

УДК 681.5

## Выбор кинематической структуры и исследование древовидного исполнительного механизма «Робота — собаки»

**А.К. Ковальчук**

*Приведен обзор кинематических структур исполнительных механизмов некоторых образцов четырехногих шагающих роботов. В качестве биологического прототипа при их выборе рекомендуется использовать скелет собаки. Предложена кинематическая структура, соответствующий ей граф достижимости и уравнения динамики древовидного исполнительного механизма «Робота — собаки».*

*Составлена программа моделирования и получены численные значения элементов матриц  $A(q)$ ,  $B(q, \dot{q})$ ,  $C(q)$ ,  $H(q)$ , входящих в уравнение динамики, а также значения моментов и мощностей в степенях подвижности робота.*

**Ключевые слова:** шагающий робот, древовидный исполнительный механизм, уравнение динамики робота.

*A review of kinematic structures of the executive mechanisms of some four-legged walking robots samples has been carried out. When choosing them it is recommended to use a skeleton of a dog as a biological prototype. The article proposes a kinematic structure, a corresponding reachability graph and dynamic equations of the «Robot — dog» tree-like actuator.*

*The simulation program has been compiled and numerical values of matrix elements  $A(q)$ ,  $B(q, \dot{q})$ ,  $C(q)$ ,  $H(q)$ , in the equation of dynamics, as well as the values of the moments and powers in the degree of mobility of the robot has been obtained.*

**Keywords:** walking robot, tree-like actuator, dynamic equation of robot.

**В** последнее время при создании роботов специального назначения ученые всего мира стали уделять большое внимание шагающим роботам.

Отсутствие сплошной колеи при их движении, высокая проходимость в сложных рельефных условиях делают их незаменимыми при выполнении аварийно-спасательных и других специальных работ.

Одной из многочисленных задач, возникающих при разработке таких роботов, является выбор и обоснование их кинематических структур (КС).

Существующие ныне КС шагающих роботов отличаются достаточной геометрической простотой [1–3], что обусловлено фактически «ручным» выбором КС робота, исходя из выполняемых им рабочих операций и логических соображений разработчика.



**КОВАЛЬЧУК**  
Александр Кондратьевич  
кандидат технических  
наук, доцент,  
директор МИПК  
(МГТУ им. Н.Э. Баумана)

Примером шагающего робота с упрощенной КС является Big Dog (рис. 1) [4]. Big Dog — четырехногий робот с адаптивным управлением, созданный фирмой Boston Dynamics совместно с Faster — Miller (Лабораторией реактивного движения (NASA)) и Harvard University Concord Field Station.

Проект Big Dog финансируется Defense Advanced Research Projects Agency (DARPA — Агентство передовых оборонных исследовательских проектов США). Робот может переносить снаряжение и помогать солдатам на территории, где не может передвигаться обычный транспорт. В ногах робота установлено большое количество разнообразных сенсоров. Робот имеет лазерный гироскоп и систему бинокулярного зрения.

Длина робота Big Dog — 0,91 м, высота — 0,76 м, масса — 110 кг. Он способен передвигаться по труднопроходимой местности со скоростью 6,4 км/ч, перевозить 154 кг груза и подниматься на 35-градусную наклонную плоскость. Его передвижение, равновесие и навигацию контролирует бортовая компьютерная система, которая получает данные от различных сенсоров.

В первых версиях Big Dog приводился в движение двухтактным одноцилиндровым двигателем со скоростью вращения 9000 об/мин, из-за чего был слышен громкий звук мотора. В последующих версиях робота этот демаскирующий недостаток был исправлен. Мотор служит приводом для гидронасоса, который в свою очередь питает гидродвигатели ног. В каждой из ног установлено по четыре гидродвигателя (два для бедренного сустава и по одному для коленного и голеностопного суставов). Каждый из гидродвигателей состоит из гидроцилиндра, сервоклапана, а также датчиков положения и усилия. Робот обладает хорошей устойчивостью: во время испытаний он не падал при ходьбе по льду и при сильных толчках.

Бортовой компьютер робота представляет собой упрощенный вариант платформы PC/104 с процессором класса Pentium под управлением ОС QNX.

Дальнейшим продолжением работ фирмы Boston Dynamics по созданию шагающих робо-



Рис. 1. Робот Bid Dog фирмы Boston Dynamics

тов является робот Gheetah (Гепард) (рис. 2) [5]. Работы финансируются DARPA. Биологическим прототипом данного робота является гепард — одно из самых быстрых животных планеты.

