примечательно, что для создания концепции СТР были использованы наработки ВНИИ «Трансмаш» по самоходному шасси лунохода. Именно это позволило запустить робота на крышу **ЧАЭС** уже в конце августа 1986 года.



Специализированный транспортный робот дезактивирует крышу **ЧАЭС**

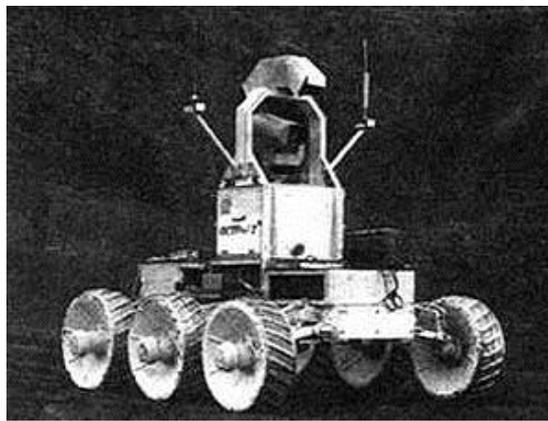
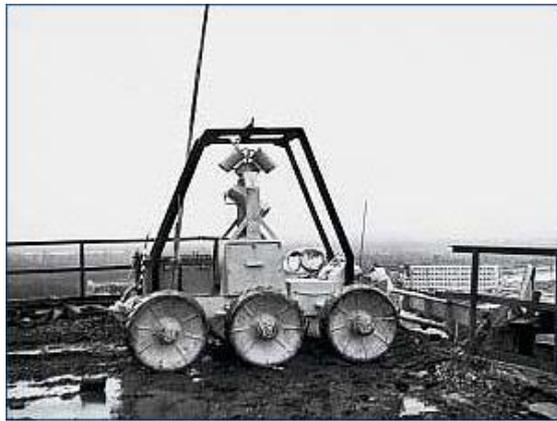


Фото: робот СТР-1 на кровле ЧАЭС (блок В)

СТР-1 разрабатывался коллективом инженеров под руководством Кемурджиана Александра Леоновича. Отметим, что коллектив возглавляемый Кемурджианом А. Л. являлся автором создания и эксплуатации на Луне самоходных шасси луноходов, по программе «Луноход-1», в 1970 году, и «Луноход-2» в 1973 году. Ими были созданы аппараты для исследования поверхности Луны, Марса и Венеры.

СТР-1 вобрал в себя принципиальные решения от лунохода. В частности для создания СТР использовали мотор-колеса имеющие индивидуальные приводы. В качестве источника питания использовались аккумуляторы, которые необходимо было специально подзаряжать от специальных устройств установленных на транспортной тележке. Опыт этой команды инженеров был крайне важен создания робота для Чернобыля. Непосредственная подготовка роботов к работе, наладка, регулировка систем проводилась непосредственно в г **Чернобыль**. Для этих целей использовали брошенные цеха Чернобыльской ремонтно-эксплуатационной базы флота.





Робот СТР-1 выполнявший работы на кровле ЧАЭС

В состав робототехнического комплекса входят:

- два специализированных транспортных робота (СТР), давших название всему комплексу,
- транспортная люлька с устройством автоматической стыковки бортовых источников питания с зарядно-разрядным устройством,
- зарядно-разрядное устройство (ЗРУ),
- пульты управления с приемо-передающим радиоканалом, приемным и видеоконтрольными устройствами телеизображения,
- технологическое оборудование для дезактивации ходовой части. Комплекс был создан за очень короткий срок усилиями десятков организаций и предприятий, полный перечень которых невозможен в коротком докладе. Основными участниками кооперации были три предприятия;
- ВНИИ АЭС, Москва (директор З.А. Аганбегян) - данные по архитектуре зданий третьего блока, условиям эксплуатации техники на его кровлях, разработка и изготовление рабочего органа - бульдозерного отвала с механизмом подъема-опускания;
- ИФТП, Москва (директор Л.Н. Лупичев) - разработка и создание телерадиокомплекса, организация работ на договорной основе;
- ВНИИТРАНСМАШ, Ленинград (директор П.П.Исаков) - общая идеология комплекса, создание и экспериментальная отработка СТР, транспортной люльки и технологического оборудования.

Большой вклад в создание комплекса внесли ленинградские предприятия “Пролетарский завод”, НПО “Источник”, НПО “Электронмаш”, ГОИ, НИИ телевидения и другие. Тяговые электродвигатели поставлял Псков, телекамеры - Новгород, ЗРУ - Днепропетровск. Специалисты Киевского института Автоматики участвовали в создании и отработке радиокомплекса. Широкая кооперация позволила создать весь комплекс, исключительно, на отечественной научно-производственной базе. При создании СТР был использован научно-технический задел, накопленный во ВНИИТРАНСМАШ в процессе проведения НИОКР по планетоходам.

О сроках создания можно судить по следующей хронологии событий:

- 12 мая 1986г. - участие первого заместителя директора ВНИИТРАНСМАШ Э.К. Потемкина и заместителя директора - главного конструктора А.Л. Кемурджиана в совещании представителей предприятий ВПК в Чернобыле, посвященном технической поддержке работ по ЛПА,
- июль 1986г. - завершение изготовления двух образцов самоходного шасси СТР, завершение стендовых и ходовых испытаний шасси, отправка СТР в Москву для проведения комплексных испытаний во ВНИИ АЭС с имитацией условий работы на кровлях,
- 8 августа - прибытие специалистов ВНИИТРАНСМАШ, ИФТП, ВНИИ АЭС и НПО “Источник” для практической работы и доставка в Чернобыль оборудования комплекса (руководитель 1-ой бригады эксплуатации СТР - П.С. Сологуб),

- 20 августа 1986г. - развертывание комплекса СТР на кровле центрального зала (ЦЗ) и в защищенных пультовых помещениях 3-его знерглоблока,

- 01 сентября - начало работы второй бригады эксплуатации СТР (руководитель бригады М.И. Маленков).

Несмотря на столь жесткие сроки, удалось реализовать следующие принципиальные подходы;

- проектирование самоходного шасси, в первую очередь, ходовой части и индивидуального электромеханического тягового привода, специально под условия эксплуатации СТР на кровлях □

- экспериментальная проверка новых технических решений в процессе стендовых испытаний узлов и ходовых испытаний СТР;

- снижение до минимума числа операций, в которых задействованы люди.

В конструкции СТР (Рис.1) можно выделить три составные части, которые обрабатывались автономно;

- самоходное шасси с приборами, блоками и устройствами, обеспечивающими движение,

- бортовой радиотелевизионный комплекс (РТК),

- рабочий орган.

