

На правах рукописи

ЗНАМЕНСКИЙ Иван Сергеевич

АВТОМАТИЗАЦИЯ ДЕМОНСТРАЦИОННЫХ УСТРОЙСТВ

Специальность: 05.13.06 - Автоматизация и управление
технологическими процессами и
производствами (сфера услуг)

Автореферат диссертации
на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Разрешено к печати на правах

Рукописи решением совета

Д 212.229.21

Протокол № от 2002 г.

Предполагаемый срок защиты

28 мая 2002 г.

Ученый секретарь

Л.В. Черненькая

К печати утверждаю

Вице-президент по научной работе СПбГТУ

А.Я. Башкарев

Санкт-Петербург
2002

Работа выполнена на кафедре «Автоматы» Санкт-Петербургского государственного технического университета

Научный руководитель: доктор технических наук,
профессор Челпанов И. Б.

Научный консультант: доктор технических наук,
профессор Дьяченко В.А.

Официальные оппоненты: доктор технических наук,
профессор Тисенко В.Н.
кандидат технических наук,
доцент Ласточкин А.А.

Ведущая организация: ООО «Вибротехник»

Защита состоится 28 мая 2002 г. в 16 часов на заседании диссертационного совета Д 212.229.21 в Санкт-Петербургском государственном техническом университете по адресу: 195251, Санкт-Петербург, Политехническая ул. 29, главное здание, ауд. 118.

С диссертацией можно ознакомиться в фундаментальной библиотеке СПбГТУ.

Автореферат разослан «__» _____ 2002 г.

Ученый секретарь диссертационного совета
доктор технических наук, профессор

Черненко Л.В.

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы. В связи с интенсивным развитием рыночных отношений в нашей стране важную роль играет комплекс средств, содействующих продвижению продукции на рынки. Обычно ведущую роль в этом плане выделяют рекламе. Высокими наглядностью и действенностью обладает такая реклама, которая построена на демонстрации в движении реальных объектов, их элементов или макетов. Работающие демонстрационные устройства, стенды или демонстрационные установки также с успехом используются в обучении. В таких стендах интегрируются достижения механики и электроники, поэтому проблематика их создания может быть отнесена к мехатронике.

Демонстрационные стенды могут строиться исключительно на средствах электроники, в этих случаях движущиеся изображения создаются на экранах (экранах электронно-лучевых трубок, многоэлементных панелях, дисплеях типа бегущей строки и пр.). Однако этих средств далеко не достаточно для обеспечения действенности и выразительности демонстрации. Стенды с реальными устройствами или макетами, в которых реализуется настоящее, механическое движение звеньев реальных механизмов, оказываются незаменимыми.

Предназначенные исключительно для целей демонстрации машины или механизмы с автоматическим или автоматизированным приводом достаточно разнообразны и широко распространены, но до сих пор они не имеют самостоятельного статуса. В данной диссертации предлагается их объединить под названием *демонстрационные устройства* или *демонстрационные роботы*. Важнейшим признаком демонстрационных роботов следует считать механическое движение устройства в целом или относительное движение составных частей (в противоположность иллюзорному движению изображений на экране). Основными отличительными чертами демонстрационных роботов являются наличие не слишком простых механизмов, движение составных частей механизмов (реальное, физическое, а не лишь видимое движение

изображений на экране), ориентация на зрительное восприятие; как и для других типов роботов другого назначения целесообразно придание свойств регулируемости и переналаживаемости. Если отсутствует движение, устройство не может быть роботом. Так к робототехнике не имеют отношения многочисленные компьютерные игры. Очевидно, что не имеют права именоваться роботами демонстрационные устройства с самыми простыми, нерегулируемыми и неуправляемыми механизмами.