В отличие от пока неизвестной области применения, требования к роботу вполне конкретны. Так, «Гепард» должен иметь четыре ноги; гибкий позвоночник; поворачивающиеся шею и голову, а также, возможно, хвост. Робот также должен разумно реагировать на происходящее вокруг. И, конечно, «Гепард» просто обязан очень быстро передвигаться — со скоростью до 110 км/ч. «Гепард» должен быть сконструирован таким образом, чтобы он мог делать крутые повороты, двигаться зигзагом в погоне или бегстве, быстро ускоряться и останавливаться.



Рис. 2. Трехмерная модель робота «Гепард»

Прототип робота «Гепард», способный развивать скорость от 30 до 50 км/ч, должен быть представлен в ближайшее время.

Информация о создании четырехногих шагающих роботов носит, в основном, описательный характер. Это обстоятельство настоятельно требует проведения дополнительных исследований, в том числе и в области создания исполнительных механизмов шагающих роботов, имеющих древовидную структуру.

## Выбор биологического прототипа шагающего робота

В качестве биологического прототипа четырехногого шагающего робота выберем собаку — одно из первых животных, прирученных человеком. Интерес к собакам, как к прототипу конструкции робота, не случаен. Кинематическая схема (скелет) собаки отточена тысячами естественного отбора и отлично подходит для быстрого передвижения. У всех пород собак на каждой лапе четыре опорных пальца с когтями, которые, в отличие от кошачьих, не втягиваются. На передней лапе с внутренней стороны находится пятый палец, называемый прибылым. У некоторых пород он расположен так высоко на лапе, что совершенно бесполезен, у других растет ниже и хорошо развит.

Невтягивающиеся когти непригодны для ближнего боя (как, например, у кошек), однако обеспечивают собакам хорошее сцепление с опорной поверхностью. Эта особенность в сочетании с сильно развитыми скакательными суставами задних ног обеспечивает мощное отталкивание собаки от поверхности и, как следствие, быстрый разгон и высокую скорость передвижения.

За биологический прототип «Робота-собаки» возьмем немецкую овчарку, которая отличается высоким интеллектом. Это обуславливает ее использование в различных областях деятельности (в качестве поводырей для слепых, для обнаружения взрывчатки и наркотиков, для спасения людей и пр.).

Изображение скелета немецкой овчарки представлено на рис. 3. Кинематическая схема, отражающая основные сочленения скелета собаки и имеющая 89 степеней подвижности, приведена на рис. 4.



Рис. 3. Скелет немецкой овчарки

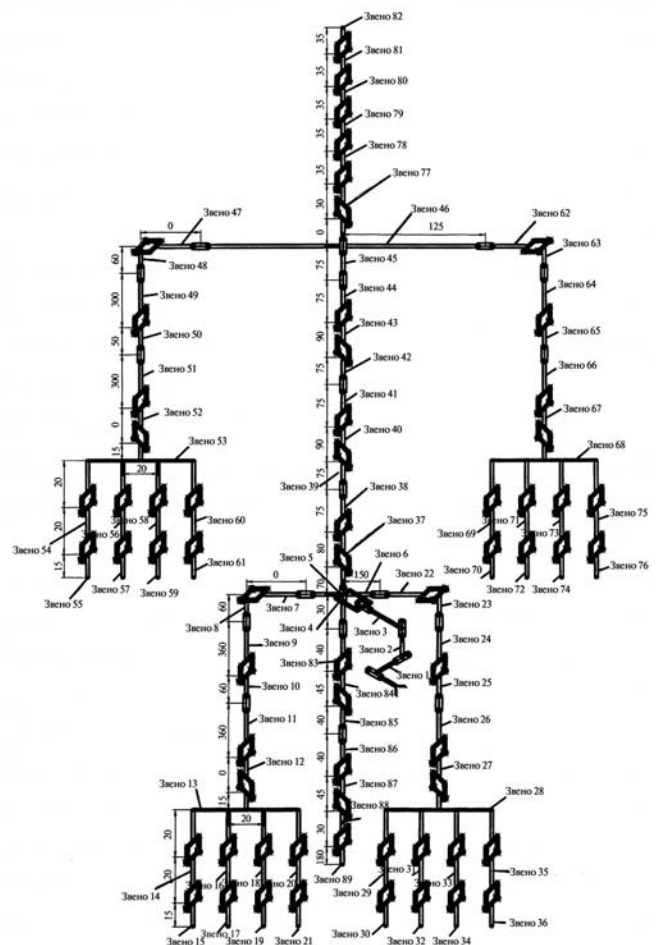


Рис. 4. Кинематическая схема «Робота-собаки»

Направленный граф достижимости звеньев исполнительного механизма, соответствующий

такой кинематической схеме, представлен на рис. 5.

