

Българско списание за Инженерно Проектиране

брой №26, април 2015г.

ЦЕЛ И ОБХВАТ

„Българско списание за инженерно проектиране” е периодично научно списание с широк научен и научно-приложен профил. Целта му е да предостави академичен форум за обмен на идеи между учените, изследователите, инженерите, потребителите и производителите, работещи в областта на машиностроенето, транспорта, логистиката, енергетиката, технологиите, съвременното компютърно проектиране, а също така и в областта на различни интердисциплинарни научни и научно-приложни проблеми. Издателите приветстват научни публикации с високо качество и значими научни, научно-приложни и творчески приноси.

РЕДАКЦИОННА КОЛЕГИЯ

Председател

Б. Григоров, ТУ-София, България

М.Т.Георгиев	ТУ-София, България	К.Деметрашвили	ТУ, Тбилиси, Грузия
Г.Дюкенджиев	ТУ-София, България	С.Симеонов	ТУ, Бърно, Чехия
М.Денчев	ТУ-София, България	В.Николич	Университет в Ниш, Сърбия
И.Малаков	ТУ-София, България	А.Янакиев	Nottingham Trent University, UK
П.П.Петров	ТУ-София, България	Н.Чернев	University of Auvergne, France
В.Панов	ТУ-София, България	B.Lepadatescu	Transilvania University of Brashov, Romania
М.З.Георгиев	ТУ-София, България	N.Zrnic	University of Belgrad, Serbia
Н.Л.Николов	ТУ-София, България	M.Jovanovic	University of Nish, Serbia
М.Георгиев	МГТУ Станкин, Москва, Россия	D.Michalopoulos	University of Patras, Greece
В.Христов	ЮЗУ „Н.Рилски” Благоевград, България	N.Kubota	Tokyo Metropolitan Univer- sity, Japan
Ch.Apostolopoulos	University of Patras, Greece	С.Емельянов	Юго-Западный гос. уни- верситет, Курск, Россия
Л.Червяков	Юго-Западный гос. уни- верситет, Курск, Россия	В.Спасов	ВТУ „Т.Каблешков“, Со- фия, България
О.Лисовиченко	Национален технически университет, Украйна	В.Кирилович	Житомирски държавен технологичен университет, Украйна

Редактор

Р.Митрев, ТУ-София, България

Издател: Машиностроителен факултет, Технически университет-София. ISSN 1313-7530; **Адрес на редакцията:** София, бул.Климент Охридски №8, Технически Университет-София, бл.4, Машиностроителен факултет; **Електронна версия:** bjed.tu-sofia.bg.
Списанието се индексира в Index Copernicus: www.indexcopernicus.com

Bulgarian journal for **Engineering Design**

issue №26, April 2015

AIM AND SCOPE

Bulgarian Journal for Engineering Design is a periodical scientific issue covering wide scientific and application areas of engineering activities. The aim of the journal is to provide an academic forum for exchange of ideas and information between scientists, engineers, manufacturers and customers working in the spheres of mechanical engineering, transport, logistics, power engineering, modern computer – aided design and technology and solving different interdisciplinary scientific and applied problems. The editors welcome articles of substantial quality bearing significant contribution to the engineering knowledge.

EDITORIAL BOARD

Chairman

B.Grigorov, TU-Sofia, Bulgaria

M.T.Georgiev	TU-Sofia, Bulgaria	K.Demetrashvili	TU, Tbilisi, Georgia
G.Diukendzhiev	TU-Sofia, Bulgaria	S.Simeonov	TU, Brno, Czech Republic
M.Denchev	TU-Sofia, Bulgaria	V.Nikolich	Nish university, Serbia
I.Malakov	TU-Sofia, Bulgaria	A.Ianakiev	Nottingham Trent University, UK
P.P.Petrov	TU-Sofia, Bulgaria	N.Chernev	University of Auvergne, France
V.Panov	TU-Sofia, Bulgaria	B.Lepadatescu	Transilvania University of Brashov, Romania
M.Z.Georgiev	TU-Sofia, Bulgaria	N.Zrnic	University of Belgrad, Serbia
N.L.Nikolov	TU-Sofia, Bulgaria	M.Jovanovic	University of Nish, Serbia
M.Georgiev	MGTU Stankin, Moscow, Russia	D.Michalopoulos	University of Patras, Greece
V.Hristov	SWU „N.Rilski” Blagoevgrad, Bulgaria	N.Kubota	Tokyo Metropolitan University, Japan
Ch. Apostolopoulos	University of Patras, Greece	S.Emelianov	South West State University, Kursk, Russia
L.Cherviakov	South West State University, Kursk, Russia	V.Spassev	VTU „T.Kableshekov”, Sofia, Bulgaria
O.Lisovychenko	National technical university, Ukraine	V.Kirilovich	Zhytomyr state technological university, Ukraine

Editor

R.Mitrev, TU-Sofia, Bulgaria

Publisher: Mechanical Engineering Faculty, Technical University-Sofia. ISSN 1313-7530; **Publisher Address:** Bulgaria, Sofia, Kliment Ohridski blvd. №8, Technical University-Sofia, Mechanical engineering faculty; **Electronic version:** bjed.tu-sofia.bg.

The journal is indexed in Index Copernicus: www.indexcopernicus.com

СЪДЪРЖАНИЕ

Относно влиянието на параметрите върху кобилична везна..... В.Иванов	5
Анализ исследований и объяснение эффекта Ж.Губера..... Антон Сильвестров, Дмитрий Зименков, Алексей Скрынник	11
Клиент-сървърна система за отдалечено управление на структурен анализатор В.Христов, И.Тиньоков	15
Develop of energy regeneration system for hydraulic elevator using the downward travel..... T.Dimitrov	21
Математично моделиране и изследване на целева функция за производителност по готов продукт при работа с КИД-300..... П.Недялков, С.Савов	27
Оценяване на съответствието спрямо европейското техническо законодателство относно надеждност, работоспособност, ремонтпригодност и безопасност (RAMS) в проекти на ЕС..... Г.Радева, М.Георгиев	33
Избор на работен флуид за нискотемпературен двуфазен сифон..... Д.Киров, Т.Мунис	39
Композиция на сглобена единица и визуализирането и в Web среда..... М.Янчева	45
Относно силовото предавателно отношение на редуцираща лостова система на везна тип ВЦ..... В.Иванов	49
Влияние на степента на запълване с работен флуид върху функционирането на нискотемпературен двуфазен термосифон..... Д.Киров, Т.Мунис	55
Пространствени принудени трептения на автомобил с колесна формула 8x8, породени от работата на двигателя с вътрешно горене..... Д.Желев	57
Разработка системы стабилизации угла отклонения балансирующего робота..... Д.Федоров, А.Ивойлов, В.Жмудь, В.Трубин, Л.Димитров	63
3D моделиране на геометрични обекти в CAD среда и Web визуализацията им..... М.Янчева	79
Research on the safety level of the existing electric traction elevators.....	85

T.Dimitrov, G.Iliev, K.Chuchuganov, P.Davidov

Оценяване и удостоверяване на съответствието за оперативна съвместимост в инфраструктурни проекти на ЕС.....	95
Г.Радева, М.Георгиев	
Безконтактни акустични преобразуватели тип „Дюза-преграда“.....	101
А.Николов	
Определяне на полетата на преместване посредством автоматизиран метод на координатните мрежи.....	107

ОТНОСНО ВЛИЯНИЕТО НА ПАРАМЕТРИТЕ ВЪРХУ КОБИЛИЧНА ВЕЗНА

Валентин ИВАНОВ

катедра „Прецизна техника и уредостроене“, Технически университет - София, България
e-mail: vgi@tu-sofia.bg

Резюме: Кобиличните везни намират широко приложение в много области на човешката дейност. Работата описва изследване влиянието на определен брой параметри върху комбиниран кобиличен измервателен механизъм. Показано е въздействието на тези параметри върху статичната характеристика на везната. Резултатите са дадени в табличен и графичен вид за по-голяма яснота.

Ключови думи: везна, кобиличен механизъм, измерване на маса

1. ВЪВЕДЕНИЕ

Понятието “маса” е въведено от Нютон като величина, характеризираща количеството вещество в даден обект. Масата е скаларна величина. Единицата за маса в SI е kg [2].