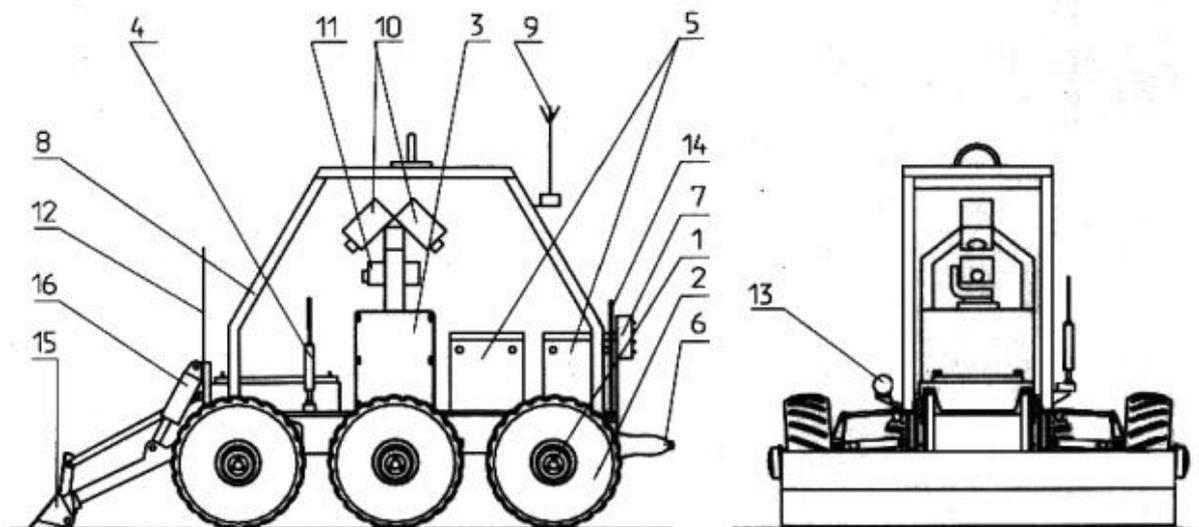


Рис.1

Технические решения по конструкции самоходного шасси выбирались исходя из требований высокой проходимости в завалах, автономности по энергопитанию, устойчивости при преодолении препятствий, надежности, высокой маневренности, возможности проводить дезактивацию ходовой части химическими растворами и механическими способами, стойкости выбранных материалов и комплектующих к радиоактивному излучению и дезактивации.

Как видно из этого перечисления, отдельные требования к самоходному шасси СТР и шасси планетоходов совпадали. Можно указать также на требования равноценности прямого хода и реверса, обеспечения заданного ресурса без периодического технического обслуживания и др.

В результате самоходное шасси представляет шести колесное транспортное средство с индивидуальными приводами колес и тормозами, независимой длинноходовой рычажной подвеской каждого колеса и продольным расположением упругих элементов – титановых торсионов. Колеса выполнены в виде герметичных жестких металлических торообразных оболочек с грунтозацепами различного рисунка для крайних и средних колес.

Автономность СШ обеспечивается применением двух серебряно-цинковых батарей. Отсутствие кабельных связей СТР со стационарным оборудованием по управлению и энергопитанию, возможность уверенного поворота робота “на месте”, с радиусом равным нулю - все это обеспечивало высокую маневренность СТР и существенно упрощало развертывание комплекса на кровле.

Электрические блоки СШ собраны на электромеханических элементах, невосприимчивых к радиации. Электронные блоки РТК размещены в специальном контейнере за свинцовой защитой. Обзорная и две курсовые телекамеры оснащены радиационно стойкими стеклами.

Основные технические характеристики мобильных роботов СТР-1 (Рис.1) приведены ниже.

Техническая характеристика и компоненты робота

Технические характеристики робота:

- Общий вес робота – 1100 килограмм,
- Скорость движения – до 1 км/час,
- Электропитание от аккумуляторов. СТР-1 оборудовался двумя серебряно-цинковыми батареями.

Конструкция робота содержит три основных компонента, которые, кстати, разрабатывались автономно друг от друга:

1. Радиотелевизионный комплекс. Разработан ИФТП и другими институтами;
2. Самоходное шасси (СШ) в совокупности со всеми приборами обеспечивающими движение робота. Разработано во ВНИИ «Трансмаш»;

Рабочий орган — бульдозерный отвал с механизмом подъема-опускания. Разработан ВНИИ АЭС.

Форма отчетности:

Отчет должен содержать:

17. Цель работы.
18. Задание.
19. Поэтапное выполнение задания.
20. Заключение.

Основная литература:

[3]

Дополнительная литература:

[5,6]

Практическое занятие №6.

Тема: Подбор оборудования технологических линий ЖБИ.

Цель работы: Изучить оборудование технологических линий ЖБИ, осуществить подбор оборудования для заданной технологической линии ЖБИ.

Индустриализация промышленного, гражданского и жилищного строительства привела к резкому увеличению объема монтажных работ, который продолжает расти из года в год. Монтаж современных зданий и сооружений представляет собой сложный комплексный процесс, включающий целый ряд операций: строповку, транспортировку, прием монтируемых элементов и конструкций на рабочем месте, их наведение на принятые

ориентиры, установку, временное закрепление, приведение в проектное положение, расстроповку и постоянное их закрепление. Особое внимание при монтажных работах уделяется точности установки конструкции и элементов в проектное положение, допустимые отклонения которых от проектного положения приведены (табл. 6.1).

В настоящее время при монтажных работах используются различного рода механизмы, краны и эффективная технологическая оснастка, внедряются новые методы и формы технологии и организации. Все шире начинают применяться средства автоматизации основных и вспомогательных операций. Однако, несмотря на это, пятая часть рабочих при монтаже зданий и сооружений выполняет трудоемкую ручную работу и около 40% — используют средства малой механизации [Н]. Больших затрат ручного труда требует проведение таких работ как выверка и установка конструкций в проектное положение, их закрепление, герметизация стыков, замоноличивание швов, перестановка оснастки, вспомогательного оборудования и др.

