

Получена: 06.10.2017 г.

Приета: 16.10.2017 г.

АНИМАЦИОНЕН МОДЕЛ НА ДВИЖЕНИЕТО НА СТАНДАРТЕН КОЛЯНО-МОТОВИЛКОВ МЕХАНИЗЪМ

Г. Иванова¹, И. Цонев²

Ключови думи: предавателен механизъм, анимационен модел, траектория на точка

РЕЗЮМЕ

В доклада е представен разработен програмен модул в средата на Matlab за анимация на движението на стандартен коляно-мотовилков механизъм. Програмният модул ползва аналитично изведените уравнения на движение на крайните точки на телата, във функция на закона за движение на ротиращото тяло. Ползва се третият, най-атрактивен метод на анимация, от трите, които програмната система Matlab предлага. Всички елементи в анимационния модел – ротиращо, равнинно движещо се и трансляционно движещо се тяло са дефинирани като линии чрез оператора line. Координатите на краищата на линиите са в масиви от данни xdata и ydata, които се запълват на база на аналитичния вид на закона за движение на точките при зададен закон за движение на ротиращото тяло. Анимацията може да се наблюдава в средата на Matlab, но чрез генериран в програмния модул специален avi файл. Това е възможно и на компютри, на които не е инсталирана системата. Изследванията в доклада са част от комбинирана работа по числена и експериментална визуализация на движението на този характерен за техниката механизъм.

¹ Гергана Иванова, дипломант, Хидротехнически факултет, УАСГ, бул. „Хр. Смирненски“ № 1, 1046 София, e-mail: gerito_931@abv.bg

² И. Цонев, студент, Строителен факултет, УАСГ, бул. „Хр. Смирненски“ № 1, 1046 София, e-mail: conev_ivan.95@abv.bg

1. Въведение

Кинематиката, като основен раздел на Теоретичната механика, изучава движението на материални обекти – материални точки, тела, системи. Особен интерес представлява движението на материалните системи, съставени от основните материални обекти. За математично описание на движението се ползват изрази (най-често уравнения) или системи от изрази, които еднозначно определят положението на съставните обекти в пространството и времето. Броят на изразите в математическите системи съвпада с броя на степените на свобода на движещата се материална система. Подробно описание на движението на характерни материални системи е дадено в [1].

Аналитичните изрази, описващи движението на системите, представят необходимата математическа информация, но по тях трудно се добива визуална представа за движението. С компютризацията на образователния процес, чрез ползване на съвременни софтуерни системи за математически изчисления, лесно се визуализира движението на материалните системи. Основните математически софтуерни пакети, ползвани в областта на висшето образование, са Maple, Mathematica и Matlab. Всеки от тях дава неограничен брой възможности за графично представяне и анимация на движението.

В доклада се ползват анимационните възможности на програмната система Matlab за анимация на движението на коляно-мотовилков механизъм – основна равнинна система от тела, изучавана в Кинематиката. Подробно описание на възможностите за анимиране на движението може да се намери в [2, 3].

Последните версии на програмната система Matlab представят три различни възможности за програмно реализиране на анимация. При първия метод за анимация в специална матрица се записват отделните кадри (frames), след което те се появяват на екрана по програмно зададена последователност с оператора `movie`. Недостатък на този метод е това, че отделните кадри остават на екрана и се наслаgват един върху друг. Този недостатък е преодолян във втория метод на анимация, който ползва графичните оператори `set`, `refreshdata` и `drawnow`. При анимации, програмно реализирани с този метод, поредният кадър се появява в реално време, а предишният се изтрива. Третият (най-нов и атрактивен) метод ползва графичните оператори `line`, `set` и `drawnow`. Основният елемент при този метод е отделната линия, зададена с координатите на крайните си точки. Масивите от данни за тези координати се присвояват чрез командите `set 'Xdata'` и `set 'Ydata'`.

В доклада е приет третият метод за анимация на движението на стандартен коляно-мотовилков механизъм. Анимацията е етап от пълното изследване на движението на механизма, което включва кинематичен модел, математично описание, симулационен модел, анимационен модел, GUI прозорец и експериментален модел. Прието е, че кинематичният модел и математичното описание на движението са реализирани и се ползват при създаване на анимацията.