Исторический опыт показывает, что всегда был активный интерес к автоматам, которые не предназначались для утилитарных целей, не выполняли никаких производственных функций, а лишь демонстрировали сами себя или другие объекты, либо служат просто для развлечения. В течение многих веков такие роботы параллельно существовали, с одной стороны, в воображении, в виде фантомов в фольклоре и литературе, а с другой - реально, в виде заводных игрушек или механических автоматов. Известно, что широкое распространение реальные 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 наше время подобные автоматы, которые можно относить к демонстрационным роботам, широко используются в рекламе (в частности, устанавливаются в витринах), в экспозициях на выставках, в парках и аттракционах, в кинематографии и на телевидении при имитации живых существ. Широкое распространение получили специализированные демонстрационные роботы как тренажеры (в том числе и интеллектуальные) для обучения или тренировки персонала, или при технической отработке больших, сложных и дорогостоящих технических средств (например, роботов-планетоходов). В роли демонстрационных могут выступать промышленные роботы, когда они не выполняют настоящие производственные функции (например, играют в шахматы), экспериментальные образцы роботов космического назначения, которые пока не могут выполнять полезные операции и др. Первые модели роботов, которые называли

промышленными, но сначала не находили применение на производстве, а экспонировались на выставках, по существу были демонстрационными.

Во всех случаях при разработке экстерьера любого демонстрационного робота обычно значительное место принадлежит дизайнерам. С другой стороны, современный демонстрационный робот представляет собой автоматически управляемую систему, часто с совершенным компьютерным устройством управления. Однако, есть все основания считать, что все же 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 представляется актуальной.

Цель работы заключается в создании научных основ проектирования механизмов некоторых групп демонстрационных устройств, в первую очередь нового класса роботов - демонстрационных роботов.

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

- систематизация собранных сведений об истории демонстрационных автоматов различного назначения;
- определение специфики требований к демонстрационным устройствам, исходя из обобщения опыта их создания и использования;
- анализ типажа существующих демонстрационных устройств и построение многоаспектной, возможно более полной их классификации по многим признакам;
- анализ кинематических схем некоторых реализованных антропоморфных роботов и выработка рекомендаций по их проектированию, исходя из требований к выполняемым движениям;

- 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 стационарного робота-гида, предназначенного для демонстрации размещенных в стандартной ячейке экспонатов, обоснование выбора числа степеней свободы кинематических схем и диапазонов изменения углов поворота звеньев механизмов такого робота;

На защиту выносятся следующие **основные положения**:

1. Автоматы, предназначенные исключительно для демонстрации, а не для выполнения производственных функций, многочисленны, известны по описаниям и должны стать предметом серьезных научных исследований.
2. Основной отличительной особенностью 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.
3. Демонстрационные роботы могут демонстрировать или сами себя, или другие изделия, в зависимости от этого задается общий облик, выбираются прототипы, принципиальные и схемные решения.
4. 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.
5. Исторические сведения о демонстрационных устройствах и их аналогах могут быть полезны в части выявления исторического типажа и выполняемых функций.
6. Использование разработанной классификации позволяет структурировать базы данных (прототипов и их типовых элементов),

необходимые для организации эффективного автоматизированного проектирования демонстрационных устройств.

7. К числу наиболее распространенных относятся антропоморфные и зооморфные демонстрационные роботы, при их проектировании целесообразно опираться на данные о построении скелетов и расположении мышц.

8. Одной из наиболее перспективных является задача проектирования стационарного робота-гида, указывающего лазерным лучом на демонстрируемые экспонаты; в зависимости от конкретных требований для его механизма достаточно от двух до четырех степеней свободы.

9. Размещение приводов демонстрационных роботов может быть различным: последовательно по кинематическим парам (встроенные двигатели), параллельно по кинематическим парам (пристроенные двигатели), на выходном звене (весь механизм выполняется пассивным).

10. Использование гибких звеньев позволяет уменьшить число степеней свободы манипулятора.

11. При оценке динамических процессов в демонстрационных роботах предпочтение отдается критериям, воспринимаемым зрителем визуально, а именно согласованность движений по степеням подвижности, время и амплитуда перемещения, закон изменения скорости.

Научная новизна работы состоит в том, что применительно к существовавшей в течение столетий и интенсивно развивающейся теперь практике создания механических средств демонстрационной техники с автоматическим управлением впервые сформулированы серьезные теоретические задачи, начиная с классификации по многим признакам и кончая компьютерной анимацией по результатам расчета на математических моделях.

Методы исследования. При разработке теоретических положений диссертационной работы использовались методы аналитической геометрии, теоретической механики, теории механизмов и теории автоматического регулирования, привлекались сведения из анатомии человека.

Достоверность научных положений, выводов и рекомендаций,

содержащихся в диссертации, подтверждена подробным анализом образцов демонстрационной техники, в первую очередь, демонстрационных роботов, конструктивным характером предложений по специальным сферам применения их новых типов, подробным обсуждением результатов решения конкретных задач и экспертным оцениванием.