Допустимые отклонения установленных конструкций от проектного положения, мм

Осей:		
фундаментных блоков относительно разбивочных		±10
нижних граней стен и перегородок от установочных		± 4
Плоскостей стен и перегородок от вертикали		± 5
Отметок:		
верхних опорных поверхностей фундаментов от проектных		± 5
опорных поверхностей стен и перегородок в пределах выверяемого участка		16
двух смежных нижних поверхностей и перекрытий		4
верхних поверхностей двух смежных перекрытий		8

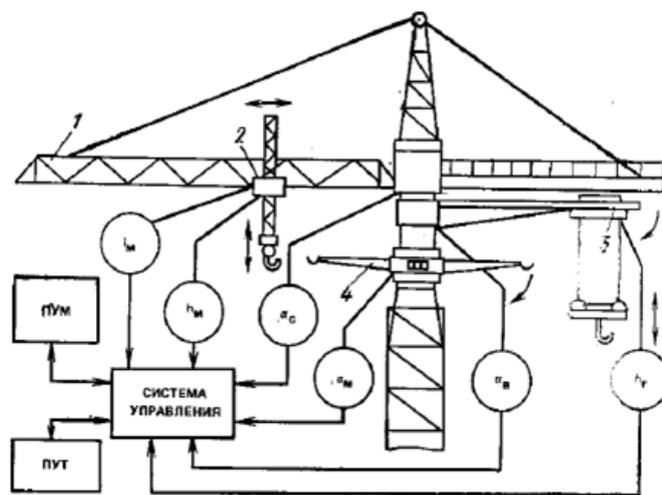
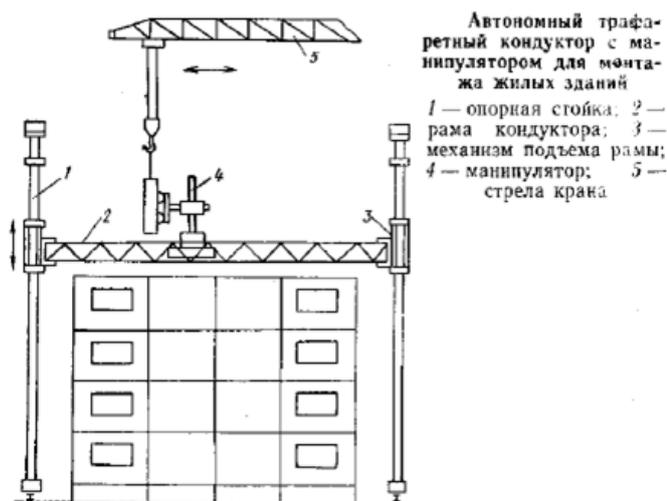
В результате несовершенства применяемого оборудования и оснастки трудоемкость монтажных операций остается очень высокой. Так, например, монтаж одной стеновой панели крупнопанельного жилого дома занимает в среднем до 15 мин [16]. Процесс монтажа строительных конструкций осложняется тем, что башенные краны при этом выполняют лишь подъемно-транспортные операции. Эффективность монтажа снижается за счет ограниченного обзора машинистом крана монтажного горизонта. В связи с этим окончательная выверка монтируемых конструкций в большинстве случаев производится монтажными ломками вручную. Решение задач комплексной механизации и автоматизации сдерживается из-за их сложности, обусловленной большими габаритом и массой монтируемых конструкций, их разнотипностью, необходимостью постоянного перемещения монтажных средств по фронту работ, большими размерами монтажных зон, влиянием ветровых и других климатических факторов.

Важнейшей задачей сегодняшнего дня становится повышение эффективности монтажа зданий и сооружений. В этом направлении ведутся большие работы и получены определенные результаты. Разработаны и внедрены в строительных организациях новые методы монтажа, проведены значительные работы по повышению монтажной технологичности сборных конструкций. На строительных площадках все шире начинают использоваться строительные краны с дистанционным управлением и повышенным уровнем автоматизации. Ведутся работы по созданию систем программного управления башенными кранами. Разработаны краны с телескопическими стрелами, выносными гидравлическими опорами и перемещающейся вдоль башни стрелой.

Большое внимание уделяется созданию и широкому внедрению полуавтоматических и грузозахватных устройств и траверс. В последние годы разработаны траверсы, обеспечивающие ориентацию монтируемых элементов в пространстве при гибкой системе подвеса, а также захватные устройства с дистанционной и полуавтоматической расстроповкой. Рядом организаций создаются специализированные кондукторы и монтажные машины для установки колонн, стеновых панелей и других строительных конструкций.

Накопленный опыт показывает, что успешное решение задач комплексной механизации и автоматизации монтажных работ требует разработки и внедрения методов принудительной установки и ориентирования монтируемых элементов в проектное положение, основанных на достижениях робототехники. Использование строительно-монтажных манипуляторов и роботов совместно с внедрением высокотехнологичных сборных элементов зданий и сооружений позволяет создать автоматизированные монтажные комплексы, исключая ручной труд при строповке, ориентировании, установке, фиксации и расстроповке монтируемых элементов.

Прототипом будущих монтажных РТК следует считать создаваемые в настоящее время различного вида автоматизируемые кондукторы и монтажные машины. Для автоматической выверки колонн многоэтажных промышленных и гражданских зданий разработан ряд кондукторов, многие из которых представляют собой манипуляционные механизмы, снабженные специальными захватами. Попытки автоматизации монтажа жилых зданий привели к разработке ряда кондукторов, с помощью которых выверяют и временно закрепляют стеновые панели. Такие устройства представляют собой металлоемкую пространственную конструкцию с установленными на ней захватами.



Монтажный кран с манипулятором
1 — основная стрела; 2 — манипулятор; 3 — вспомогательная стрела;
4 — поворотно-передаточное устройство

При роботизации монтажных операций полезным является опыт создания трафаретных кондукторов. Он состоит из двух вертикальных трубчатых стоек, по которым механизмами подъема перемещается кондукторная рама с помощью гидродомкратов. В раме устроены проемы для панелей и установлены рычажные механизмы с гидротолкателями для фиксации и ориентации панелей. Установка на раме кондуктора монтажного манипулятора, перемещающегося вдоль и поперек рамы, с телескопической штангой, оснащенной захватами, позволяет создать роботизированный комплекс для монтажа крупнопанельных жилых зданий. Однако громоздкость и высокая металлоемкость таких конструкций требует поиска новых принципов роботизации монтажных операций.

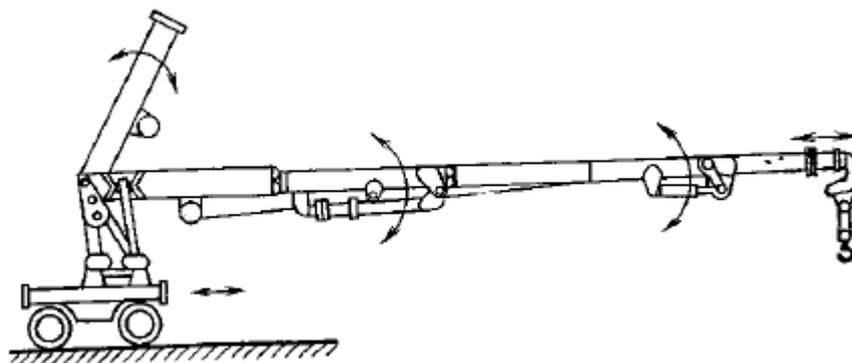
Трестом Ленинградстрой совместно с ЦПКБ треста Севзапмонтажавтоматика разработан усовершенствованный башенный кран-манипулятор М-223, грузоподъемностью 4,9 т не]. Такой кран предназначен для сборки крупнопанельных жилых домов методом замкового монтажа. Кран снабжен грузозахватной управляемой траверсой-манипулятором с пространственной подвеской, которая обеспечивает стабильность положения монтируемых элементов независимо от ветровых нагрузок и высокую точность их монтажа. Управление краном — программно-дистанционное. Все операции выполняются в автоматическом режиме или в режиме дистанционного управления монтажником-оператором. Пространственная подвеска манипулятора обеспечивает точную посадку панелей в замки, а поворотный управляемый манипулятор — подачу деталей в зону монтажа в нужном для установки положении.