Уредите за измерване на маса се наричат везни. Тъй като преобладаващата част от везните работят на тегловен принцип, често наричат всички уреди за измерване на маса теглоизмервателни. Във връзка с това трябва да се прави ясна разлика между маса и тегло [1]. Теглото е сила и се измерва в N. Като векторна величина, теглото освен големина има направление (посока) и приложна точка. Силата, с която даден обект действа на опората си, се нарича тегло G' , а силата с която обектът се стреми да падне на Земята, се нарича сила на тежестта G . Обикновено се приема, че $G' = G$, но това е вярно само при покой или равномерно праволинейно движение. При движение с ускорение $G' \neq G$ и дори може да се постигне $G' = 0$ (безтегловност). В рамките на Земята теглото не е постоянно, тъй като земното ускорение g е функция както на географската ширина, така и на надморската височина (зависи от отдалечеността на точката от центъра на Земята). За нормална стойност на g е приета стойността $g_n = 9.80665$ за средна географска ширина. В рамките на България земното ускорение варира от 9.8026 до 9.8045 $m.s^{-2}$. На всеки километър издигане, материалните обекти олекват с около 0.03 %. Освен това във въздушна среда, поради архимедовите аеростатични сили, теглото (но не и силата на тежестта) намалява с $\Delta G = G \cdot \rho_v / \rho_{об}$, където ρ_v и $\rho_{об}$ са плътностите на въздуха и на

обекта. При материали с малка плътност изменението на теглото е значително и трябва да се взема предвид при точни измервания.

2. ЛОСТОВИ ВЕЗНИ

В практиката, за измерване на маса, най-разпространени са уредите функциониращи на основата на първата разновидност на тегловния принцип – лостовите везни. Те се разделят на две големи групи – кобилични и квадрантни [1].

На фиг. 1 са показани различни схеми на кобилични механизми. Те следват от идеята за сравняване на тегла чрез лост от първи род (кобилица), а именно:

$$\begin{aligned} G_{изм} L_{изм} &= G_{ур} L_{ур} && \text{или} \\ m_{изм} \cdot g \cdot L_{изм} &= m_{ур} \cdot g \cdot L_{ур} && \text{или} \\ m_{изм} &= m_{ур} \cdot L_{ур} / L_{изм}. && (1) \end{aligned}$$

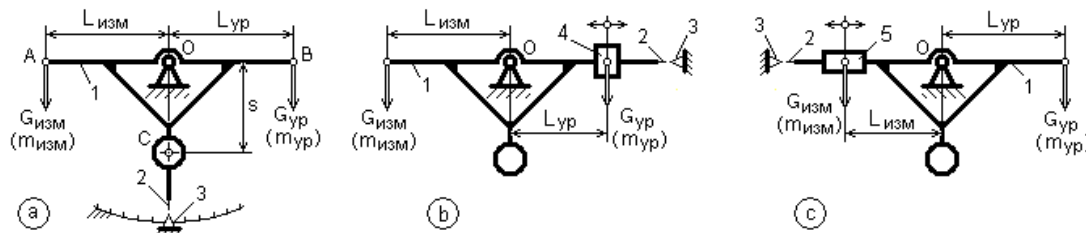
В последното уравнение (основно уравнение на претеглянето) входна величина е измерваната маса $m_{изм}$, а изходна може да бъде всяка от останалите три. Възможни са три варианта:

1. Изходна величина е масата на теглилките

$$m_{ур}, \text{ т. е. } m_{ур} = \frac{L_{изм}}{L_{ур}} m_{изм} \text{ (статична характе-}$$

ристика). Механизмът (фиг. 6.2а) се състои от кобилица 1 и индикатор на равновесното положение – стрелка 2 и неподвижен индекс или скала 3. Центърът на тежестта (т. С) на кобилицата е на разстояние s под опората (т. О), което определя еднозначност на равновесното положение и крайна чувствителност. При $s = 0$ и равенство на моментите, кобилицата ще има безкрайно голяма

чувствителност и ще бъде в безразлично равновесие, което я прави негодна за измерване.



фиг. 1 Варианти на кобиличен измервателен механизъм

2. Изходна величина е рамото $L_{ур}$ на теглото на подвижната теглилка 4 (фиг. 6.2b), която се премества по дясното рамо на кобилицата, използвано за уравнивяване. Статичната характеристика има вида $L_{ур} = \frac{L_{изм}}{m_{ур}} m_{изм}$.

3. Изходна величина е рамото $L_{изм}$ на теглото на измерваната маса (фиг. 6.2c). Подвижната каретка 5, която носи измерваната маса, се премества по лявото рамо на кобилицата. Статичната характеристика се изразява с равенството

$$L_{изм} = L_{ур} m_{ур} \frac{1}{m_{изм}}.$$

При везните, работещи по първата схема, измерването е дискретно, със стъпка на дискретност, равна на най-малката теглилка в комплекта теглилки. Втората и третата схема осъществяват аналогово измерване. Третата схема не се употребява за измерване, поради конструктивни неудобства, но е подходяща за устройства за сортиране по маса.

3. КОМБИНИРАН КОБИЛИЧЕН ИЗМЕРВАТЕЛЕН МЕХАНИЗЪМ

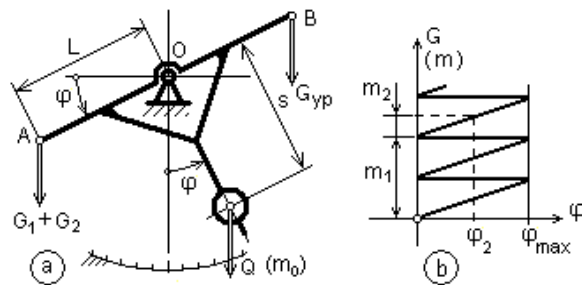
При съвременните лабораторни везни най-използвана е първата схема, но (фиг. 2a) с допълнително аналогово уравнивяване в рамките на стъпката на дискретност. При $s \neq 0$ кобилицата работи като физическо махало и се използва за измерване на останалото, неуравновесено от теглилките тегло на измерваната маса. За отчитане на ъгъла на завъртане на кобилицата,

вместо индекс се използва скала. Механизмът, в който за измерване на маса се използва физическо махало се нарича квадрант. Името произлиза от това, че при работа, максималният ъгъл на завъртане на махалото остава в рамките на един квадрант (90°). В разглеждания случай конструктивно са обединени кобилица и квадрант. Измерваната маса $m_{изм} = m_1 + m_2$, където m_1 е масата, измерена дискретно с теглилките, а m_2 – масата, измерена

аналогово с квадранта. Статичната характеристика за малки ъгли на отклонение на кобилицата (какви са реалните при везните) има вида $m_{изм} = m_{тегл} + (m_0 s / L) \varphi$, където $m_{тегл}$ и m_0 са масите, съответно на теглилките и на кобилицата. На фиг. 2b това равенство е представено в графичен вид. Хоризонталните линии определят стъпката на дискретност, а наклонените – възможността за аналогово уравнивяване.

3. ОПИТНА УСТАНОВКА

Изследването се провежда върху комбиниран кобиличен измервателен механизъм (КИМ) с дискретен и аналогов изход. Характеристиките които се изследват, се отнасят за аналоговия режим на работа. При комбинирания КИМ една част (m_1) от общата измервана маса m се измерва чрез използване на мерки за маса (комплект теглилки). В този случай уредът има дискретен изход. Другата част (m_2) се измерва с квадрантен измервателен механизъм с аналогов изход. Общата маса се определя от израза:



Фиг. 2 Схема на комбинирана кобилично-квadrантна лостова везна

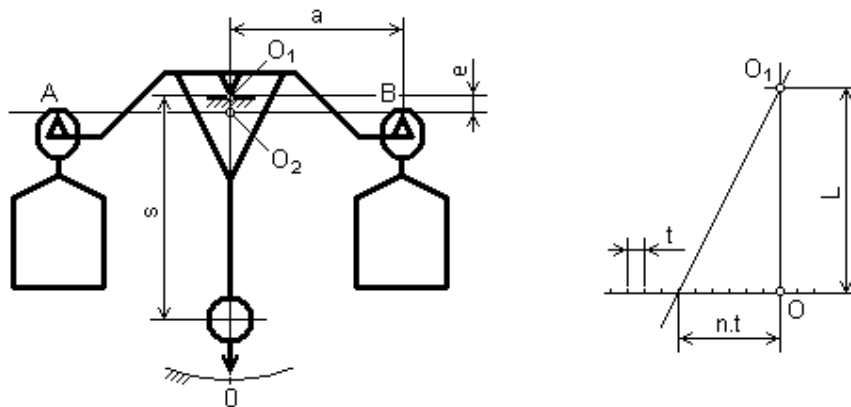
$$m = m_1 + m_2. \quad (2)$$

На фиг. 3 е показана схема на КИМ. Основните геометрични параметри, определящи вида на характеристиката, са:

- а – рамо на кобилицата;

- s – разстояние от опорната точка O_1 до центъра на тежестта С на кобилицата;

- е – просвет – разстояние от опорната точка O_1 до направлението, определено от върховете на товароприемните призми А и В.