Практическая ценность работы заключается в создании и опробовании методологии сбора, анализа и систематизации сведений о созданных и разрабатываемых демонстрационных устройствах, в разработке научных основ проектирования схем и конструкций механизмов и обоснованного выбора приводов одного из классов подобных устройств, а именно, стационарных роботов-гидов, предназначенных для работы в ячейках выставок.

Использование результатов работы. Материалы по проработанным схемным и конструктивным решениям переданы в Санкт-Петербургское отделение российско-японской фирмы «SMC Corporation» для использования при подготовке выставочных экспозиций, а также в фирмы ООО «Биотехномед», ООО «Вибротехник» для использования при изготовлении рекламных средств.

Апробация работы и публикации. Все основные результаты исследований, проведенных в диссертации, опубликованы в 4 работах, по материалам диссертации было сделано 5 докладов на всероссийских научно-технических конференциях в Улан-Удэ и семинарах кафедры «Автоматы» СПбГТУ.

Структура и объем работы. Диссертация состоит из введения, трех глав, заключения и списка литературы. Общий объем диссертации – 154 страницы, содержащих 62 иллюстрации и 7 таблиц. Список литературы насчитывает 146 наименований.

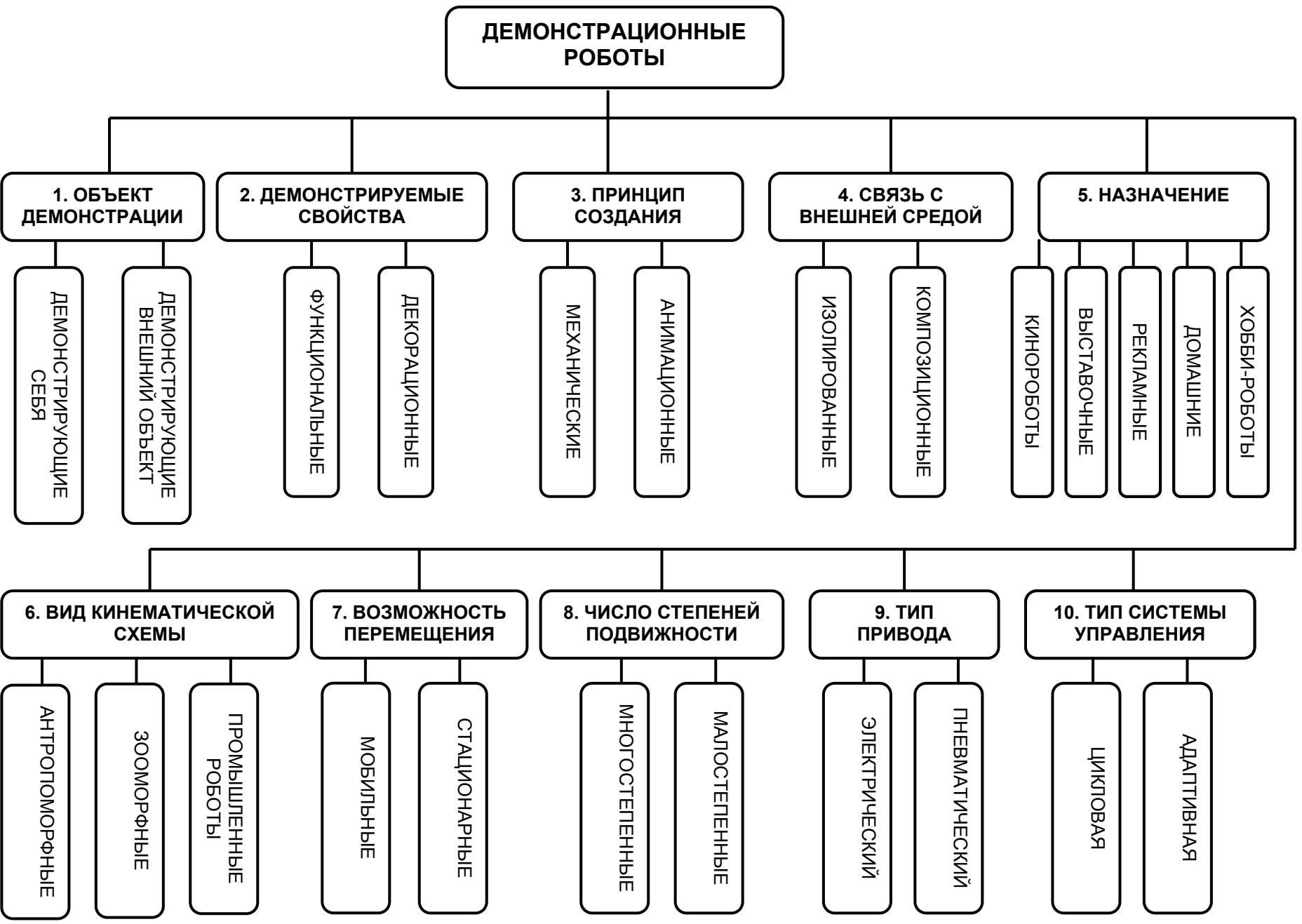
СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во **введении** обосновывается актуальность темы диссертации, формулируются общая цель и конкретные задачи исследования, а также основные положения, выносимые на защиту, дается краткий обзор содержания по главам. Констатируются серьезные объективные трудности, обусловленные преимущественно рекламным характером информации о демонстрационных установках и полным отсутствием серьезных научных исследований в рассматриваемой области.

