

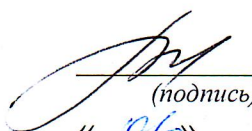
Министерство науки и высшего образования Российской Федерации

Федеральное государственное бюджетное  
образовательное учреждение высшего образования  
«Комсомольский-на-Амуре государственный университет»

Работа выполнена в СКБ «Промышленная робототехника»

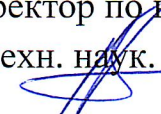
СОГЛАСОВАНО

Начальник отдела ОНиПКРС


  
(подпись) Е.М. Димитриади  
« 06 » 06 2024 г.

УТВЕРЖДАЮ

Проректор по научной работе,  
д-р техн. наук, профессор

  
(подпись) А.В. Космынин  
« 06 » 06 2024 г.


Декан ФЭУ

  
(подпись) А.С. Гудим  
« 06 » 06 2024 г.

«Имитационная модель платформы Стюарта»


Комплект документации на управляющую программу для  
автоматизированной системы

Руководитель СКБ

  
06.06.2024  
(подпись, дата)


С.И. Сухоруков

Руководитель проекта

  
06.06.24  
(подпись, дата)

А.В. Бузикаева

Наставник проекта

  
06.06.24  
(подпись, дата)

Н.Р. Сбитнев

Исполнитель проекта

  
06.06.24  
(подпись, дата)

К.П. Петровский

Комсомольск-на-Амуре 2024

### Карточка проекта

Название	Имитационная модель платформы Стюарта
Тип проекта	Научно-исследовательский проект
Исполнители	Наставник: Студент <u>СР</u> Н.Р. Сбитнев – 0МР6-1 Исполнитель: Ученик МОУ «Инженерная школа города Комсомольска-на-Амуре» <u>К.П.</u> К.П. Петровский
Срок реализации	02.2024-05.2024

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации

Федеральное государственное бюджетное  
образовательное учреждение высшего образования  
«Комсомольский-на-Амуре государственный университет»

ЗАДАНИЕ  
на разработку

Название проекта: Имитационная модель платформы Стюарта

Назначение: Упрощение настройки системы автоматического управления для мехатронного модуля

Область использования: Мехатронный модуль для высокоточных инструментов

Функциональное описание проекта: Мехатронное устройство, посредством обработки сигналов с датчиков, автоматически выравнивает расположенный на нем инструмент относительно поверхности земли

Техническое описание устройства: Устройство должно состоять из двух основных частей, неподвижной плоскости – базы, и подвижной плоскости – платформы. На базе располагается шесть попарно расположенных сервоприводов, к фланцам которых прикреплены рычаги, от которых усилие передается на тяги через шарнирное соединение, которые также имеют шарнирное соединение с подвижной частью

Требования: Имитационная модель системы должна соответствовать заданию на разработку, быть надежной, удобной в использовании, практичной

План работ:

Наименование работ	Срок
Моделирование 3D модели платформы Стюарта в CAD системе	02.2024
Разработка модели в среде иммитационного моделирования с использованием пакета Simscare	02.2024
Решение обратной задачи кинематики для платформы Стюарта	03.2024
Разработка системы управления в среде имитационного моделирования	04.2024
Усовершенствование системы управления	05.2024

Комментарии:

---

---

---

---

---

Перечень графического материала:

1. Структурная схема;
2. Внешний вид изделия;
3. Трехмерная модель изделия

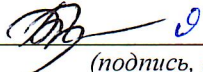
---

---

---

---

Руководитель проекта


  
(подпись, дата)

А.В. Бузикаева

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации  
Федеральное государственное бюджетное  
образовательное учреждение высшего образования  
«Комсомольский-на-Амуре государственный университет»


ПАСПОРТ  
Управляющей программы  
«Имитационная модель платформы Стюарта»

Руководитель проекта

  
06.06.24  
(подпись, дата)


А.В. Бузикаева

Наставник проекта

  
06.06.24  
(подпись, дата)

Н.Р. Сбитнев

Исполнитель проекта

  
06.06.24  
(подпись, дата)