Башенный кран новой конструкции, разработанный трестом Мосгорстрой, позволяет сократить в 1,5 раза продолжительность монтажа крупнопанельных зданий и повысить качество работ. Этот кран имеет две стрелы: основную с грузовой тележкой и установленным на ней манипулятором и вспомогательную неподвижную (подстрелку) с перемещающейся по ней кареткой (рис. 6.2). Кроме того, кран оборудован поворотным передаточным устройством, выполненным в виде кольцевой рамы с шестью парами кронштейнов для подвешивания к ним специальных траверс с элементами, которое выполняет функции магазинного устройства. Конструкция этого крана позволяет выполнять одновременно операции по подъему одних элементов и установке в проектное положение других. При такой конструкции крана элементы, поступившие на строительную площадку, разгружают с помощью вспомогательной стрелы и подают ее в магазинное устройство, где их навешивают на кронштейны. Необходимый для монтажа элемент манипулятор снимает с кронштейна магазинного устройства, транспортирует его вдоль основной стрелы к месту установки и ориентирует там в заданное положение. Монтажный кран с манипулятором управляется с выносных пультов управления, один из которых находится у монтажников, а другой — у такелажников. Для обеспечения автоматического или полуавтоматического режима работы на кране устанавливается группа датчиков положения, измеряющих линейные перемещения монтажного манипулятора /м, /гм, угловые перемещения основной и вспомогательной стрелы ас, ав, магазинного устройства ам и положение груза по высоте на крюке вспомогательной стрелы hg. Выходные сигналы датчиков подаются в систему управления краном, которая управляет работой механизмов в соответствии с заложенной программой и поступающими командами с пультов управления ПУМ и ПУТ. Недостатком такой схемы является высокая подвижность самого крана, поэтому точность монтажа не удовлетворяет предъявляемым требованиям.

Для автоматизации монтажных операций были предприняты попытки создать монтажный кран с автоматическим управлением и органами очувствления, которые позволяют устанавливать монтируемый элемент в зависимости от положения ранее установленной конструкции. Недостатком такой схемы является накопление погрешностей монтажа из-за погрешностей установки предыдущих элементов.

При монтажных работах находят применение краны-манипуляторы с шарнирно-рычажными телескопическими стрелами. Многозвенное телескопическое оборудование с вращательными парами и набором рабочих samozахватывающих органов дает возможность выполнять целый комплекс монтажных операций.

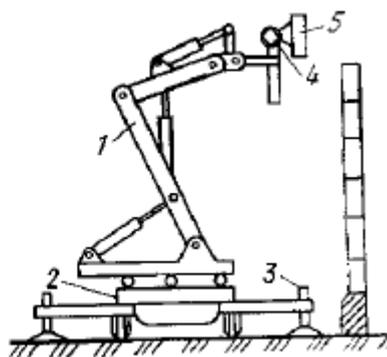
ВНИИКоммунмаш на базе пневмоколесных гидравлических экскаваторов создан тяжелый манипулятор модели М-3340 многоцелевого назначения. Его грузоподъемность более 1 т. Одним из перспективных направлений его использования являются строительно-монтажные работы при возведении промышленных объектов.



Кран-манипулятор с шарнирно-телескопической стрелой

Схема монтажа стен горизонтальной разрезки из ПАЭ с использованием манипулятора

1 — трехзвенный манипулятор; 2 — самоходное шасси; 3 — гидроопоры; 4 — рабочий орган; 5 — панель

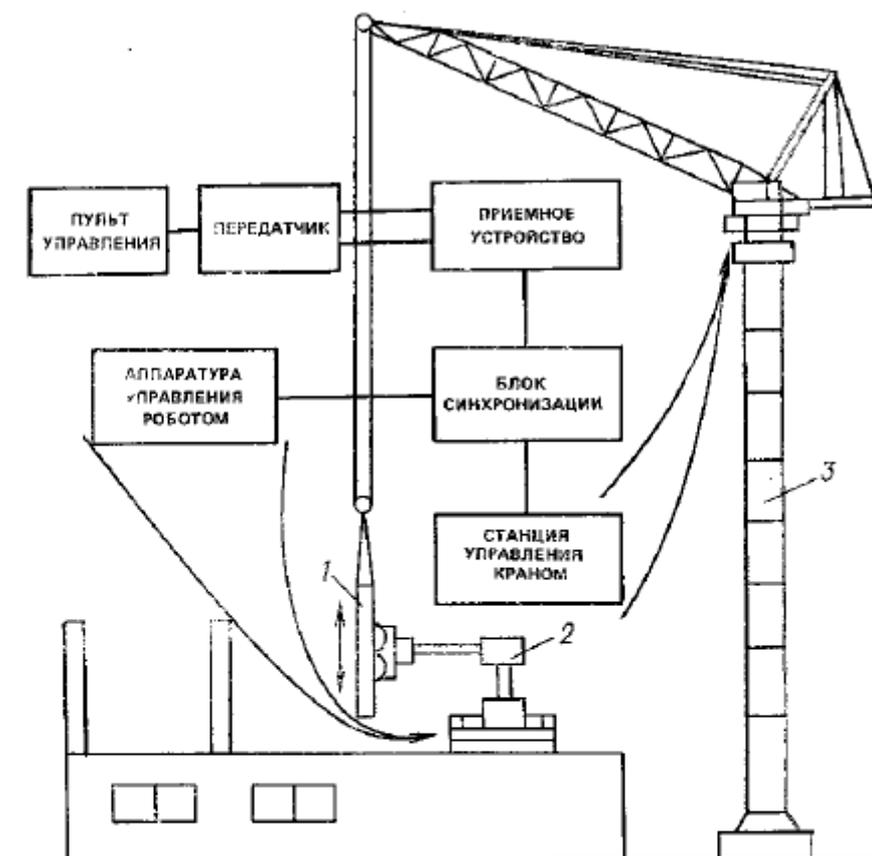


Для роботизации строительно-монтажных работ представляет интерес схема двухстадийной фиксации элементов, при которой строительные конструкции вначале подаются краном в расширенную зону допусков, а затем их выверяют путем самоустановки и самофиксации. Точность подачи элементов краном 26—50 мм. Однако такая схема монтажа требует повышенной точности изготовления монтируемых конструкций.