Основной материал диссертации разбит на три главы.

Первая глава посвящена аналитическому обзору истории и современного состояния проектирования и создания демонстрационных роботов, которые не предназначались для производственных функций. Отмечается, что часто по упоминаниям о механических автоматах в литературных источниках нет никакой возможности судить не только об их устройстве, но и надежно констатировать сами факты их существования. Приводятся краткие обзорные сведения о механизмах созданных в XVII-XVIII веках различных демонстрационных устройств, в частности, башенных и дворцовых часов с движущимися фигурами и других автоматов. Из современных достижений упоминаются разработки антропоморфных двуногих и четвероногих зооморфных роботов. Отмечается развитие демонстрационной техники в современной киноиндустрии и сценографии в театре. Везде, где возможно, приводятся максимально конкретные сведения об их устройстве. Определяется специфика демонстрационной техники для научно-технических экспозиций на выставках, а также специфика хобби-роботов и интеллектуальных игрушек. На основе обобщения собранной информации далее в этой главе предлагается подробная многоаспектная классификация существующих демонстрационных устройств по нескольким признакам (табл.).

Таблица. Классификация демонстрационных устройств



КЛАССИФИКАЦИОННЫЙ ПРИЗНАК

КЛАССИФИКАЦИОННЫЙ ПРИЗНАК

В классификации, в частности, отражено то, что демонстрационный робот может демонстрировать сам себя или другие объекты, демонстрационные устройства удобно разделять по сферам деятельности, что часто демонстрационные роботы имитируют живые организмы. В классификации также предусматривается набор качественных и количественных показателей, традиционных для технических устройств (число степеней подвижности механизма, тип привода и т.д.). По результатам анализа формулируются основные задачи исследования в данной диссертации.

Во **второй главе** представлена методология анализа существующих и проектируемых демонстрационных устройств, основывающаяся на построенной в главе 1 классификации. Методика предусматривает такую последовательность этапов: определение назначения, выявление базовой кинематической схемы и числа степеней подвижности, установление типа привода, описание системы управления и т.д. В центре внимания второй главы критический анализ схемы и конструкции антропоморфного демонстрационного робота «Терминатор» (якобы после пребывания в огне сохранившего только скелет с приводами), созданного для съемок одноименного фильма. Из сопоставления пропорций этого робота с пропорциями скелета человека выявляются умышленные искажения, заданные создателями робота, автором предлагаются другие модификации, также основанные на изменении пропорций (рис.1).

Дальнейший анализ основывается на сопоставлении, с одной стороны, костей скелета и мышц человека, а с другой стороны, звеньев механизма и двигателей приводов «Терминатора». Подробно рассматривается кинематика этого антропоморфного робота, в результате анализа выявляются недостатки конструкции (некоторые важные обязательные движения оказываются неосуществимыми) и формулируются предложения по ее модернизации с целью значительного расширения возможностей и увеличения рабочей зоны.

