

Министерство образования и науки Российской Федерации  
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего  
образования

САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ  
УНИВЕРСИТЕТ ИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ,  
МЕХАНИКИ И ОПТИКИ

Кафедра систем управления и информатики

Отчет по лабораторной работе №1  
«НАЗВАНИЕ РАБОТЫ»  
по дисциплине «Название дисциплины»

Выполнили: студенты гр. Р4135  
Фамилия И.О.,  
Фамилия И.О.

Преподаватель: Фамилия И.О.,  
должность каф. СУиИ

Санкт-Петербург

2017

# Содержание

Обозначения и сокращения	3
Введение	5
1 Описание манипулятора	6
2 Математическая модель манипулятора	8
2.1 Кинематика манипулятора . . . . .	8
2.1.1 Общие замечания . . . . .	8
2.1.2 Прямая задача кинематики . . . . .	11
2.1.3 Обратная задача кинематики . . . . .	13
3 Синтез систем управления	15
Заключение	16
Список использованных источников	17
Приложение А Терминология относительных измерений	18

[illegible]

## Обозначения и сокращения

Используемые далее по тексту общие обозначения:

СК — система координат;

КП — кинематическая пара;

ДХ — Денавита-Хартенберга (Denavit–Hartenberg), например, соглашение;

ИСО — инерциальная система отсчета;

$q_i$  —  $i$ -ая ( $i = \overline{1, n}$ ) обобщенная координата манипулятора (угол, регистрируемый энкодером робота в  $i$ -ом сочленении);

$n$  — количество звеньев робота,  $n = 5$ ;

${}^i R_j$  — матрица поворота, характеризующая поворот СК  $Ox_j y_j z_j$  относительно СК  $Ox_i y_i z_i$ ;

${}^i A_j$  — матрица однородных преобразований, описывающая смещение и поворот СК  $Ox_j y_j z_j$  относительно СК  $Ox_i y_i z_i$ ;

$r_{j,k}^i$  — вектор из начала  $Ox_j y_j z_j$  в начало  $Ox_k y_k z_k$ , выраженный относительно  $Ox_i y_i z_i^*$ ;

$g_i$  — ускорение свободного падения, выраженное относительно  $Ox_i y_i z_i$ ;

$V_j^i$  — линейная скорость начала  $Ox_j y_j z_j$  относительно используемой в решении ИСО, выраженная относительно  $Ox_i y_i z_i$ ;

$a_j^i$  — линейное ускорение начала  $Ox_j y_j z_j$  относительно ИСО, выраженное относительно  $Ox_i y_i z_i$ ;

$\omega_j^i$  — угловая скорость вращения  $Ox_j y_j z_j$  относительно ИСО, выраженная относительно  $Ox_i y_i z_i$ ;

$\omega_{j,k}^i$  — угловая скорость вращения  $Ox_k y_k z_k$  относительно  $Ox_j y_j z_j$ , выраженная относительно  $Ox_i y_i z_i$ ;

\* За пояснениями применяемой здесь и далее терминологии обратитесь к Приложению А.

Инв. № подл.	Подп. и дата	Взам. инв. №	Инв. № дубл.	Подп. и дата	КСУИ.101.4135.001 ПЗ					Лист	
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата						3	

$\dot{\omega}_j^i$  — угловое ускорение  $Ox_jy_jz_j$  относительно ИСО, выраженное относительно  $Ox_iy_iz_i$ ;

$z_j^i$  — орт  $[0 \ 0 \ 1]^T$  системы координат  $Ox_jy_jz_j$ , выраженный относительно  $Ox_iy_iz_i$ ;

$f_j^i$  — сила, действующая на  $j$ -ое звено (тело) механизма со стороны  $(j - 1)$ -го звена (тела), выраженная относительно  $Ox_iy_iz_i$ ;

$\tau_j^i$  — момент силы, действующий на  $j$ -ое звено (тело) механизма со стороны  $(j - 1)$ -го звена (тела), выраженный относительно  $Ox_iy_iz_i$ ;

$\tau_i$  — обобщенный момент, ответственный за изменение обобщенной координаты  $q_i$ ;

$m_i$  — масса  $i$ -го звена;

$\mathcal{I}_j^i$  — тензор инерции  $j$ -го звена, выраженный относительно жестко связанной с его центром масс системой координат, сонаправленной с  $Ox_iy_iz_i$ ;

$a_i, d_i$  — обозначения для длин, входящих в число параметров Денавита-Хартенберга,  $i = \overline{1, n}$ ;

$\alpha_i, \theta_i$  — обозначения для углов, входящих в число параметров Денавита-Хартенберга,  $i = \overline{1, n}$ ;

$s_\gamma, c_\gamma$  — синус и косинус угла  $\gamma$  соответственно.

