

На правах рукописи

УРМАКШИНОВА Елена Рониславовна

**МЕТОДЫ РАСЧЕТА И ПРОЕКТИРОВАНИЯ
АНТРОПОМОРФНЫХ ДЕМОНСТРАЦИОННЫХ
РОБОТОВ**

Специальность 05.02.05 – Роботы,
мехатроника и робототехнические
системы

Автореферат диссертации
на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Санкт-Петербург

2003

Диссертация выполнена на кафедре «Машиноведения» ГОУ «Бурятский государственный университет».

Научный руководитель: доктор технических наук,
проф., засл. деятель науки РФ
Челпанов Игорь Борисович

Официальные оппоненты: доктор технических наук, профессор
Тисенко Виктор Николаевич

кандидат технических наук
Знаменский Иван Сергеевич

Ведущая организация: ООО «Бурятский центр сертификации»

Защита состоится 02 декабря 2003 г. в 16 часов на заседании диссертационного Совета Д 212.229.12 при Государственном образовательном учреждении высшего профессионального образования «Санкт-Петербургский государственный политехнический университет» по адресу: 195251, г. Санкт-Петербург, Политехническая ул. 29, 1-й учебный корпус, ауд. 41.

С диссертацией можно ознакомиться в фундаментальной библиотеке ГОУ «СПбГПУ».

Автореферат разослан 31 октября 2003 г.

Ученый секретарь диссертационного совета Д 212.229.12
кандидат технических наук, доцент

Евграфов А.Н.

Актуальность темы диссертации. Понятие «демонстрационные роботы» было введено в серии публикаций, появившихся в последние годы, в СПбГТУ в 2002 году по теории демонстрационных устройств, в первую очередь, роботов, была защищена кандидатская диссертация И.С.Знаменским. К демонстрационным роботам относятся механические устройства, подвижные или с подвижными составными частями, с автоматическим управлением, которые не выполняют никаких производственных функций, а демонстрируют или сами себя, или другие объекты. Демонстрационные роботы широко используются в рекламе, для привлечения внимания на выставках, в сфере развлечений, в парках и аттракционах, в кинематографии и на телевидении. Работающие демонстрационные устройства, стенды или демонстрационные установки также с успехом используются как тренажеры (в том числе и интеллектуальные) для обучения или тренировки персонала, или при технической отработке больших, сложных и дорогостоящих технических средств. Новая область применения демонстрационных роботов, больших движущихся фигур относится к механическому оснащению сцены. Во всех этих технических устройствах интегрируются достижения механики и электроники, поэтому проблематика их создания может быть отнесена к мехатронике.

Основными отличительными чертами демонстрационных роботов являются наличие не слишком простых механизмов, ориентация на зрительное восприятие. Известно, что широкое распространение механические автоматы (с заводными пружинами, иногда с очень сложными механизмами) получили во второй половине XVIII и в начале XIX века в связи с развитием точной механики. В некоторых странах, например, в Японии реализуется большая национальная программа по созданию демонстрационных роботов, предназначенных для того, чтобы скрашивать жизнь и развлекать больных и престарелых. Министрствами экономики, торговли и промышленности Японии в 2002 г. разработана национальная программа по развитию производства универсальных роботов для сферы обслуживания, получившая название «Наступление роботов в XXI веке».

В роли демонстрационных могут выступать настоящие промышленные роботы, когда они на выставках не выполняют реальные производственные функции а, например, играют в шахматы, переставляя фигуры, собирают различные композиции из простых элементов, например, имитируя кладку из кирпичей. Первые модели роботов, которые называли промышленными, но сначала не находили применение на производстве, а преимущественно экспонировались на выставках, по существу были демонстрационными.

Также по существу демонстрационными являются окончательно не отработанные роботы космического назначения, которые пока еще не могут выполнять полезные операции и др. В последние годы демонстрационные роботы, пока еще достаточно простые, все чаще появляются на сценах оперных и драматических театров.