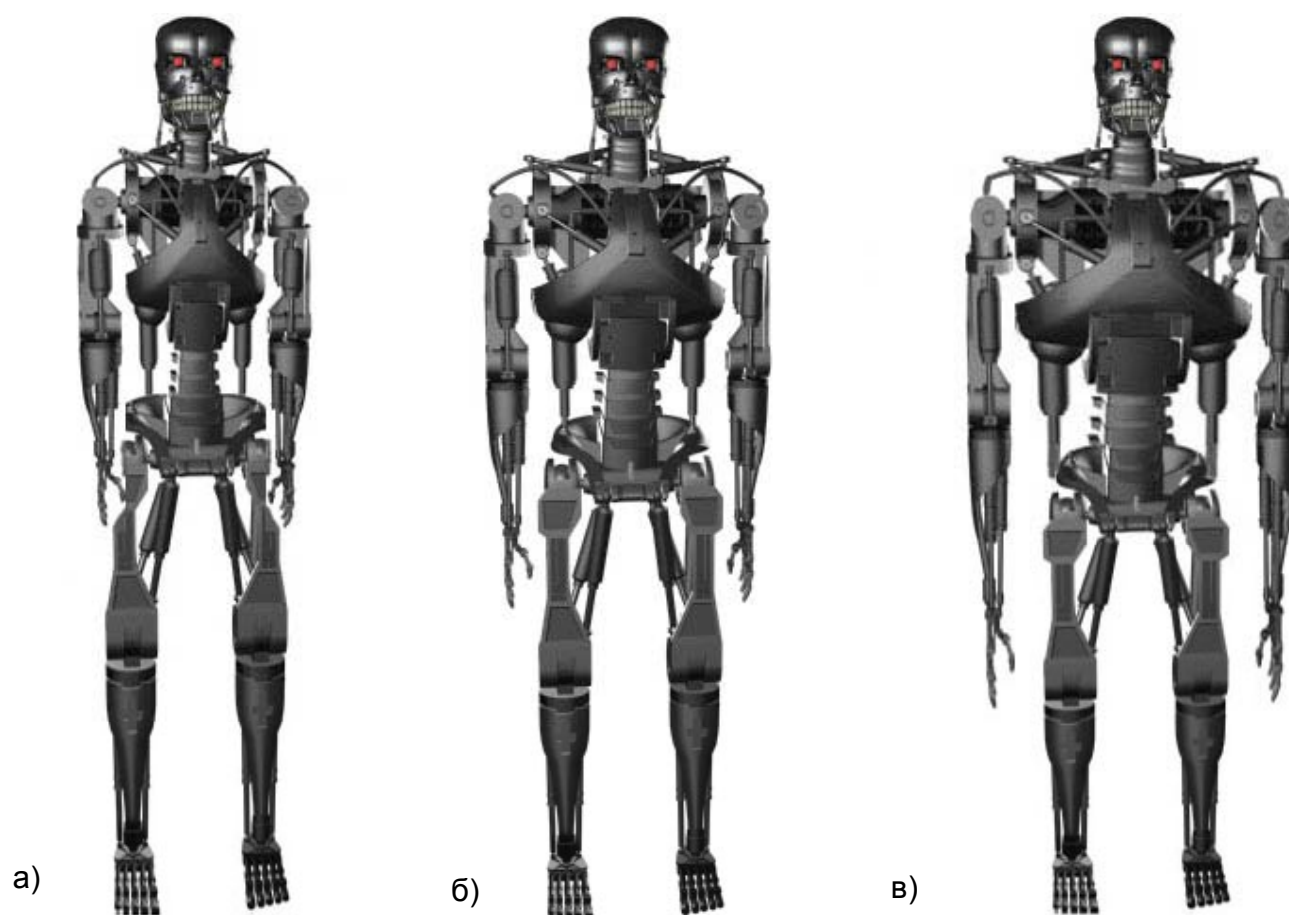


Рис.1. Ряд моделей «Терминатора» с различными пропорциями

- а) пропорции человека;
- б) пропорции робота в кинокартине;
- в) модель с гипертрофированным искажением пропорций.

В заключение главы анализируется способ перемещения и кинематика шестиногих шагающих демонстрационных автоматов с электро- и пневмоприводом и высказываются соображения относительно перспектив их применения.

Третья глава посвящена формулировке задач проектирования стационарных роботов-гидов, выбору их кинематических схем и определению параметров. Рассматриваются различные подходы к созданию показывающих роботов и способы указания на демонстрируемые объекты. Из обзора известных конструкций роботов-гидов делается вывод, что при наиболее распространенном в наше время принципе построения экспозиций по независимым ячейкам наиболее перспективной следует считать схему робота-гида с одной приводной рукой при демонстрации с помощью лазерной указки.

При этом на внешний вид робота-гида не налагаются ограничения, он может представлять собой или серийный промышленный робот, или маскироваться под фигуру животного или человека. Исходные требования к выбору кинематических схем выводятся из анализа геометрии расположения в пространстве экспонатов и самого робота. Применительно к показывающему роботу-гиду с лазерной указкой автором введено нетрадиционное понятие угловой рабочей зоны, которая может быть представлена фигурой на единичной сфере или фигурами на определенным образом ориентированных плоскостях. Рабочая зона робота должна быть согласована с расположением демонстрируемых экспонатов, выдвигаются предложения по расширению рабочей зоны. По результатам анализа конфигурации рабочей зоны определяется минимальное количество степеней подвижности робота, демонстрирующего компактные объекты. При благоприятных условиях достаточно двух вращательных степеней подвижности, для этого случая определены количественные характеристики размеров рабочей зоны в зависимости от естественных ограничений на углы поворота звеньев в показано, что размеры и конфигурация рабочей зоны помимо ограничений на углы зависит от ориентации осей кинематических пар. В общем виде показано, что в сложных случаях, когда луч лазерной указки следует направлять в заданные точки с заданных направлений, требуется четыре вращательные степени подвижности руки. Это типично при демонстрации оборудования, когда нужно точно указывать на определенные детали или узлы (рис. 2).

Рассматриваются типовые ситуации, когда задается определенная кинематическая схема, а луч следует посылать с определенных направлений, часто сверху. В качестве дополнительного средства, обеспечивающего заданные направления лучей, предлагается использовать специально расставленные отражающие зеркала, формулируются рекомендации по их расстановке. Обсуждаются вопросы анализа погрешностей указания объектов с помощью луча и постановки требований к точности приводов по степеням подвижности.

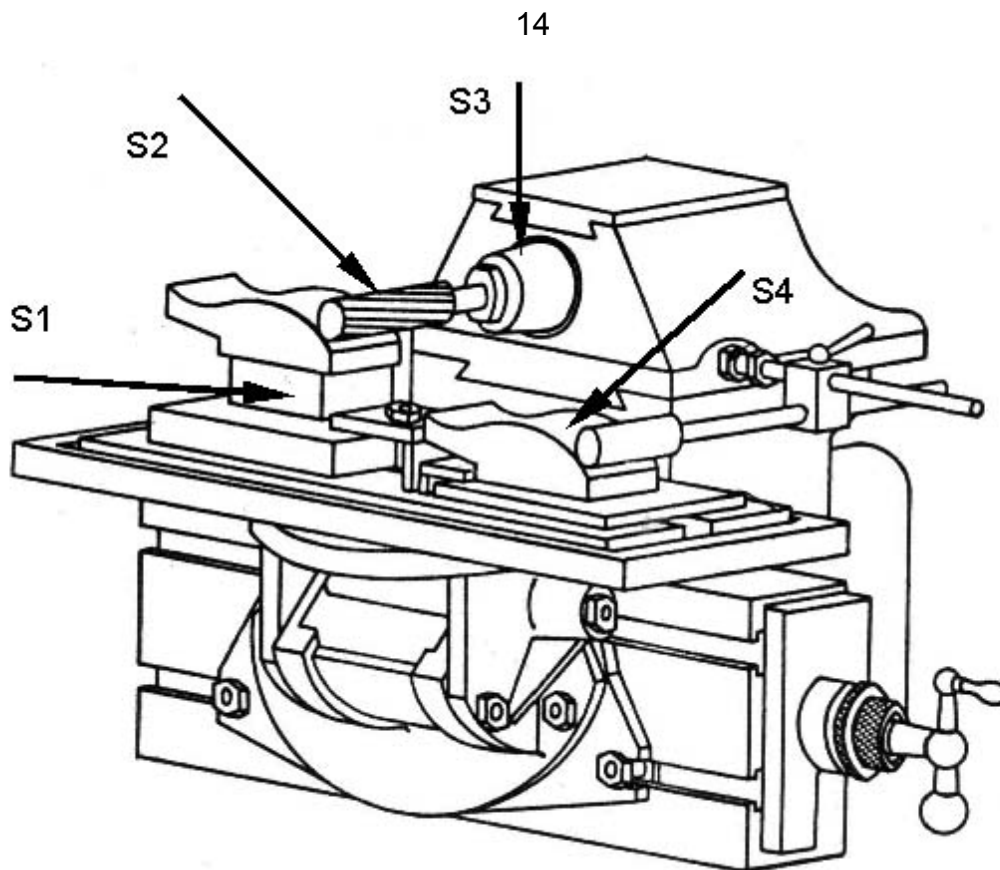


Рис.2. Поле направлений луча при демонстрации деталей в рабочей зоне станка.