Инов. № подл.	Подп. и дата	Инов. № дубл.	Подп. и дата	Взам. инв. №	Инов. №	Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	КСУИ.101.4135.001 ПЗ		Лист
													4

## Введение

В данном документе будет рассказано о процессе разработки системы управления для манипулятора робота Kuka Youbot [1], дающей ему возможность для совершения двух действий: занятия позиции, при которой его схват будет принимать заданные положение и ориентацию, а также перемещения схвата по заданной траектории\*. В целом содержание пояснительной записки можно описать примерно так:

- в разделе 1 будут приведены технические сведения о роботе, необходимые для решения поставленных задач;
- раздел 2 расскажет о процессе составления математической модели манипулятора, а именно о решении применительно к нему прямой и обратной задач кинематики и о составлении дифференциальных уравнений, описывающих протекающие в роботе электрические и механические процессы;
- в разделе 3 речь пойдет о синтезе соответствующих систем управления, о проверке их работоспособности с помощью моделирования, о результатах апробации на реальном роботе и проч.

---

\* Здесь и далее, когда речь будет идти о траектории движения схвата, под последней будет подразумеваться не просто кривая, описываемая при этом схватом в пространстве, но таковая, явно параметризованная временем.

Инов. № подл.	Подп. и дата	Взам. инв. №	Инов. № дубл.	Подп. и дата
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата
КСУИ.101.4135.001 ПЗ				
				Лист
				5

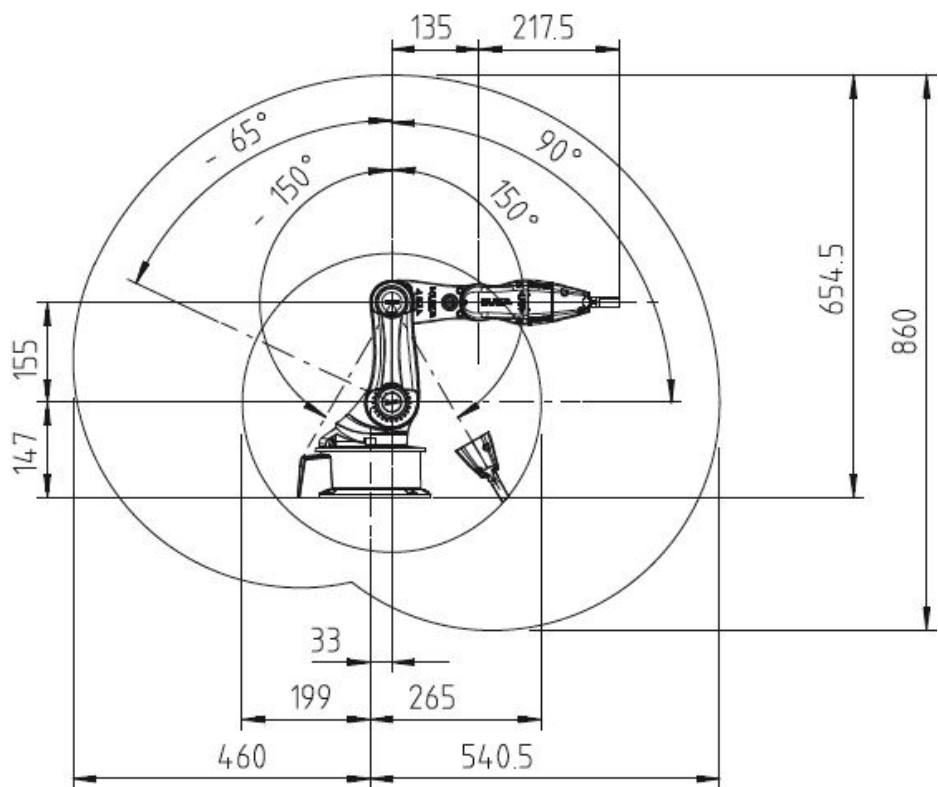
# 1 Описание манипулятора

Рассматриваемый в данной работе манипулятор робота Kuka Youbot представляет собой пятизвенный манипулятор, снабженный двухпальцевым схватом. Описание его массогабаритных параметров дается таблицей 1.1 и рисунком 1.1. Неуказанные там параметры робота, требуемые для дальнейших расчетов, неизвестны и поэтому подлежат измерению или идентификации, речь о которых пойдет ниже по тексту.