В последние годы ЦНИИОМТП, ВНИИСтройдормаш, МИСИ, БелНИИОУС совместно с рядом строительных организаций ведут работы по составлению исходных требований на манипуляторы для производства строительно-монтажных работ, созданию специализированных монтажных манипуляторов и РТК для монтажа жилых и промышленных зданий и сооружений. В частности, разрабатывается монтажный манипулятор на базе миншасси, манипулятор для монтажа фосфогипсовых плит и асбестоцементных экструзионных панелей (ПАЭ). В результате исследований в ЦНИИОМТП были разработаны технические требования на создание мобильного манипулятора для монтажа ПАЭ. Для монтажа панелей предлагается использовать трехзвенный манипулятор, установленный на самоходном шасси. Для обеспечения необходимой устойчивости манипулятора в процессе монтажа его ходовая часть снабжена выносными гидроопорами с дистанционным управлением. Манипулятор предполагается снабжать сменными захватами в виде вакуумных присосок и механических зажимов. Процесс установки панели включает несколько операций: ориентацию захватного устройства относительно панели, фиксацию панели в захватном устройстве, перемещение ее к месту установки, закрепление панели в проектное положение. Применение манипулятора для монтажа асбестоцементных экструзионных панелей позволяет повысить производительность труда в 1,5 раза, исключить тяжелые ручные операции.

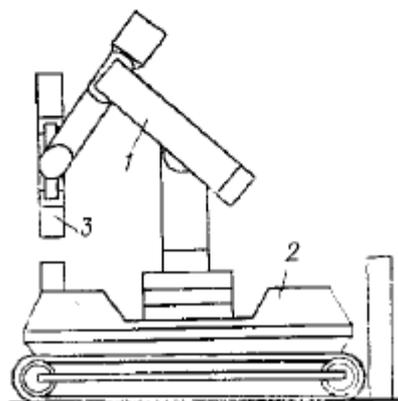
Определенный опыт использования манипуляторов и роботов на строительномонтажных работах накоплен в ряде зарубежных стран. В Японии, ГДР, США и других странах созданы манипуляторы, которые предназначены для монтажа навесных элементов, колонн, инженерных коммуникаций. В Японии разработана роботизированная система для

подъема и спуска грузов при монтаже высотных строительных объектов [90]. Подъемные системы приводятся в действие гидроцилиндрами, а управление ими осуществляется от микроЭВМ. Использование робота на монтажных работах позволяет значительно сократить трудозатраты и сэкономить время. В ГДР для транспортировки и монтажа ограждающих конструкций создан грузоподъемный манипулятор, который представляет собой мостовой кран с двумя грузовыми тележками. На тросовой подвеске тележек закреплена балка с двумя управляемыми захватами. Манипулятор захватывает ограждающие конструкции за монтажные петли. Грузоподъемность манипулятора 6,3 т. Все операции выполняются в полуавтоматическом режиме.



Установка железобетонных колонн с помощью робота, управляемого совместно с краном
 1 — колонна; 2 — монтажный робот; 3 — башенный кран

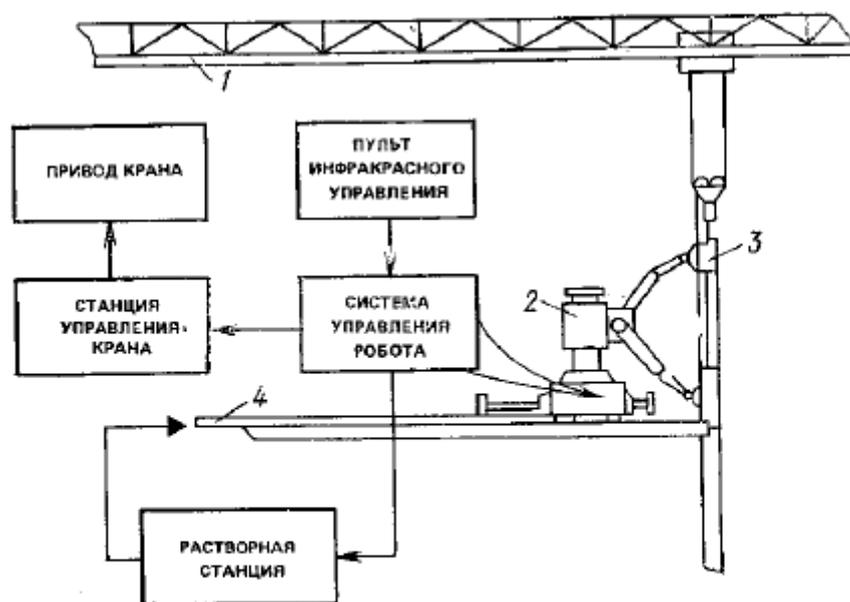
Монтажный робот для установки колонн
 1 — манипулятор; 2 — мини-шасси; 3 — колонна



При этом манипуляторы должны иметь согласованное с краном управление. Управление роботом и краном выполняется с общего пульта одним оператором [81]. При этом для передачи информации может использоваться инфракрасный или радиоканал связи. Аппаратура управления роботом и станция управления краном объединяются блоком синхронизации, который обеспечивает прием команд управления и синхронизацию работы оборудования при их исполнении.

Анализ достижения в области технологии, механизации и автоматизации строительного-монтажных работ, а также прогнозов в области развития строительной робототехники позволяет определить наиболее перспективные для роботизации виды строительного-монтажных работ и операций: монтаж перегородок из различных материалов; монтаж каркасов зданий, включая укладку лестничных маршей и перекрытий; разборка конструкций зданий при их реконструкции; монтаж и демонтаж строительных лесов; монтаж инженерного оборудования зданий и сооружений. Для монтажа перегородок внутри здания из блочных и листовых материалов экономически оправдано применение передвижных манипуляторов с ручным и полуавтоматическим управлением. В качестве базовой тележки целесообразно использовать мини-шасси на пневмоколесном или гусеничном ходу.

Перспективными являются решения задач автоматизации и роботизации монтажа крупнопанельных жилых зданий. Основным направлением их решения должно стать создание роботизированных монтажных комплексов с программным и адаптивным управлением. На рис. приведена схема роботизированного комплекса для монтажа панелей наружных и внутренних стен и перекрытий жилых зданий. В состав комплекса входит башенный кран, специализированный монтажный робот с двумя манипуляторами, растворная станция. Такой комплекс обеспечит автоматизацию всех основных операций: подъем и подачу панелей к месту монтажа, устройство растворной постели, выверку и установку панелей, герметизацию швов. При разработке таких комплексов необходимо одновременно совершенствовать способы фиксации панелей, а также конструкцию и технологию герметизации швов. Монтажный робот снабжается подвижной платформой и выдвигаемыми опорными консолями. Один из манипуляторов комплекса служит для ориентации и установки монтируемых конструкций, а второй обеспечивает подготовку поверхности и герметизацию швов. Управление работой всех механизмов комплекса, в том числе и башенного крана, осуществляется с пульта дистанционного управления и от микро-ЭВМ системы управления робота.



