

ГОДИШНИК НА УНИВЕРСИТЕТА ПО АРХИТЕКТУРА, СТРОИТЕЛСТВО И ГЕОДЕЗИЯ – СОФИЯ

Юбилейна приложна научно-техническа конференция
„65 години Хидротехнически факултет и 15 години немскоезиково обучение”

6–7 ноември 2014
6–7 November 2014

International Jubilee Conference
„65th Anniversary Faculty of Hydraulic Engineering and 15th Anniversary Hydraulic Engineering in German”

ANNUAL OF THE UNIVERSITY OF ARCHITECTURE, CIVIL ENGINEERING AND GEODESY – SOFIA

XLVII ^{ТОМ}
vol.

2014

св.
fasc. I-B

СТЕНД ЗА ИЗСЛЕДВАНЕ НА ЪГЛОВИТЕ ТРЕПТЕНИЯ НА ТЯЛО ВЪВ ВЕРТИКАЛНАТА РАВНИНА

П. Павлов¹, С. Лилкова-Маркова², Б. Наков³, С. Донева⁴

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

Научна област: механика

РЕЗЮМЕ

Статията е свързана с представянето на конструиран Стенд за изследване на ъгловите трептения на тяло във вертикалната равнина. Работата по стенда е последният етап по едно комбинирано изследване на този вид трептения – аналитично, числено и накрая експериментално. Основните елементи на стенда са следните: трептящ във вертикалната равнина прът във форма на тръба с диаметър 20–30 mm, който се поддържа от хоризонтални еластично-вискозни комплекти. По височината на пръта се разполагат тежести, които моделират концентрирани маси. Чрез специално разработена система от електромотор, редуктор и перфориран диск, закрепени към стенда, могат да се симулират силови и кинематични смущения с различна амплитуда и честота. Свободните и принудени ъглови вибрации на пръта, спрямо положението на устойчиво равновесие, могат да се следят визуално по ъглова скала. Същите се измерват и от ъглов датчик, който предава сигнала към осцилоскоп, а оттам към компютър за обработка, анализ и печат на резултатите. Стендът е отворена система и може да се променят отделни части от него с цел подобряване на функциите му. Изследванията в статията са част от група аналитични, числени и експериментални разработки, свързани с разкриването на нова динамична лаборатория в университета.

¹ Петър Павлов, доц. д-р инж., кат. „Техническа механика“, УАСГ, бул. „Хр. Смирненски“ № 1, 1046 София, e-mail: perar.d.pavlov@gmail.com

² Светлана Лилкова-Маркова, проф. д-р инж., кат. „Техническа механика“, УАСГ, бул. „Хр. Смирненски“ № 1, 1046 София, e-mail: lilkova_fhe@uacg.bg

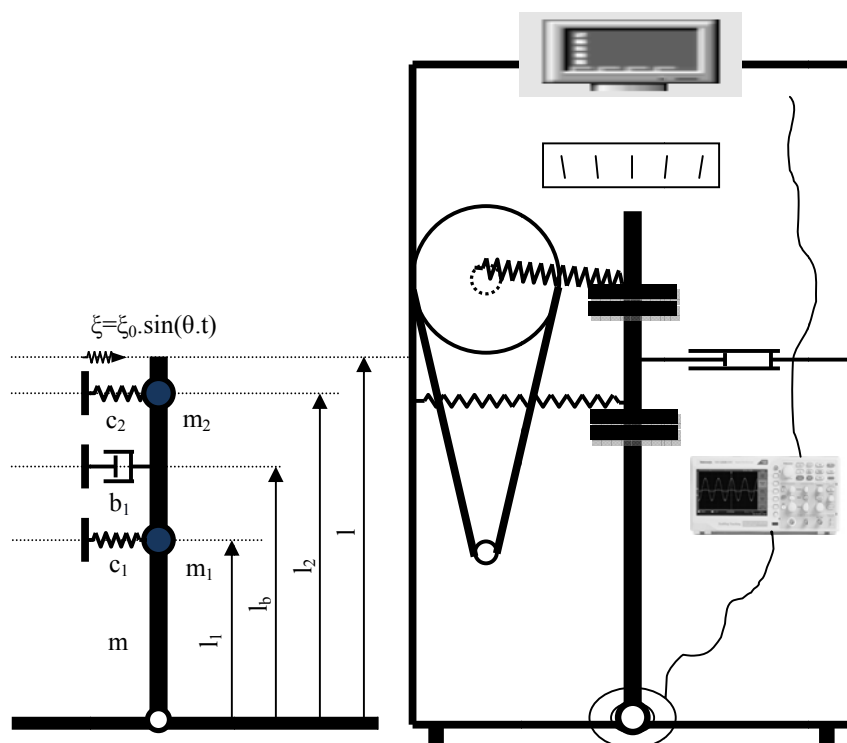
³ Борислав Наков, гл. ас. инж., кат. „Техническа механика“, УАСГ, бул. „Хр. Смирненски“ № 1, 1046 София, e-mail: nakov_fhe@uacg.bg