Представляется, что для многих стран Азии, Латинской Америки и Африки привлекательность, а, следовательно, и потенциальный рынок зависит от соответствия типажа и дизайна демонстрационных роботов регионально-культурным, национальным и религиозным традициям. В полной мере это относится к Бурятии, где в ряде организаций разворачиваются работы по данной тематике.

Есть все основания считать, что чаще всего основная проблематика создания демонстрационных роботов заключается в механике, начиная с выбора рациональных кинематических схем, и кончая созданием систем автоматического управления.

Несмотря на широкое распространение демонстрационных роботов и видимые достижения в создании отдельных образцов, они оказались вне поля зрения робототехники, как науки, поэтому задача создания научных основ проектирования демонстрационных роботов и опробования разрабатываемых методик и конкретных разработках с учетом национальной и региональной специфики их типажа представляется актуальной.

Связь с планами научных исследований. Диссертационная работа продолжает цикл исследований, проведенных в соответствии с Координационным

планом научно-исследовательских работ АН СССР «Проблемы механики и управления в робототехнических системах и автоматизированных производствах» (шифр 1.11.3), а также по специальной теме «Исследование и разработка быстродействующих циклоидальных манипуляторов», утвержденной Постановлениями ГКНТ И 108 от 20.04.87 и ОФМТН Президиума АН СССР И 11000-194-1216 от 05.12.85.

Цель диссертации заключается в создании научных основ расчета и проектирования механизмов некоторых групп демонстрационных устройств, а именно нового класса роботов - демонстрационных роботов и в использовании разработанных методик для создания образцов в традициях народов Юго-Восточной Азии.

Для достижения сформулированной цели в диссертации ставятся и решаются следующие **основные задачи**:

- систематизация собранных сведений об областях применения демонстрационной техники, об истории замыслов и создания различных демонстрационных роботов;

- анализ типажа существующих демонстрационных устройств и построение многоаспектной, возможно более полной их классификации по многим признакам;

- определение специфики требований к демонстрационным роботам, их конструкциям и устройствам управления, исходя из обобщения опыта их создания и использования;

- разработка методики анализа спроектированных и изготовленных демонстрационных роботов и применение этой методики при разборе конструкций некоторых образцов;

- установление принципов и способов стыковки механизмов демонстрационных роботов с двигателями приводов;

- формулирование новых подходов к анализу динамики движений демонстрационных роботов, основанных на экспертных оценках;

- исследование возможностей построения демонстрационных роботов, выбор прототипов, внешнего вида, позы и воспроизводимых движений на базе сложившейся образной системы народов Восточной и Юго-Восточной Азии;

- обоснование выбора числа степеней свободы, расположения осей кинематических пар и законов управления движением демонстрационных роботов, обладающих указанной спецификой;

- разработка математических моделей динамики демонстрационных роботов;

- отработка на математических моделях и по результатам анимации нескольких типов демонстрационных роботов.

На защиту выносятся следующие **основные положения**:

- автоматы, предназначенные исключительно для демонстрации, а не для выполнения производственных функций, многочисленны, известны по описаниям и должны стать предметом серьезных научных исследований;

- основной отличительной особенностью демонстрационных установок, в первую очередь, демонстрационных роботов, которые целесообразно выделять в самостоятельную группу машин с автоматическим или автоматизированным управлением, является наличие управляемых механизмов с приводами, задающих программные движения, и ориентировка исключительно на внешнее зрительное восприятие;

- демонстрационные роботы, которые демонстрируют сами себя, целесообразно строить, опираясь на статические изображения традиционного и религиозного искусства, в зависимости от этого задается общий облик, выбираются прототипы, принципиальные и схемные решения;

- требования к демонстрационным роботам существенно зависят от исходного замысла и отчетливо разделяются на группы требований к общему облику и экстерьеру, к геометрии перемещений, к кинематике механизмов, к приводам и к устройствам управления;

- использование разработанной классификации позволяет структурировать базы данных (прототипов и их типовых элементов), необходимые для органи-