Роботизированный комплекс для монтажа крупнопанельных зданий

1 — стрела башенного крана; 2 — монтажный робот; 3 — стенная панель; 4 — растворопровод

Для приведения монтируемых элементов в проектное положение комплекс снабжается приборами ориентирования. Одним из наиболее перспективных методов задания базовых осей является использование коллимированного лазерного луча. Применение лазерных средств контроля позволит не только обеспечить непрерывный визуальный

контроль при установке строительных элементов, но и автоматизировать процесс их установки.

Форма отчетности:

Отчет должен содержать:

21. Цель работы.
22. Задание.
23. Поэтапное выполнение задания.
24. Заключение.

Основная литература:

[3]

Дополнительная литература

[5,6]

9.2. Методические указания по выполнению контрольной работы.

Выполнение обучающимися контрольной работы производится с целью:

- 1) систематизации и закрепления полученных теоретических знаний и практических умений;
- 2) углубления теоретических знаний в соответствии с заданной темой;
- 3) формирования умений применять теоретические знания при решении поставленных вопросов;
- 4) формирования умений использовать справочную, нормативную документацию;
- 5) развития творческой инициативы, самостоятельности, ответственности и организованности;

Тематика контрольных работ разрабатывается преподавателем.

Контрольная работа носит практический характер, который состоит из:

- 1) введения, в котором раскрывается актуальность и значение темы, формулируются цели и задачи работы;
- 3) основной части, которая обычно состоит из двух разделов: в первом разделе содержатся теоретические основы разрабатываемого приложения; вторым разделом является практическая часть, которая представлена расчетами, графиками, таблицами, схемами, формами и т.п.;
- 4) заключения, в котором содержатся выводы и рекомендации относительно возможностей практического применения материалов работы;
- 5) списка используемой литературы;
- 6) приложения.

Задание на контрольную работу оформляется на отдельно пронумерованном листе в печатном виде и снабжается заголовком «Задание». Задание не нумеруется как раздел и размещается сразу же за титульным листом. Лист задания включают в общее количество страниц отчета.

В содержании следует указать все заголовки отчёта и страницы, с которых они начинаются. Заголовки содержания должны точно повторять заголовки в тексте.

Во введении (объемом 2-3 страницы) раскрывается актуальность и новизна темы, ее научная и практическая значимость, основные направления исследования, формулируются цели и задачи исследования, указываются предмет и объект исследования, а также характеризуются источники и материалы, использованные в процессе исследования.

Основная часть контрольной работы, как правило, состоит из теоретического и практического разделов. Основная часть должна содержать данные, отражающие сущность, методику и основные результаты выполненного исследования:

- выбор направления исследования, включающий обоснование принятого направления исследования, метода решения задач и их сравнительную оценку, разработку общей методики исследования;

- теоретические и (или) экспериментальные исследования, включающие определение характера и содержания теоретических исследований, методов исследований;

- обобщения и оценку результатов исследования, включающие оценку полноты решения поставленной задачи

Основную часть контрольной работы следует делить на разделы. Разделы основной части могут делиться на пункты или на подразделы и пункты. Пункты при необходимости могут делиться на подпункты. Каждый подпункт должен содержать законченную информацию.

Заключение (объемом не менее 2 страниц) должно содержать итоги работы, выводы, полученные в ходе работы, разработку рекомендаций по конкретному использованию результатов контрольной работы. Заключение должно быть кратким, обстоятельным и соответствовать поставленным целям и задачам.

Оформление контрольной работы: объём отчёта должен составлять 8-10 страниц печатного текста. Следует придерживаться следующих параметров оформления отчёта: формат листа отчёта – А4, размеры полей: слева 30 мм, справа 10 мм, сверху и снизу 20 мм. Шрифт Times New Roman, кегль 14. Абзацный отступ – 1,5 см, выравнивание абзаца – по ширине, межстрочный интервал – полуторный. Текст печатается только на одной стороне листа. Страницы должны быть пронумерованы внизу страницы справа. Нумерация страниц – сквозная для всего отчёта, на первом (титальном) листе номер не ставится.

Контрольная работа должна быть правильно оформлена, написана грамотно и аккуратно. Начинать работу нужно с тщательного изучения дисциплины в объеме программы. Далее необходимо подобрать соответствующий литературный и практический материал. В процессе написания можно привлечь дополнительную литературу. Не возбраняется использование переработанных данных электронных ресурсов. Работа должна быть логичной, научной по своему содержанию; в ней в систематизированной форме должны быть изложены материалы проведенного исследования и его результаты.

10. ПЕРЕЧЕНЬ ИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ, ИСПОЛЬЗУЕМЫХ ПРИ ОСУЩЕСТВЛЕНИИ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО ПРОЦЕССА ПО ДИСЦИПЛИНЕ

Информационно-коммуникационные технологии (ИКТ) – преподаватель использует для:

- получения информации при подготовке к практическим занятиям;
- создания презентационного материала для лабораторных работ;
- ОС Windows 7 Professional (Microsoft Imagine Premium)
- Microsoft Office 2007 Russian Academic OPEN NO Level
- Антивирусное программное обеспечение Kaspersky Security.

11. ОПИСАНИЕ МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЙ БАЗЫ, НЕОБХОДИМОЙ ДЛЯ ОСУЩЕСТВЛЕНИЯ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО ПРОЦЕССА ПО ДИСЦИПЛИНЕ

<i>Вид занятия</i>	<i>Наименование аудитории</i>	<i>Перечень основного оборудования</i>	<i>№ ПЗ</i>
1	2	3	4
ПЗ	дисплейный класс с доступом к сети интернет	ПК класса Пентиум – 10 шт., программный комплекс Microsoft Excel, Word	№ 1- № 6
Лк	дисплейный класс с доступом к сети интернет	ПК класса Пентиум – 10 шт., программный комплекс Microsoft Excel, Word	-
СР	ЧЗ-1	-	-

**ФОНД ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ ДЛЯ ПРОВЕДЕНИЯ
ПРОМЕЖУТОЧНОЙ АТТЕСТАЦИИ ОБУЧАЮЩИХСЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ**

1. Описание фонда оценочных средств (паспорт)