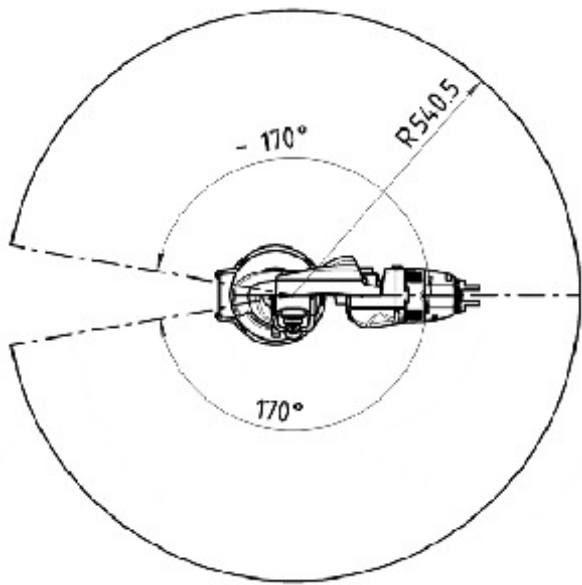
Таблица 1.1 – Общая информация о манипуляторе робота Kuka Youbot.

Параметр	Значение
Количество сочленений	5
Масса	5.3 кг
Допустимая нагрузка	0.5 кг
Точность повторного воспроизведения позиции	1 мм
Максимальная скорость в сочленении	90° с <sup>-1</sup>
Интерфейс	EtherCAT
Напряжение питание	24 В

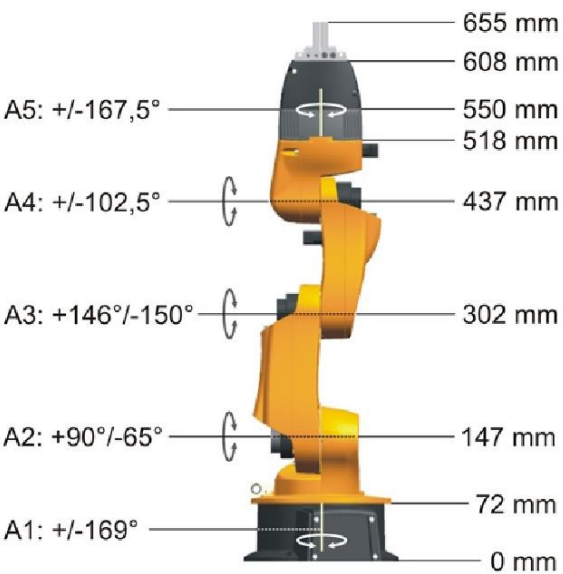
Инов. № подл.	Подп. и дата	Взам. инв. №	Инов. № дубл.	Подп. и дата



а)



б)



в)

Рисунок 1.1 – Некоторые параметры манипулятора Kuka Youbot: а — размеры рабочей области (вид сбоку); б — размеры рабочей области (вид сверху); в — длины звеньев и предельные значения для углов вращения по каждому из сочленений [2].

Инов. № подл.	Подп. и дата	Взам. инв. №	Инов. № дубл.	Подп. и дата

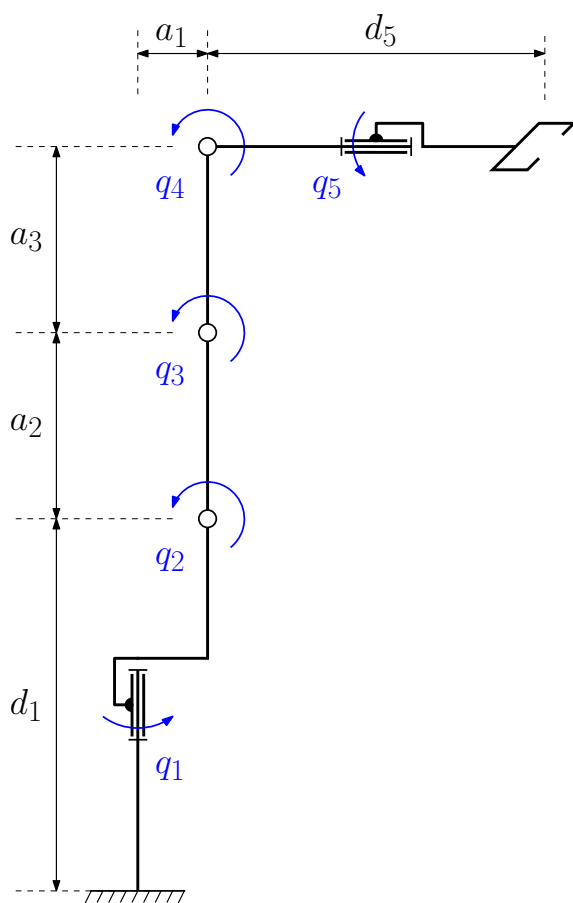
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата

## 2 Математическая модель манипулятора

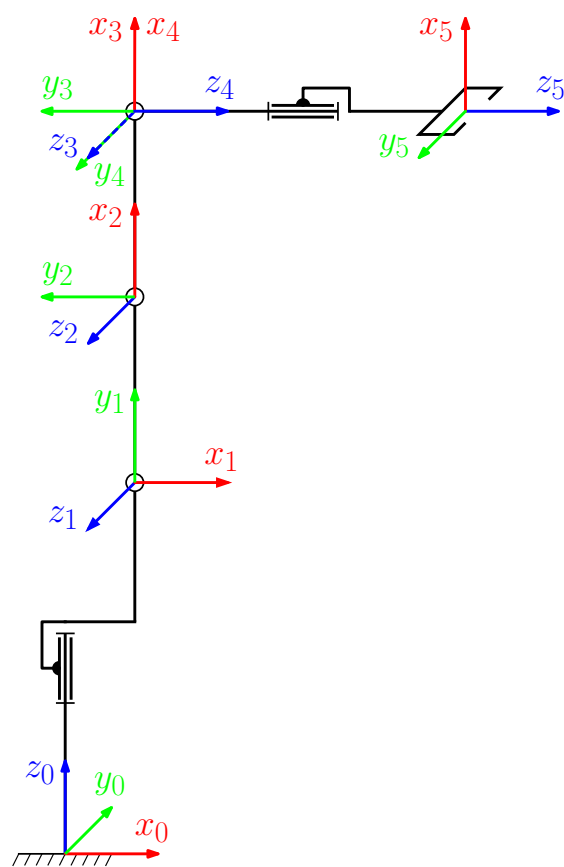
### 2.1 Кинематика манипулятора

#### 2.1.1 Общие замечания

Последовательная кинематическая цепь рассматриваемого манипулятора, включающая только вращательные КП V-класса (цилиндрические шарниры), изображена на рисунке 2.1а.



а)



б)

Рисунок 2.1 – Схемы рассматриваемого манипулятора: а — кинематическая при  $q_i = 0$ ,  $i = \overline{1, 5}$ ; б — расположения СК КП.

Для описания положений звеньев манипулятора друг относительно друга воспользуемся методом Денавита–Хартенберга, состоящим из трех данных шагов:

Инов. № подл.	Подп. и дата	Взам. инв. №	Инов. № дубл.	Подп. и дата

Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата



а) «привязка» к каждому звену СК, чьи оси удовлетворяют следующим условиям:

- 1) ось  $z_{i-1}$  направлена вдоль оси  $i$ -ой КП;
- 2) ось  $x_i$  перпендикулярна оси  $z_{i-1}$  и пересекает ее;
- 3) ось  $y_i$  дополняет оси  $z_i$  и  $x_i$  до правой декартовой СК.

б) определение параметров ДХ:

- 1)  $a_i$  — расстояния от  $z_{i-1}$  до  $z_i$  вдоль  $x_i$ ;
- 2)  $\alpha_i$  — угла от  $z_{i-1}$  до  $z_i$  вокруг  $x_i$ ;
- 3)  $d_i$  — расстояния от  $x_{i-1}$  до  $x_i$  вдоль  $z_{i-1}$ ;
- 4)  $\theta_i$  — угла от  $x_{i-1}$  до  $x_i$  вокруг  $z_{i-1}$ .