зации эффективного автоматизированного проектирования демонстрационных устройств;

- к числу наиболее распространенных относятся антропоморфные и зооморфные демонстрационные роботы, при их проектировании целесообразно опираться на данные о построении скелетов и расположении мышц живых организмов;

- одной из наиболее перспективных является задача проектирования демонстрационных роботов, оживляющих статические изображения людей, богов и животных в стилистической системе восточного региона;

- размещение приводов демонстрационных роботов может быть различным: последовательно по кинематическим парам (встроенные двигатели), параллельно по кинематическим парам (пристроенные двигатели), на неподвижном основании (при использовании передач с помощью тросов по звеньям механизма), на выходном звене (весь механизм выполняется пассивным);

- в конструкциях антропоморфных и зооморфных демонстрационных роботов использование гибких звеньев вместо многозвенных цепей (например, позвоночника) позволяет уменьшать число степеней свободы манипулятора при сохранении общего правдоподобия;

- при оценке динамических процессов в демонстрационных роботах предпочтение отдается критериям, воспринимаемым зрителем визуально, такими критериями являются: согласованность движений по степеням подвижности, время и амплитуда перемещения, закон изменения скорости;

- приведенные примеры демонстрационных роботов, для которых обоснованы и проработаны кинематические схемы и осуществлена компьютерная анимация, подтверждают правильность разработанных методик их проектирования.

Методы исследования. При разработке математических моделей, аналитическом исследовании геометрии, кинематики и динамики рассматриваемых систем и при проведении необходимых расчетов использовались методы

аналитической геометрии, теоретической и аналитической механики, теории механизмов и вычислительной математики.

Практическая ценность и реализация результатов работы.

Практическая ценность диссертации заключается в том, что в ней проработаны научные основы методик проектирования нового класса роботов, а именно, демонстрационных роботов, в первую очередь, таких, которые по общему облику, возможностям выполнения движений и динамике соответствуют национальным и культурно-религиозным традициям народов восточно-азиатского региона. Результаты диссертации были использованы при проведении поисковых научно-исследовательских работ в ОФП БНЦ СО РАН (г. Улан-Удэ).

Апробация работы и публикации. Основные положения диссертационной работы докладывались на международной конференции «Современные проблемы машиностроения и приборостроения» (Томск, 2003), «Проблемы машиностроения и технологии материалов на рубеже веков» (Пенза, 2003), «Проблемы механики современных машин» (Улан-Удэ, 2003), а также на семинарах кафедры «Машиноведения» БГУ в 2002 и 2003 гг. и на семинаре кафедры «Автоматы» СПбГПУ. По теме диссертации опубликовано 6 работ.

Объем и структура работы. Диссертация состоит из введения, трех глав, заключения и списка использованной литературы и двух приложений. Общий объем диссертации 153 страницы, в тексте имеется 32 рисунка. Список литературы включает 170 наименований.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во **Введении** обосновывается актуальность темы диссертации, формулируется цель и задачи исследования, а также основные положения, выносимые на защиту, дается обзор содержания диссертации по главам.

Основной материал диссертации распределен по трем главам.

Первая глава посвящена в первую очередь обзору материалов по демонстрационным устройствам, затем определению специфики демонстрационных роботов, формулировке подходов к систематизации информации о них и в заключение формулировке задач исследования в диссертации. Обращается внимание на то, что автоматы часто создавались не для выполнения производственных операций, а для развлечений. Краткие сведения об истории идей, нашедших отражение в литературе, и о реализации демонстрационной техники, особенно за три последних столетия показывают, что типаж, размеры, размещение и конкретное назначение бывали самыми различными, а механика этих автоматов часто бывала весьма сложной. Далее следует обзор областей, в которых в наше время демонстрационные роботы находят широкое применение и имеют перспективы. Это реклама всех уровней, демонстрация одежды, технические выставки и презентации, парки типа Диснейленда, киноиндустрия, оформление сцены театров, кибернетизированные игрушки и т.д. Автором разработана многоаспектная классификация демонстрационных роботов, представленная на рис. 1.



