

пробег на одном заряде варьируются от типа автомобиля-донора и часто зависят от возможности разместить необходимое количество батарей на борту автомобиля. Кроме того, выбирая модули АКБ, ориентируются на их тип, качественные характеристики и стоимость.

### Выводы

Конвертация автомобиля с ДВС в полноценный электромобиль при кажущейся простоте является сложной и трудоёмкой задачей. В связи с тем что мы лишаем базовый автомобиль двигателя внутреннего сгорания, те системы, которые брали привод и работали благодаря постоянному вращению коленчатого вала двигателя, не могут дальше полноценно функционировать. Такими системами являются гидравлический усилитель руля, тормозная система, обогрев салона, система кондиционирования (компрессор). Помимо этого, все приборы освещения и панель приборов штатного автомобиля рассчитаны на напряжение питания в 12 В, а монтируемые системы электропривода работают на напряжении от 72 В и выше, достигая в современных электромобилях порой 400 В. Все эти вопросы требуют тщательной проработки и решения исходя из конкретной модели автомобиля.

В зарубежной практике по конвертации автомобилей имеется не малый опыт. В США в свободной продаже имеются печатные книги и справочники с практически пошаговой инструкцией по конвертации и подбору необходимого оборудования. Описывается процесс подбора автомобиля-донора, на какие аспекты необходимо обратить особое внимание, приведены примеры удачных конвертаций и характеристики полученных электромобилей [4]. В некоторых зарубежных источниках приведен краткий обзор компаний и компонентов для преобразования [5, 6]. К сожалению, в России данная информация практически отсутствует, а весь опыт по конвертации в нашей стране сводится к опыту инженеров-любителей, чьи результаты не подтверждены научно-технической базой.

### Литература

1. Build Your Own Electric Car or Truck // Les and Jane. – 2008. – 129 с.
2. ICE Free: Electric vehicle technology for builders and converters // Mr. John Hardy. – 2012. - №1. – 224 с.
3. Build Your Own Electric Vehicle // Seth Leitman, Bob Brant. – 2013. - №2. – 154 с.
4. The Electric Vehicle Conversion Handbook HP1568 // Mark Warner. - 2011. – С. 218-222.
5. Electric Vehicle Technology Explained Hardcover // James Larminie , John Lowry. – 2012. - №2. – 152 с.
6. Build Your Own Plug-In Hybrid Electric Vehicle (TAB Green Guru Guides) // Seth Leitman. – 2009. – 128 с.

### **Компьютерная модель оператора транспортного средства**

д.т.н. проф. Кобзев А.А., Лекарева А.В.

*Владимирский государственный университет им. А.Г. и Н.Г. Столетовых  
(84922)479763, tasya671@rambler.ru*

*Аннотация.* Проектирование мобильных технологических комплексов требует учета физиологических особенностей человека как оператора. Первостепенной задачей является моделирование движений операторов, исследование динамического воздействия транспортного средства на человека-оператора, выполняющего функции управления рабочими органами технологического оборудования и управления транспортным средством. В этой связи в данной работе рассматривается разработка математической модели оператора транспортного средства, имеется в виду разработка его органов, участвующих в выполнении процедур и действий, связанных с получением управляющей информации и управлением рабочими органами.

*Ключевые слова:* человек-машинная система, оператор транспортного средства, органы управления, недоопределенные движения, методы инверсной

Проектирование мобильных технологических комплексов требует учета физиологических особенностей человека как оператора. Поэтому первостепенной задачей является моделирование движений операторов, исследование динамического воздействия транспортного средства на человека-оператора, выполняющего функции управления рабочими органами технологического оборудования и управления транспортным средством. В действительности не всегда удается свести множество действий оператора к ограниченному набору. Например, если требуется включить определенный тумблер в некоторой зоне пульта, а исходное положение оператора заранее не определено, то существует бесконечное множество траекторий перемещения пальца оператора из исходного положения к заданной точке пульта.