в) расчет однородных матриц преобразования\* в соответствии со следующими формулами:

$${}^{i-1}A_i = R_{z,\theta_i} \cdot T_{z,d_i} \cdot T_{x,a_i} \cdot R_{x,\alpha_i} \quad (2.1)$$

где  $R_{z,\theta_i}$  — матрица поворота вокруг оси  $z$  на угол  $\theta_i$ ,  $T_{z,d_i}$  — матрица смещения вдоль оси  $z$  на расстояние  $d$ ,  $T_{x,a_i}$  — матрица смещения вдоль оси  $x$  на расстояние  $a_i$ ,  $R_{x,\alpha_i}$  — матрица поворота вокруг оси  $x$  на угол  $\alpha_i$ , равные

$$R_{z,\theta_i} = \begin{bmatrix} \cos \theta_i & -\sin \theta_i & 0 & 0 \\ \sin \theta_i & \cos \theta_i & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}, \quad T_{z,d_i} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & d_i \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}, \quad (2.2)$$

$$T_{x,a_i} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & a_i \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}, \quad R_{x,\alpha_i} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \cos \alpha_i & -\sin \alpha_i & 0 \\ 0 & \sin \alpha_i & \cos \alpha_i & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}; \quad (2.3)$$

\* За пояснениями обратитесь к Приложению ??

Инов. № подл.	Подп. и дата	Взам. инв. №	Инов. № дубл.	Подп. и дата	КСУИ.101.4135.001 ПЗ					Лист
										9
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата						

ИТОГО

$${}^{i-1}A_i = \begin{bmatrix} \cos \theta_i & -\cos \alpha_i \sin \theta_i & \sin \alpha_i \sin \theta_i & a_i \cos \theta_i \\ \sin \theta_i & \cos \alpha_i \cos \theta_i & -\sin \alpha_i \cos \theta_i & a_i \sin \theta_i \\ 0 & \sin \alpha_i & \cos \alpha_i & d_i \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (2.4)$$

Результаты выполнения для исследуемого манипулятора двух первых шагов представлены на рисунке 2.1б и в таблице 2.1, а третьего — в лице следующих выражений:

$${}^0A_1 = \begin{bmatrix} c_{\theta_1} & 0 & s_{\theta_1} & a_1 c_{\theta_1} \\ s_{\theta_1} & 0 & -c_{\theta_1} & a_1 s_{\theta_1} \\ 0 & 1 & 0 & d_1 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}; {}^1A_2 = \begin{bmatrix} c_{\theta_2} & -s_{\theta_2} & 0 & a_2 c_{\theta_2} \\ s_{\theta_2} & c_{\theta_2} & 0 & a_2 s_{\theta_2} \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}; {}^2A_3 = \begin{bmatrix} c_{\theta_3} & -s_{\theta_3} & 0 & a_3 c_{\theta_3} \\ s_{\theta_3} & c_{\theta_3} & 0 & a_3 s_{\theta_3} \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix};$$

$${}^3A_4 = \begin{bmatrix} c_{\theta_4} & 0 & s_{\theta_4} & 0 \\ s_{\theta_4} & 0 & -c_{\theta_4} & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}; {}^4A_5 = \begin{bmatrix} c_{\theta_5} & -s_{\theta_5} & 0 & 0 \\ s_{\theta_5} & c_{\theta_5} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & d_5 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}. \quad (2.5)$$

Таблица 2.1 – Параметры Денавита-Хартенберга

Звено	$a_i$ , мм	$\alpha_i$ , рад	$d_i$ , мм	$\theta_i$ , рад
1	33	$\pi/2$	147	$q_1$
2	155	0	0	$q_2 + \pi/2$
3	135	0	0	$q_3$
4	0	$\pi/2$	0	$q_4$
5	0	0	218	$q_5$

Инов. № подл.	Подп. и дата	Взам. инв. №	Инов. № дубл.	Подп. и дата

$${}^{H4} = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}, \quad {}^{H5} = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 1 & d_5 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}.$$

Таблица 2.1 – Параметры Денавита-Хартенберга

Звено	$a_i$ , мм	$\alpha_i$ , рад	$d_i$ , мм	$\theta_i$ , рад
1	33	$\pi/2$	147	$q_1$
2	155	0	0	$q_2 + \pi/2$
3	135	0	0	$q_3$
4	0	$\pi/2$	0	$q_4$
5	0	0	218	$q_5$

Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	КСУИ.101.4135.001 ПЗ	Лист
						10

### 2.1.2 Прямая задача кинематики

Представим прямую задачу кинематики (ПЗК) манипулятора выражением:

$${}^0A_6 = \prod_{i=1}^6 {}^{i-1}A_i(q_i) = {}^0A_1 \cdot {}^1A_2 \cdot {}^2A_3 \cdot {}^3A_4 \cdot {}^4A_5 \cdot {}^5A_6 \quad (2.6)$$