Фиг. 3 Схема на КИМ

При натоварване с маса m_1 и използване на теглилки с маса m' , стрелката на кобилицата застава на нула. Резултантната от теглата на масите m_1 , m' и теглата на двете блюда с маси $m'_{\text{бл}}$ и $m''_{\text{бл}}$ е приложена в т. O_2 , разположена по вертикалата, прекарана през т. O_1 и центъра на тежестта. При товар m_2 стрелката се отклонява на ъгъл φ до настъпване на равновесие. Уравнението за равновесие има вида:

$$m_2 = m_k \cdot s/a \cdot \tan \varphi + (m'_{\text{бл}} + m''_{\text{бл}} + m_1 + m') \cdot e/a \cdot \tan \varphi, \quad (3)$$

където:

m_k е масата на кобилицата с всички неподвижно закрепени към нея детайли;

$$M = (m'_{\text{бл}} + m''_{\text{бл}} + m_1 + m').$$

При малки стойности на ъгъла φ се използва праволинейна хоризонтална скала (фиг. 3), при която съществува зависимостта

$$\tan \varphi = n \cdot t / L, \quad (4)$$

където:

- n – броят деления по скалата, отчетени от нулевата отметка и отговарящи на ъгъла φ ;

- t – дължината на делението;

- L – разстоянието от опорната точка O_1 до основата на скалата.

От (3) и (4) се получава:

$$m_2 = \frac{t}{La} (m_k s + Me) n. \quad (5)$$

Чувствителността на КИМ се определя от израза:

$$K = \frac{La}{t(m_k s + Me)}. \quad (6)$$

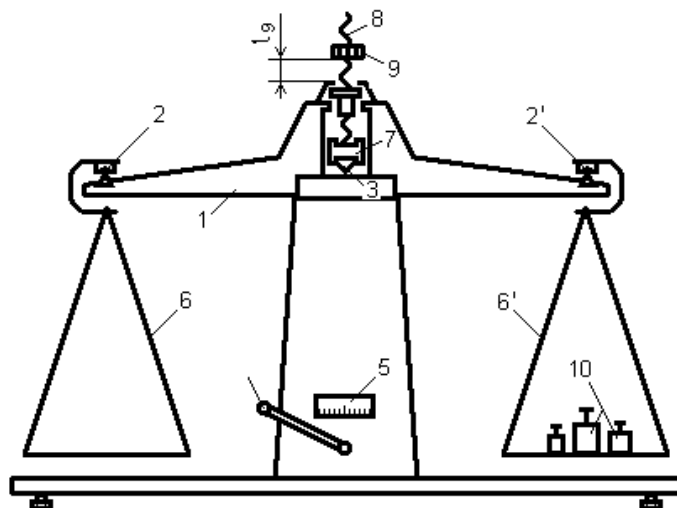
Тя зависи от параметрите на отчитащото устройство, L и t , от геометричните размери на механизма a , s и e и от масата M .

На фиг. 4 е показана схема на установката. Кобилицата 1 има опорна призма 3, закрепена към носача 7, който чрез винта 8 може да се премества във вертикално направление. По този начин се задава определена стойност на параме-

търа e . В долно крайно положение на носача 7 $e = 0$, а в горно крайно $-e = 2,5 \text{ mm}$.

Между товароприемните призми 2 и 2' са окачени блюдата 6 и 6', при което кобилицата се отклонява на ъгъл ϕ , който се отчита по положението на стрелката 4 върху скалата 5.

Хоризонтирането се извършва по отвеса 15 чрез регулируемите крачета 14. Положението на центъра на тежестта (параметъра s) се променя чрез преместването на масата 11 по стеблото 12. При преместване нагоре на призмата 3 се изменя разпределението на масите на кобилицата.



фиг. 4 Схема на установката

За да не се промени положението на центъра на тежестта спрямо линията, съединяваща върховете на призмите 2 и 2', е необходимо в съответна посока (надолу) да се премести масата 9 до възстановяване на положението на центъра на тежестта. Преместването е означено с Δl_9 (фиг. 4). То се пресмята по формулата:

$$\Delta l_9 = \frac{m_7}{m_9} e, \quad (7)$$

която се получава от равенството на съответните статични моменти, а именно:

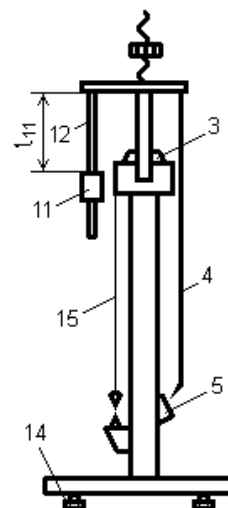
$$m_7 e = m_9 \Delta l_9. \quad (8)$$

При преместването на опорната призма спрямо товароприемните на разстояние e , параметърът s също се изменя с e . За да се запази непроменена големината на s , е необходимо масата m_{11} (или някоя друга маса) да се премести нагоре на такова разстояние, че да се компенсира изменението на s . От равенството на статичните моменти следва:

$$m_k e = m_{11} \Delta l_{11} \text{ или } \Delta l_{11} = m_k e / m_{11} \quad (9)$$

Данни за установката

$m_k = 816 \text{ g}$; $m_7 = 8,6 \text{ g}$; $m_9 = 12,5 \text{ g}$; $m_{11} = 97 \text{ g}$;



$a = 225 \text{ mm}$; $t = 1,5 \text{ mm}$; $L = 300 \text{ mm}$; $e = 2,5 \text{ mm}$.

3. ЕКСПЕРИМЕНТАЛНИ РЕЗУЛТАТИ

Резултатите от проведените експерименти са дадени в табл.1 (Експериментите са проведени по десет пъти, като числените резултати дадени в табл.1 са усреднени.). Статичните характеристики се определят при следните условия :

Опит 1. Масата m_{11} се премества по стеблото 12, така че да е разположена в близост и под опорната точка (нормално положение на везната при измерване). Върху дясното блюдо се поставят милиграмови теглилки до настъпване на равновесие за 3 деления по скалата, като преди това везната се нулира, чрез поставяне на товар върху едно от двете блюда.

Опит 2. Масата m_{11} се премества надолу по стеблото 12 на разстояние 20 mm спрямо опит 1 (променяме параметъра s). Върху дясното блюдо се поставят милиграмови теглилки до настъпване на равновесие за 3 деления по скалата, като преди това везната се нулира, чрез поставяне на товар върху едно от двете блюда.

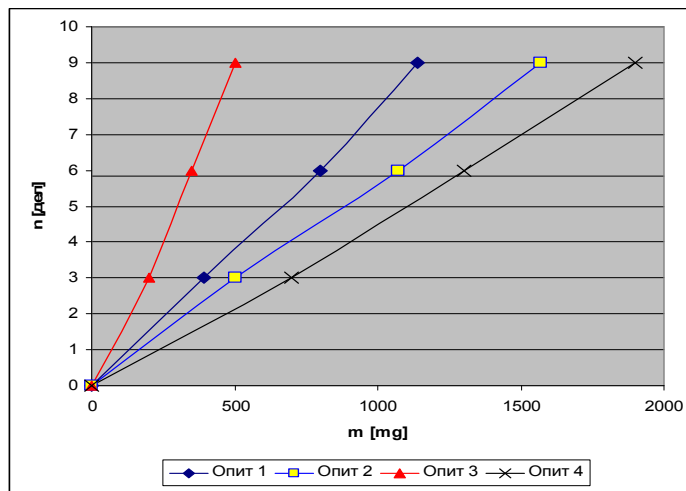
Опит 3. Чрез винта 8 се задава стойност $e = 2,5 \text{ mm}$. Върху дясното блюдо се поставят милиграмови теглилки до настъпване на равновесие за 3 деления по скалата, като преди това везната се нулира, чрез поставяне на товар върху едно от двете блюда.