Движения человека-оператора чрезвычайно разнообразны. Высокие двигательные возможности – типичное свойство любой высокоразвитой биологической системы. Однако вопрос о том, как живой организм формирует, строит движения, например, как человек выполняет движения рукой, держащей инструмент, какие из степеней подвижности, в каком объеме и на каких интервалах участвуют в построении движения, каковы механизмы, способы, критерии преодоления и использования двигательной избыточности в живых организмах [1], – этот вопрос до сих пор актуален. Как следствие этого, на данном этапе развития не представляется возможным реализовать такую модель оператора, которая бы воспроизводила все многообразие движений человека. Поэтому при моделировании движений оператора мы вынуждены ограничивать набор выполняемых операций и строить упрощенные модели движений.

Манипуляции, осуществляемые оператором при управлении рабочими органами, являются недоопределенными движениями, которые можно разделить:

- 1) осуществление нажатия кнопок на пультах управления пальцами правой руки;
- 2) переключение тумблеров пальцами правой руки;
- 3) осуществление захвата и управляющих операций посредством джойстика.

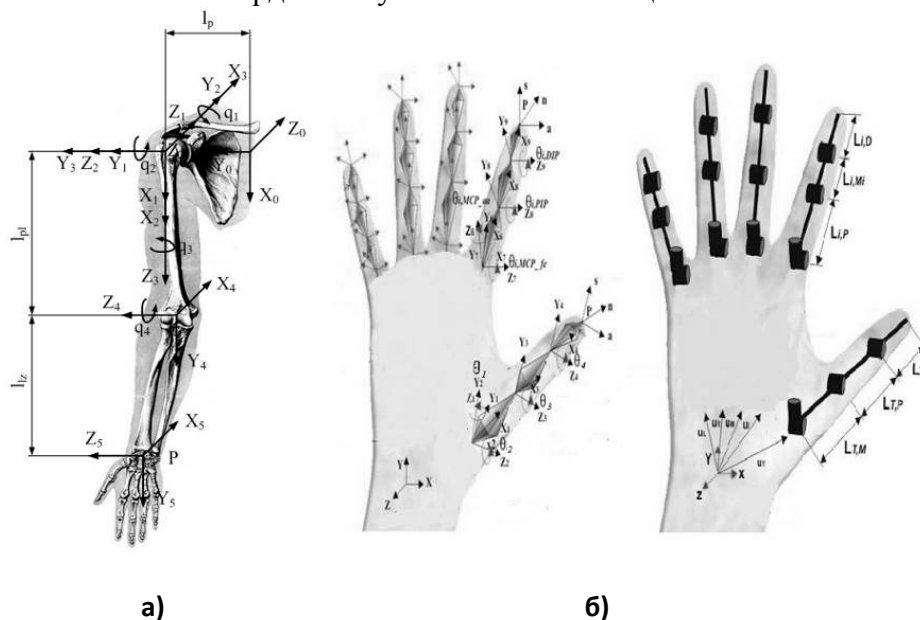
Недоопределенные движения целесообразно моделировать в реальном масштабе времени с использованием методов инверсной кинематики [2]. Моделирование перемещения руки оператора в целевую точку предполагает определение конечной конфигурации модели руки, в которой ее кисть находится в целевой точке, что представляет собой обратную задачу о положениях в робототехнике (антропоморфный манипулятор представляет собой многозвенную систему, схожую по структуре с рукой). После нахождения решения обратной задачи выполняется генерация движения из текущей конфигурации скелета к конечной, являющейся решением обратной задачи.

Перед решением обратной задачи необходимо выполнить следующее условие: оператор должен быть расположен таким образом относительно пульта, чтобы целевая точка попадала в рабочую зону. Это означает, что оператор при неподвижном теле, двигая лишь рукой, может дотянуться до целевой точки. Неподвижность тела при выполнении операций руками в общем случае является довольно сильным ограничением движения человека [2], однако в большинстве случаев при работе оператор задействует только руки для выполнения управляющих операций, следовательно, при моделировании действий оператора данное ограничение вполне допустимо. При решении обратной задачи необходимо учитывать, что человек на подсознательном уровне стремится совершать движения со следующими параметрами: с достижением максимальной скорости, минимизацией времени движения и минимизацией затрат энергии. Например, если человек может достигнуть целевой точки, переместив лишь кисть, он не будет совершать движение рукой или всем телом для достижения цели. Аналогично, неудобно подводить руку сверху, поскольку это также приводит к лишним затратам энергии на поднятие руки [3].