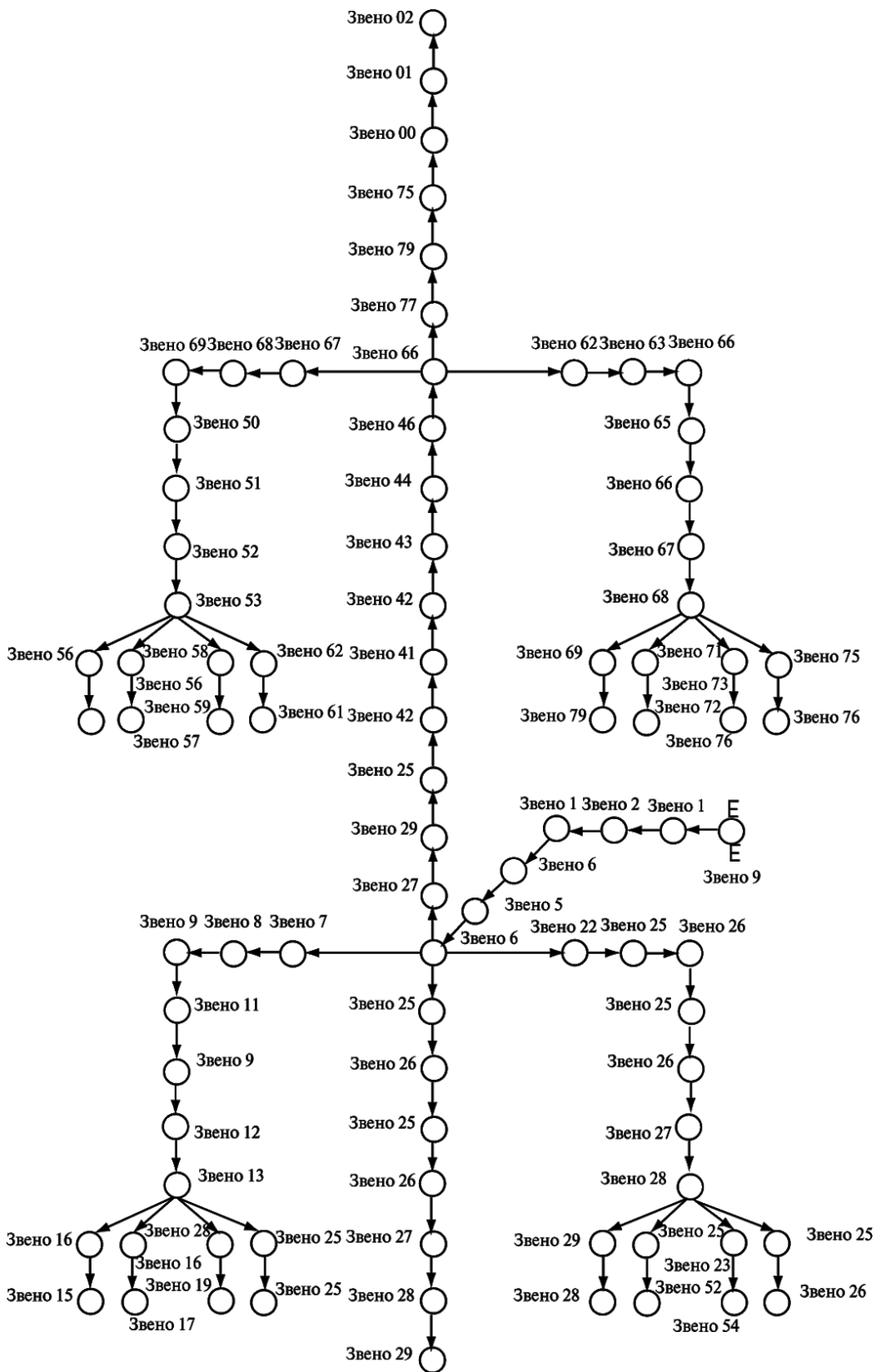


Рис. 5. Направленный граф достижимости звеньев исполнительного механизма «Робота-собаки»