Опит 4. Върху двете блюда се поставят теглилки по 500 g (променяме параметъра M). Върху дясното блюдо се поставят милиграмови теглилки до настъпване на равновесие за 3 деления по скалата, като преди това везната се нулира, чрез поставяне на товар върху едно от двете блюда.

табл.1 Резултати за статичните характеристики на везната

Опит №	$n[\text{дел}]$	0	3	6	9
1	$m[\text{mg}]$	0	390	800	1140
2	$m[\text{mg}]$	0	500	1070	1570
3	$m[\text{mg}]$	0	200	350	500
4	$m[\text{mg}]$	0	700	1300	1900

Графичното изображение на статичните характеристики е дадено на фиг.4. Ясно се вижда, че най-голямо влияние върху характеристиката на везната оказва просвета e (опит 3). При него чувствителността на КИМ е най-голяма.



фиг.4 Графично изображение на статичните характеристики на везната

Литература

1. Троянов, Б. Уреди за измерване на физико-механични величини. ПБ на ТУ, София, 1989.

2. International Vocabulary of Metrology (VIM3), ISO, 2008.

ABOUT THE INFLUENCE OF PARAMETERS ON THE LEVER SCALE

Valentin IVANOV

Department of precision engineering and measurement instruments, Technical University-Sofia, Bulgaria

e-mail: vgi@tu-sofia.bg

Abstract: Lever scales find wide implemented in many areas of human activity. This work describes the investigation of the influence of a number of parameters on combined lever measuring mechanism. It is shown the impact of these parameters on the static characteristic of the instrument. The results are presented in tabular and graphic form for clarity.

Keywords: scale, lever mechanism, mass measurement

АНАЛИЗ ИССЛЕДОВАНИЙ И ОБЪЯСНЕНИЕ ЭФФЕКТА Ж. ГУБЕРА

Антон СИЛЬВЕСТРОВ, Дмитрий ЗИМЕНКОВ, Алексей СКРЫННИК

катедра „Теоретическая электротехника”, НТУУ «КПІ» - Киев, Украина

e-mail: vadesign@inbox.ru; Zimenkovdk@ukr.net

Резюме: В статье приведено физическое объяснение эффекта Дж. Губера, а именно возникновение крутящего момента подвижной колесной пары при условии прохождения электрического тока через точку соприкосновения колеса с направляющей.

Ключевые слова: Эффект Губера, двигатель Сёрла, Косырева-Мильроя, электромагнитная индукция.

1. ВВЕДЕНИЕ

Более полувека назад Ж.Губер обнаружил следующее явление: если через колёсную пару, которая катится по рельсам, пропускать ток от одной рельсы ко второй, то, независимо от направления тока, постоянного или переменного, возникает механическая сила по направлению движения. Ж.Губер считал, что эта сила имеет электродинамическую природу. Предоставить теоретическое обоснование этой силы в рамках существующей теории ученым [1,2,3,4] показалось сложным. Проблема осложнилась после того, как подобное явление было выявлено [5] в подшипниковой паре, которая состояла из вала с маховиком и двух роликовых или шариковых подшипников, через которые проходил ток. При наличии предварительного вращения вала и соответствующего значения тока, вращательное движение продолжалось [1]. Многофакторность воздействий в эффекте Ж.Губера существенно усложнила теоретическое выявление главных: здесь имеют место законы электродинамики и статики, термодинамики, динамики движения и теплодеформации и их взаимодействие. Это создавало проблему объяснения эффекта и выявления его главной составляющей.

2. ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ И ОБЗОР СУЩЕСТВУЮЩИХ ОБЪЯСНЕНИЙ ЭФФЕКТА

Для объяснения эффекта Губера следует критически рассмотреть существующие исследования и доработать их в пределах

классических законов физики с целью получения достоверного объяснения эффекта.

Ж.Губер считал очевидным электродинамическую природу эффекта, так как сила возникает только при наличии движения колёс в магнитном поле тока рельсы. Но не понятно какую траекторию имеет ток в теле колеса, какое значение и направление силы Ампера? Как показалось Г.В. Николаеву [4], ток и магнитный поток в подшипнике равнонаправлены. Поэтому, для объяснения возникновения силы Ампера, ему пришлось предложить существование магнитного поля, которое совпадает по направлению с током который его создал. Однако, как известно в природе существует магнитное поле тока, которое имеет только вихревой характер. М.И. Грамм [2], на основе принципа минимума суммарных потерь энергии, постарался дать объяснение эффекта Ж.Губера, вводя целый ряд необоснованных допущений. Возможно сила Лоренца? Но, как кажется П. Демину [5], эти силы не могут создать крутящего момента. Тот же вывод он делает относительно действия закона Ленца. В 1963 году В.В. Косырева, В.Д. Рябко и Н.Н. Вельман, а в 1967 году Р. Мильрой реализовали эффект Ж.Губера на роликовых и шариковых подшипниках. В.В. Косырева и др. так объяснили эффект: «Подвижная часть вращается в результате упругой деформации деталей при нагреве их протекающим по ним током». Вроде возникает подвижная волна теплового расширения направляющих (рельс, колец), которая и подталкивает колесо или шарик. Однако тепловая инерционность рельсы или кольца настолько велика, что такая волна может иметь место только для сверхмалых

скоростей, при которых эффект Ж.Губера исчезает. Отвергая предыдущие гипотезы, К. М. Поливанов, А.В. Нетушил и Н.В. Татаринова [1] считали, что причиной движения является электрическая искра, которая возникает между подвижной и неподвижной частями позади точки соприкосновения, увеличивает давление воздуха, толкает колесо или шарик. Чтобы подтвердить это они поместили двигатель Косырева -Мильроя под вакуумный колпак. После постепенной откачки воздуха двигатель остановился. Поэтому с 1971 года, после опыта в вакууме, большинством ученых была принята эта гипотеза, хотя в частных беседах А.В. Нетушил, ученый с большой научной интуицией, не был уверен в подлинности такой гипотезы и предлагал авторам этой статьи исследовать эффект Ж.Губера. В 2008 году Кузьмин В.В., Шпатенко В.С. [9], возвращаясь к гипотезе Ж.Губера, наметили на возможность криволинейности траектории тока в подвижной части и амперовского взаимодействия взаимно не перпендикулярных токов колеса и рельсы в области контакта (рис.1). Если колесо вращается с угловой скоростью ω и движется с линейной скоростью U , то в зоне соприкосновения между токами рельсы и колеса образуется острый угол, под которым находятся встречно направленные токи. Они взаимно отталкиваются, образуя по закону Ампера силу F_a с не нулевым плечом относительно точки соприкосновения. Таким образом первичная гипотеза Ж.Губера об электродинамическом эффекте частично подтверждалась.

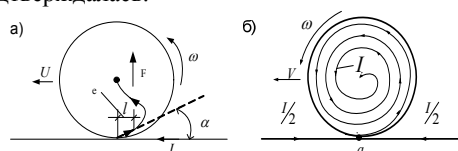


рис.1 а) Модель Кузьмина В.В., Шпатенко В.С.
 б) Траектория тока в движущемся колесе

Предположение [9] об искривлении траектории тока в колесе или шаров справедливо. Однако для реальных скоростей V_1 движения к (или от) центра электронов $V_1 = \beta \varepsilon(x)$ скорость V_2 их переноса телом колеса или шарика, которые

вращаются с угловой скоростью ω , $V_2 = \omega x$ (где β - коэффициент подвижности электронов в металле, $\varepsilon(x)$ - напряженность электрического поля, x - расстояние траектории к оси, для x близкого к радиусу r колеса или шарика) намного больше от V_1 . То есть траектория движения каждого из электронов будет иметь вид анти-спирали Архимеда (рис.1б). При вращении колеса точка касания a перемещается по окружности колеса со скоростью ωr , заряжая периметр колеса отрицательным или положительным зарядом в зависимости от полярности источника тока. То есть имеет место **динамическая электризация** токопроводящего колеса. Так, если рельса имеет отрицательный потенциал, то из нее в колесо, в конкретный момент t_1 , под действием напряженности ε_k электрического поля в точке касания a , входят свободные электроны. Точка касания перемещается и эти электроны под действием небольшой напряженности электрического поля в теле колеса очень медленно движутся к оси. Так как множество моментов t_1 образует континуум, то имеет место распределенное во времени и пространстве колеса спиралевидное движение электронов.