⁴ Симона Донева, ас. инж., кат. „Техническа механика“, УАСГ, бул. „Хр. Смирненски“ № 1, 1046 София, e-mail: simona_doneva@mail.bg

1. Въведение

Както бе отбелязано в [3], за да се конструира един стенд, трябва да се премине през няколко взаимосвързани етапа, по важните от които бяха: механо-математичен модел, проект, изпълнение. Понякога при изпълнението на определен етап се налагат корекции в предишните, поради различни причини, при спазване на основното предназначение на експерименталната установка. При проектирането и изпълнението трябва да се мисли и за бъдещата експлоатация на стенда, която да бъде удобна и безопасна. Трябва да е осигурена възможност за лесна замяна на отделните елементи – тела, пружини, демпфери и др.

В настоящата статия се описват трудностите и проблемите, които трябваше да бъдат преодоляни и решени, за да се изпълни в предвидения кратък срок Стенд за изследване на ъгловите трептения на тяло във вертикалната равнина.



Фиг. 1. Опростен динамичен модел и проект на Стенд изследване на ъгловите трептения на тяло във вертикалната равнина

Стендът се изработи със средства от фонда за финансиране на научни разработки по научен проект БН-166/2014 на тема "Трептения на тяло с една неподвижна точка – числено изследване и експериментална проверка на резултатите". Първоначалната идея беше да се реализира стенд за изследване на сферичното движение на тяло, но поради намаляването на първоначално предвидените средства почти наполовина, се премина на компромисния вариант – ротационно движение на тяло във вертикалната равнина.

Тъй-като през ноември 2014 се отбелязва 65-годишният юбилей на Хидротехнически факултет, в структурите на който е катедра "Техническа механика", желанието на колектива по проекта бе стендът да бъде завършен дотогава и да бъде представен на съпътстващата юбилейна научна конференция. Поради това в кратки срокове трябваше да се извършат предшестващите изпълненията на стенда етапи.

Обобщеният динамичен модел на тяло, извършващо ъглови трептения във вертикалната равнина, бе опростен до такъв, който технологически и финансово може да бъде реализиран [3], в рамките на научния проект. След това бе изготвен проект на стендовата установка, който като форма да прилича на конструирания преди години стенд [1], със съответните нови елементи разположени в работното му пространство.

Опростения динамичен модел и съответстващия на него проект на стенда са показани на фиг. 1. За определяне на параметрите на отделните компоненти на стенда бяха направени някои предварителни аналитични и числени пресмятания [3]. Въпреки това при изпълнението доста от тях претърпяха по-големи или по-малки корекции, които са описани по долу.

2. Стенд за изследване ъгловите трептения на тяло във вертикалната равнина

Общият вид на стенда със и без редуктор за симулиране на кинематични смущения може да се види на фиг. 2.



Фиг. 2. Стенд за изследване ъгловите трептения на тяло във вертикалната равнина – общ вид

Поради това, че стендът е част от експерименталното оборудване на нова динамична лаборатория към университета, габаритите на всеки от тях, в това число и на настоящия, са едни и същи – 50/70/150 cm.

За отделните елементи на стенда е избран следният подход при тяхното осигуряване или изпълнение. Идеята е те да бъдат с унифицирани параметри по отношение на сглобяването им в стенда и лесно да се намират и монтират.