К.П. Петровский

Комсомольск-на-Амуре 2024

## Содержание

1 Общие положения.....	7
1.1 Наименование программы.....	7
1.2 Наименования документов, на основании которых ведется проектирование системы .....	7
1.3 Перечень организаций, участвующих в разработке системы.....	7
1.4 . Сведения об использованных при проектировании нормативно-технических документах.....	8
2 Описание программы .....	9
2.4 Используемые технические средства.....	14
2.5 Вызов и загрузка.....	14
2.6 Входные данные (при наличии).....	14
2.7 Выходные данные (при наличии) .....	14
3 Руководство оператора.....	15
3.1 Назначение программы;.....	15
3.2 Условия выполнения программы; .....	15
3.3 Сообщения оператору .....	15
ПРИЛОЖЕНИЕ А.....	16
ПРИЛОЖЕНИЕ Б .....	21

					<b>СКБФЭУ.1.ИП.01000000</b>	Лист
Изм.	Лист.	№ документа	Подп.	Дата.		6

## **1 Общие положения**

Настоящий паспорт является документом, предназначенным для ознакомления с основной структурой, особенностями и правилами эксплуатации управляющей программы «Имитационная модель платформы Стюарта» (далее «программа»).

Паспорт входит в комплект поставки программы. Перед запуском программы внимательно изучите правила ее эксплуатации.

### **1.1 Наименование программы**

Полное наименование программы – «Имитационная модель платформы Стюарта».

### **1.2 Наименования документов, на основании которых ведется проектирование системы**

Создание программы «Имитационная модель платформы Стюарта» осуществляется на основании требований и положений следующих документов:

- задание на разработку.

### **1.3 Перечень организаций, участвующих в разработке системы**

Заказчиком Создание программы «Имитационная модель платформы Стюарта» является Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Комсомольский-на-Амуре государственный университет» (далее заказчик), находящийся по адресу: 681013, Хабаровский край, г. Комсомольск-на-Амуре, Ленина пр-кт., д. 27.

Исполнителями работ по созданию программы «Имитационная модель платформы Стюарта» являются Конструкторы студенческого конструкторского бюро (далее СКБ), студент группы 0МРБ-1, Сбитнев Никита Романович.

					<b>СКБФЭУ.1.ИП.01000000</b>	Лист
Изм.	Лист.	№ документа	Подп.	Дата.		7

#### 1.4 . Сведения об использованных при проектировании нормативно-технических документах

При проектировании использованы следующие нормативно-технические документы:

ГОСТ 19.001-77. Единая система программной документации (ЕСПД).

Общие положения.

ГОСТ 19.701-90. ЕСПД. Схемы алгоритмов, программ, данных и систем. Обозначения условные и правила выполнения

ГОСТ 19.101-77. ЕСПД. Виды программ и программных документов.

ГОСТ 19.102-77. ЕСПД. Стадии разработки.

ГОСТ 19.401-78. ЕСПД. Текст программы. Требования к содержанию и оформлению.

ГОСТ 19.402-78. ЕСПД. Описание программы.

ГОСТ 19.404-79. ЕСПД. Пояснительная записка. Требования к содержанию и оформлению.

ГОСТ 19.505-79. ЕСПД. Руководство оператора. Требования к содержанию и оформлению.

					<b>СКБФЭУ.1.ИП.01000000</b>	Лист
Изм.	Лист.	№ документа	Подп.	Дата.		8



## 2 Описание программы

### 2.1 Общие сведения

Имитационная модель создана на основе моделей, разработанных в CAD системе и использования библиотеки Simscape.

### 2.2 Функциональное назначение программы

Программа применяется для управления положением платформы Стюарта.