2. Кинематичен модел и математическо описание на движението на коляно-мотовилков механизъм

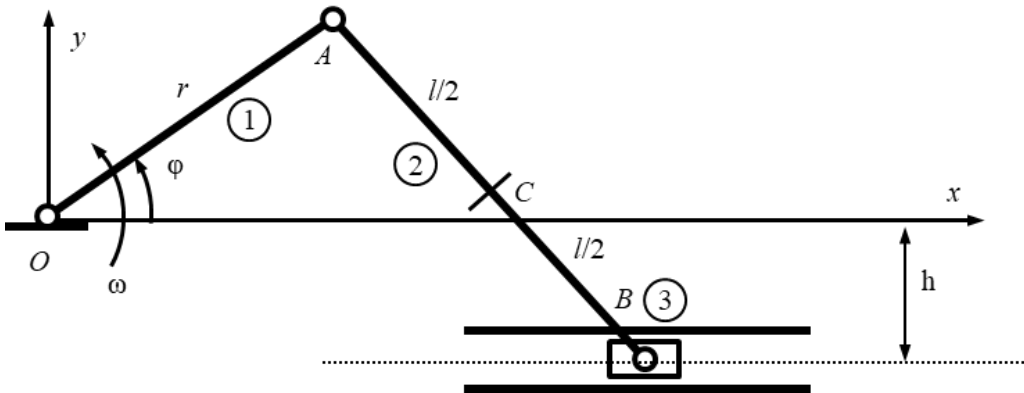
Кинематичен модел на стандартен коляно-мотовилков механизъм, съставен от пръти, е показан на фиг. 1. Задвижваното тяло в механизма е тяло I с дължина r , извършващо ротация (коляно) с постоянна ъглова скорост ъглова ω . Второто тяло с дължина l , ставно свързано с първото, извършва равнинно движение (мотовилка). Системата завършва с транслационно движещо се тяло (бутало), ставно свързано към мотовилката.

Важна геометрична характеристика на механизма е височината h – разстоянието между неподвижната точка на коляното и праволинейната траектория на движение на буталото.

Като обобщена координата е приет ъгълът на завъртане на коляното ϕ .

За реализиране на анимацията е необходимо да се определят координатите на крайните точки на отделните тела – това са точките A и B . Координатите се получават във функция на ъгъла на въртене и са отнесени към равнинна система за отчитане с координатно начало в неподвижната точка O .

Определен интерес представлява и траекторията на отделни точки от равнинно движещото се тяло, които могат да се получат във функция на координатите на крайните ѝ точки A и B . В доклада са дадени координатите на масовия център на мотовилката – точка C .



Фиг. 1. Кинематичен модел на коляно-мотовилков механизъм

Ъгълът на въртене при постоянна ъглова скорост е

$$\phi = \omega \cdot t. \quad (1)$$

Координатите на означените точки се определят по формулите

$$x_O = 0, \quad y_O = 0. \quad (2.1)$$

$$x_A = l \cdot \sin(\phi), \quad y_A = l \cdot \sin(\phi). \quad (2.2)$$

$$x_B = x_A + \sqrt{l^2 - (y_A + h)^2}, \quad y_B = -h. \quad (2.3)$$

$$x_C = (x_A + x_B) / 2, \quad y_C = (y_A + y_B) / 2. \quad (2.4)$$

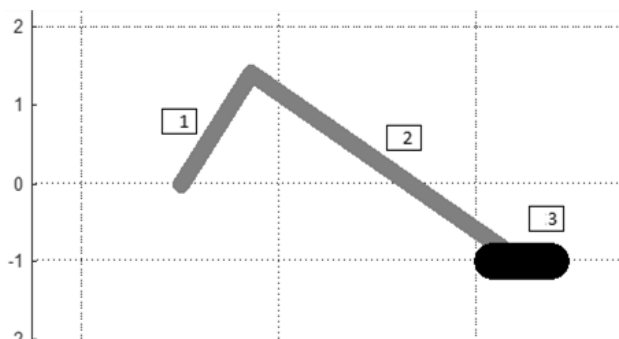
При избора на данните за геометрията на механизма трябва да се спазва ограничението