За тяло с форма на прът са избрани метални водопроводни тръби 1/2, 3/4 и 1 " с дължина 120 cm. Причината за този избор е че такива тръби могат да се намерят във всеки железарски магазин, включително и със съответната резба по тях. Така няма да се налага за всеки прът да се търсят стругарски услуги, които са сред най-трудно намираемите и най-скъпите в момента в страната.

Интересно е решението на лагера, който свързва тръбите с корпуса на стенда (фиг. 4). Тъй като тръбите са водопроводни, съответният елемент от лагера, където влиза тръбата, е тройни 1/2". За другите тръби (3/4 и 1 ") се ползва малък преходник към другите цолажи, които също са налични във всеки железарски магазин. Другите два отвора на тройника са свързани чрез ос с лагери и датчика за ъглово измерване.



Фиг. 3. Лагер за връзка на тялото с корпуса на стенда

Концентрираните маси, които се разполагат по височината на пръта са дискове за вдигане на тежести. На този етап са закупени 6 диска с тегло 1,25 kg – фиг. 4. Дисковете са с отвор 30 mm и директно се закрепят за тръбата 1". За другите два вида тръби са произведени по 3 втулки за неподвижно закрепяне на дисковете към по-малките тръби.



Фиг. 4. Тежести за моделиране на концентрирани маси по височината на прътите

По интересен начин е решен въпросът с еластичните комплекти. По динамичния модел и проекта на стенда пружините са от едната страна и в началния момент

(когато прътът е вертикален) са ненапрегнати. Пружините обаче, които масово се произвеждат, са или пружини на натиск, или пружини на опън, на които ненапрегнатото им състояние е абсолютно свито. Т.е. едните не могат да работят на опън, а другите на натиск. За целта трябва да се търсят комбинирани пружини, които в България не се произвеждат. Освен това в ненапрегнато състояние пружината, която е хоризонтална, може и да провисне. Затова бяха закупени двойки пружини на опън, които в положението на вертикален прът са опънати еднакво. След това те работят като последователно свързани пружини с тяло между тях. Общата коравина на еквивалентната пружина е сумата от коравината на двете пружини от двете страни на пръта. Стендът разполага с няколко такива двойки пружини – с коравина 80, 120, 160 и 200 N/m – фиг. 5.



Фиг. 5. Еластични комплекти за поддържане на трептенето на тялото

За демпфер на този етап се ползва демпферът от първия стенд [1], който е мобилен и лесно може да се премества от стенд на стенд.



Фиг. 6. Редуктор за симулиране на кинематични смущения

Моделирането на принудени смущения се осигурява чрез специално разработена система от електрическа бормашина с променливи обороти, редуктор с предава-

телно число 15 и перфориран текстолитов диск – фиг. 6. Чрез вариране на оборотите на бормашината в интервала 1500–2000 tr/min се достига до 100–133 tr/min за перфорирания диск. На последния се закача лявата пружина от еластичния комплект върху щифтове на радиално разстояние 3, 4 и 5 cm от центъра на диска. Така се моделират кинематични въздействия с различна принудена честота и различна амплитуда.

Измерването на вибрациите освен визуално върху ъглова скала се осигурява и електронно. За целта към лагера, към който се захващат прътите е закрепен датчик за ъглови измервания D8.3A1.0025.A221.0000 на фирма Cubler, закупен от фирма Сензомат ООД, България – фиг. 7.



Фиг. 7. Датчик за ъглови измервания Cubler D8.3A1.0025.A221

Датчикът отчита завъртания от -180 до 180° . На база завъртането предава електрически сигнал по кабел към осцилоскоп с големина на тока от -10 до 10 V.



Фиг. 8. Осцилоскоп Tektronix TBS1052B-EDU за обработка на електрическия сигнал

Електрическият сигнал се приема от осцилоскоп Tektronix TBS1052B-EDU, двуканален осцилоскоп, закупен от фирма „Ню-тек“ ООД, София – фиг. 8. Самият осцилоскоп е със собствен екран и на него могат да се показват до 14 графики на трептящия процес (премествания, скорости, ускорения и др.). Освен това чрез него електрическият сигнал се преобразува в цифров. След това с елементарен USB кабел цифровият сигнал се насочва към компютър за обработка и анализ на резултатите. За обработката на резултатите се ползва софтуерният пакет Matlab/Simulink, който предлага драйвери за всички модификации осцилоскопи на фирмата Tektronix.