### 2.3 Описание логической структуры

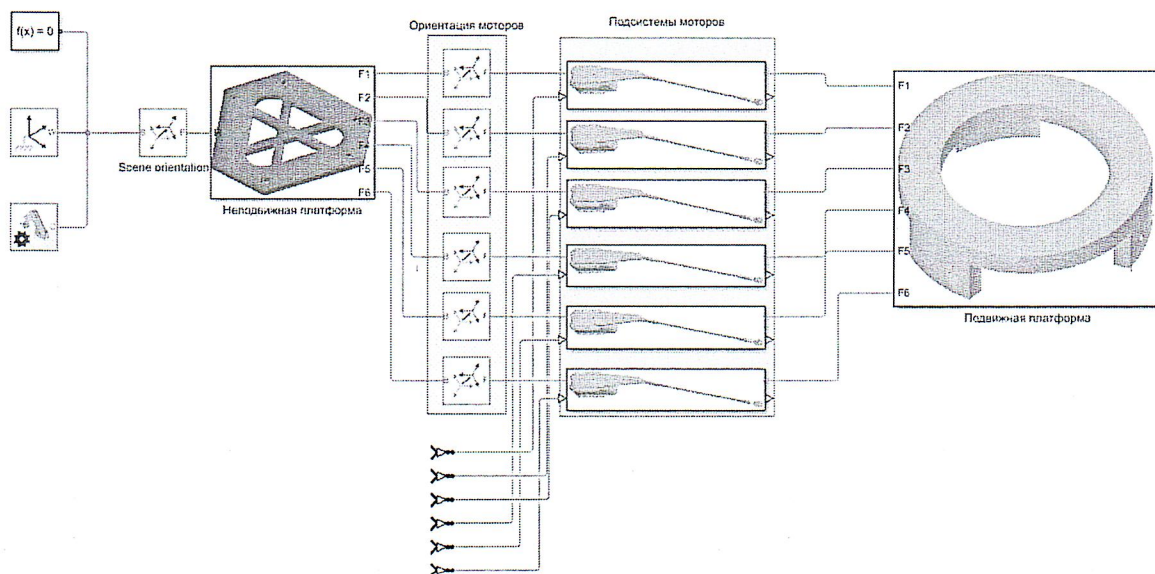


Рисунок 1 – Имитационная модель платформы Стюарта

В программе приведены сгруппированные подсистемы, определяющие кинематику и физические свойства элементов, входящих в состав объекта. Подвижная и неподвижная платформы, а также модели корпусов серводвигателей, валов, плеч и опорных тяг представляют собой твердые тела, объединяющие в своем составе такие параметры, как: геометрическая форма, масса, инерция, а также параметры системы координат. Звено «Мировые координаты» дает возможность изменения начальных значений ортогональной системы координат, являющейся основным параметром для

Изм.	Лист.	№ документа	Подп.	Дата.

размещения трехмерного объекта. В блоке «Параметры решателя» задается метод приближенного вычисления для решения системы дифференциальных уравнений, описывающих проектируемый объект. Звено «Конфигурация механизма» содержит набор основных физических законов, позволяющих формализовать поведение части платформы Стюарта в пространстве. Каждое звено «Преобразование системы координат» позволяет задать однородную матрицу для преобразования одной системы координат в другую для последовательно соединенных звеньев с целью задания движения объекта в целом.

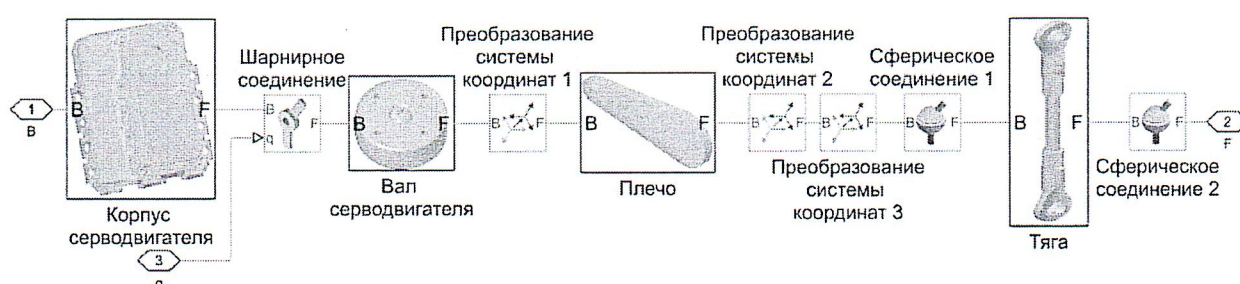


Рисунок 2 – Модель подсистемы сервомотора

На рисунке 2 изображена подсистема серводвигателя, имеющая в своем составе кинематические взаимосвязи между статической и подвижной частями платформы. Блок «Шарнирное соединение» имитирует движение кинематической пары с одной степенью свободы. Блок «Сферическое соединение» обеспечивает три степени свободы между кинематической парой и может задавать произвольное трехмерное вращение по отношению к опорному механизму.

На рисунке 3 изображена подсистема для решения обратной задачи кинематики для нахождения углов поворотов серводвигателей для заданной позиции подвижной платформы в виде сгруппированных подсистем.