Рука человека представляет собой разомкнутую кинематическую цепь с 27 степенями свободы. Она имеет сложную кинематическую структуру, воссоздание которой технически доступными средствами с повторением в ней габаритных, динамических и энергетических характеристик является практически неразрешимой задачей [4]. Даже упрощенная модель

скелета руки состоит из семи звеньев, соединенных вращательными парами пятого класса, поэтому для данной кинематической структуры невозможно решить обратную задачу о положениях в явном виде. С целью упрощения математической модели рука оператора разбита на две подсистемы – непосредственно рука оператора и кисть. Для оптимального достижения целевой точки, расположенной в оперативной зоне оператора, согласно проведенному анализу, достаточно 4 степени свободы. Модель кисти руки имеет 20 степеней подвижности – на каждый палец руки приходится по 4 степени подвижности. Поскольку большинство управляющих операции осуществляется правой рукой, будем рассматривать для построения математической модели прежде всего ее структуру.

Кинематическая модель руки оператора с учетом принятых допущений представлена на рисунке 1. Рассматриваемая модель имеет четыре степени подвижности, три из которых расположены в плечевом суставе ( $q_1$  и  $q_2, q_3$ ) и одна в локтевом суставе. Следует отметить, что операции управления, осуществляемые непосредственно пальцами, необходимо рассматривать отдельно, в силу независимости их движений относительно основного скелета руки. Все пальцы кисти руки, согласно разработанной модели, имеют одинаковую кинематическую структуру, отличие состоит только в разной ориентации базовых осей координат большого пальца и указательного пальца относительно глобальной системы координат, в качестве которой выступает плечо руки оператора. Средний, безымянный пальцы и мизинец имеют подобные системы координат с указательным пальцем.



**Рисунок 1. Полное описание систем координат руки оператора: а) кинематическая конфигурация руки оператора; б) кинематическая конфигурация кисти руки оператора**

Рассмотрим решение прямой и обратной задачи кинематики для представленной конфигурации модели руки оператора без учета кисти. В таблице 1 приведены основные параметры сочленений данной модели.

Таблица 1

**Параметры сочленений модели руки оператора**

Номер звена $i$	$\theta_i$ (град)	$a_i$ (град)	$a_i$ (мм)	$d_i$ (мм)	Допустимые значения углов
0	0	0	150	-	-
1	$q_1$	90	-	-	$0^\circ \leq q_1 \leq 170^\circ$
2	$q_2$	90	-	-	$-70^\circ \leq q_2 \leq 170^\circ$
3	$q_3$	-90	-	320	$-40^\circ \leq q_3 \leq 90^\circ$
4	$q_4$	0	270	-	$0^\circ \leq q_4 \leq 175^\circ$

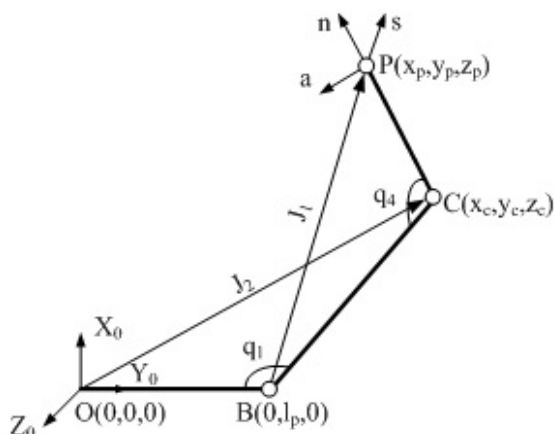
Решение прямой задачи кинематики является вопросом вычисления матрицы  $T$  с помощью последовательного перемножения матриц  $A_{i-1}^i$ . Определим матрицу положения  $T_0^4$ , связанную с положением и ориентацией кисти руки оператора, согласно выражению:

$$T_0^4 = A_0^0 A_0^1 A_1^2 A_2^3 A_3^4, \quad (1)$$

$$T_0^4 = \begin{bmatrix} n_x & o_x & a_x & p_x \\ n_y & o_y & a_y & p_y \\ n_z & o_z & a_z & p_z \\ 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}. \quad (2)$$

Обратная задача кинематики заключается в том, чтобы выразить неизвестные  $q_1, q_2, q_3$  и  $q_4$  через элементы матрицы положения и другие параметры конструкции.

Обратимся к рисунку 2.