№ компетенции	Элемент компетенции	Раздел	Тема	ФОС
ПК-4	способность в составе коллектива исполнителей участвовать в разработке конструкторско-технической документации новых или модернизируемых образцов наземных транспортно-технологических машин и комплексов	1.Основные задачи и направления развития робототехники	1.1 Основные положения и понятия. Выбор объектов роботизации. Основные сведения об объектах роботизации.	Вопросы к зачету 1 – 2
		2.Общие сведения о роботах	2.1 Классификация роботов. Технические показатели роботов. Взаимозависимости основных параметров роботов. 2.2 Устройство и принцип действия роботов. 2.3 Рабочие органы и системы управления роботами	Вопросы к зачету 3 – 7
		3.Робототехнические наземные транспортно-технологические машины.	3.1 Роботы для транспортирования грузов. 3.2 Напольные роботы. Подвесные роботы. 3.3 Наземные роботы. Шагающие роботы.	Вопросы к зачету 8 – 12
		4.Проектирование роботизированной технологии в строительстве. Гибкие производственные, технологические и транспортно-складские модули (ГПМ), комплексы (ГПК), и системы (ГПС).	4.1 Особенности применения средств роботизации для различных технологических процессов в строительстве. 4.2 Технические требования и средства роботизации для монтажа конструкций крупнопанельных	Вопросы к зачету 13-16

			зданий. 4.3 Принципиальная схема кранов – манипуляторов. Перспективы применения роботизированной технологии в строительстве.
--	--	--	--

2. Вопросы к зачету

№ п/п	Компетенции		ВОПРОСЫ К ЗАЧЕТУ	№ и наименование раздела
	Код	Определение		
1	2	3	4	5
1.	ПК-4	способность в составе коллектива исполнителей участвовать в разработке конструкторско-технической документации новых или модернизируемых образцов наземных транспортно-технологических машин и комплексов	<p>1.Выбор объектов роботизации. 2.Основные сведения об объектах роботизации</p> <p>3. Классификация роботов. 4. Технические показатели роботов. 5. Взаимозависимости основных параметров роботов. 6. Устройство и принцип действия роботов. 7. Рабочие органы и системы управления роботами.</p> <p>8. Роботы для транспортирования грузов. 9. Напольные роботы. 10. Подвесные роботы. 11. Наземные роботы. 12. Шагающие роботы.</p> <p>13.Особенности применения средств роботизации для различных технологических процессов в</p>	<p>1.Основные задачи и направления развития робототехники.</p> <p>2.Общие сведения о роботах.</p> <p>3.Робототехнические наземные транспортно-технологические машины.</p> <p>4.Проектирование роботизированн</p>

		<p>строительстве.</p> <p>14.Технические требования и средства роботизации для монтажа конструкций крупнопанельных зданий.</p> <p>15.Принципиальная схема кранов-манипуляторов.</p> <p>16. Перспективы применения роботизированной технологии в строительстве.</p>	<p>ой технологии в строительстве.</p> <p>Гибкие производственные, технологические и транспортно-складские модули (ГПМ), комплексы (ГПК), и системы (ГПС).</p>
--	--	---	---

3. Описание показателей и критериев оценивания компетенций

Показатели	Оценка	Критерии
<p>Знать: (ПК-4) принципы работы, технические характеристики, конструктивные особенности существующих роботов и их недостатки;</p> <p>Уметь: (ПК-4) пользоваться чертежами узлов оригинальных наземных транспортно-технологических машин в объеме, достаточном для понимания устройства и осуществления сборочно-разборочных работ;</p> <p>Владеть: (ПК-4) навыками разработки и оформления конструкторско-технической документации.</p>	зачтено	оценка «зачтено» выставляется обучающемуся, если вопросы раскрыты, изложены логично, без существенных ошибок, показано умение иллюстрировать теоретические положения конкретными примерами, продемонстрировано усвоение ранее изученных вопросов и сформированность компетенций. Допускаются незначительные ошибки.
	Не зачтено	оценка «не зачтено» выставляется, если не раскрыто основное содержание учебного материала; обнаружено незнание или непонимание большей или наиболее важной части учебного материала; допущены ошибки в определении понятий, которые не исправлены после нескольких наводящих вопросов; не сформированы компетенции, умения и навыки.

4. Методические материалы, определяющие процедуры оценивания знаний, умений, навыков и опыта деятельности

Изучение дисциплины «Робототехника в строительстве» охватывает круг вопросов, относящихся к проектно-конструкторскому виду профессиональной деятельности выпускника в соответствии с компетенциями и видами деятельности, указанными в учебном плане.

При подготовке к зачету рекомендуется особое внимание уделить следующим вопросам:

1. Робототехнические наземные транспортно-технологические машины.
2. Проектирование роботизированной технологии в строительстве. Гибкие производственные, технологические и транспортно-складские модули (ГПМ), комплексы (ГПК), и системы (ГПС).

Закрепление всех вопросов, рекомендуемых для практических работ, а также при подготовке к зачету требует основательной самостоятельной подготовки. Учитывая значимость самостоятельной работы, литература, вопросы для самопроверки - в разделах «Практическая работа» и «Фонд оценочных средств».

Работа с литературой является обязательной. При этом приветствуется привлечение дополнительных источников из Интернета. В случае возникновения определенных вопросов, обучающийся может обратиться к преподавателю за консультацией, как на лабораторных работах, так и во время индивидуальных консультаций.

Предусмотрено проведение аудиторных занятий в виде лекций, практических работ в сочетании с внеаудиторной работой.

АННОТАЦИЯ
рабочей программы дисциплины
Робототехника в строительстве

1. Цели и задачи дисциплины

Целью изучения дисциплины является подготовка бакалавра к участию в составе коллектива исполнителей в разработке технических условий на проектирование и техническое описание роботизированных наземных транспортно-технологических машин; технической документации для производства, модернизации, эксплуатации и технического обслуживания роботизированных наземных транспортно-технологических машин и их технологического оборудования; в проведении испытаний роботизированных наземных транспортно-технологических машин и их технологического оборудования; в организации производства и эксплуатации роботизированных наземных транспортно-технологических машин и их технологического оборудования; в организации технического контроля при исследовании, проектировании, производстве и эксплуатации роботизированных наземных транспортно-технологических машин.

Задачей изучения дисциплины является получение представления:

- об основных тенденциях и направлениях развития роботизации в строительстве, промышленности строительных материалов и системах инженерного обеспечения городов, зданий и сооружений;
- о специфике основного содержания специализаций в области роботизации в строительстве, промышленности строительных материалов и системах инженерного обеспечения городов, зданий и сооружений;
- об основных характеристиках и технико-экономических показателях комплексной механизации и автоматизации;
- о принципах построения автоматических систем управления строительными машинами и оборудованием на базе микропроцессорной техники и структуре ее аппаратно-программного обеспечения.