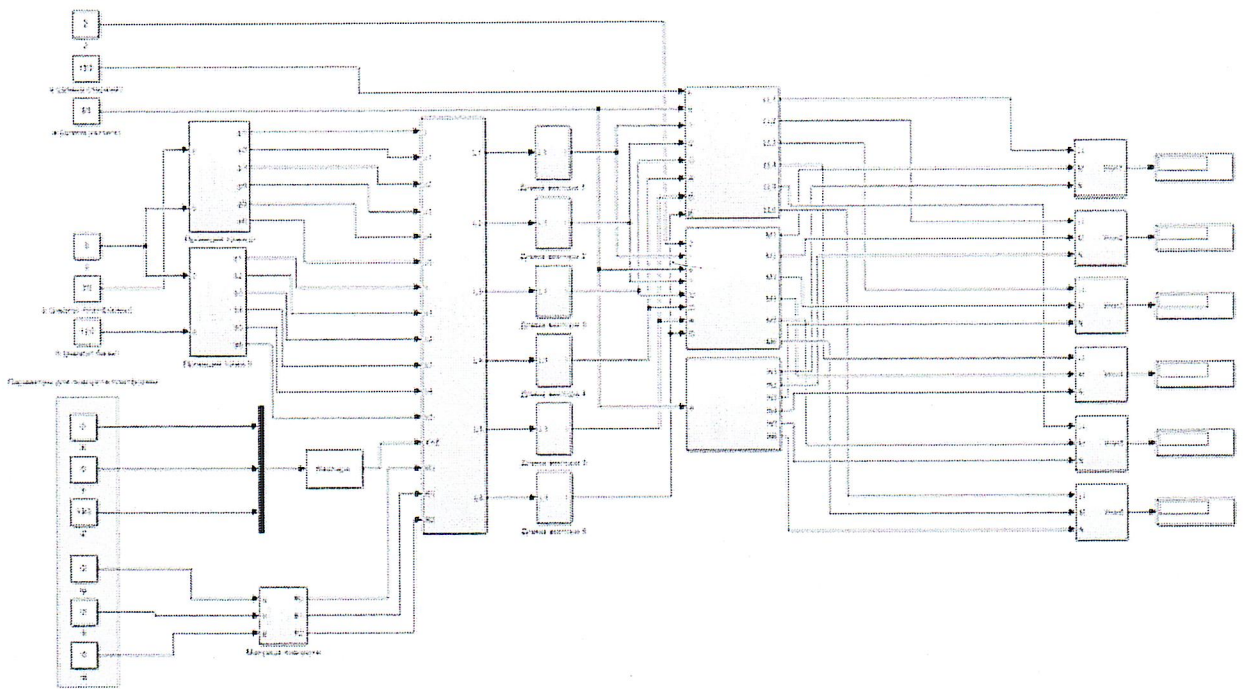


Рисунок 3 – Решение обратной задачи кинематики

Для описания данной подсистемы обозначим координаты  $x, y, z$ , и углы поворота: крен ( $\theta$ ), тангаж ( $\varphi$ ) и рысканье ( $\psi$ ).

Точкой отчёта является середина основания платформы ( $x, y, z$ ), а середину подвижной части обозначим  $x', y', z'$ . Три угла поворота определяют ориентацию платформы к основанию:  $\theta$  по оси  $y$ ,  $\psi$  по оси  $z$ , а  $\varphi$  по оси  $x$ . Матрицу поворота по оси  $z$  можно описать как:

$$\begin{bmatrix} x \\ y \\ z \end{bmatrix} = R_z(\psi) \begin{bmatrix} x' \\ y' \\ z' \end{bmatrix},$$

где

$$R_z(\psi) = \begin{pmatrix} \cos \psi & -\sin \psi & 0 \\ \sin \psi & \cos \psi & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \quad (1)$$

Аналогично для других углов:

$$R_y(\theta) = \begin{pmatrix} \cos \theta & 0 & \sin \theta \\ 0 & 1 & 0 \\ -\sin \theta & 0 & \cos \theta \end{pmatrix} \quad (2)$$

$$R_x(\varphi) = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & \cos \varphi & -\sin \varphi \\ 0 & \sin \varphi & \cos \varphi \end{pmatrix} \quad (3)$$