Вектор плотности тока $\vec{j}(x)$ будет иметь две составляющие:

$$\vec{j}(x) = \rho [\vec{V}_1(x) + \vec{V}_2(x)] \quad (1)$$

где ρ - объемная плотность зарядов.

Чем больше ω , тем больше $\vec{V}_2(x)$ при почти неизменной от ω радиальной составляющей $\vec{V}_1(x)$, особенно, если x близкий к r . По закону Ампера тангенциальная составляющая $\rho \vec{V}_2(x)$, как многовитковая спирали тока взаимодействует с токами $I/2$ направляющей, создавая справа от точки соприкосновения отталкивающую, а слева - притягивающую силы Ампера, а соответственно и крутящий момент.

Если для первого приближения в зоне соприкосновения считать токи рельсы и переноса в колесе справа анти-, а слева параллельными и одинаковыми со средним расстоянием между

ними $\delta_{\text{ср}}$ и длиной зоны l , то сила Ампера F_a будет равна:

$$F_a = \pm \frac{\mu_0}{8\pi\delta_{\text{ср}}} I^2 l \approx \frac{10^{-12}}{\delta_{\text{ср}}} I^2 l \quad (2)$$

где $\mu_0 = 4\pi 10^{-12}$ - магнитная постоянная. Крутящий момент от пары этих сил

$$M = F_a l = \frac{10^{-12}}{\delta_{\text{ср}}} I^2 l^2 \quad (3)$$

Чем больше радиус колеса r , тем больше соотношение $l^2/\delta_{\text{ср}}$ и момент M . Поэтому для создания как можно большего момента возможна конструкция двигателя с близкими диаметрами направляющей и колеса и общего коленчатого вала (рис. 2), который переводит движение по направляющей во вращательное движение главного вала.

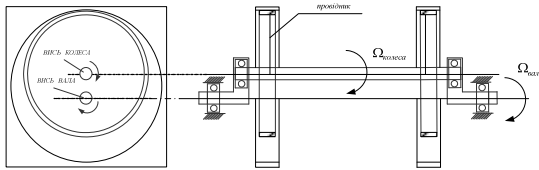


рис. 2. Система с коленчатым валом

Для небольших токов ($I = 20A$) искрение в зоне соприкосновения отсутствует. То есть крутящий момент образуется на основе электромагнитного взаимодействия по закону Ампера. Кроме того, как показал опыт авторов с двигателем Косирева-Мильроя с небольшими шарико-подшипниками и током в $20A$ двигатель через $5 \div 8$ минут работы начинает тормозиться и останавливается. Эффект остановки объясняется линейным расширением радиуса r шариков в результате нагрева током. По закону Джоуля - Ленца и уравнению термодинамики.

$$\frac{cm}{\kappa_{\text{ТВ}} S_{\text{ОХ}}} \frac{d\Delta\theta^\circ}{dt} + \Delta\theta^\circ = \left(\frac{I}{n}\right)^2 \frac{R(t)}{\kappa_{\text{ТВ}} S_{\text{ОХ}}} \quad (4)$$

Где:

n - количество шариков в подшипнике; c - коэффициент теплоемкости стали, m - масса

шариков; $\kappa_{\text{ТВ}}$ - коэффициент теплоотдачи с поверхности охлаждения $S_{\text{ОХ}}$ шарика; R - электрическое сопротивление между точками касания шарика.

Тепловая постоянная времени

$\tau = \frac{cm}{\kappa_{\text{ТВ}} S_{\text{ОХ}}}$ характеризует экспоненту нагрева

шарики до установившегося значения

$$\theta_\infty = \theta_0 + \frac{R(\theta_\infty)}{n^2 \kappa_{\text{ТВ}} S_{\text{ОХ}}} I^2 \quad (5)$$

которое будет тем больше, чем меньше $\kappa_{\text{ТВ}}$.

Воздух имеет гораздо больше $\kappa_{\text{ТВ}}$, чем вакуум.

Именно по этой причине в опыте авторов статьи [1] двигатель Косирева-Мильроя остановился в вакуумной камере. К сожалению они на этот фактор не обратили внимания. В нашем образце двигателя шарики разогревались примерно до $200^\circ C$ и, имея температурный

коэффициент расширения $\alpha = 13 \times 10^{-6}$, увеличили свой диаметр на 0.026 мм , что соизмеримо с зазором в точках соприкосновения шариков к колес. В результате роста механического противодействия двигатель через $(3 \div 4)\tau$ останавливался. Это явление отсутствует в двигателе Ж.Губера, где одна точка соприкосновения.

Почему при существенном увеличении ω тока I уменьшается; почему ток и магнитный поток в двигателе Косырева - Мильроя совпадают по направлению, как модернизировать двигатель Ж. Губера, чтобы получить не нулевой пусковой момент, показано в работе [7].

3. ВЫВОД

Из анализа существующих объяснений эффекта Ж. Губера и собственных исследований подтверждено и уточнено гипотезу Ж. Губера о электродинамической природе эффекта, **выяснено** термодинамическую природу **остановки двигателя** Косырева-Мильроя **в вакууме, которая отвергает гипотезу** [1].

Литература

1. Поливанов К. М., Татарина Н. В., Нетушил А. В. Электромеханический эффект Губера // Электричество. - 1973. - №8. - 72-76 с.
2. Грамм М. И. Принцип минимума и возможное объяснение эффекта Губера // Электричество. - 2002. - № 12. - 57-60с.
3. Нетушил А. В. Изобретение Дж. Серла, как развитие эффекта Губера // Электричество. - 1991. - № 4.
4. Николаев Г. В. Современная электродинамика и причины ее парадоксальности. Томск: Твердыня - 2003-149с.
5. Демин П. Эффект Губера и летающие тарелки // Наука и жизнь. - 1991. - № 7. - 70-74.
6. Кузьмин В. В., Шпатенко В. С. О природе появления вращающего момента в двигателе Косырева-Мильроя.
7. Сильвестров А. М., Зименков Д. К., Трубицин К. В. Проблема пояснения эффекту Губера та її вирішення. Проблеми енергосересурсозбереження в електротехнічних системах // Електромеханічні системи та автоматизація // Кременчук: КНУ, 2015, Вип. 1/2015(3) 123-126.

ANALYSIS OF RESEARCH AND EXPLANATION OF EFFECT J. HUBER

Anton SILVESTROV Dmitry ZIMENKOV

department "Theoretical Electrical Engineering" NTU "KPI" - Kiev, Ukraine
e-mail: vadesign@inbox.ru; zimenkovdk@ukr.net

Summary: This article provides a physical explanation of the effect of J. Huber, namely the occurrence of torque mobile wheelset subject to passing an electric current through the point of contact with the guide wheels.

Keywords: Efekt Huber, dvigun Sorla, Kosireva-Milroya, elektromagnitna induktsiya.

