

Получена: 10.10.2017 г.

Приета: 18.10.2017 г.

ЕКСПЕРИМЕНТАЛЕН МОДУЛ ЗА ИЗСЛЕДВАНЕ НА ДВИЖЕНИЕТО НА СТАНДАРТЕН КОЛЯНО-МОТОВИЛКОВ МЕХАНИЗЪМ

П. Павлов¹

Ключови думи: експериментална механика, преподавателен механизъм, преподавателно число

РЕЗЮМЕ

В настоящия доклад е описан конструирания Експериментален модул за изследване на движението на стандартен коляно-мотовилков механизъм. Модулът се прикачва към Стенд за модулни изследвания на малките трептения на равнинни дискретни системи. Експерименталният модул включва тяло, извършващо ротация около неподвижна точка, равнинно движещ се прът и линеен лагер, моделиращ транслационно движещо се тяло. Вътрешните връзки между трите тела в механизма са ставни. Модулът позволява допълнително прилагане на еластична външна връзка към транслационно движещото се тяло. Ползва се задвижващата система на основния стенд, включваща стъпков мотор, компютър, драйвер и контролер. За снемане на кинематичните характеристики на движението отново се ползва записващата система на основния стенд. Разработена е компютърна програма в средата на Matlab за управление на стъпковия мотор, който завърта ротационно движещото се тяло по зададен от потребителя закон. Работата по проектирането и конструирането на експерименталния модул е част от едно пълно изследване на този характерен за техниката механизъм, включващо числена (анимация и графичен интерфейс в средата на Matlab) и експериментална визуализация.

1. Въведение

Двете основни задачи на механиката на движещи се материални обекти или системи са правата и обратната задача. В динамиката по-често се решава обратната задача – по дадени инерционни и силови характеристики да се определи законът на дви-

¹ Петър Павлов, доц. д-р инж., кат. „Техническа механика“, УАСГ, бул. „Хр. Смирненски“ № 1, 1046 София, e-mail: pdp_mech_fhe@uacg.bg

жение на материалните обекти или системи. Повечето разглеждани задачи в кинематиката са прави – даден е законът на движение, а се търсят кинематичните характеристики на отделни тела или точки от тела.

Основните етапи на решение на правата задача в кинематиката са следните:

- 1) Съставяне на кинематичния модел на системата и подходящ избор на обобщените координати.
- 2) Математическо описание на движението на системата, което включва определяне на законите на движение на отделни тела или точки във функция на закона за изменение на обобщените координати (координата).
- 3) Аналитично определяне на търсени кинематични характеристики на движението (скорости и ускорения на точки и тела, траектории на точки и др.).
- 4) Визуализация на движението – чрез ползване графичните възможности на съвременни програмни системи за изчислителна математика.
- 5) Експериментална реализация на движението.

Последният етап обикновено е доста скъп и технологически трудно осъществим. За реализирането му се разработват стендове за решаване на подобни кинематични или динамични задачи.

През последните години в Лабораторията за числено и експериментално динамично моделиране при катедра „Техническа механика“ бяха проектирани и конструирани пет стенда за решаване на различни динамични задачи, главно в областта на трептенията на материалните обекти и системи [1, 2, 3]. За всеки стенд е конструирана рамка на стенда, осигурени са тела, еластични и дисипативни връзки. За симулация на движението се ползват специални хардуерни системи, а за снемане на резултатите от движението се ползват скъпи датчици и осцилоскопи. Освен това са необходими силнотоково и слабоково захранване, предпазни покривала за защита и т.н. Цената за пълната окомплектовка на един такъв стенд надхвърля 10 000 лева и по-нататъшното им реализиране е трудно при съвременното финансово състояние на висшето образование и в частност на УАСГ.

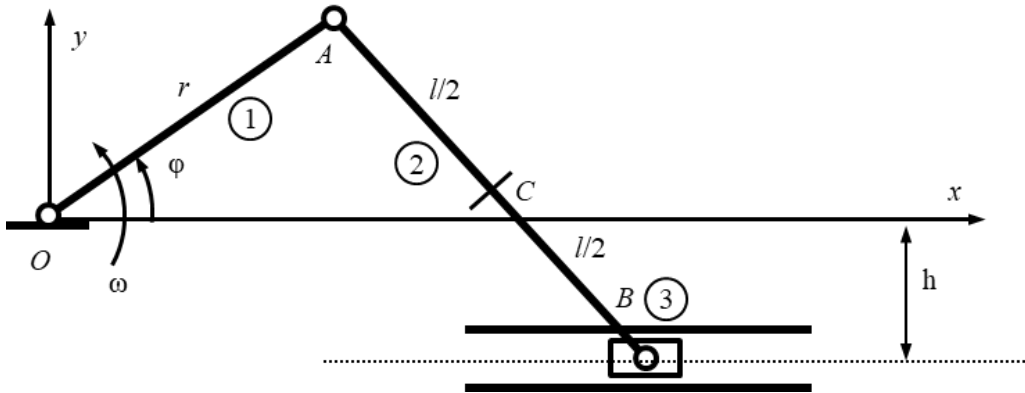
В тази връзка за по-нататъшното развитие на лабораторията бе взето решение към някои от стендовете, където това позволява, да бъдат прикрепени допълнителни модули за решаване на определени механични задачи. Така ще се спестят значителни средства, а и място в лабораторията, значително увеличила своята материална база от откриването си през 2014 г. досега.