Полная матрица вращения определяется формулой 4:

$$R_B = R_2(\psi) \cdot R_y(\theta) \cdot R_x(\varphi) = \quad (4)$$

$$= \begin{pmatrix} \cos \psi & -\sin \psi & 0 \\ \sin \psi & \cos \psi & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} * \begin{pmatrix} \cos \theta & 0 & \sin \theta \\ 0 & 1 & 0 \\ -\sin \theta & 0 & \cos \theta \end{pmatrix} \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & \cos \varphi & -\sin \varphi \\ 0 & \sin \varphi & \cos \varphi \end{pmatrix} =$$

$$= \begin{pmatrix} \cos \psi * \cos \theta & -\sin \psi * \cos \psi + \cos \psi * \sin \theta * \sin \varphi & \sin \psi * \sin \varphi + \cos \psi * \sin \theta * \cos \varphi \\ \sin \psi * \cos \theta & \cos \psi * \cos \varphi + \sin \psi * \sin \theta * \sin \varphi & -\cos \psi * \sin \varphi + \sin \psi * \sin \theta * \cos \varphi \\ -\sin \theta & \cos \theta * \sin \varphi & \cos \varphi * \cos \theta \end{pmatrix}$$

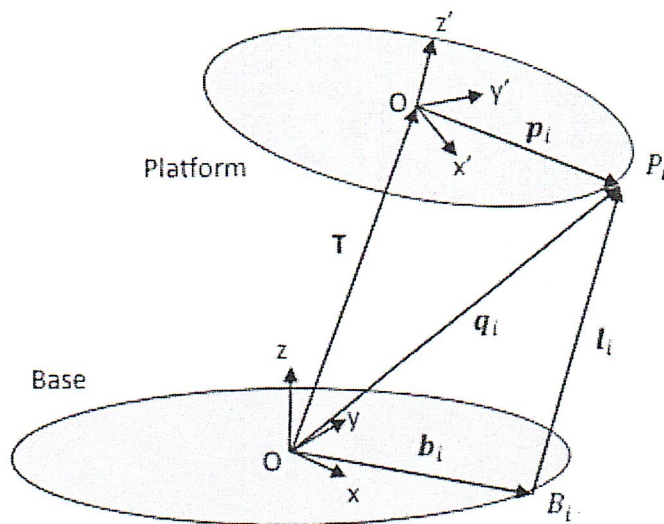


Рисунок 4 – Векторное описание всей платформы

На рисунке 4 показаны векторы для описания последующих расчетов

T – вектор описывающий линейное перемещение начала координат платформы по отношению к основанию.

$B_i$  – точка соединения  $i$ -ой балки с сервоприводом

$P_i$  – точка соединения платформы с основанием

$b_i$  – вектор, определяющий координату точки  $B_i$

$p_i$  – вектор, определяющий координату точки  $P_i$

$l_i$  – вектор, соответствующий балке

$q_i$  – вектор, определяющий координату точки  $P_i$  относительно начала системы координат, задаётся уравнением:

$$q_i = T + R_B \cdot p_i \quad (5)$$

$l_i$  в свою очередь задается уравнением:

$$l_i = T + R_B \cdot p_i - b_i \quad (6)$$

Для последующих расчетов обозначим параметры для определения угла поворота вала сервопривода.

$a$  – длина рычага сервопривода.

$A_i$  – точка соединения рычага с нижней точкой стержня  $i$ -го сервопривода с координатами  $a = [x_a, y_a, z_a]$  в системе координат основания.

$B_i$  – точка вращения центра рычага сервопривода с координатами  $b = [x_b, y_b, z_b]$  в системе координат основания.

$P_i$  – точка соединения верхнего шарнира стержня с платформой с координатами  $p = [x_p, y_p, z_p]$  в системе координат платформы

$S$  – длина стержня.

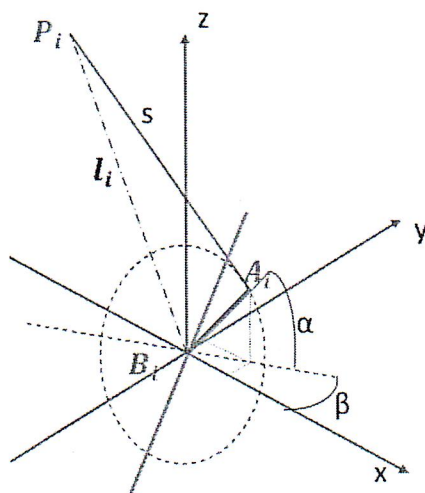


Рисунок 5 – Векторное описание для одного серводвигателя

Угол  $\alpha$  равен:

$$\alpha = \sin^{-1} \frac{L}{\sqrt{M^2 + N^2}} - \tan^{-1} \frac{N}{M} \quad (7)$$

Где

$$L = l^2 - (s^2 - a^2) \quad (8)$$

$$N = 2a [\cos \beta (x_p - x_b) + \sin \beta (y_p - y_b)] \quad (9)$$

$$M = 2a (z_p - z_b) \quad (10)$$

Аналогичные уравнения будут и для остальных углов.