Сложность представленной кинематической схемы затрудняет последующий расчет и анализ уравнений динамики, ввиду большой размерности матриц, входящих в эти уравнения. Однако, необходимо отметить, что предложенная ранее и используемая в этой статье методика математического описания кинематики и динамики исполнительных механизмов роботов с древовидными кинематическими

структурами позволяет исследовать такие структуры любой сложности [6, 7].

Рассмотрим упрощенную кинематическую схему механизма «Робота-собаки», имеющую 22 степени подвижности (включая 6 фиктивных) и представленную на рис. 6. Данной кинематической схеме соответствует направленный граф достижимости, приведенный на рис. 7.

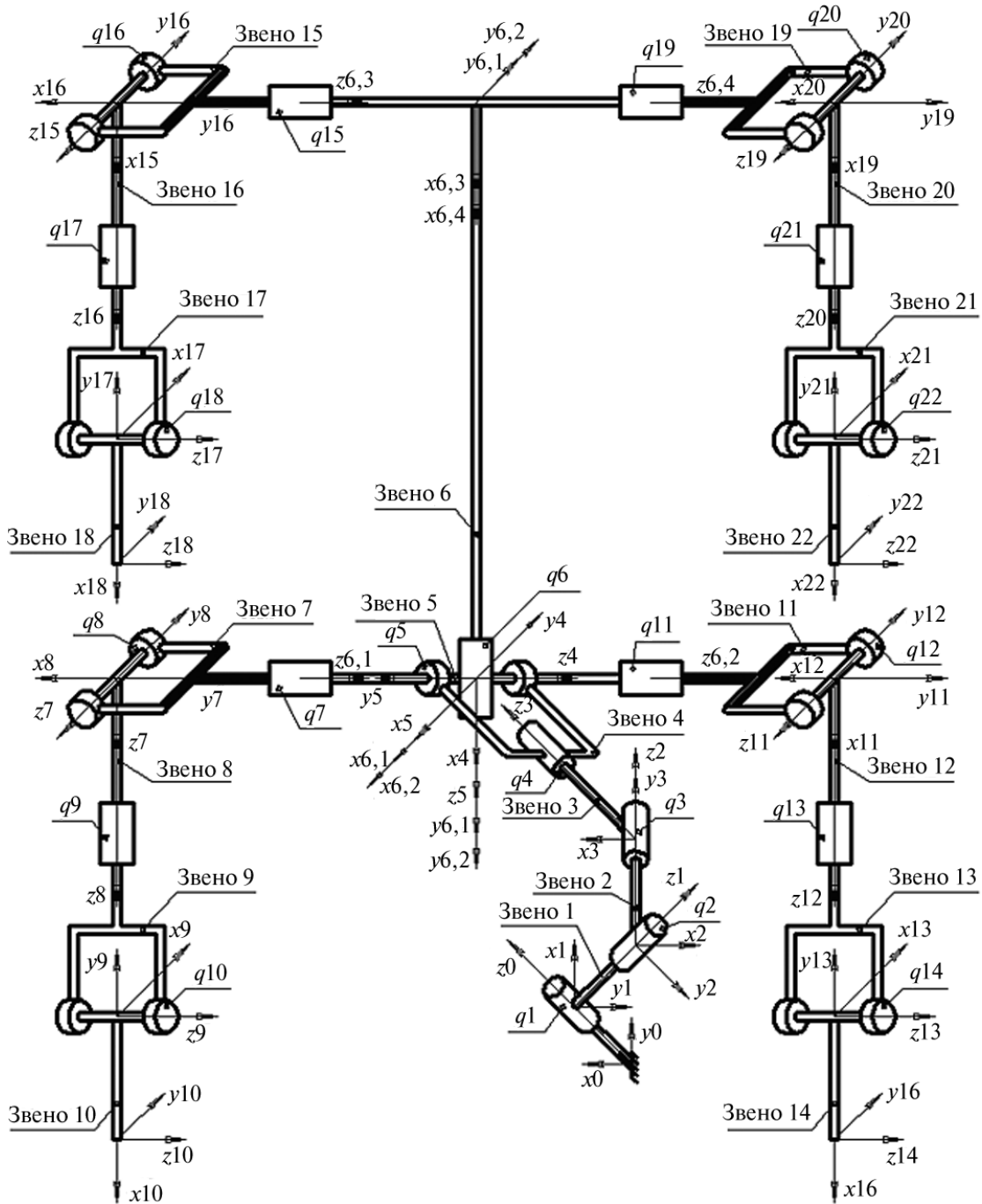


Рис. 6. Упрощенная кинематическая схема механизма «Робота-собаки»