Печат на резултатите може да се получи чрез свързване на принтер към компютър или директно към осцилоскопа.

Всички уреди, ползващи електрическо напрежение (бормашина, осцилоскоп, датчик), са надеждно свързани към електрическата система.

В момента се разработва кратка инструкция за експлоатацията на стенда и описание на най-често провежданите лабораторни упражнения чрез него.

Допълнително към стенда са изработени допълнителни елементи, които могат да заместват някои от описаните в доклада такива. Например вместо концентрирани маси от метал, са изработени два прозрачни плексигласови цилиндъра, които могат да се пълнят с флуид или насипен материал. Така може да се изследва и динамичното поведение на други два обекта в механиката – флуиди и насипни среди. Вместо металните водопроводни тръби е изработена една от еластичен материал – за изследване динамичното поведение на деформируеми твърди тела. Поддържането на трептенето на вертикалните пръти освен от пружини може да се реализира и от еластични въжета, няколко комплекта от които са в принадлежностите към стенда. Динамичното поведение при такива нови елементи най-напред трябва да се провери още аналитично и числено. Това е въпрос на бъдещи разработки, свързани с различните възможности за експлоатация на стенда.

3. Заключение

Конструираният Стенд за изследване на ъгловите трептения на тяло във вертикалната равнина е поредната нова придобивка в хардуерното оборудване на откриващата 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 статията 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 новата лаборатория или да разгледа нейния web сайт, който в момента се разработва и ще бъде активен след откриването на лабораторията.

ЛИТЕРАТУРА

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

2. Лилкова-Маркова, С. П. Павлов, Б. Наков, Ю. Кехайова. Обобщен динамичен модел на малките трептения на ротационно, движещо се във вертикалната равнина, тяло. Сб. доклади МЮНПК УАСГ 2012, том 4, стр. 117-122.

3. Павлов, П., С. Лилкова-Маркова, С. Донева, Б. Наков. Параметри на Стенд за изследване ъгловите трептения на тяло, ротиращо във вертикалната равнина – избор и граници на изменение. Механика на машините (под печат).

STAND FOR THE STUDY OF ANGULAR VIBRATION OF A BODY IN THE VERTICAL PLANE

P. Pavlov¹, S. Lilkova-Markova², B. Nakov³, S. Doneva⁴

Keywords: dynamic model, experimental investigation, free and forced vibrations

Research area: mechanics

ABSTRACT

This paper presents a stand designed for experimental investigation of the vibrations of a body in the vertical plane. The work on the stand is the final stage of a combined study of this type of vibrations - analytical, numerical and lastly experimental. The main elements of the stand are: vibrating in the vertical plane rod in the shape of a tube with a diameter of 20-30 mm, which is supported by horizontal elastic viscous sets. At the height of the rod weights that model concentrated masses are located. By means of a specially developed system of an electric motor, gearbox and perforated disk, attached to the test bench, the force and kinematic interferences of varying amplitude and frequency can be simulated. The free and forced angular vibrations of the rod to the position of stable equilibrium can be monitored visually on an angular scale. They are measured also by an angle sensor, which transmits the signal to an oscilloscope, and finally to a computer for processing, analysis and printing the results. The stand is an open system and parts of it can be changed to improve its functions. Research in the report is part of a group of analytical, numerical and experimental studies related to the establishment of a new dynamic lab at the university.

¹ Petar Pavlov, Assoc. Prof. Dr. Eng., Dpt. "Technical Mechanics", UACEG, 1 H. Smirnenski Blvd., Sofia 1046, e-mail: petar.d.pavlov@gmail.com

² Svetlana Lilkova-Markova, Prof. Dr. Eng., Dpt. "Technical Mechanics", UACEG, 1 H. Smirnenski Blvd., Sofia 1046, e-mail: lilkova_fhe@uacg.bg

³ Borislav Nakov, Chief Assist. Eng., Dpt. "Technical Mechanics", UACEG, 1 H. Smirnenski Blvd., Sofia 1046, e-mail: nakov_fhe@uacg.bg

⁴ Simona Doneva, Senior Assist. Eng., Dpt. "Technical Mechanics", UACEG, 1 H. Smirnenski Blvd., Sofia 1046, e-mail: simona_doneva@mail.bg