Код программы и результаты выполнения программы приведены в приложениях А-Б.

#### **2.4 Используемые технические средства**

Микроконтроллер OpenCM, физическая модель платформы Стюарта

#### **2.5 Вызов и загрузка**

На плату переносится управляющая программа, после чего платформа Стюарта осуществляет перемещение по заданным координатам.

#### **2.6 Входные данные (при наличии)**

В качестве входных данных задается желаемое положение платформы по координатам: X, Y, Z, а также углам наклона платформы: крен, тангаж и рыскание.

#### **2.7 Выходные данные (при наличии)**

В качестве выходных данных модель выдает углы поворота на каждый отдельный сервопривод

					<b>СКБФЭУ.1.ИП.01000000</b>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист.</i>	<i>№ документа</i>	<i>Подп.</i>	<i>Дата.</i>		14

### **3 Руководство оператора**

#### **3.1 Назначение программы;**

Результат выполнения программы приведен в Приложении Б.

#### **3.2 Условия выполнения программы;**

Для стабильного и исправного выполнения программы заданной в модели требуется выполнить калибровку датчика гироскоп-акселерометра.

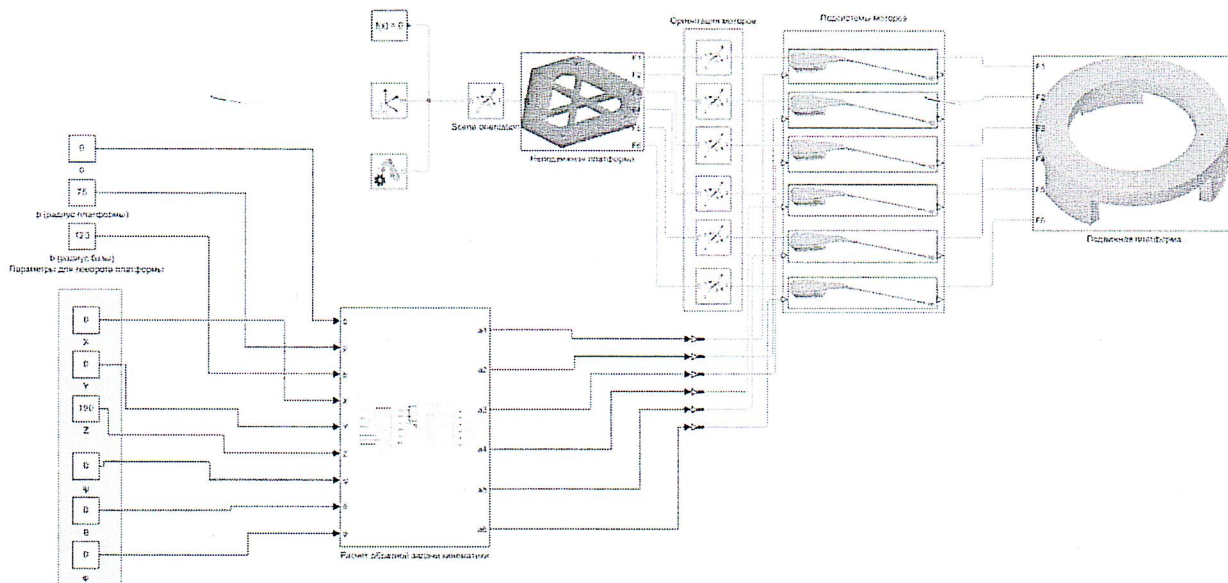
#### **3.3 Сообщения оператору**

Оператору не требуется принимать активное участие в работе модели, а лишь следить за работоспособностью оборудования.