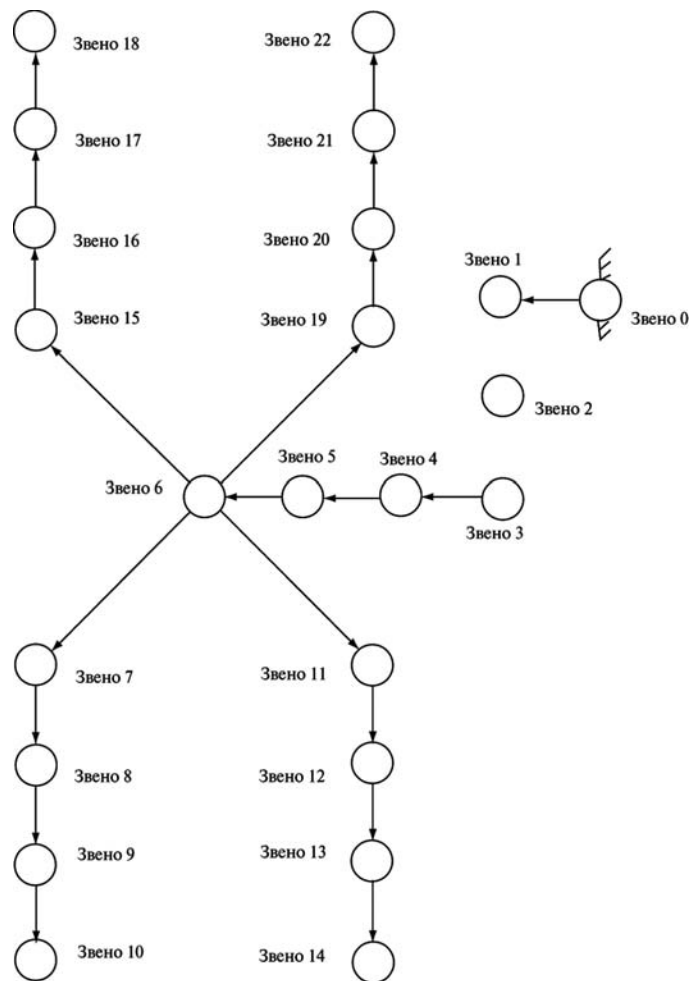


Рис. 7. Направленный граф достижимости упрощенной кинематической схемы механизма «Робота-собаки»

**Уравнения динамики древовидного исполнительного механизма «Робота-собаки»**

В соответствии с предложенной выше методикой [6–8] уравнения динамики исполнительного механизма «Робота-собаки» относительно обобщенных координат записываются в блочно-матричном виде:

$$A(q)\ddot{q} + B(q, \dot{q}) - C(q)f_B^0 - H(q)n_B^0 = \tau, \quad (1)$$

где  $\ddot{q}$  — вектор обобщенных координат исполнительного механизма;  $\tau$  — вектор сил и моментов, развиваемых приводами робота;  $f_B^0, n_B^0$  — блочные матрицы внешних сил и моментов, приложенных к звеньям со стороны окружающей среды;