В этой же главе затем рассматриваются различные типы приводов, применяющихся в демонстрационных роботах, вопросы компоновки приводов и способы их присоединения к подвижным звеньям механизма робота. Обсуждаются преимущества и недостатки трех основных альтернативных варианта: встроенного, когда приводы встраиваются в узлы шарниров механизма, приложенного, когда двигатели приводов располагаются относительно звеньев механизма, аналогично мышцам относительно костей скелета, пристроенного, когда двигатели соединяют звенья с неподвижным основанием, никак не увязываются с общим видом робота и поэтому должны маскироваться. Как перспективный вариант предлагается приводить в движение непосредственно сам объект самостоятельным замаскированным приводом, в общем случае шестистепенным по принципу платформы Стьюарта (рис.3), а руку робота выполнять, как пассивный механизм, без приводов.

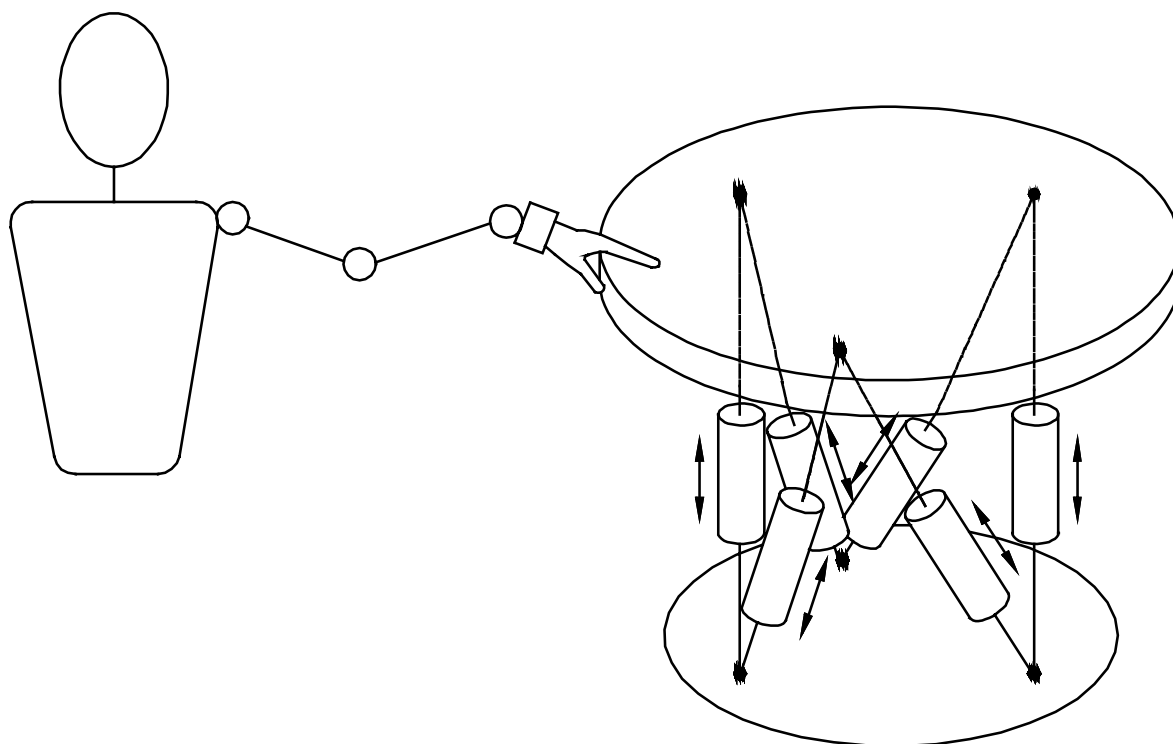


Рис.3. Демонстрация массивного объекта на платформе Стьюарта

Рассмотрены возможности использования гибких звеньев и возможности расстановки двигателей приводов на звеньях типа хоботов.