где  ${}^0A_6$  — матрица  $4 \times 4$ , первые 3 столбца которой представляют ориентацию, последний — положение схвата;  ${}^{i-1}A_i$  — однородная матрица преобразования из  $(i-1)$  в  $i$ -ую СК в общем виде:

$${}^{i-1}A_i = \begin{bmatrix} \cos(\theta_i) & -\sin(\theta_i)\cos(\alpha_i) & \sin(\alpha_i)\sin(\theta_i) & a_i\cos(\theta_i) \\ \sin(\theta_i) & \cos(\alpha_i)\cos(\theta_i) & -\sin(\alpha_i)\cos(\theta_i) & a_i\sin(\theta_i) \\ 0 & \sin(\alpha_i) & \cos(\alpha_i) & d_i \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (2.7)$$

Теперь, учитывая ДХ-параметры из таблицы 2.1 находим матрицы преобразования СК, рисунок 2.1 б.

$$\begin{aligned} {}^0A_1 &= \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & d_1 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}; {}^1A_2 = \begin{bmatrix} c_{\theta_1} & 0 & s_{\theta_1} & a_2c_{\theta_1} \\ s_{\theta_1} & 0 & -c_{\theta_1} & a_2s_{\theta_1} \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}; {}^2A_3 = \begin{bmatrix} c_{\theta_2} & -s_{\theta_2} & 0 & a_3c_{\theta_2} \\ s_{\theta_2} & c_{\theta_2} & 0 & a_3s_{\theta_2} \\ 0 & 0 & 1 & d_2 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}; \\ {}^3A_4 &= \begin{bmatrix} c_{\theta_3} & -s_{\theta_3} & 0 & a_4c_{\theta_3} \\ s_{\theta_3} & c_{\theta_3} & 0 & a_4s_{\theta_3} \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}; {}^4A_5 = \begin{bmatrix} c_{\theta_4} & 0 & s_{\theta_4} & 0 \\ s_{\theta_4} & 0 & -c_{\theta_4} & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}; {}^5A_6 = \begin{bmatrix} c_{\theta_5} & -s_{\theta_5} & 0 & 0 \\ s_{\theta_5} & c_{\theta_5} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & d_6 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}; \end{aligned}$$

Таким образом, для любого вектора  $q$ , пользуясь выражением (2.6) и ДХ-параметрами манипулятора, можно определить однозначное положение и ориентацию схвата манипулятора в пространстве.

Для проверки, зададим вектор обобщенных координат:

$$q = [\theta_1 \ \theta_2 \ \theta_3 \ \theta_4 \ \theta_5] = [0 \ 0 \ 0 \ 90 \ 0] \quad (2.8)$$

Инв. № подл.	Подп. и дата	Взам. инв. №	Инв. № дубл.	Подп. и дата	КСУИ.101.4135.001 ПЗ					Лист
										11
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата						


$$p = \begin{bmatrix} 0.033 \\ 0 \\ 0.655 \end{bmatrix}, o = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 180 \end{bmatrix},$$

Вычислим матрицу  ${}^0A_6$ :

$${}^0A_6 = \begin{bmatrix} -1 & 0 & 0 & 0.033 \\ 0 & -1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0.655 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (2.9)$$

Из приведенного примера следует, что ДХ-параметры и матрицы трансформации найдены верно.



Найдем  $\theta_1$ :

$$p^x s_1 - p^y c_1 = 0 \quad (2.13)$$

$$\theta_1 = \text{Atan2}(p^y, p^x) \quad (2.14)$$

$$s_5 = r_{11}s_1 - r_{21}c_1,$$

$$c_5 = r_{12}s_1 - r_{22}c_1$$

$$\theta_5 = A \tan 2(r_{11}s_1 - r_{21}c_1, r_{12}s_1 - r_{22}c_1) \quad (2.15)$$
$$c_{234} = -r_{33},$$

$$s_{234} = r_{13}c_1 + r_{23}s_1$$

$$\theta_{234} = \text{Atan2}(r_{13}c_1 + r_{23}s_1, -r_{33}) \quad (2.16)$$

Выпишем, пользуясь теоремой косинусов, выражения для  $\theta_3$ :

$$\cos \theta_3 = \frac{({}^2p_4^x)^2 + ({}^2p_4^y)^2 + ({}^2p_4^z)^2 - a_3^2 - a_3^2}{2a_3a_4} \quad (2.17)$$

$$\theta_3^{1,2} = \mp A \tan 2(\sqrt{1 - \cos^2 \theta_3}, \cos \theta_3) \quad (2.18)$$

$$\theta_2^1 = A \tan 2(\sqrt{(2p_4^x)^2 + (2p_4^y)^2}, p_4^z) + A \tan 2(a_4 \sin \theta_3^1, a_3 + a_4 \cos \theta_3^1) \quad (2.19)$$
$$\theta_2^2 = A \tan 2(\sqrt{(2p_4^x)^2 + (2p_4^y)^2}, p_4^z) - A \tan 2(a_4 \sin \theta_3^2, a_3 + a_4 \cos \theta_3^2) \quad (2.20)$$
$$\theta_4^{1,2} = \theta_{234} - \theta_2^{1,2} - \theta_3^{1,2} \quad (2.21)$$