					<b>СКБФЭУ.1.ИП.01000000</b>	Лист
Изм.	Лист.	№ документа	Подп.	Дата.		15

# ПРИЛОЖЕНИЕ А

(обязательное)



```
#include <DynamixelWorkbench.h>
```

```
#include <math.h>
```

```
#define BAUDRATE 1000000
```

```
#define DXL_ID1 1
```

```
#define DXL_ID2 2
```

```
#define DXL_ID3 3
```

```
#define DXL_ID4 4
```

```
#define DXL_ID5 5
```

```
#define DXL_ID6 6
```

```
DynamixelWorkbench dxl_wb;
```

```
float s = 211;
```

```
float a = 35;
```

```
float b = 100;
```

```
float p = 110;
```

```
float fi_b = 0.61;
```

```
float fi_p = 0.13;
```

```
float bx,by,px,py;
```

```
float R[3][3];
```

Изм.	Лист.	№ документа	Подп.	Дата.

СКБФЭУ.1.ИП.01000000

Лист

16



```

float alfa1 = 0;
float beta1 = 0;
float gama1 = 0;

float x1;
float y_1;
float z1;

float angle(), angle1, angle2, angle3, angle4, angle5, angle6;

void set_pos(float p1, float p2, float p3, float p4, float p5, float p6, int del)
{
    dxl_wb.goalPosition(DXL_ID1,p1);
    dxl_wb.goalPosition(DXL_ID2,p2);
    dxl_wb.goalPosition(DXL_ID3,p3);
    dxl_wb.goalPosition(DXL_ID4,p4);
    dxl_wb.goalPosition(DXL_ID5,p5);
    dxl_wb.goalPosition(DXL_ID6,p6);
    delay(del);
}

void matrix(float alfa, float beta, float gama)
{
    R[0][0] = cos(alfa)*cos(beta);
    R[1][0] = -sin(alfa)*cos(gama)+cos(alfa)*sin(beta)*sin(gama);
    R[2][0] = sin(alfa)*sin(gama)+cos(alfa)*sin(beta)*cos(gama);
    R[0][1] = sin(alfa)*cos(beta);
    R[1][1] = cos(alfa)*cos(gama) + sin(alfa)*sin(beta)*sin(gama);
    R[2][1] = -cos(alfa)*sin(gama)+sin(alfa)*sin(beta)*cos(gama);
    R[0][2] = -sin(beta);
    R[1][2] = cos(beta)*sin(gama);
    R[2][2] = cos(beta)*cos(gama);
}

```

					<b>СКБФЭУ.1.ИП.01000000</b>	Лист
Изм.	Лист.	№ документа	Подп.	Дата.		17

```

void angle(float fi_b, float fi_p, float x, float y, float z)
{
bx = b*cos(fi_b);
by = b*sin(fi_b);
px = p*cos(fi_p);
py = p*sin(fi_p);
float A = R[0][0]*px + R[1][0]*py;
float B = R[0][1]*px + R[1][1]*py;
float C = R[0][2]*px + R[1][2]*py;
A = A-bx+x;
B = B-by+y;
C = C+z;
float I = sqrt(A*A+B*B+C*C);
float L = I*I-s*s+a*a;
float M = 2*a*I;
float N = 2*a*(cos(fi_b)*(px-bx)+sin(fi_b)*(py-by));
andle() = -(asin(L/sqrt(M*M + N*N))) - atan(N/M);
}

void setup()
{
dxl_wb.init(DEVICE_NAME, BAUDRATE, &log);
Serial.begin(1000000);
const char *log;
unit16_t model_number1 = 1;
unit16_t model_number2 = 2;
unit16_t model_number3 = 3;
unit16_t model_number4 = 4;
unit16_t model_number5 = 5;
unit16_t model_number6 = 6;
dxl_wb.ping(DXL_ID1, &model_number1, &log);
dxl_wb.ping(DXL_ID2, &model_number2, &log);
dxl_wb.ping(DXL_ID3, &model_number3, &log);
dxl_wb.ping(DXL_ID4, &model_number4, &log);
}

```

					<b>СКБФЭУ.1.ИП.01000000</b>	Лист
Изм.	Лист.	№ документа	Подп.	Дата.		18

```

dxl_wb.ping(DXL_ID5, &model_number5, &log);
dxl_wb.ping(DXL_ID6, &model_number6, &log);
dxl_wb.jointMode(DXL_ID1, 20, 20, &log);
dxl_wb.jointMode(DXL_ID2, 20, 20, &log);
dxl_wb.jointMode(DXL_ID3, 20, 20, &log);
dxl_wb.jointMode(DXL_ID4, 20, 20, &log);
dxl_wb.jointMode(DXL_ID5, 20, 20, &log);
dxl_wb.jointMode(DXL_ID6, 20, 20, &log);
}