**Рисунок 2. Векторное представление обратной кинематической модели руки оператора**

Для определения обобщенного угла  $q_4$  по заданным значениям положения и ориентации конечной точки воспользуемся теоремой косинуса:

$$q_4 = \pi - \arccos \left( \frac{l_p^2 + l_z^2 - r_1^2}{2l_p l_z} \right), \quad (3)$$

где:

$$r_1 = \|\overline{J_1}\|, \quad (4)$$

$$\overline{J_1} = (x_p - 0)\vec{i} + (y_p - l_p)\vec{j} + (z_p - 0)\vec{k}. \quad (5)$$

Найдем вектор  $J_2$  и  $r_2$  согласно выражениям:

$$\overline{J_2} = \overline{P} - [\overline{l_z n}], \quad (6)$$

$$r_2 = \|\overline{J_2}\|. \quad (7)$$

Тогда  $q_1'$  можно определить, как:

$$q_1' = \arccos \left( \frac{l_p^2 + l_{lp}^2 - r_2^2}{2 \cdot l_p \cdot l_{lp}} \right). \quad (8)$$

С учетом того, что начальное положение  $q_1$  составляет  $90^\circ$ , введем соответствующую поправку:

$$q_2 = q_2' - 90. \quad (10)$$

Очевидно, что угол  $q_3$  можно определить по известным значениям координат запястья как:

$$q_3 = \operatorname{arctg} \left( \frac{p_z}{p_y} \right). \quad (11)$$

Для определения угла  $q_2$  воспользуемся методом обратных преобразований [5]:

$$\underbrace{A_1^{-1} \cdot A_0^{-1} \cdot T_0^4}_{L_1} = \underbrace{A_2 \cdot A_3 \cdot A_4}_{R_1}. \quad (12)$$

Из равенства элементов матрицы  $L_1[1,4]$  и матрицы  $R_1 [1,4]$  получим:

$$p_z \sin q_2 + \cos q_2 \cdot (p_x \cos q_1 + p_y \sin q_1) = \cos q_3 \cos q_4 l_{lz}. \quad (13)$$

Воспользуемся формулой Крейга для определения угла:

$$a \cdot \cos(\theta) + b \cdot \sin(\theta) = c. \quad (14)$$

Тогда  $q_2$  найдем как:

$$q_2 = \operatorname{arctg}(a, b) \pm \operatorname{arctg} \left( \sqrt{a^2 + b^2 - c^2}, c \right), \quad (15)$$

где:

$$a = (p_x \cos q_1 + p_y \sin q_1); \quad (16)$$

$$b = p_z; \quad (17)$$

$$c = \cos q_3 \cos q_4 l_{lz}. \quad (18)$$

### Выводы

1. Операции взаимодействия с органами управления транспортным средством (типа кнопок, тумблеров, джойстиков), расположенными в оперативной зоне досягаемости, являются локальными недоопределенными движениями, поскольку перемещение руки существенно зависит от расположения целевой точки, от текущей конфигурации скелета оператора, от взаимного расположения оператора и рабочего органа, от типа рабочего органа и возмущений на оператора при движении.
2. Недоопределенные движения целесообразно моделировать в реальном масштабе времени с использованием методов инверсной кинематики, среди которых наибольшую эффективность имеют методы кинематики манипуляторов.
3. С целью упрощения математической модели рука оператора разбита на две подсистемы – непосредственно рука оператора и кисть. Для оптимального достижения целевой точки, расположенной в оперативной зоне оператора, согласно проведенному анализу, достаточно 4 степени свободы. Модель кисти руки имеет 20 степеней подвижности.

### Литература

1. Кобринский А.А., Кобринский А.Е. Манипуляционные системы роботов: основы устройства, элементы теории. – М.: Наука, 1985. – 344 с.
2. Шмаков В.С. Компьютерная модель водителя транспортного средства // Современные проблемы науки и образования. – 2011. – №4.
3. Ситалов Д. С. Моделирование перемещения аватара в пространстве и его взаимодействия с объектами виртуальной среды: Автореферат дис...канд. техн. наук.- Новочеркасск, 2012. – 19 с.
4. Петров Б.А. Манипуляторы. – Л.: Машиностроение, 1984. – 238 с.
5. Пол Р. Моделирование, планирование траекторий и управление движением робота-манипулятора. – М.: Наука, 1976. – 104 с.