Рис. 1

Констатируется, что построенную классификацию целесообразно использовать в качестве основы для построения баз данных, а совокупность критериев оценки демонстрационных роботов с учетом их специфических особенностей открывает возможности построения предметно-ориентированных методологии их проектирования.

Вторая глава посвящена обоснованию и разработке общей методологии анализа и синтеза антропоморфных и зооморфных демонстрационных роботов. Прежде всего устанавливается, из каких наук или вообще из областей деятельности могут быть получены исходные материалы, общие подходы и методы анализа, которые следует использовать при исследовании, расчете и проектировании демонстрационных роботов. В число этих наук входят: анатомия и морфология животных и человека, эргономика как научная дисциплина, комплексно изучающая человека в конкретных условиях его деятельности в современном производстве, биомеханика, бионика, как комплексная дисциплина на стыке биологии и технических дисциплин, промышленная робототехника, теоретический аспект которой включает построение математических моделей и соответствующие расчеты, медицинское протезирование. Важную информацию дают различные рекламные сообщения, документальные материалы и произведения изобразительного искусства, представляющие внешний вид живых организмов в статике и в динамике.

Только теперь создаваемое направление робототехники, относящееся к демонстрационным роботам, нуждается в накоплении и анализе созданных удачных образцов. Предложенная методика анализа включает в себя следующие этапы: определение назначения робота; установление того, является ли робот мобильным или стационарным, имитирующим человека, существующих или несуществующих животных и машин, а также не имеющих определенных прототипов; выявление базовой кинематической схемы механизма или механизмов, определение числа степеней подвижности, числа разомкнутых кинематических цепей (каждая из этих цепей может относиться к конечности, руке или ноге), типов и видов кинематических пар, расположения их осей;