```

```

Void loop()

```

```

{
if(Serial.avable(>0){
x1 = Serial.parseInt();
y_1 = Serial.parseInt();
z1 = Serial.parseInt();

alfa1 = Serial.parseInt();
beta1 = Serial.parseInt();
gama1 = Serial.parseInt();
Serial.print(«X = «);
Serial.print(x1);
Serial.print(«Y = «);
Serial.print(y_1);
Serial.print(«Z = «);
Serial.print(z1);
Serial.print(«Alfa = «)
Serial.print(alfa1);
Serial.print(«Beta = «);
Serial.print(beta1);
Serial.print(«Gamma = «)
Serial.print(gama1);
alfa1 = alfa1*3.14/180;
beta1 = beta1*3.14/180;
gama1 = gama1*3.14/180;

```

					<b>СКБФЭУ.1.ИП.01000000</b>	Лист
Изм.	Лист.	№ документа	Подп.	Дата.		19

```

matix(alfa1, beta1, gama1);
angle(0.61, 0.13, x1, y_1, z1);
angle1=angle0;
angle(1.48, 1.95, x1, y_1, z1);
angle2=-angle0;
angle(2.7, 2.22, x1, y_1, z1);
angle3=angle0;
angle(3.58, 4.04, x1, y_1, z1);
angle4=-angle0;
angle(4.8, 4.31, x1, y_1, z1);
angle5=angle0;
angle(5.6, 6.13, x1, y_1, z1);
angle6=-angle0;
Serial.print(«Angle#1 : «);
Serial.println(angle1);
Serial.print(«Angle#2 : «);
Serial.println(angle2);
Serial.print(«Angle#3 : «);
Serial.println(angle3);
Serial.print(«Angle#4 : «);
Serial.println(angle4);
Serial.print(«Angle#5 : «);
Serial.println(angle5);
Serial.print(«Angle#6 : «);
Serial.println(angle6);
Set_pos(angle1, angle2, angle3, angle4, angle5, angle6, 50);
}

```

## ПРИЛОЖЕНИЕ Б

(информационное)

Результаты выполнения программы



Рисунок Б1 – Результат выполнения программы в произвольных положениях

					СКБФЭУ.1.ИП.01000000	Лист
						21
Изм.	Лист.	№ документа	Подп.	Дата.		

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации

Федеральное государственное бюджетное  
образовательное учреждение высшего образования  
«Комсомольский-на-Амуре государственный университет»

СОГЛАСОВАНО

Начальник отдела ОНиПКРС

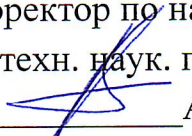
 Е.М. Димитриади

(подпись)

« 06 » 06 20 24 г.

УТВЕРЖДАЮ

Проректор по научной работе,  
д-р техн. наук, профессор

 А.В. Космынин

(подпись)

« 06 » 06 20 24 г.

Декан ФЭУ

 А.С. Гудим

(подпись)

« 06 » 06 20 24 г.

АКТ

о приемке в эксплуатацию проекта  
«Имитационная модель платформы Стюарта»

г. Комсомольск-на-Амуре

« 06 » 06 20 24 г.

Комиссия в составе представителей:

со стороны заказчика

- С.И. Сухоруков – руководитель СКБ,
- А.С. Гудим – декан ФЭУ

со стороны исполнителя

- А.В. Бузикаева – руководителя проекта,
- Н.Р. Сбитнев ОМРБ-1 – наставник проекта,
- К.П. Петровский – ученик МОУ «Инженерная школа города Комсомольска-на-Амуре» – исполнитель проекта

составила акт о нижеследующем:

«Исполнитель» передает проект «Система дискретно-событийного управления технологическими операциями», в составе:




«Исполнитель» передает управляющую программу для автоматизированной/роботизированной системы «Имитационная модель платформы Стюарта», в составе:

Программное обеспечение:

- Текст управляющей программы

Эксплуатационная документация:

- Паспорт управляющей программы для автоматизированной/роботизированной системы

Руководитель проекта	 <u>06.06.24</u> (подпись, дата)	А.В. Бузикаева
Наставник проекта	 <u>06.06.24</u> (подпись, дата)	Н.Р. Сбитнев
Исполнитель проекта	 <u>06.06.24</u> (подпись, дата)	К.П. Петровский