$$r + h < l. \quad (3)$$

3. Програма за анимация на движението на механизма

За да се реализира анимация на движението на механизма, е съставена програма в средата на Matlab. В началото на програмата се задават геометричните и кинематичните характеристики на механизма – дължина на коляното и мотовилката, вертикално изместване на буталото и ъглова скорост на въртене на коляното. След задаване на времето като вектор с последователни стойности през определена стъпка се изчислява векторът на ъгъла на въртене – обобщената координата. След това по формули (2) се изчисляват координатите на показаните на фиг. 1 точки.

Анимацията, програмирана в доклада, показва движението на механизма от фиг. 1. Трите подвижни елемента на тази система се дефинират като отделни линии – в програмата, приложена в доклада – те са 3 (фиг. 2).



Фиг. 2. Изобразяване на движещата се система, като съвкупност от обекти тип *line*

Първата линия при анимацията е червена, с дебелина 10 и изобразява коляното. Втората линия, изобразяваща мотовилката, е синя, с дебелина също 10. Буталото в анимацията е черно с дебелина 20.

След дефинирането на всички линии чрез оператора *set* те се изобразяват, а чрез оператора *drawnow* се обновява всеки нов кадър.

Текстът на програмата може да се види в следващия листинг:

Program for visualization of crank-piston mechanism

```
clc
clear
t=0:.01:5;
r=2;l=6;h=1;% l>r+h
w=5;
fi=w*t;
% fi=pi/4;
xO=0;yO=0;% coordinates of point O
xA=r*cos(fi);yA=r*sin(fi);% coordinate of poin A
xB=xA+sqrt(l^2-(yA+h).^2);yB=-h;% coordinates of point B
xC=(xA+xB)/2;yC=(yA+yB)/2;% coordinates of point C
% Animation
writerObj=VideoWriter('Anima_2_kmm.avi');
open(writerObj);
```

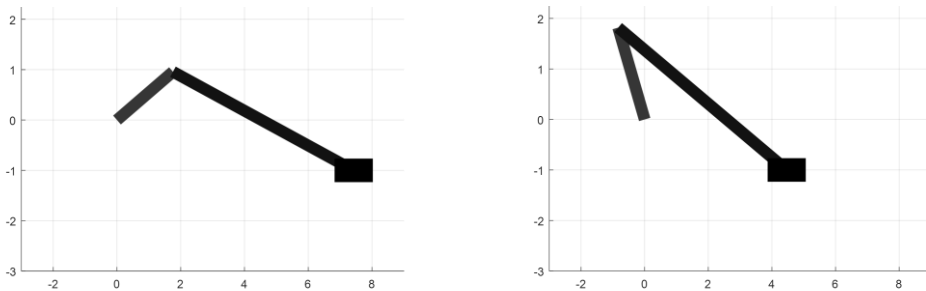
```

h1=line('Xdata',[],'Ydata',[],'Color','r','Linewidth',10);
h2=line('Xdata',[],'Ydata',[],'Color','b','Linewidth',10);
h3=line('Xdata',[],'Ydata',[],'Color','k','Linewidth',20);
hold on
axis([-r-1 r+1+1 -r-1 r+1]); % axis equal;
grid;
for i=1:length(t)
    set(h1,'Xdata',[xO,xA(i)],[Ydata',[yO,yA(i)]);
    set(h2,'Xdata',[xA(i),xB(i)],[Ydata',[yA(i),yB]]);
    set(h3,'Xdata',[xB(i)-l/10,xB(i)+l/10],[Ydata',[yB,yB]]);
    drawnow;
    frame=getframe;
    writeVideo(writerObj,frame);
end
close,clear
% close(fig);close graph window
% close(writerObj);

```

4. Визуализация на анимацията

На фиг. 3 са представени два кадъра от анимацията на движение на механизма със следните входни данни: $r = 2$ m; $l = 6$ m; $h = 1$ m; $\omega = 5$ s⁻¹.