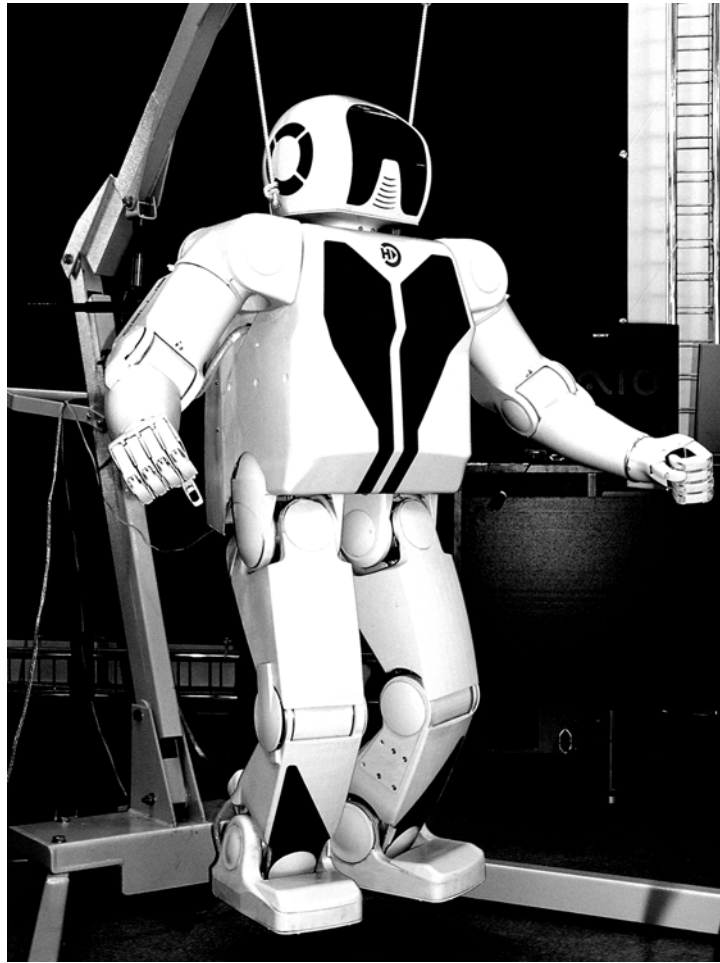


Рис. 2

установление типа приводов робота и оценка их основных технических характеристик; анализ компоновки и способа включения в конструкцию приводов звеньев; определение характера движений и установление типа системы управления; оценка внешнего вида, выявление его идеи, стиля и уровня художественного и декоративного оформления; оценка серийности робота и его стоимости с целью оценки ожидаемого экономического эффекта. Разработанная методика применена к анализу антропоморфного робота, спроектированного и изготовленного в объединении «Новая эра» и экспонированного летом 2003 года на Морском салоне в Санкт-Петербурге. Фото этого робота представлено на рис. 2, реконструированные по общему виду кинематические схемы конечностей соответственно на рис. 3 а, б.

Всего механизм робота имеет по крайней мере 23 степени подвижности (не считая пальцев). Один из выводов анализа заключается в том, что основное

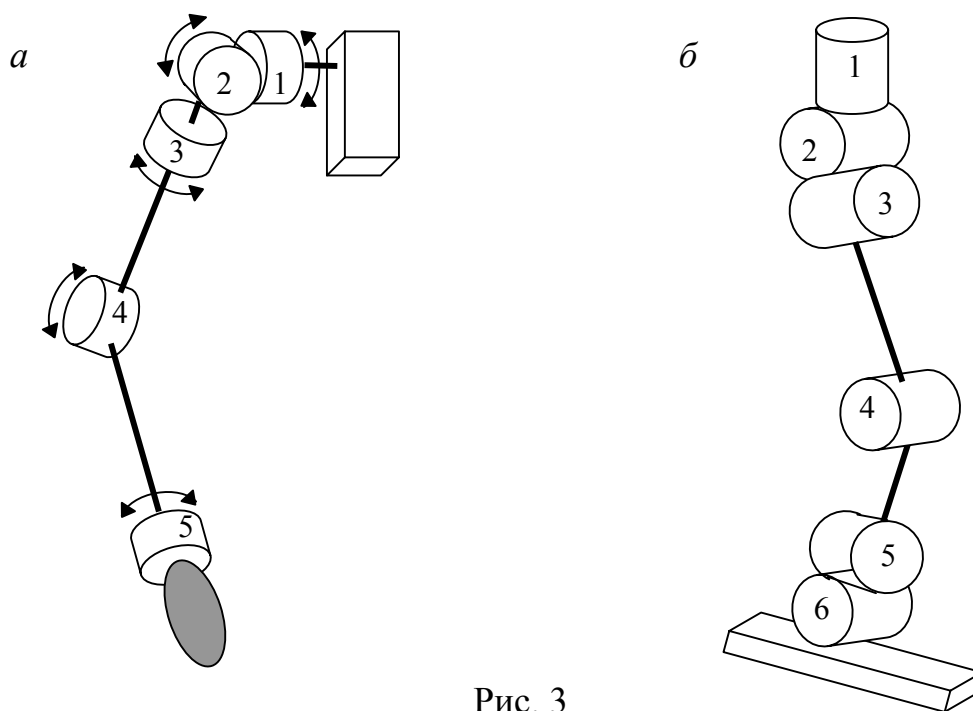


Рис. 3

внимание уделяется обеспечению вертикального положения и ходьбе, а возможности манипулирования руками ограничены. При анализе обсуждены особенности кинематической схемы и высказаны соображения, каким образом можно было бы наиболее эффектно представить этот робот в действии.