$A(q), B(q, \dot{q}), C(q)$  и  $H(q)$  — матричные коэффициенты, которые вычисляются в соответствии с приведенными ниже зависимостями:

$$A(q) = \sigma ({}^0z^d)^T \{ -(\Lambda ({}^0c_{jd}))^T m^d (D {}^0z^d (E - \sigma) + \Lambda^T ({}^0c_{jd}) {}^0z^d \sigma) + D^T {}^0J^d D {}^0z^d \sigma \} + (E - \sigma) ({}^0z^d)^T D^T m^d (D {}^0z^d (E - \sigma) + \Lambda^T ({}^0c_{jd}) {}^0z^d \sigma);$$

$$B(q, \dot{q}) = \sigma ({}^0z^d)^T \{ -(\Lambda ({}^0c_{jd}))^T m^d [\Lambda^T ({}^0c_{jd}) \Lambda^T \times ({}^0z^d \sigma \dot{q}^d) (D - E) + \Lambda^T (\Lambda^T ({}^0c_{jd}) \sigma \dot{q}^d {}^0z^d D + \Lambda^T ({}^0c_{jd}) ((D - E) \sigma {}^0z^d \dot{q}^d) + 2D \Lambda^T ({}^0z^d (E - \sigma) \dot{q}^d) (D - E)] + D^T {}^0J_C^d D \sigma \dot{q}^d \Lambda^T ({}^0z^d) \times (D - E) + D^T \Lambda (D {}^0z^d \sigma \dot{q}^d) {}^0J_C^d D {}^0z^d \sigma \dot{q} + (E - \sigma) ({}^0z^d)^T D^T m^d [\Lambda^T ({}^0c_{jd}) \Lambda^T ({}^0z^d \sigma \dot{q}^d) \times (D - E) + 2D \Lambda^T ({}^0z^d (E - \sigma) \dot{q}^d) (D - E) + \Lambda^T (\Lambda^T ({}^0c_{jd}) \sigma \dot{q}^d {}^0z^d D + \Lambda^T ({}^0c_{jd}) ((D - E) \times \sigma {}^0z^d \dot{q}^d))] {}^0z^d \sigma \dot{q} \};$$

$$C(q) = \sigma ({}^0z^d)^T ((D^T - E)\Lambda ({}^0s^d)D^T + D^T \Lambda ({}^0t^d)) + (E - \sigma) ({}^0z^d)^T D^T;$$

$$H(q) = \sigma ({}^0z^d)^T D^T.$$

Приведем описание некоторых параметров механизма, представленных в блочно-матричном виде.

Матрица  $z$ , определяющая направление осей вращения (или поступательного движения) связанных систем координат ИМ и их взаимное расположение, имеет вид

$${}^0z = ({}^0z_1, {}^0z_2, {}^0z_3, {}^0z_4, {}^0z_5, {}^0z_{6,1}, {}^0z_7, {}^0z_8, {}^0z_9, {}^0z_{10}, {}^0z_{6,2}, {}^0z_{11}, {}^0z_{12}, {}^0z_{13}, {}^0z_{14}, {}^0z_{6,3}, {}^0z_{15}, {}^0z_{16}, {}^0z_{17}, {}^0z_{18}, {}^0z_{6,4}, {}^0z_{19}, {}^0z_{20}, {}^0z_{21}, {}^0z_{22})^T.$$

Матрица  $\sigma^d = \text{diag}(\sigma_1, \sigma_2, \dots, \sigma_N)$  коэффициентов, определяющих тип сочленений звеньев ИМ, является единичной матрицей.

$m = (m_1, m_2, \dots, m_N)^T$  — матрица масс звеньев ИМ робота;

$J_C = (J_{C_1}, J_{C_2}, \dots, J_{C_N})^T$  — блочная матрица тензоров инерции звеньев;

${}^0t^d = \text{diag}({}^0\bar{t}_1^T, {}^0\bar{t}_2^T, \dots, {}^0\bar{t}_N^T)$  — блочная диагональная матрица векторов, соединяющих начала соответствующих систем координат звеньев-отцов с точками, через которые проходят равнодействующие внешних сил, приложенных к звеньям.

### Параметры исполнительного механизма «Робота-собака»

Для записи параметров исполнительного механизма робота воспользуемся широко применяемой в робототехнике системой координат Денавита-Хартенберга (Д-Х) [9–11].

Значения параметров основных и вспомогательных систем координат представлены в табл. 1 и 2.