Фиг. 2. Отделни кадри от анимационното представяне на движението на коляно-мотовилков механизъм

С програмата за анимация на движението са прецизирани параметрите на експерименталния модул на коляно-мотовилков механизъм, добавен към стенда за изследване на малките трептения на равнинни дискретни системи. Стендът е описан в [4 – 8].

5. Заключение

Самата анимация може да се наблюдава, ако използваната компютърна конфигурация разполага с програмната система Matlab – версия 8. За да може да се наблюдава на друг компютър, анимацията трябва да се запише като отделен файл с разширение avi. Самият запис е свързан със съставяне на допълнение към програмата, показано в листинга по-горе.

Такъв файл за анимиране на движението на стандартен коляно-мотовилков механизъм и за доста други кинематични и динамични проблеми може да се изтегли от интернет страницата на Лабораторията за числено и експериментално динамично моделиране към катедра „Техническа механика” в УАСГ, която функционира от месец ноември 2014.

Докладът представя част от работата на авторите от курсовата им работа по дисциплината „Динамично моделиране с Matlab/Simulink“. Той, заедно с група студентски и докторантски доклади, е свързан с попълването на аналитичната и софтуерната база на споменатата лаборатория.

Благодарности

Авторите на доклада изказват благодарност на катедра „Техническа Механика” при УАСГ за проведеното обучение по избираемата дисциплина „Динамично моделиране с MatLab/Simulink”, за предложената тема, разработена в доклада, и за помощта при нейното реализиране.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Павлов, П.* Теоретична механика II част – Динамика. Електронен курс. Електронна платформа, УАСГ, 2017.
2. *Йорданов, Й.* Matlab 7 – Преобразования, изчисления, визуализации – част 1. София, Техника, 2010, 319 с.
3. *Павлов, П.* Динамично моделиране с Matlab&Simulink. Електронен курс. Електронна платформа, УАСГ, 2015.
4. *Павлов, П.* Динамичен и математичен модел на експериментално реализуема трептяща дискретна система. // Сп. Механика на машините, 2017.
5. *Павлов, П.* Числени изследвания на трептенията на експериментално реализуеми модулни дискретни системи. // Сп. Механика на машините, 2017.
6. *Павлов, П.* Стенд за модулни изследвания на малките трептения на равнинни дискретни системи. Доклад от Международната юбилейна научна конференция „75 години УАСГ“, 2017.
7. *Павлов, П.* Експериментален модул за изследване на движението на стандартен коляно-мотовилков механизъм. Доклад от Международната юбилейна научна конференция „75 години УАСГ“, 2017.
8. *Павлов, П.* От реалната конструкция до експерименталния модел. Монография. София, АВС Техника, 2017.

ANIMATED MODEL OF THE MOTION OF A STANDARD CRANK-PISTON MECHANISM

G. Ivanova¹, I. Tsonev²

Keywords: transmission mechanism, animated model, trajectory of a particle

ABSTRACT

The paper presents program module created in Matlab environment for animation of the motion of a standard crank-piston mechanism. The program module uses analytically resulting equations of motion of the end points of the bodies in function of the law of motion of the rotating body. The third, most interactive method of animation of the three is used that the Matlab programming system offers. All elements in the animated model – rotating, plane moving and translationally moving body are defined as lines by operator line. The coordinates of the ends of the lines are in datasets xdata and ydata, which are filled in on the basis of the analytical form of the law of motion of the particles under a given law of motion of the rotating body. The animation can be seen in the Matlab environment, but by special avi file generated from the program module it is possible also on computers where the system has not been installed. The research in the paper is part of a combined work on numerical and experimental visualization of the motion of this technique-specific mechanism.

¹ Gergana Ivanova, graduate, Faculty of Hydraulic Engineering, UACEG, 1 H. Smirnenski Blvd., Sofia 1046, e-mail: gerito_931@abv.bg

² I. Tsonev, student, Faculty of Structural Engineering, UACEG, 1 H. Smirnenski Blvd., Sofia 1046, e-mail: cone_ivan.95@abv.bg