Далее во второй главе рассмотрены и проанализированы различные способы соединения приводов с механизмом робота. Приводы могут быть распределены по «своим» степеням подвижности, установлены на неподвижном основании (тогда требуются специальные передачи от двигателей к кинематическим парам), их можно пристраивать со стороны элементов неподвижных конструкций. В тех случаях, когда робот демонстрирует какой-то объект, удачным является прямое подсоединение выходных звеньев приводов к демонстрируемому объекту, приводные звенья должны быть скрыты для зрителей. При этом механизм самого робота является пассивным и приводится в движение теми же приводами. Поскольку при выполнении движений демонстрационными роботами обычно не выдвигаются определенные требования по точности, поэтому при выборе кинематических схем и конструкций можно использовать решения, нетипичные для промышленных роботов, а именно, широко применять гибкие звенья. В главе обсуждаются возможности использования надувных оболочек,

гибких стержней и пластин. Приводится ряд новых схем, формулируются предложения по методам расчета упругих элементов.

Третья глава посвящена разработкам автора по обоснованию выбора типа антропоморфных демонстрационных роботов в традиционной образной системе народов Восточной Азии, в первую очередь, в традициях буддизма и его основной ветви - ламаизма, как основной религии народа Бурятии. По произведениям изобразительного искусства определены особенности двух типовых поз фигур, которые могут быть взяты в качестве прототипов. Это сидящая фигура божества в позе лотоса и танцующая на одной ноге фигура. Поскольку прототипы представляют собой статические изображения, динамику движений приходится домысливать, основываясь на общеэстетических критериях, поскольку сравнение вариантов и оптимизация может осуществляться только по зрительному восприятию, а в конечном счете, по результатам экспертного оценивания. Как простейший вариант программы движений предлагается быстрый переход из зафиксированного начального положения в симметричное; при этом система управления может быть цикловой, поскольку промежуточные положения при быстром их прохождении не регламентируются. В более сложных вариантах необходима координация движений по степеням подвижности.

В качестве прототипа для будущей реализации как одна из наиболее интересных фигур выделен шестирукий персонаж, построенная кинематическая схема верхней половины представлена на рис. 4. Оценены пределы изменения углов в шарнирах, получены рекомендации по координации вращений.

Аналогичная схема построена для нижней части фигуры. Сформулированы рекомендации по программированию движений.

Сформулированы, формализованы и решены для типовых структурных схем антропоморфных демонстрационных роботов задачи динамики. Особенностью структур механизмов антропоморфных и зооморфных роботов является то, что они, как правило, включают в себя несколько разомкнутых цепей. Динамика механизмов в обобщенных координатах представляется в форме уравнений Лагранжа второго рода, динамика приводов, неуправляемых или