Таблица 1

Параметры Денавита-Хартенберга основных систем координат робота

Номер СК	$\theta$ , рад	$d$ , м	$a$ , м	$\alpha$ , рад
1	0	0	0	0
2	0	0	0	0

Окончание табл. 1

Номер СК	$\theta$ , рад	$d$ , м	$a$ , м	$\alpha$ , рад
3	0	0	0	0
4	0	0	0	0
5	0	0	0	0
6	0	0	0	$\pi/2$
7	$\pi/2$	-0,17	0	$\pi/2$
8	$3\pi/2$	0	0	$3\pi/2$
9	$\pi/2$	0,35	0	$3\pi/2$
10	$3\pi/2$	0	0,35	0
11	$\pi/2$	0,17	0	$\pi/2$
12	$3\pi/2$	0	0	$3\pi/2$
13	$\pi/2$	0,35	0	$3\pi/2$
14	$3\pi/2$	0	0,35	0
15	0	-0,17	0	$\pi/2$
16	$3\pi/2$	0	0	$3\pi/2$
17	$\pi/2$	0,35	0	$3\pi/2$
18	$3\pi/2$	0	0,35	0
19	0	0,17	0	$\pi/2$
20	$3\pi/2$	0	0	$3\pi/2$
21	$\pi/2$	0,35	0	$3\pi/2$
22	$3\pi/2$	0	0,35	0

Таблица 2

Параметры Денавита-Хартенберга вспомогательных систем координат робота

Номер СК	$\theta$ , рад	$d$ , м	$a$ , м	$\alpha$ , рад
6,2	0	0	0	0
6,3	$\pi/2$	0	-1,0	0
6,4	$\pi/2$	0	-1,0	0

В табл. 3 и 4 представлены значения координат центров масс, массы и моменты инерции звеньев.

Таблица 3

Координаты центров масс звеньев робота

Номер звена	$X_c$ , м	$Y_c$ , м	$Z_c$ , м
1	0	0	0
2	0	0	0
3	0	0	0

Окончание табл. 3

Номер звена	$X_c, м$	$Y_c, м$	$Z_c, м$
4	0	0	0
5	0	0	0
6	0	0	-0,5
7	0	0	-0,085
8	0,175	0	0
9	0	0	0,175
10	0,175	0	0
11	0	0	0,085
12	0,175	0	0
13	0	0	0,175
14	0,175	0	0
15	0	0	-0,085
16	0,175	0	0
17	0	0	0,175
18	0,175	0	0
19	0	0	0,085
20	0,175	0	0
21	0	0	0,175
22	0,175	0	0

Таблица 4

Массы и моменты инерции звеньев робота

Номер звена	$J_x, кг/м^2$	$J_y, кг/м^2$	$J_z, кг/м^2$	$m, кг$
1	0	0	0	0
2	0	0	0	0
3	0	0	0	0
4	0	0	0	0
5	0	0	0	0
6	7,5	7,5	0	30
7, 11, 15, 19	0,01445	0,01445	0	2
8, 12, 16, 20	0,06125	0,06125	0	2
9, 13, 17, 21	0	0,06125	0,06125	2
10, 14, 18, 22	0,06125	0	0,06125	2

Матрица достижимости для кинематической схемы «Робота-собаки» имеет следующий вид:

$$D_{22 \times 22} =$$

$$= \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 1 & 1 & 0 \\ 1 & 1 & 1 & 0 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 0 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 \\ 1 & 1 \end{bmatrix}$$

**Программные средства для исследования исполнительного механизма «Робота-собаки»**

Моделирование проводилось в среде Matlab с помощью специально разработанного набора процедур, записанных в виде m-файлов. Достоинством этого набора процедур является то, что он применим для исследования древовидных исполнительных механизмов роботов с произвольной КС.

Особенность конкретной КС отражается в содержании пускового файла, где находится информация о параметрах Денавита-Хантенберга, массах, моментах инерции координат центров масс и др.

Задачей моделирования исполнительного механизма «Робота-собаки» являлось вычисление  $\tau$  — вектор-столбца сил или моментов, развдвигаемых приводами робота, а также вычисление элементов матриц  $A(q)$ ,  $B(q, \dot{q})$ ,  $C(q)$  и  $H(q)$ , входящих в уравнения динамики робота.



Матрица  $A(q)$  вычислялась в начальном положении робота, а остальные матрицы — при повороте шарниров 7, 11, 15 и 19 на угол  $45^\circ$ .

Полученные численные значения элементов матриц  $A(q) — (22 \times 22)$ ,  $B(q, \dot{q}) — (22 \times 1)$ ,  $C(q) — (22 \times 22)$  и  $H(q) — (22 \times 22)$  могут быть использованы для дальнейшего исследования.