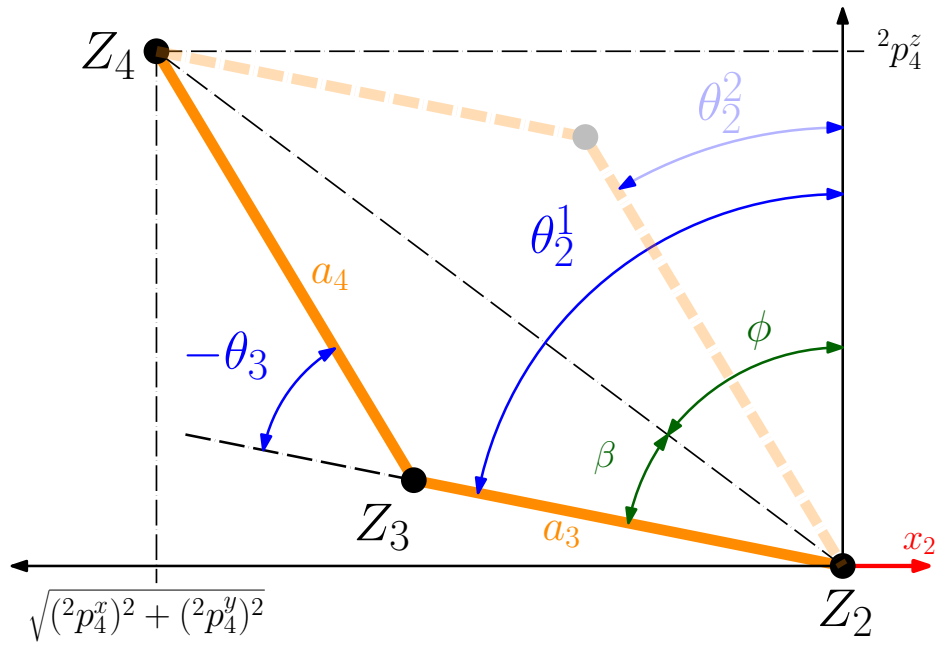


Рисунок 2.3 – Плоская часть манипулятора

### 3 Синтез систем управления

[illegible]

Заключение

Текст заключения

Инов. № подл.	Подп. и дата	Взам. инв. №	Инов. № дубл.	Подп. и дата

Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата

КСУИ.101.4135.001 ПЗ					Лист
					16



## Список использованных источников

- 1 KUKA YUBOT. — URL: <http://www.technomatix.ru/kuka-youbot> (дата обращения: 08.03.2017).
- 2 YouBot Detailed Specifications. — URL: [http://www.youbot-store.com/wiki/index.php/YouBot\\_Detailed\\_Specifications](http://www.youbot-store.com/wiki/index.php/YouBot_Detailed_Specifications) (дата обращения: 04.04.2017).

Инв. № подл.	Подп. и дата	Взам. инв. №	Инв. № дубл.	Подп. и дата	КСУИ.101.4135.001 ПЗ					Лист
										17
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата						

Приложение А  
(рекомендуемое)

## Терминология относительных измерений

Относительно координат некоторых векторов, являющихся в большинстве своем некоторыми кинематическими величинами, в тексте документа можно встретить указания на то, что они получены (или отсчитаны) «...относительно такой-то системы координат...» и при этом «...выражены относительно такой-то системы координат...». Это приложение разъясняет смысл данных фраз нижеследующим простым примером.

Рассмотрим рисунок А.1. На нем изображены стоящий неподвижно куст, тележка, катящаяся со скоростью  $v = 1$  м/с, облако, движущееся со скоростью  $u = 3$  м/с, и жестко связанные с ними правосторонние системы координат  $Ox_0y_0z_0$ ,  $Ox_1y_1z_1$  и  $Ox_2y_2z_2$ . Опишем скорость движения облака вектором  $\vec{V}$ . В зависимости от своего физического смысла он будет иметь разные координаты. Наглядно это демонстрирует таблица А.1.