КЛИЕНТ-СЪРВЪРНА СИСТЕМА ЗА ОТДАЛЕЧЕНО УПРАВЛЕНИЕ НА СТРУКТУРЕН АНАЛИЗАТОР

Валентин ХРИСТОВ¹ Илия Тиньоков²

¹катедра „Комуникационна и компютърна техника и технологии“, Югозападен университет “Неофит Рилски” - Благоевград, България

e-mail: v_hristov@swu.bg

²катедра „Комуникационна и компютърна техника и технологии“, Югозападен университет “Неофит Рилски” - Благоевград, България

e-mail: iltiniokov@abv.bg

Резюме: В настоящата статия е представена разработваната в Югозападен Университет "Неофит Рилски" система за отдалечено управление на автоматичен структурен анализатор EPIQUANT. EPIQUANT представлява металографски микроскоп, който се използва за изследване на микроструктурата на материалите. Разработваната система за управление позволява осъществяването на дистанционни изследвания. За целта се използва разпределено клиент-сървърно приложение, което осъществява връзката между отдалечения компютър и микроскопа посредством Интернет. Отдалеченият оператор, използвайки инсталираната на своя компютър клиентска част на системата, получава видеоизображение в реално време от микроскопа и може да контролира неговите функции (напр. движение на предметната масичка). Откъм страната на микроскопа е разположен компютър с инсталирана сървърна част на системата. Тя приема командите за управление на микроскопа и изпраща видеоинформацията, получавана от инсталираната видеозахваща система.

Ключови думи: отдалечено управление през Интернет, клиент-сървърно приложение, автоматичен структурен анализатор EPIQUANT

1. СТРУКТУРЕН АНАЛИЗАТОР EPIQUANT

Автоматичният структурен анализатор EPIQUANT на Carl Zeiss Jena (фиг. 1) представлява металографски микроскоп, който се използва за изследване на микроструктурата на различни материали (метали, метални сплави, керамики, строителни материали, полимери, минералогически проби, полупроводници, композитни материали и т.н.). С негова помощ се измерват стереометрични величини, като обемна част на фазите, брой и среден линеен размер на зърната, коефициент на изтегляне на зърната, специфична гранична повърхност на фазите.



фиг.1 Структурен анализатор EPIQUANT

Принципът на действие на структурния анализатор се основава на анализ на отразената от повърхността на изследвания образец светлина. Различните съставни части на образца (зърна на метала, различни фази, вградени в сплавта) имат различни коефициенти на отражение. Изследваният образец се осветява от стабилизирани източник на светлина. Светлинните лъчи попадат върху повърхността на изследвания образец и се отразяват от него. При това интензивността на отразения лъч зависи от коефициента на отражение на повърхността в точката на падане на лъча. Отраженият лъч преминава през регулируема измервателна диафрагма и попада върху фотоелектрически приемник. Изследваният образец е разположен върху подвижна предметна масичка. В зависимост от зададените настройки, EPIQUANT премества масичката по хоризонтала и вертикала. По този начин се получава обхождане на повърхността на изследвания образец. При това движение отразеният лъч променя интензивността си, т.е. той се модулира по амплитуда в зависимост от структурата в точката на падане. Амплитудата на сигнала се сравнява със

зададени прагови стойности и се инкрементира съответен брояч. Така структурният анализатор разграничава отделните съставни части на образеца (зърна на метала, различни фази) и определя техните метрични и количествени свойства.

табл.1 Основни характеристики на анализатора

Характеристика	Стойност
увеличение на микроскопа	50x ... 1000x
диапазон на преместване на предметната масичка	40mm x 40mm
размер на стъпката	0.25µm
размери на измерваните полета	0.4mm x 0.4mm, 0.8mm x 0.8mm, 1.6mm x 1.6mm, 4mm x 4mm, 8mm x 8mm, 16mm x 16mm, 32mm x 32mm
диапазони на класификация	1...≥64µm, 2...≥128µm, 4...≥256µm, 8...≥512µm, 16...≥1024µm

2. ОТДАЛЕЧЕНО УПРАВЛЕНИЕ ПРЕЗ ИНТЕРНЕТ

С развитието на Интернет започват да се появяват различни негови приложения. В последните няколко години се появи и започна да придобива все по-масов характер направлението „Интернет на нещата“ (Internet of Things, IoT). При него основната идея е свързване на различни видове електроуреди (телефони, телевизори, хладилници и т.н.) към Интернет и осъществяване на комуникация помежду им [5]. Така се появяват т.нар. „умни“ уреди (smart devices). Свързването на уредите към Интернет спомага за увеличаване на техните функционални възможности и за постигане на по-голямо удобство при работата с тях.

Съществуват множество решения за отдалечено управление на системите през Интернет. Основно може да бъдат разделени в две направления – управление чрез уеб-приложения (уеб-интерфейс) и на базата на клиент-вървърни разпределени приложения. При управлението посредством уеб-приложения отдалеченият потребител се свързва със системата чрез уеб-браузър [4,6]. Интерфейсът за управление се изгражда в прозореца на браузъра. По този начин системата става платформено независима – потребителят може да използва всякакъв браузър, инсталиран на всякаква операционна система.

При това обаче силно се ограничават функционалните възможности на отдалеченото управление – всички операции се изпълняват от браузъра, обработката е по-бавна, кодът се интерпретира вместо да се използва компилиран такъв, ограничен брой на мрежовите протоколи, които могат да бъдат използвани. Освен това интерфейсет при различните браузъри изглежда по различен начин.

При клиент-сървърния подход отдалеченият потребител използва специална клиентска програма за достъп до системата [2,3]. Тази клиентска програма трябва да бъде предварително инсталирана на потребителския компютър. Това определя намалената платформена независимост – за всяка операционна система трябва да бъде разработвана отделна програма. Но при това функционалните възможности са много по-големи. Клиентското приложение може да използва комуникационни протоколи от различни нива, може да бъде разработен собствен приложен протокол, отговарящ на конкретните нужди за отдалечено управление. Също така намалява зависимостта от програми на трети разработчици. Изпълнява се компилиран код, а не се извършва интерпретация. Като цяло системата става много по-гъвкава.

3. ОПИСАНИЕ НА РАЗРАБОТВАНАТА СИСТЕМА

За реализирането на системата за отдалечено управление на автоматичния структурен анализатор използваме клиент-сървърния подход. Той е избран заради голямата си гъвкавост при отдалеченото взаимодействие. Цялото управление (командване на анализатора, управление на достъпа до системата, разпределение на потоците от данни) се осъществява от сървърното приложение, инсталирано на сървърния компютър в лабораторията. Крайният потребител се свързва със системата чрез клиентското приложение, което трябва да бъде предварително инсталирано на неговия компютър.

3.1 Хардуерна част

На фиг. 2 е показана схемата на разработваната система за отдалечено управление на структурния анализатор. Основна роля в систе-

мата играе сървърът. Той осъществява взаимодействието между структурния анализатор и клиентската компютърна система. Представлява обикновен персонален компютър, към който са свързани интерфейсната платка за управление на структурния анализатор и системата за видео захващане, използвана за наблюдение на изследвания в анализатора обект.



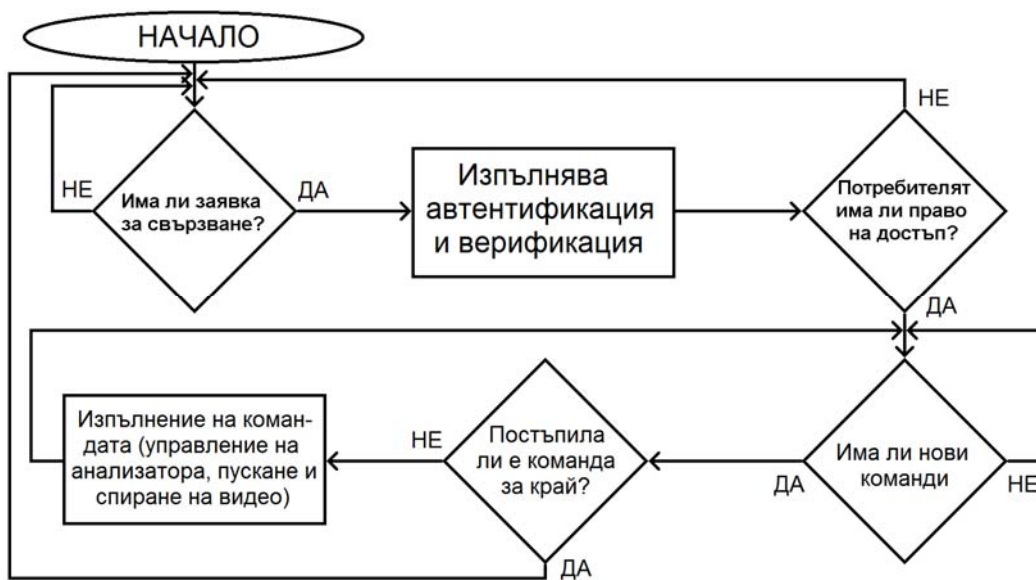
фиг.2 Схема на системата за отдалечено управление на ERIQUANT

Интерфейсната платка е свързана с инструментите за управление на структурния анализатор ERIQUANT. На нея постъпват командите от сървъра, преобразуват се и се задействат съответните операции. Чрез системата за видео захващане образът от микроскопа се изпраща от сървъра към клиента като видео в реално време. Към системата за отдалечено управление може да

се свързват много на брой различни клиенти, но в даден момент със системата може да работи само един потребител.