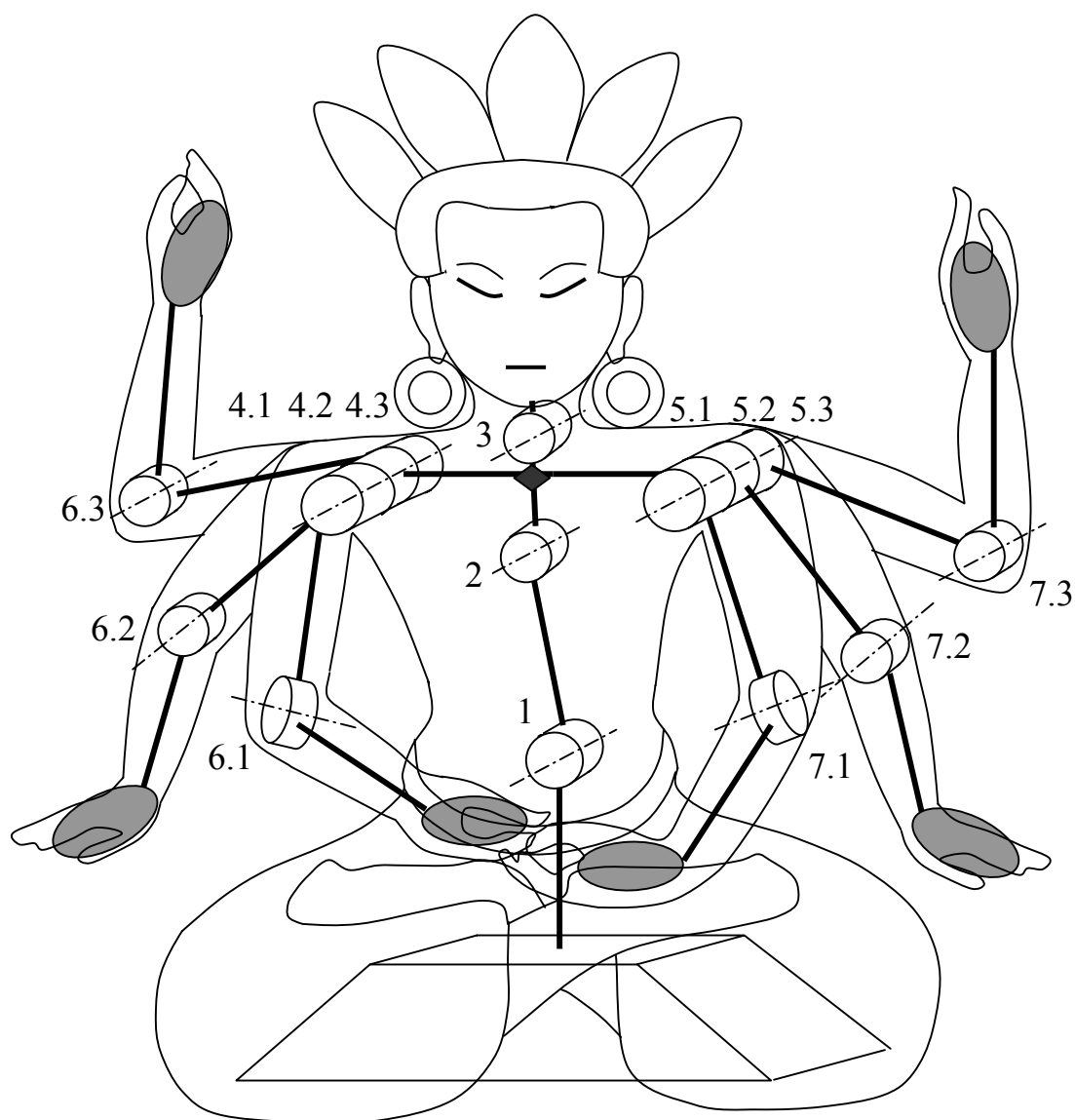


Рис. 4

управляемых, задается линейными уравнениями первого порядка. Для более сложных механизмов звенья механизма и их соединения считаются жесткими, для некоторых простых механизмов учитываются сосредоточенные упругости в кинематических парах. Математическое моделирование проведено при нескольких, представляющих наибольший интерес программных законах изменения обобщенных координат. При ориентировании на зрительное восприятие по результатам анимации определены основные факторы, которые нужно учитывать при программировании движений и формулировке требований к динамическим характеристикам механизма. В частности, по результатам проведенных расчетов перед анимацией установлено, для каких режимов и для каких этапов движения важны возникающие упругие колебания механизма и необходимо ог-

раничивать их амплитуды за счет выбора параметров программ движения, а именно за счет уменьшения скоростей движения и большей плавности. Установлены основные критерии для сравнения вариантов. В результате анализа кинограмм некоторых национальных танцев установлены типовые позы фигур и определены требования как к механизмам демонстрационных роботов, так и к параметрам.

Выводы по диссертационной работе в целом сформулированы в Заключении.

ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ РАБОТЫ И ВЫВОДЫ

Основные результаты разработок автора можно сформулировать следующим образом:

1. Собрана и систематизирована информация об истории и о современности демонстрационных роботов, находящихся применение в различных областях (индустрия развлечений, реклама, театр, кино и пр.), разработана многоаспектная классификация, использование которой позволяет упорядочить обширную информацию об известных образцах и конкретизировать требования к новым разработкам.

2. Для создания фундамента прикладной науки о демонстрационных роботах предлагается использовать методологию и конкретные результаты из таких наук, как анатомия, биомеханика, бионика, эргономика, промышленная робототехника.