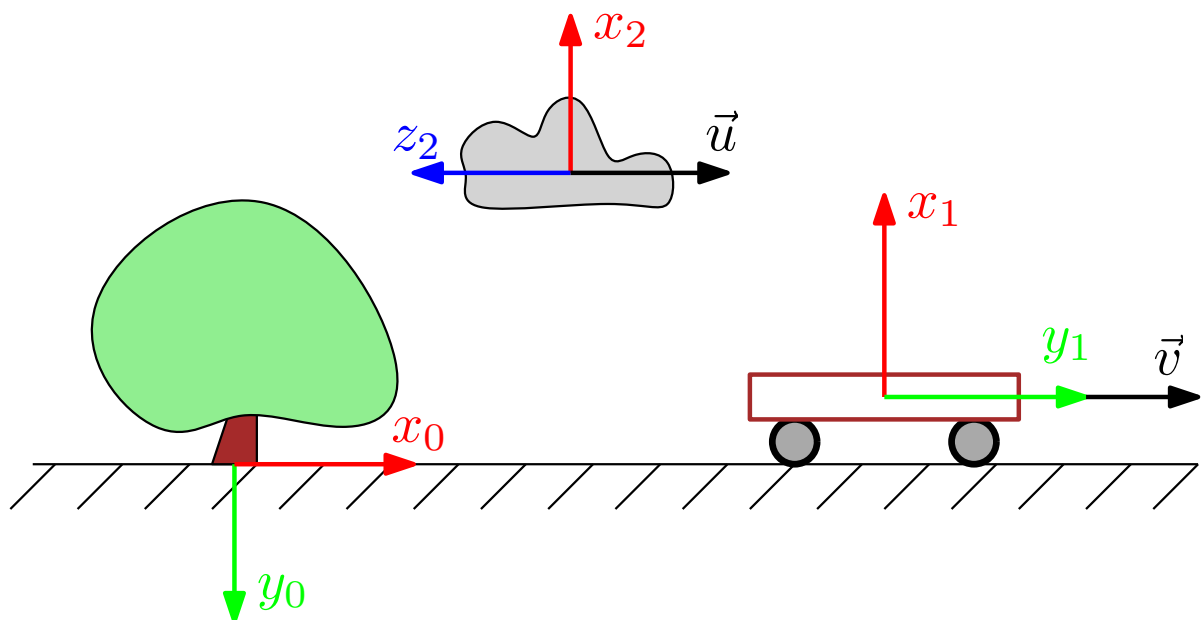


Рисунок А.1 – Воображаемая ситуация из пояснительного примера.

Подп. и дата	Инов. № дубл.	Взам. инв. №	Подп. и дата	Инов. № подл.
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата
КСУИ.101.4135.001 ПЗ				
				Лист
				18

Таблица А.1 – Координаты вектора  $V$  в зависимости от его физического смысла.

Смысл вектора $V$	Значение $V^T$
Скорость $Ox_2y_2z_2$ относительно $Ox_0y_0z_0$ , выраженная относительно $Ox_0y_0z_0$	$\begin{bmatrix} 3 & 0 & 0 \end{bmatrix}$
Скорость $Ox_2y_2z_2$ относительно $Ox_0y_0z_0$ , выраженная относительно $Ox_1y_1z_1$	$\begin{bmatrix} 0 & 3 & 0 \end{bmatrix}$
Скорость $Ox_2y_2z_2$ относительно $Ox_0y_0z_0$ , выраженная относительно $Ox_2y_2z_2$	$\begin{bmatrix} 0 & 0 & -3 \end{bmatrix}$
Скорость $Ox_2y_2z_2$ относительно $Ox_1y_1z_1$ , выраженная относительно $Ox_0y_0z_0$	$\begin{bmatrix} 2 & 0 & 0 \end{bmatrix}$
Скорость $Ox_2y_2z_2$ относительно $Ox_1y_1z_1$ , выраженная относительно $Ox_1y_1z_1$	$\begin{bmatrix} 0 & 2 & 0 \end{bmatrix}$
Скорость $Ox_2y_2z_2$ относительно $Ox_1y_1z_1$ , выраженная относительно $Ox_2y_2z_2$	$\begin{bmatrix} 0 & 0 & -2 \end{bmatrix}$

Инов. № подл.	Подп. и дата	Взам. инв. №	Инов. № дубл.	Подп. и дата

Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата