

УДК 004.942: 519.876.5

*Долгова Е.В., Брюханова А.А., Курушин Д.С.,  
Файзрахманов Р.А.*

*Пермский национальный исследовательский политехнический университет*

## **МОДЕЛИРОВАНИЕ КОЛЕБАНИЙ ПЛАТФОРМЫ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОГО МОБИЛЬНОГО РОБОТА\***

*Аннотация. Представлены результаты программной имитации механических колебаний, возникающих в конструкции мобильного робота с системой технического зрения. Представлена модель и элементы программной системы для исследований. На основе численного решения системы дифференциальных уравнений получены зависимости, которые позволяют выбрать параметры и режим безопасного функционирования робота. Таким образом, появляется возможность воздействия на колебания, которые возникают из-за совместной работы самой платформы и механических элементов системы технического зрения и избежать ситуации опрокидывания платформы.*

*Ключевые слова: робот, платформа, колебания, моделирование, программа, дифференциальное уравнение.*

*E. Dolgova, A. Brjuhanova, D. Kurushin, R. Fayzrakhmanov  
Perm National Research Polytechnic University (Perm, Russia)*

## **SIMULATION OF MOBILE ROBOT PLATFORM VIBRATIONS**

*Abstract. The results of modelling of the mechanical oscillations which can take place in a suspension system of the autonomous vehicle-like robot are presented in this paper. If the robot has computer-vision stabilized platform, it's movements can interact with vehicle's suspension. To ensure stability of the robot computer simulation of the system were performed. Dependencies allowing to select safe operation modes of the robot are calculated basing on the numerical solution of differential equations. Thus, there is a possibility to control the fluctuations arising from the interaction between the platform and mechanical components of the computer vision system and to avoid a situation of overturning the platform.*

*Key words: robot, platform, oscillations, modelling, programm, differential equation*

Рассмотрим задачу управления мобильным роботом, который перемещается по произвольной местности [3, 4, 6]. При этом груз,

---

© Долгова Е.В., Брюханова А.А., Курушин Д.С., Файзрахманов Р.А. 2015.

\* Работа выполнена при финансовой поддержке Минобрнауки РФ (договор № 02.G25.31.0068) в рамках реализации Постановления Правительства РФ № 218 «О мерах государственной поддержки развития кооперации российских высших учебных заведений и организаций, реализующих комплексные проекты по созданию высокотехнологичного производства».

перевозимый роботом, ограничен, наращивание мощности его вычислителя имеет определенные пределы, рельеф местности образован конечным числом поверхностей, а положение робота задается двумя непрерывными переменными.

Распознавание является важной частью систем управления интеллектуальными устройствами [1, 5, 7, 8], и позволяет, как ориентироваться на местности, так и осуществлять поиск заданных объектов. Входит использование системы машинного зрения, которая предполагает работу подвижной видеокамеры. Однако в силу механического взаимодействия подвеса камеры и собственно платформы могут возникать непредусмотренные спецификацией колебания, которые предположительно способны вызвать ее опрокидывание. Таким образом, целью данной работы является исследование возможности возникновения таких процессов, их моделирование, а в итоге – разработка конструкции, исключающей нештатные ситуации подобного рода.

Предположим, мобильную платформу можно представить в виде двух тел, соединенных осью. Одно из тел (тело А) подвешено на двух пружинах (рис. 1), второе (тело В) представляет из себя гироскоп (рис. 1).

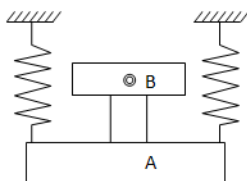


Рис. 1. Схема платформы

Если одну из пружин вывести из равновесного состояния, то тело 2 начнет совершать гармонические затухающие колебания, отклоняясь от своего начального положения на некоторый угол  $\alpha$  (рис. 2).

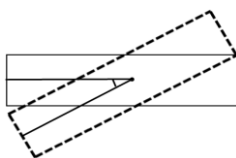


Рис. 2. Угол отклонения

Пусть  $\vec{F}$  – результирующий вектор всех сил, действующих на тело А. Тогда  $\vec{F}$  можно представить в виде суммы векторов следующих сил:

$$\vec{F} = \vec{F}_c + \vec{F}_y + \vec{F}_p \quad (1)$$

где

$\vec{F}_c$  – сила сопротивления,

$\vec{F}_y$  – сила упругости пружины,

$\vec{F}_p$  – сила, действующая от верхней платформы.

$\vec{F}_p$  – рассчитывается по следующей формуле:

$$F_p = F_y \cdot \sin \alpha \quad (2)$$

где  $F_y$  – центростремительная сила,

$\alpha$  – угол, под которым направлена сила к нижней платформе.

В свою очередь, центростремительную силу можно посчитать следующим образом [9]:

$$F_y = \frac{M \cdot r \cdot \omega^2}{2} \quad (3)$$

где  $M$  – масса платформы,

$r$  – радиус,

$\omega$  – угловая скорость.

Распишем все силы, действующие на платформу, тогда формула (1) запишется как:

$$F = -c \cdot v - k \cdot x + \frac{M \cdot r \cdot \omega^2 \cdot \sin \alpha}{2} \quad (4)$$

где  $c$  – коэффициент сопротивления, устанавливающий соотношение между скоростью движения тела А и возникающей при этом силой сопротивления,

$v$  – скорость, с которой тело А совершает колебания,

$k$  – коэффициент упругости пружины.

Угловая скорость вычисляется по формуле:

$$\omega = \cos \theta, t \quad (5)$$

Так как скорость является производной расстояния, то уравнение (4) можно записать следующим образом:

$$F = -c \cdot v - k \cdot x + m \cdot r \cdot (\cos 0,1t)^2 \cdot \sin \alpha \quad (6)$$

Чтобы проверить, будет ли переворачиваться платформа, нужно проанализировать изменение угла наклона платформы и изменение координат крайних точек платформы. Запишем уравнение для расчета координат:

$$x = x_0 + v \cdot t \quad (7)$$

где  $x$  – координата точки,

$x_0$  – начальная координата точки,

$v$  – скорость,

$t$  – время.

Величина скорости будет рассчитана следующим образом:

$$v = v_0 + a \cdot dt \quad (8)$$

Для расчета координат левой и правой примем значение массы равное половине массы тела А. Выразим ускорение, используя формулу (6):

$$a = \frac{-c \cdot v_0 - k \cdot x + m \cdot r \cdot \omega^2 \cdot \sin \alpha}{m} \quad (9)$$

$$a = \frac{-c \cdot v_0}{m} - \frac{k \cdot x}{m} + r \cdot \cos(0,1t) \cdot \sin \alpha \quad (10)$$

Известно, что скорость движения:

$$v = v_0 + a \cdot dt \quad (11)$$

Чтобы решить систему уравнений методом Эйлера относительно параметра  $t$ , представим систему уравнений следующим образом:

$$\begin{cases} x_1(t) = x_{01} + dt(v_0 + dt(-\frac{c \cdot dx_1}{m} - \frac{k \cdot x}{m} + r(\cos 0,1dt)^2 \cdot \sin \alpha)) \\ x_2(t) = x_{02} + dt(v_0 + dt(-\frac{c \cdot dx_1}{m} - \frac{k \cdot x}{m} + r(\cos 0,1dt)^2 \cdot \sin \alpha)) \\ \Delta x = x_1 - x_2 \end{cases} \quad (12)$$

Тогда листинг имитационной модели примет вид:

```
import javax.swing.*;
```

```
import java.io.FileWriter;
```

```
import java.io.IOException;
import java.io.OutputStreamWriter;
import java.io.PrintWriter;
import java.util.Locale;
import java.util.Мap;

public class Robot{
    public static void main(String[] args) throws IOException {
        new Robot().run();
    }

    public void run() throws IOException{
        double c = 0.1;//1.78*0.00001;
        double k = 0.5;//коэффициент жесткости пружины
        double m = 5; //масса
        double alfa=Math.toRadians(40);
        double yc=0;//центр платформы
        double xv=0;//вектор
        double yv=0;
        int n=45000;
        double w=0.5;
        double[][] x = new double[n][4];
        double[][] a = new double[n][2];
        double[][] v = new double[n][2];
        double dt = 0.01;
        double t=0;

        PrintWriter out = new PrintWriter(new FileWriter("C:/Program Files
(x86)/gnuplot/bin/data.log"));
        double r=0.5;//радиус
        x[0][0]=r*Math.sin(alfa);//1 пружина
        x[0][1]=-x[0][0];//2 пружина
```

```

x[0][2]=x[0][1]-x[0][0]; // dx
v[0][0]=0;
v[0][1]=0;
out.println("#index U[index] exact_U[index] V[index] exact_V[index] ");
for(int i=1;i<x.length;i++){
    w=Math.cos(0.1*t);
    a[i][0]=(-c*v[i-1][0])/(m)-(k*x[i-1][0])/(m)+r*w*w*Math.sin(alfa);
    a[i][1]=(-c*v[i-1][1])/(m)-(k*x[i-1][1])/(m)+r*w*w*Math.sin(-alfa);
    v[i][0]=v[i-1][0]+a[i][0]*dt;
    v[i][1]=v[i-1][1]+a[i][1]*dt;
    x[i][0]=x[i-1][0]+v[i][0]*dt;
    x[i][1]=x[i-1][1]+v[i][1]*dt;
    x[i][2]=x[i][0]-x[i][1];
    t+=dt;
    yc=(x[i][0]+x[i][1])/2;
    xv=-Math.sqrt(r*r-x[i][0]*x[i][0]);
    yv=x[i][0]-yc;
    alfa=-Math.atan2(yv,xv);
    x[i][3]=180-Math.toDegrees(alfa);
    if(x[i][3]>180)x[i][3]=x[i][3]-360;
}
for(int i=0;i<n;i+=10)
    out.printf(Locale.US,"%d                %.6f                %.6f                %.6f\n",i/10,x[i][0],x[i][1],x[i][2],x[i][3]);
    out.println("");

    out.flush();
}

}

```

Рассмотрим пример полученных в результате моделирования результатов.

Были приняты следующие начальные условия:

- 1) Коэффициент сопротивления  $c = 0.1$ ;
- 2) коэффициент жесткости пружины  $k = 0.5$ ;
- 3) масса платформы  $m = 10$ ;
- 4) начальный угол отклонения от равновесного состояния  $\alpha = 30^\circ$ ;
- 5) шаг по времени  $\Delta t = 0.01$ ;
- 6) начальное значение времени  $t = 0$ ;
- 7) радиус  $r = 0.5$ ;
- 8) смещение первой пружины  $x_{01} = \sin \alpha$ .

Будем считать, что платформа мобильного робота перевернется, если угол отклонения от равновесного состояния превысит  $90$  градусов или значение координаты  $x$  превысит величину  $r$ .

На рисунке 3 показаны графики движения пружин и разница между ними в каждой точке. Видно, что со временем обе пружины начинают колебаться синхронно в противофазе.

При заданных начальных условиях получены результаты, отраженные на рисунке 3. Из графиков видно, что платформа совершает затухающие колебания, угол отклонения, стремится к установившемуся значению  $0$  (рис. 4).

Максимальный начальный угол отклонения, при котором платформа ведет себя стабильно –  $40^\circ$ .

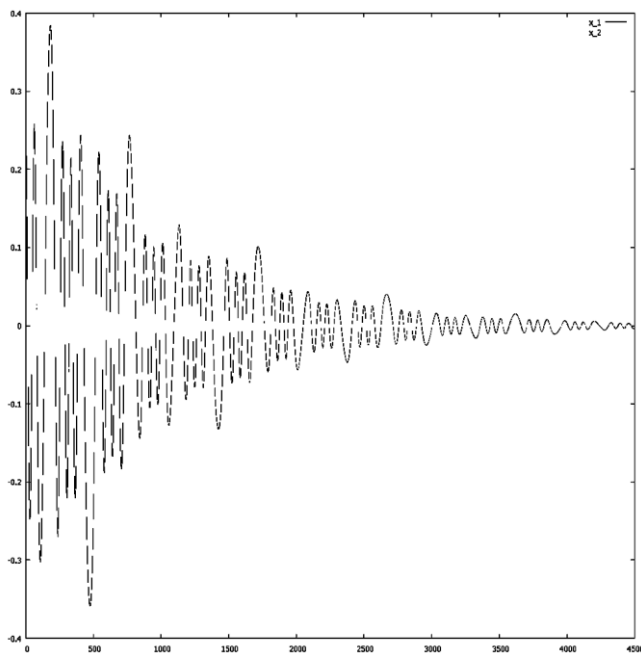


Рис. 3 Колебания пружин при начальном угле  $30^\circ$ . Ось абсцисс – время, ось ординат – углы отклонения.