3. Показано, что предлагаемая методика анализа реальных образцов, изображений и документации о созданных моделях демонстрационных роботов позволяет унифицировать и систематизировать сведения, получаемые из различных источников, а также формулировать предложения по их улучшению, что продемонстрировано на примере разбора робота разработки объединения «Новая эра».

4. Показано, что типичным для демонстрационных роботов и для программирования движений является то, что в одних случаях реализуются быст-

рые переходы из одних положений в другие, и тогда система управления строится, как цикловая, а в других случаях требуются плавные движения по гладким траекториям, и тогда необходимо контурное управление.

5. Показано, что для антропоморфных и зооморфных демонстрационных роботов может использоваться несколько различных способов компоновывания двигателей в конструкцию: имитация мышц, встраивание в шарниры, расположение в свободных объемах с передачей движения с помощью гибких звеньев, вынесение за пределы фигуры; проведено сопоставление этих способов.

6. Предложено использовать в механизмах демонстрационных роботов гибкие звенья в качестве замены фрагментов скелетов прототипов с большим числом звеньев. Показано, что расчет подобных элементов должен производиться на основе теории больших деформаций тонких стержней, а выбор параметров – по результатам анимации на экране монитора.

7. Установлено, что при исследовании кинематики и динамики на математических моделях вполне достаточно обычного математического аппарата аналитической механики, однако критерии выбора параметров по динамическим критериям должны основываться на экспертном оценивании.

8. Для прототипов, определенных в соответствии с национальными и культурно-религиозными традициями Бурятии определены позы фигур, представляющиеся наиболее интересными для реализации в демонстрационных роботах для Восточного региона, для них предложены кинематические схемы механизмов и обоснован их выбор.

9. Применительно к рассматриваемым схемам механизмов демонстрационных роботов сформулированы, формализованы и решены задачи динамики, определены критерии и факторы, которые нужно учитывать при выборе приводов, режимов их работы и при программировании движений.

Основные результаты диссертации отражены в следующих публикациях:

1. Урмакшинова Е.Р., Мархадаев Б.Е., Никифоров С.О. Полициклоидальные мехатронные устройства: топология траекторий // Мат. III Всерос. научно-техн. конф. «Теоретич. и прикл. вопросы соврем. информ. технологий» – Улан-Удэ: Изд. ВСГТУ, 2002. – ч.1. С.82-84.

2. Урмакшинова Е.Р., Никифоров С.О, Челпанов И.Б. Задачи конструирования демонстрационных роботов // Мат. I Межд. научно-практ. конф. «Современные проблемы машиностроения и приборостроения» 24-28 сентября 2002 г. - Томск: СТТ, 2003. С.141-143.

3. Урмакшинова Е.Р., Мархадаев Б.Е., Никифоров С.О. К вопросу проектирования демонстрационных роботов // Сб. статей VIII Межд. научно-техн. конф. «Проблемы машиностроения и технологии материалов на рубеже веков» - Пенза: 2003. - ч.2. С.142-144.

4. Урмакшинова Е.Р. Алгоритм анализа моделей демонстрационных роботов и программная реализация их движений // Мат. II Межд. конф. «Проблемы механики современных машин» - Улан-Удэ: Изд. ВСГТУ, 2003. – ч.3, С.37-40.

5. Никифоров С.О., Урмакшинова Е.Р., Челпанов И.Б., Бальжанов Д.Ц. К методологии создания демонстрационных роботов // Мат. II Межд. конф. «Проблемы механики современных машин» - Улан-Удэ: Изд. ВСГТУ, 2003. – ч.3. С.41-44.

6. Челпанов И.Б., Урмакшинова Е.Р., Никифоров С.О., Бальжанов Д.Ц. Принципы реализации приводных устройств демонстрационных роботов // Мат. II Межд. конф. «Проблемы механики современных машин» - Улан-Удэ: Изд. ВСГТУ, 2003. – ч.3. С.45-50.