В тази връзка към Стенда за модулни изследвания на малките трептения на равнинни дискретни системи [4, 5] е добавен експериментален модул за изследване на движението на един особено важен за техниката механизъм – коляно-мотовилковия механизъм.

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

Преди да се пристъпи към проектирането и изпълнението на модула е необходимо провеждането на определени математически изчисления с цел определяне на границите на изменение на координатите на крайните точки от механизма. За тази цел се ползва познатият кинематичен модел на движението на механизма, даден на фиг. 1.

Задвижваното тяло в механизма е коляното 1 с дължина r , извършващо ротация с постоянна ъглова скорост ъглова ω . Второто тяло е мотовилката с дължина l , ставно свързано с първото и извършващо равнинно движение. Системата завършва с транслационно движещо се тяло 3, ставно свързано към мотовилката.



Фиг. 1. Кинематичен модел на коляно-мотовилков механизъм

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

За обобщена координата се приема ъгълът на завъртане на коляното ϕ .

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

Ъгълът на въртене при постоянна ъглова скорост ще бъде

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

Координатите на точките A и B могат да се определят по формулите

$$x_A = l \cdot \cos(\phi), \quad y_A = l \cdot \sin(\phi). \quad (2.1)$$

$$x_B = x_A + \sqrt{l^2 - (y_A + h)^2}, \quad y_B = -h. \quad (2.2)$$

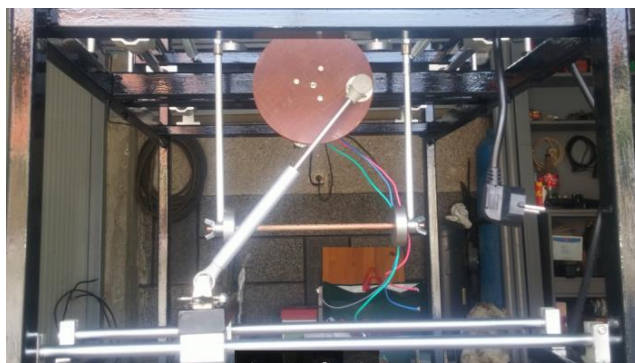
При избора на данните за геометрията на механизма се спазва ограничението

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

Последното ограничение е особено важно при експериментални изследвания, защото при числени изследвания програмата просто ще прекъсне при неспазването му, докато при експериментални може да настъпят сериозни технологични разрушения.

3. Кратко описание на Експериментален модул на изследване на движението на коляно-мотовилков механизъм

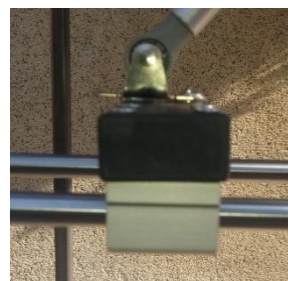
Снимка на равнината на движение на коляно-мотовилковия механизъм може да се види на фиг. 2. Експерименталният модул все още е в процес на завършване, поради което някои от снимките са от процеса на неговото конструиране.



Фиг. 3. Експериментален модул за изследване на движението на коляно-мотовилков механизъм

На снимката се вижда задвижваното тяло – текстолитов диск с диаметър 130 mm, с отвори на различно разстояние от центъра за закрепване на пластмасова ролка. Равнинно движещото се тяло е реализирано чрез блокиран неподвижен демпфер, който ставно се свързва към диска. Транслационно движещото се тяло е конструирано чрез малка метална кутия, която чрез два линейни лагера се движи върху идеално гладки направляващи.

На следващата снимка на фиг. 4 в по едър мащаб са показани отново трите тела.



Фиг. 3. Основни движещи се тела от експерименталния модул

Телата са конструирани така, че всички геометрични параметри, показани на фиг. 1 да могат лесно да се променят.

Движението на системата се реализира със същия стъпков мотор, който симулира кинематични и силови смущения в стенда за модулни изследвания на малките трептения на равнинни дискретни системи. Текстолитовият диск се закрепя към оста на мотора, която има възможност за свързване и от двете страни. За да не се движи, винтът се освобождава от съединителя, намиращ се от лявата страна на мотора. Връзката между текстолитовия диск и стъпковия мотор може да се види на снимката на фиг. 4.