Звенья кинематической схемы робота 7, 8, 9, 10 поочередно нагружались массой от 1 до 10 кг и определялись значения моменты  $M_{7\max}$  [Н·м],  $M_{8\max}$  [Н·м],  $M_{9\max}$  [Н·м],  $M_{10\max}$  [Н·м] и эффективной мощности  $N_{7\max}$  [Вт],  $N_{8\max}$  [Вт],  $N_{9\max}$  [Вт],  $N_{10\max}$  [Вт] в этих степенях подвижности.

Результаты расчетов представлены в табл. 5.

Программа Matlab также позволяет оценить степени взаимного влияния приводов друг на друга при их совместной работе.

### Выводы

При выборе кинематических структур шагающих роботов целесообразно использовать их биологические прототипы.

Предложенные КС, уравнения динамики исполнительного механизма «Робота — собаки» и программы моделирования позволяют

вычислить моменты и мощности в степенях подвижности робота, а также значения элементов матриц  $A(q)$ ,  $B(q, \dot{q})$ ,  $C(q)$  и  $H(q)$ , входящих в уравнение динамики.

### Литература

1. *Белецкий В.В.* Двухногая ходьба. М.: Наука, 1984. 287 с.
2. *Вукобратович М.* Шагающие роботы и антропоморфные механизмы. М.: Мир, 1976. 541 с.
3. *Охоцимский Д.Е., Голубев Ю.Ф.* Механика и управление движением автоматического шагающего аппарата. М.: Наука, 1984. 312 с.
4. <http://ru.wikipedia.org/wini/BigDog>.
5. <http://rnd.cnews.ru/tech/news/line/index>.
6. *Семенов С.Е., Ковальчук А.К., Кулаков Д.Б.* Математическое моделирование механизмов с древовидной кинематической структурой // Наука и образование. Электронное научно-техническое издание. 2010. № 2. С. 34—41.
7. *Ковальчук А.К., Кулаков Д.Б., Семенов С.Е.* Блочнo-матричные уравнения движения исполнительных механизмов роботов с древовидной кинематической структурой // Изв. вузов. Машиностроение. 2008. № 12. С. 5—21.
8. *Ковальчук А.К., Кулаков Д.Б., Семенов С.Е.* Управление исполнительными системами двуногих шагающих роботов. Теория и алгоритмы / Под ред. А.К.Ковальчука // Двуногие шагающие роботы. М.: Изд-во МГОУ, 2007. 160 с.
9. *Зенкевич С.Л., Ющенко А.С.* Основы управления манипуляционными роботами. М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э.Баумана, 2004. 480 с.
10. *Медведев В.С., Лесков А.Г., Ющенко А.С.* Системы управления манипуляционных роботов. М.: Наука, 1978. 416 с.
11. *Попов Е.П., Верещагин А.Ф., Зенкевич С.Л.* Манипуляционные роботы: динамика и алгоритмы. М.: Наука, 1978. 416 с.

Статья поступила 30.06.2011 г.

Таблица 5

Моменты и мощности при раздельной работе приводов

$M$ , кг	$M_7$ , Н·м	$N_7$ , Вт	$M_8$ , Н·м	$N_8$ , Вт	$M_9$ , Н·м	$N_9$ , Вт	$M_{10}$ , Н·м	$N_{10}$ , Вт
0	-31,743	-45,791	31,631	-47,179	-0,71218	-0,87861	10,301	25,415
1	-43,294	-62,871	43,182	-64,327	-0,71218	-0,87861	15,451	38,123
2	-54,845	-79,951	54,733	-81,475	-0,71218	-0,87861	20,601	50,831
3	-66,396	-97,031	66,284	-98,623	-0,71218	-0,87861	25,751	63,539
4	-77,948	-114,11	77,836	-115,77	-0,71218	-0,87861	30,901	76,246
5	-89,499	-131,19	89,387	-132,92	-0,71218	-0,87861	36,052	88,954
6	-101,05	-148,27	100,94	-150,07	-0,71218	-0,87861	41,202	101,66
7	-112,6	-165,35	112,49	-167,22	-0,71218	-0,87861	46,352	114,37
8	-124,15	-182,49	124,04	-184,36	-0,71218	-0,87861	51,502	127,08
9	-135,7	-199,64	135,59	-201,51	-0,71218	-0,87861	56,653	139,79
10	-147,25	-216,78	147,14	-218,66	-0,71218	-0,87861	61,803	152,49