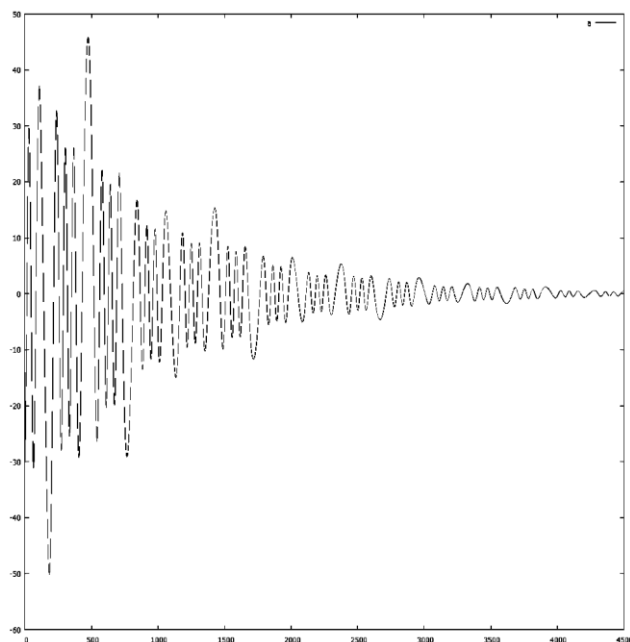


Рис. 4 – График изменения угла отклонения при начальном угле  $30^\circ$ . Ось абсцисс – время, ось ординат – углы отклонения.



Таким образом, проведенное исследование позволяет сделать следующие выводы. Вышеописанный способ соединения конструктивных частей мобильного робота может стать причиной не предусмотренных спецификацией колебаний. При определенных параметрах, которые можно вычислить при помощи разработанной имитационной модели, эти колебания затухают. Полученный результат можно использовать на этапе создания исследовательских прототипов роботизированных мобильных платформ, если в них используется подвеска и гироскоп. Учет обнаруженного эффекта на этапе исследований позволяет избежать его возникновения в рабочем прототипе изделия устройством, которое способно решать широкий класс прикладных задач.

#### ЛИТЕРАТУРА:

1. Искусственный интеллект. Современный подход : пер. с англ. / С. Рассел, П. Норвиг . 2-е изд. М. : Вильямс, 2006. 1407 с.
2. Моделирование динамики перемещения груза в компьютерном тренажере погрузочно-разгрузочного устройства / Е.В. Долгова, Р.А. Файзрахманов, Д.С. Курушин и др. // Вестник Московского государственного областного университета. Серия: Физика-математика, 2012. № 2. С. 57–64.
3. Моделирование огибания препятствий мобильным роботом / Д.С. Курушин, Е.В. Долгова, Р.А. Файзрахманов // Информационно-измерительные и управляющие системы. 2014. Т. 12. № 9. С. 58–61.
4. Принципы организации работ с применением мобильного робота / Курушин, Е.В. Долгова, Р.А. Файзрахманов // Научное обозрение, 2014, № 7. 219–221.
5. Принципы построения онтологии мобильного робота / Е.В. Долгова Д.С. Курушин // Научное обозрение, 2014. № 7. С. 253–256.
6. Программно-аппаратный модуль колесного робота / Е. В. Долгова, В. В. Зубов // Вестник Пермского государственного технического университета. Электротехника, информационные технологии, системы управления. 2010. № 4 . С. 108–114.
7. Производственные системы с искусственным интеллектом / Р. А. Алиев, Н. М. Абдикеев, М. М. Шахназаров. Москва.: Радио и связь, 1990. 263 с.
8. Распознавание как этап создания модели технической системы / Е. В. Долгова // Вестник ПГТУ. Электротехника, информационные технологии, системы управления. 2009. № 3. С. 102–105.
9. Феймановские лекции по физике. 2. Фейман Р., Лейтон Р., Сэндс М., М.:МИР, 1967. 272 с.