2. Структура дисциплины

2.1 Распределение трудоемкости по отдельным видам учебных занятий, включая самостоятельную работу: ПЗ – 36 час., Лк-18 час., СР – 56 час.
Общая трудоемкость дисциплины составляет 108 часов, 3 зачетные единицы.

2.2 Основные разделы дисциплины:

1. Основные задачи и направления развития робототехники
2. Общие сведения о роботах
3. Робототехнические наземные транспортно-технологические машины
4. Проектирование роботизированной технологии в строительстве. Гибкие производственные, технологические и транспортно-складские модули (ГПМ), комплексы (ГПК), и системы (ГПС).

3. Планируемые результаты обучения (перечень компетенций)

Процесс изучения дисциплины направлен на формирование следующих компетенций:

ПК-4 - способность в составе коллектива исполнителей участвовать в разработке конструкторско-технической документации новых или модернизируемых образцов наземных транспортно- технологических машин и комплексов.

4. Вид промежуточной аттестации: зачет, контрольная работа.

*Протокол о дополнениях и изменениях в рабочей программе
на 20___-20___ учебный год*

1. В рабочую программу по дисциплине вносятся следующие дополнения:

2. В рабочую программу по дисциплине вносятся следующие изменения:

Протокол заседания кафедры СДМ №___ от «___» _____ 20___ г.,

Заведующий кафедрой _____
(подпись)

(Ф.И.О.)

**ФОНД ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ ДЛЯ ТЕКУЩЕГО
КОНТРОЛЯ УСПЕВАЕМОСТИ ПО ДИСЦИПЛИНЕ**

1. Описание фонда оценочных средств (паспорт)

№ компетенции	Элемент компетенции	Раздел	Тема	ФОС
ПК-4	способность в составе коллектива исполнителей участвовать в разработке конструкторско-технической документации новых или модернизируемых образцов наземных транспортно-технологических машин и комплексов	1. Основные задачи и направления развития робототехники	1.1 Основные положения и понятия. Выбор объектов роботизации. 2. Основные сведения об объектах роботизации.	Коллоквиум, вопросы к зачету 1 – 2
		2. Общие сведения о роботах	2.1 Классификация роботов. Технические показатели роботов. Взаимозависимости основных параметров роботов. 2.2 Устройство и принцип действия роботов. 2.3 Рабочие органы и системы управления роботами.	Коллоквиум, вопросы к зачету 3 – 7
		3. Робототехнические наземные транспортно-технологические машины	3.1 Роботы для транспортирования грузов. 3.2 Напольные роботы. Подвесные роботы. 3.3 Наземные роботы. Шагающие роботы.	Контрольная работа, вопросы к зачету 8 – 12
		4. Проектирование роботизированной технологии в строительстве. Гибкие производственные, технологические и транспортно-складские модули (ГПМ), комплексы (ГПК), и системы (ГПС)	4.1 Особенности применения средств роботизации для различных технологических процессов в строительстве. 4.2 Технические требования и средства роботизации для монтажа конструкций крупнопанельных зданий. 4.3 Принципиальная схема кранов-манипуляторов. Перспективы применения роботизированной технологии в строительстве.	Контрольная работа, Вопросы к зачету 13-16

2. Описание показателей и критериев оценивания компетенций

Показатели	Оценка	Критерии
<p>Знать: - принципы работы, технические характеристики, конструктивные особенности существующих роботов и их недостатки;</p> <p>Уметь: - пользоваться чертежами узлов оригинальных наземных транспортно-технологических машин в объеме, достаточном для понимания устройства и осуществления сборочно-разборочных работ;</p> <p>Владеть: - навыками разработки и оформления конструкторско-технической документации.</p>	зачтено	оценка «зачтено» выставляется обучающемуся, если вопросы раскрыты, изложены логично, без существенных ошибок, показано умение иллюстрировать теоретические положения конкретными примерами, продемонстрировано усвоение ранее изученных вопросов и сформированность компетенций. Допускаются незначительные ошибки.
	не зачтено	оценка «не зачтено» выставляется, если не раскрыто основное содержание учебного материала; обнаружено незнание или непонимание большей или наиболее важной части учебного материала; допущены ошибки в определении понятий, которые не исправлены после нескольких наводящих вопросов; не сформированы компетенции, умения и навыки.

Вопросы для коллоквиумов, собеседования

по дисциплине Б1. В.06 Робототехника в строительстве

Раздел 1 Основные задачи и направления развития робототехники

- 1 Основные положения и понятия робототехники;
- 2 Выбор объектов роботизации;
- 3 Основные сведения об объектах роботизации

Раздел 2 Общие сведения о роботах

- 1 Классификация роботов;
- 2 Технические показатели роботов;
- 3 Взаимозависимости основных параметров роботов;
- 4 Устройство и принцип действия роботов;
- 5 Рабочие органы и системы управления роботами.

Программа составлена в соответствии с федеральным государственным образовательным стандартом высшего образования по направлению подготовки 23.03.02 Наземные транспортно-технологические комплексы от «06» марта 2015г. №162

для набора 2014 года: и учебным планом ФГБОУ ВО «БрГУ» для заочной формы обучения от «03» июля 2018г. № 413,

для набора 2015 года: и учебным планом ФГБОУ ВО «БрГУ» для очной формы обучения от «13» июля 2015г. № 474, заочной формы обучения от «01» октября 2015г. № 587,

для набора 2016 года: и учебным планом ФГБОУ ВО «БрГУ» для очной формы обучения от «06» июня 2016г. № 429 , заочной формы обучения от «06» июня 2016г. № 429, для ускоренной формы обучения от «06» июня 2016г. № 429,

для набора 2017 года: и учебным планом ФГБОУ ВО «БрГУ» для очной формы обучения от «06» марта 2017г. № 125, заочной формы обучения от «06» марта 2017г. № 125, для ускоренной формы обучения от «04» апреля 2017г. № 203,

для набора 2018 года: и учебным планом ФГБОУ ВО «БрГУ» для очной формы обучения от «12» марта 2018г. № 130, для заочной формы обучения от «12» марта 2018 г. № 130.

Программу составил:

Зеньков Сергей Алексеевич, к.т.н., доцент

Рабочая программа рассмотрена и утверждена на заседании кафедры СДМ от «__» _____ 2018 г., протокол № __

И.о. заведующего кафедрой СДМ

К.Н. Фигура

СОГЛАСОВАНО:

И.о. заведующего кафедрой СДМ

К.Н. Фигура

Директор библиотеки

Т.Ф. Сотник

Рабочая программа одобрена методической комиссией МФ от «__» _____ 2018 г., протокол № __

Председатель методической комиссии МФ

Г.Н. Плеханов

СОГЛАСОВАНО:

Начальник
учебно-методического управления

Г.П. Нежевец

Регистрационный № _____