Фиг. 4. Връзка между механизма и задвижващата система

Стъпковият мотор се задвижва чрез управляваща система от захранване, драйвер и контролер – Arduino платка, програмирана през програмната система Matlab. Изпращането на цифрова информация от компютъра до контролера също се програмира в програмната система Matlab, което позволява въртене с произволна посока и произволна ъглова скорост.

Възможно е задаване на движението на диска в произволен недетерминиран закон. Особено това е важно за механизми, при които липсва пълно превъртане на задвижвания диск.

Като резултат от движението се отчита положението на буталото и масовия център на мотовилката, във функция на времето. За целта се ползва описания в [4] на база възможностите, които програмната система Matlab и основният ѝ toolbox (инструмент) за обработка на снимки и видео Image Proceeding Toolboxes предлага.

При работата по конструирането на стенда бяха извършени предварителни числени визуализации на движението чрез разработени анимационен модел и графичен потребителски интерфейс при следните данни за механизма:

$$r = 0,06 \text{ m}, \quad l = 0,35 \text{ m}, \quad h = 0,4 \text{ m}, \quad \omega = 5 \text{ s}^{-1}.$$

Стойностите на характеристиките приблизително отговарят на реалните на експерименталния модул.

Изследванията в доклада са част от комбинирана работа по числена и експериментална визуализация на движението на този характерен за техниката механизъм.

4. Заключение

Конструираният Експериментален модул за изследване на движенията на коляномотвилков механизъм ще онагледят обучението по кинематика и динамика. Коляномотвилковият механизъм е основната равнинна система, чието движение се изследва. Конструирането му ще позволи провеждането на лабораторно упражнение по кинематика за изследване на кинематиката на равнинни системи.

Модулът позволява лесно добавяне на еластична и вискозна връзка към трансляционно движещото се тяло, което ще даде възможност за решаване на динамични задачи в областта на трептенията на системите.

За по-детайлно запознаване с експерименталния модул всеки може да заповяда в лабораторията или да разгледа нейния web сайт <http://www.dlab-uacg-bg.eu/>.

Благодарности

Авторът на доклада изказва благодарност

- на инж. Стоян Янкулов от БРТехника ЕООД – София за помощта при избора на дискове, лагери, мотори и др.;
- на техническия изпълнител на стенда Владимир Грозданов, извършил прецизно различните по характер операции (заваръчни, стругарски, електрически, бояджийски и др.);
- на ЦНИП при УАСГ, за помощта им и проявеното разбиране към проблемите ни през последната година във връзка с работата ни по научния проект, завършила с конструирането на представения стенд.

ЛИТЕРАТУРА

1. Павлов, П., С. Лилкова-Маркова, Б. Наков, Я. Данчева. Стенд за експериментално изследване праволинейните трептения на материална точка. Сб. доклади МЮНПК УАСГ 2012, том 4, стр. 261 – 266.

2. Павлов, П., С. Лилкова-Маркова, Б. Наков, С. Донева. Стенд за изследване ъгловите трептения на тяло във вертикалната равнина. „Юбилейна международна научно-техническа конференция 65 години Хидротехнически факултет и 15 години Немскоезиково обучение“.

3. Павлов, П., Д. Евлогиев. Дискретно моделиране на непрекъснати системи – числено и експериментално съответствие. // Годишник на УАСГ, 2016.

4. Павлов, П. Проект на Стенд за изследване малките трептения на равнинни дискретни системи. // Сп. Механика на машините, 2017.

5. Павлов, П. Стенд за изследване малките трептения на равнинни дискретни системи. Доклад Международна юбилейна научна конференция „75 години УАСГ“, 2017.

EXPERIMENTAL MODULE FOR STUDYING THE MOTION OF STANDARD CRANK-PISTON MECHANISM

P. Pavlov¹

Keywords: experimental mechanics, transmission mechanism, transmission ratio

ABSTRACT

This paper describes the constructed Experimental module for studying the motion of standard crank-piston mechanism. The module is attached to a Stand for modular study of the small vibrations of the plane discrete systems. The experimental module includes a rotating

¹ Petar Pavlov, Assoc. Prof. Dr. Eng., Dept. “Technical Mechanics”, UACEG, 1 H. Smirnenski Blvd., Sofia 1046, e-mail: pdp_mech_fhe@uacg.bg

body around a fixed point, a plane-moving rod and a linear bearing, modeling a translational moving body. The internal links between the three bodies in the mechanism are joints. The module allows additional application of an elastic link to the translationally moving body. It uses the drive system on the main stand, including stepper motor, computer, driver and controller. To capture the kinematic characteristics of the motion, the recording system on the main stand is used again. A computer program is developed in the Matlab environment for stepper motor control, which rotates the rotating body to a user-defined law. The work on the design and construction of the experimental module is part of a complete study of this technique-specific mechanism, including numerical (animation and graphical interface in the Matlab environment) and experimental visualization.