

Получена: 06.10.2017 г.

Приета: 16.10.2017 г.

СТЕНД ЗА МОДУЛНИ ИЗСЛЕДВАНИЯ НА МАЛКИТЕ ТРЕПТЕНИЯ НА РАВНИННИ ДИСКРЕТНИ СИСТЕМИ

П. Павлов¹

Ключови думи: равнинни дискретни системи, динамичен модел, експериментално изследване, свободни и принудени трептения

РЕЗЮМЕ

Докладът е свързан с представянето на Стенд за модулни изследвания на малките трептения на равнинни дискретни системи. Работата е последният етап на комбинираното изследване на този вид трептения – аналитично, числено и накрая експериментално. Основните елементи на стенда са следните: две или повече трансляционно движещи се метални тела и два или повече, ротиращи около тях във вертикалната равнина, метални пръти. Чрез линейни затворени лагери са реализирани външни връзки само върху трансляционно движещите се тела. Вътрешните връзки между трансляционно движещите се тела са еластично вискозни, а между трансляционно и ротационно движещите се – ставни. Стендът позволява да се реализира всеки от познатите видове малки трептения на равнинни дискретни системи – свободни (незатихващи и затихващи) и принудени (незатихващи и затихващи) трептения. Смушенията, предизвикващи принудени трептения, се симулират чрез стъпков мотор, управляван с хардуерна система, включваща компютър, драйвер и контролер. Кинематичните характеристики на трептенията се получават на база видеозаснемане на движението с високо-технологична камера и обработка в реално време на отделните кадри на видео файла в средата на програмната система Matlab, а също и с инструменти за обработка на снимки и видео Image Proceeding Toolboxes.

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

1. Въведение

През последните няколко години част от научните изследвания в катедра „Техническа механика“ при УАСГ бяха насочени в областта на експерименталната динамика. Целта бе постепенно да се обогатява експерименталната база на откритата през ноември 2014 г. „Лаборатория за числено и експериментално динамично моделиране“ към катедрата.

През годините, чрез средства главно по научни проекти към ЦНИП при УАСГ, бяха проектирани и изпълнени стендове за изследване на трептенията на основните материални обекти, изучавани в теоретичната механика – материални точки и тела [1, 2].

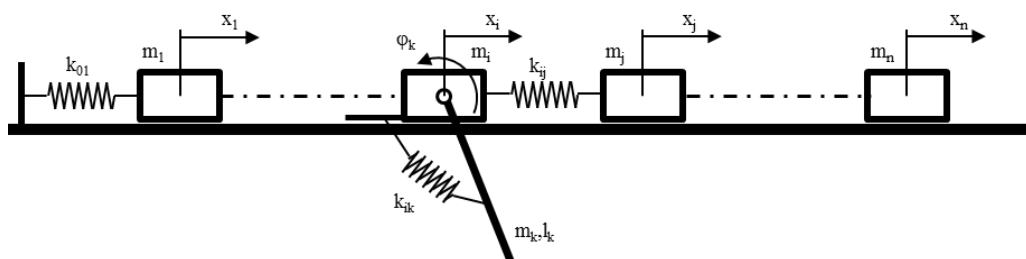
В рамките на разработване на дисертационния труд на докторант към катедрата бе проектиран и конструиран Стенд за модулни динамични изследвания на конструкции, подложени на сеизмични въздействия [3]. Стендът, който представлява еднокомпонентна виброплатформа (shaking table), бе ползван многократно за популяризиране на работата на екипа за подготовка на проектно предложение „Изграждане и развитие на Център за компетентност по сеизмично инженерство“ по ОП НОИР, в което УАСГ е водеща организация. Същият стенд бе два пъти на ежегодното изложение „Българска строителна седмица“, провеждано в ИЕЦ за популяризиране на научната работа в лабораториите в УАСГ.

Като естествено продължение на работата в областта на експерименталните динамични изследвания възникна идеята за разработване на стенд за трептения на системи с краен брой степени на свобода. Проектирането и конструирането на такъв стенд бе доста трудно научно предизвикателство, при което бе ползван опитът, натрупан през годините при експерименталното решение на по-прости динамични проблеми.

Стендът за изследване на малките трептения на равнинни дискретни системи е разработен на база на обобщен динамичен модел, представен в [4].

2. Обобщен динамичен модел за изследване на малките трептения на равнинни дискретни системи

Стандартна трептяща система с краен брой степени на свобода, приложима за изследване на свободни незатихващи трептения, е показана на фиг. 1.