Предлагается процедура отработки динамики по изображению на экране монитора. Процедура представлена в виде блок-схемы с безусловными и условными переходами. С помощью метода экспертных оценок на анимационной модели робота-гида с одной подвижной рукой, имеющей две степени подвижности, исследуются динамические режимы при перемещении указателя, выбираются оптимальные законы изменения обобщенных скоростей, приводятся ограничения по параметрам перемещения.

Основные выводы и рекомендации по диссертации сформулированы в **Заключении**.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

К настоящему времени сложился и определился класс демонстрационных роботов, как автоматических машин, которые не выполняют производственных функций, а демонстрируют сами себя или различные объекты на выставках и презентациях, они используются также в кино- и видеоиндустрии и т.д. Особое место занимают антропоморфные и зооморфные демонстрационные роботы.

1. Показано, что специфика демонстрационных роботов проявляется на всех этапах проектирования, начиная с формулировки требований, выбора схем и элементов, и кончая созданием конструкций.
2. Для автоматических демонстрационных устройств, в первую очередь, демонстрационных роботов разработана многоаспектная классификация, использование которой позволяет упорядочить обширную информацию об известных образцах и конкретизировать требования к новым разработкам.
3. Разработана методика анализа получаемых из разных источников данных о д.р. с тем, чтобы найти место каждого д.р. в предложенной классификации.
4. Проведено исследование кинематических схем некоторых реализованных антропоморфных роботов и выработаны рекомендации по их совершенствованию исходя из требований к выполняемым движениям.
5. Для демонстрационных роботов обоснован выбор одного из трех способов взаимосвязи автоматически управляемых двигателей с механизмами (приводы могут располагаться последовательно по осям кинематических пар, параллельно пристраиваться к каждому звену или непосредственно перемещать демонстрируемый объект при пассивном механизме манипулятора).
6. Показано, что в отличие от промышленных роботов широкие возможности в конструкциях демонстрационных роботов предоставляет применение гибких звеньев, которые позволяют получить гладкую форму изгиба и сократить количество приводов.
7. Для одной из перспективных разновидностей демонстрационных роботов, а именно, роботов-гидов с автоматическим программным управлением,

предназначенных для показа экспонатов в ячейках экспозиций с помощью лазерной указки, сформулированы основные задачи геометрии и кинематики.

8. Установлено, что в простейшем случае для руки робота-гида достаточно двух вращательных степеней подвижности, а в общем случае, когда на разные объекты или их фрагменты нужно направлять луч указки с заданных направлений, механизм робота-гида должен иметь минимум четыре степени подвижности.
9. Показано, что требования к программируемой динамике демонстрационных роботов (по средним значениям обобщенных скоростей, по законам изменения ускорений при разгоне и торможении) целесообразно определять по результатам экспертного оценивания анимации на экране монитора.
10. Разработана методика выработки окончательных рекомендаций по динамическим режимам движения робота-гида на основе имитационного моделирования с контролем результатов на экране монитора.

ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ ОПУБЛИКОВАНЫ СЛЕДУЮЩИЕ РАБОТЫ:

1. Никифоров С.О., Челпанов И.Б., Знаменский И.С., Соколов В.А., Мандаров Э.Б. Демонстрационные роботы: цели создания, разновидности и задачи механики // Материалы международной конференции «Проблемы механики современных машин».- Улан-Удэ: Издательство ВСГТУ, 2000. С. 50-55.
2. Знаменский И.С., Челпанов И.Б. Демонстрационные роботы, предназначенные для использования на выставках и презентациях // Материалы межвузовской научной конференции в рамках XXIX недели науки СПбГТУ. – СПб: Издательство СПбГТУ, 2001. С. 4-5.
3. Челпанов И.Б., Никифоров С.О., Знаменский И.С., Соколов В.А. Демонстрационные роботы: цели и реализация // Материалы всероссийской научно-технической конференции «Теоретические и прикладные вопросы современных информационных технологий».- Улан-Удэ: Издательство ВСГТУ, 2001. С. 24-27
4. Знаменский И.С., Челпанов И.Б. Отработка динамики демонстрационных роботов // Материалы межвузовской научной конференции в рамках XXX недели науки СПбГТУ. – СПб: Издательство СПбГТУ, 2002. С. 8-9.