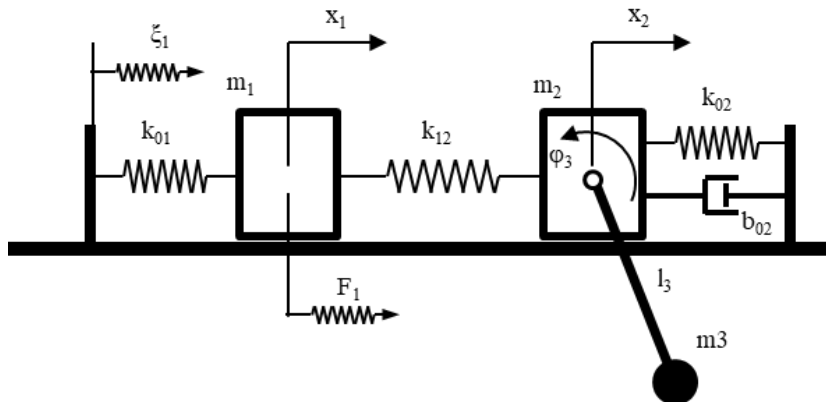


Фиг. 1. Динамичен модел за изследване на малките трептения на равнинни дискретни системи

Системата се състои от тела, извършващи хоризонтална транслация, и тела, извършващи вертикална ротация около тях. Връзката между транслационно движещите се тела е еластична, а между транслационно и ротационно движещите се – ставна. Броят на степените на свобода на системата съвпада с броя на телата. Оттук нататък в индуктивна

посока системата може да се усложнява с добавяне на външни и вътрешни демпфери за реализиране на затихващи трептения. Принудени трептения на системата могат да се предизвикат чрез силови смущения върху телата или кинематични смущения при движение на неподвижните краища на външните пружини.

Естествено, редица технологични ограничения налагат експерименталният модел за реализиране на трептения на подобни дискретни системи да бъде значително опростен. Възможен за експериментално реализиране обобщен динамичен модел на малките трептения на подобен клас равнинни дискретни системи е показан на фиг. 2.



Фиг. 2. Обобщен динамичен модел за експериментално изследване на малките трептения на равнинни дискретни системи

В рамките на геометричните параметри на стенда могат да се разположат две тела, извършващи трансляция. Ротиращо тяло е реализирано около второто трансляционно движещо се тяло. И за двете транслиращи тела са предвидени външни и вътрешни еластични връзки. Поради технологични затруднения линейна дисипация на трептенията може да се реализира само върху второто тяло. Предвидена е дисипация на трептенията на база сили на сухо триене и върху двете тела – нещо, което е описано в отделен доклад.

Принудени трептения могат да се реализират на база силови смущения, приложени върху първото тяло и кинематични смущения вследствие движение на левия неподвижен край на първата пружина.

Така съставеният динамичен модел позволява изследване на трептения на дискретни системи с до три степени на свобода. Възможно е да се реализира всеки от основните видове трептения на системите: свободни (незатихващи и затихващи) и принудени (незатихващи и затихващи).

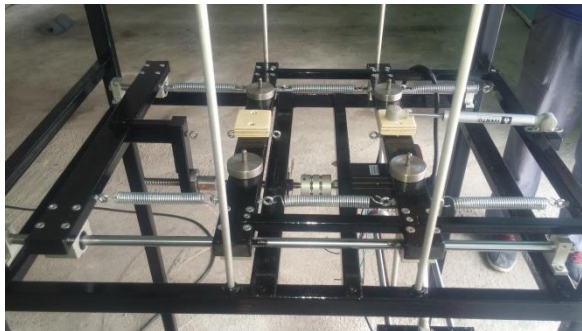
Обобщеният математичен модел, описващ движението на динамичния модел от фиг. 2, има следния добре познат матричен вид

$$[M]_{3 \times 3} * \{\ddot{q}\}_{3 \times 1} + [B]_{3 \times 3} * \{\dot{q}\}_{3 \times 1} + [C]_{3 \times 3} * \{q\}_{3 \times 1} = \{Q\}_{3 \times 1}. \quad (1)$$

Поради ограниченото поставяне на дисипативни връзки и принудени въздействия, единствено масовата и еластичната матрица от форм. (1) ще бъдат запълнени по главния диагонал. Дисипативната матрица и векторът на външните въздействия ще имат разреден характер (отговарят на определението за разредени матрици).

3. Кратко описание на Стенд за модулни изследвания на малките трептения на равнинни дискретни системи

Снимка на равнината на движение на транслиращите тела може да се види на фиг. 3. Поради факта, че стендът е в процес на завършване и все още не е транспортиран в лабораторията, снимките са правени в цеха за неговото производство.



Фиг. 3. Експериментален модел за изследване на малките трептения на равнинни дискретни системи

На снимката могат да се видят транслационно движещите се тела, конструирани от метални кутии 30/20 mm, движещи се по специални направляващи с помощта на линейни лагери. Към телата, които задно с двата лагера тежат приблизително 1800 g, могат да се добавят симетрично до 4 тарирани тежести. Ротиращото тяло във вид на люлка виси под второто тяло от системата.

Еластичните връзки са реализирани чрез пружини, работещи на опън, симетрично разположени относно оста на трептене на системата. Дисипативната връзка между второто тяло от фиг. 2 и неподвижната част от стенда се постига чрез хидравличен демпфер с дължина 18 cm.

Специална система от стъпков мотор, съединител, винт и кинематична двоица, преобразуваща ротационното движение в транслационно, позволява симулирането на принудени трептения. Системата може да се види от снимката на фиг. 4.



Фиг. 4. Експериментална система за преобразуване на ротационното движение в транслационно

Стъпковият мотор е вдясно и се задвижва чрез управляваща система от захранване, драйвер и контролер – Arduino платка, програмирана през програмната система Matlab. От стъпковия мотор движението през съединител се предава на специален винт,

който задвижва двоицата, кораво свързана с левия неподвижен край на трептящата система. Завъртането на стъпковия мотор на един оборот води до преместване на двоицата и съответно на неподвижния край на разстояние 4 mm. Самото въртене на стъпковия мотор се програмира през програмната система Matlab, което позволява симулиране на детерминирани или произволни недетерминирани кинематични смущения на трептенията на системата.

Интересен метод се предвижда за отчитане на динамичното поведение на отделните тела в системата. На специална маса пред стенда се разполага компютър с камера с висока разделителна способност. Компютърът следва да е софтуерно осигурен с програмната система Matlab и основния ѝ toolbox (инструмент) за обработка на снимки и видео Image Proceeding Toolboxes. В режим на реално време се реализира видео-заснемане със стандартен video player. Успоредно с видеозаснемането се стартира програмната система Matlab, която се обръща към заснемащия се видео файл, разделя го на отделни кадри (frames), извлича положението на характерни точки от кадрите (репери, поставени върху движещите се тела) и ги визуализира в стандартните графични прозорци на Matlab.

Програмното осигуряване за реализиране на този бърз и много евтин начин за получаване на резултатите от трептенето на системата е въпрос на доста продължителна работа през следващата академична година.

4. Заключение

Конструираният Стенд за модулни изследвания на малките трептения на равнинни дискретни системи е поредната нова придобивка в експерименталното оборудване на откритата се през ноември 2014 Лаборатория за числено и експериментално динамично моделиране. Конструирането му позволява увеличаване на броя на лабораторните упражнения по дисциплината Теоретична механика и избираемата дисциплина „Динамично моделиране с Matlab/Simulink“, която вече се преподава от катедрата във всички инженерни факултети на УАСГ.

Формата на доклада не позволява да се опишат всички възможности на стенда и да се покажат по-големи снимки на неговите елементи и различните му възможности. За по-детайлно запознаване със стенда всеки може да заповяда в лабораторията или да разгледа нейния web сайт <http://www.dlab-uacg-bg.eu/>.

Стендът е отворена система и позволява някои подобрения с цел решаване на сложни и нетрадиционни динамични задачи.

Благодарности

Авторът на доклада изказва благодарност

- на инж. Стоян Янкулов от БРТехника ЕООД – София за помощта при избора на лагери, мотори, винтове и двоици;
- 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.

STAND FOR MODULAR STUDY OF THE SMALL VIBRATIONS OF THE PLANE DISCRETE SYSTEMS

P. Pavlov¹

***Keywords:** plane discrete systems, dynamic model, experimental investigation, free and forced vibrations*

ABSTRACT

The paper presents a Stand for modular study of the small vibrations of the plane discrete systems. The projection and construction of the stand are the final stage of a combined study of this type of vibrations – analytical, numerical and lastly – experimental. The main elements of the stand are: two or more translationally moving metal bodies and two or more metal rods rotatable around them in the vertical plane. External links are realized only on the translationally moving bodies via linear closed bearings. The internal links between the translationally moving bodies are elastic-viscous, and between the translational and the rotationally moving – jointed. The stand allows to be realized any of the known types of small vibrations of plane discrete systems – free undamped and damped, force undamped and damped. The disturbances, caused forced vibrations, are simulated by a stepper motor, controlled by a hardware system, including computer, driver and controller. The kinematic characteristics of the vibrations are obtained on the base of video capture by high-technology camera and real-time processing of the separate frames of the video file in the area of Matlab software and Image Proceeding Toolboxes.

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