3.2 Сървърно приложение за управление

Задачата на сървърното приложение е да осъществява взаимодействието на клиентите с анализатора. То се стартира при стартирането на операционната система и продължава да работи до изключването на системата. Докато е включено, постоянно следи своя порт за постъпващи заявки от потребителите (фиг. 3). При свързване с нов потребител, проверява изпратените потребителско име и парола и времевият интервал за използване, и при успех разрешава отдалеченото управление. Когато клиентът изпраща команда, сървърът я идентифицира и предприема съответните действия – пуска или спира видеопоток към клиента, прекъсва сесията за отдалечено управление или изпраща команди към интерфейсната платка, с което се задействат съответните функции на анализатора (напр. предвижване на предметната масичка в четирите посоки).



фиг.3 Схема на работа на сървърното приложение за управление

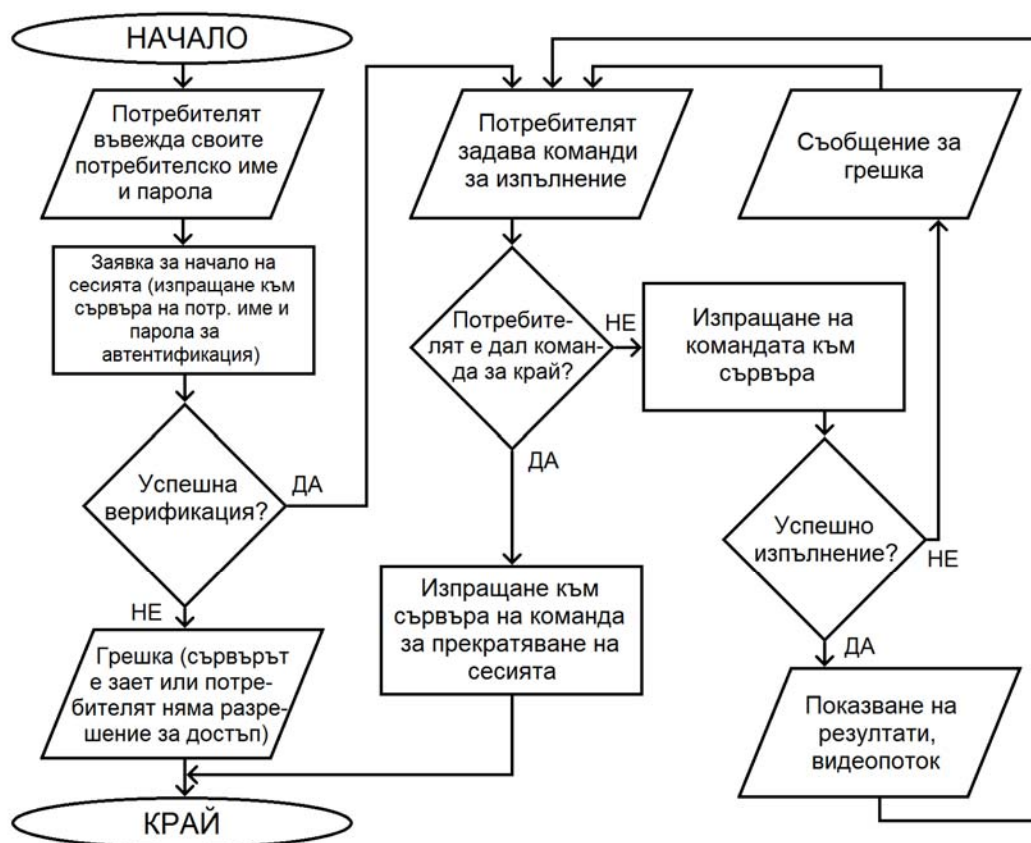
И двете, сървърното и клиентското приложение, са разработени на Delphi, като за работа с

мрежовите протоколи се използват някои от компонентите на библиотеката Indy. Така нап-

пример при реализирането на сървъра е използван TIdTCPServer. Между клиента и сървъра се установява управляващо TCP съединение, по което става предаването на командите. TIdTCPServer следи това съединение и при получаване на команден пакет се изпълнява обработчикът на събитието OnExecute. Обработчикът идентифицира постъпилата команда и изпълнява съответните действия.

Сървърното приложение се състои от три програмни модула, които взаимодействат по-

между си. Основният модул осъществява обработката на командите и взаимодействието между съставните части на системата. Модулът за администриране се използва за задаване на условията за използване на системата от крайните потребители (потребителски имена, пароли, времеви интервали за достъп) и за мониторинг. Третият модул е модулът за настройка на параметрите на системата (портове, видеокамери, времеви параметри и т.н.).



фиг.4 Схема на работа на клиентското приложение за отдалечен достъп

3.3 Клиентско приложение

Клиентското приложение се използва за връзка със сървъра в лабораторията. То представлява отдалечен панел за управление на системата. Потребителят стартира клиентското приложение на компютъра си само когато трябва

да осъществи дистанционно изследване с анализатора. При стартирането му, той въвежда атрибутите за идентификация, с които се осъществява достъп до анализатора (фиг. 4). Потребителят използва контролите на клиентското приложение и изпраща съответни команди към сървърното

приложение за управление. По този начин се действат съответните функции на анализатора. В прозореца на приложението се показва видео в реално време от системата за видеозахващане. Също така се визуализират резултатите от изпълнението на командите.

При реализирането на клиентското приложение използваме Indy компонента TIdTCPClient. Този компонент осъществява TCP съединение със сървърното приложение, по което изпраща командите за управление. След всяка изпратена команда компонентът изчаква отговор от сървъра и в зависимост от него визуализира резултата (показване на стойности, видео, запис на файл с изображение).

3.4 Начин на използване на системата

Потребителят на системата за отдалечено управление на структурния анализатор може да се намира на голямо разстояние от лабораторията. Посредством Интернет и инсталираното клиентско приложение на компютъра той се свързва със сървъра. След като получи разрешение за достъп, той започва да изпраща команди, които се изпълняват от сървъра, като същевременно отдалеченият клиент получава видео в реално време от установката.

Когато даден потребител реши да използва системата, първоначално той трябва да се свърже с администратора. Те се договарят за типа на изследванията, изследваните мостри, времеви интервал за използване на системата. Преговорите могат да се осъществяват по телефона или през Интернет. Администраторът изпраща на клиента по електронната поща инсталатора на клиентското приложение за отдалечен достъп, също така му съобщава потребителското име и парола за достъп. Потребителят инсталира на своя компютър клиентското приложение, използвайки инсталатора. Процесът на инсталация е изключително лесен и не изисква особени умения - на практика цялата програма е обединена в един изпълним файл и е достатъчно той да бъде поставен в някоя от директориите на компютъра. Изследваният образец може да бъде доставен по пощата или чрез куриер. По такъв начин крайният клиент може да осъществи изследванията си без да посещава лабораторията.

Щом потребителят вече е извършил първоначалната подготовка, последователността на работа със системата е следната:

1) Потребителят стартира клиентското приложение и въвежда своите потребителско име и парола. Програмата се свързва чрез Интернет със сървърното приложение в лабораторията. Сървърното приложение осъществява процедурата по автентификация и верификация и при успех разрешава на клиентското приложение достъпа до анализатора;

2) При успешен достъп до системата потребителят започва да изпраща команди към анализатора чрез контролите на клиентското приложение;

3) Сървърното приложение получава командите и управлява анализатора, като същевременно изпраща видео в реално време към клиентското приложение;

4) Когато потребителят завърши изследванията, той изпраща команда за край на сесията. Структурният анализатор вече може да се използва от друг потребител.

4. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В настоящата статия е описана разработваната в Югозападен Университет „Неофит Рилски“ система за отдалечено управление на структурен анализатор. За нейното реализиране е избран клиент-сървърния подход. Системата позволява провеждане на отдалечени изследвания. По такъв начин се увеличава възможността за използване от различни потребители на специализирано и рядко срещащо се оборудване [1] като представения структурен анализатор. По-нататъшното разработване на системата предвижда усъвършенстване на протоколите за обмен на данни за постигане на по-устойчива и плавна работа.

Литература

1. Cheptsov A., Koller B., Adami D., Davoli F., Mueller S., Meyer N., Lazzari P., Salon S., Watzl J., Schiffrers M., Kranzlmüller D. e-Infrastructure for Remote Instrumentation. Computer Standards & Interfaces, 2012, vol.34, p.476–484.
2. Min-Chun Pan, Po-Ching Li, Yong-Ren Cheng Remote online machine condition monitoring system. Measurement, 2008, vol.41, p.912–921.

3. **Sagiroglu S., Yilmaz N.** Web-based mobile robot platform for real-time exercises. *Expert Systems with Applications*, 2009, vol.36, p.3153–3166.
4. **Silalahi U.A.P., Hedwig R.** Web-Based Open Loop Remote Control Robot. *Procedia Engineering*, 2012, vol.50, p.52–58.
5. **Vongsingthong S., Smachat S.** INTERNET OF THINGS: A REVIEW OF APPLICATIONS AND TECHNOLOGIES. *Suranaree Journal of Science & Technology*, 2014, vol.21, issue 4, p.359–374.
6. **Wang L., Givehchi M., Adamson G., Holm M.** A sensor-driven 3D model-based approach to remote real-time monitoring. *CIRP Annals - Manufacturing Technology*, 2011, vol.60, p.493–496.

CLIENT-SERVER REMOTE CONTROL OF A STRUCTURAL ANALYZER

Valentin HRISTOV¹ Iliya TINYOKOV²

¹Department of Communications and Computer Equipment and Technologies, South-West University “Neofit Rilski”, Blagoevgrad, Bulgaria
e-mail: v_hristov@swu.bg

²Department of Communications and Computer Equipment and Technologies, South-West University “Neofit Rilski”, Blagoevgrad, Bulgaria
e-mail: iltiniokov@abv.bg

Abstract: This paper presents the remote control system of EPIQUANT automatic structural analyzer that is being created in South-West University “Neofit Rilski”. EPIQUANT is a metallographic microscope, used for materials microstructure analysis. Developed control system enables remote experimentation. This is achieved by a client-server distributed application, which connects the remote computer and the microscope through Internet. The remote user receives real-time video coming from the microscope and operates its controls (i.e. moving the specimen stage) using an installed on his/her PC client application. On microscope side there is a computer with the server part of the system installed. This server application receives commands for analyzer control and sends back video data, acquired from a video system, installed on the microscope.

Keywords: remote control via Internet, client-server application, automatic structural analyzer EPIQUANT

DEVELOP OF ENERGY REGENERATION SYSTEM FOR HYDRAULIC ELEVATOR USING THE DOWNWARD TRAVEL

Tihomir DIMITROV

Engineering logistics, material handling, building and roadbuilding machines department, Technical University-Sofia, Bulgaria

e-mail: tichomir.dimitrov@gmail.com

Резюме: According to different data there are more than 4.8 millions elevator installations in Europe 27. Each year they are consuming about 900 GWh of electrical energy. A lot of them are of hydraulic type, manufactured and installed in the last twenty to forty years. The major disadvantage of these elevators is the missing balance element for the weight of the empty car and part of the load. Thus they are using energy for hoisting of the load, car frame and car in difference from traction elevators, where there is balancing of the above mentioned weights. This is the main reason the installed electrical power of hydraulic elevators to be comparatively higher compared to other technical solutions. On the other hand the downward travel is performed obviously by the means of throttling the hydraulic fluid, thus dissipating energy. The performed in this work experimental and theoretical research proves the possibility to getting energy from downward car travel of these elevators with purpose for improving their energy efficiency. Energy regeneration system proposed. The results from this experimental work provide the basis for further developments in the field of energy regeneration for this type of elevators.

Ключови думи: elevators, energy, energy efficiency, hydraulic elevators, lifts.

1. INTRODUCTION

Recently the wording 'Energy efficiency' was transformed in a modern and frequently used phrase from almost every Europe's citizen. Projects and realizations of 'passive buildings', which doesn't consume or have 'nearly zero energy consumption' because of used technologies inside appeared. In addition, it is already a fact EU Directive 2010/31, introducing the 'nearly Zero-energy buildings', coming into force from 2019 for tertiary sector and from 2021 for all newly constructed buildings. In order to comply with these requirements, all the systems inside the buildings has to be of energy efficient type, including these for vertical transportation of persons- elevators (lifts), escalators and moving walks, which consuming up to 10% of the building energy, according to the calculations of the BPIE.

2. THE ELEVATOR MARKET

There are more than 4.8 mills working elevators in Europe 27. The major part of them is of conventional types of technologies using old and proven drive technologies. From the modern point of view

they are energy inefficient solutions (with some exclusions) and a significant part of them are of hydraulic type. Instead of this, these elevators have a long residual resource and in the terms of proper maintenance and service there is no technical reasons these units to be replaced with new, energy efficient ones.

A large number of elevators are installed in the developing countries as well as in all the other countries, and a low and medium rise buildings have major to predominant market share. The proposing of hydraulic elevators on the market in these countries is highly deployed. As usual they are constructed from high quality hydraulic components on very competitive prices. Based on their unquestionable advantages for these buildings, they are preferred from the investors and building constructor companies. Also crucial is the fact that in the public there is awareness for the comfort and safety of these elevators, which makes them more preferable from the builders and investors. It is appeared that during the sales process of the properties key role is given to the hydraulic elevator, which is turned in very good sales argument for the property sale. In conclusion the newly installed hydraulic elevators were with about 60% more than the traction during a long period of time

(Figure 1 [1]). The trend continues until introduction in 1995 of the new traction elevators without machine room later followed by the MRL gearless traction elevators. Instead of all the above mentioned, even today the hydraulic elevators represent serious market share in almost every country. All the manufacturers of hydraulic elevator components make all possible for this and they are making continuous improvements and innovations as well as comparative analysis between their production and the other modern elevator technologies.

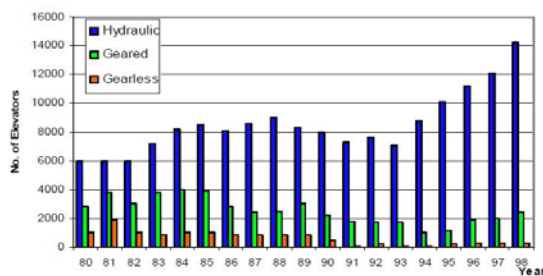


fig.1 Elevators produced between 1980-1998 in the countries of NEII [1]

As Turkey was one of the fastest growing elevator markets in Europe and Middle East, Fig.2 represents the newly constructed different storey buildings during the years in this country. The proportion of newly constructed different storey buildings is nearly the same in other countries in South and South- East Europe.

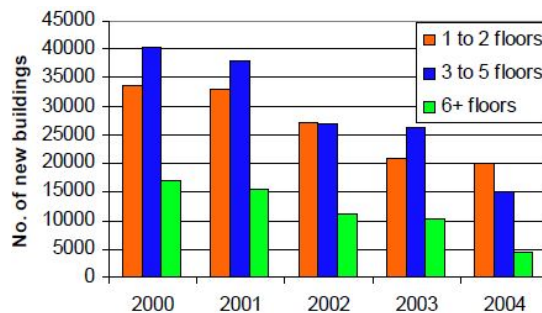


fig. 2 Number of newly constructed buildings per years in Turkey- one of the fastest growing elevator markets in Europe and Middle East. [2]

3. BASE OF THE IDEA

Significant part of the conventional elevator travel goes together with energy dissipation. This energy dissipation is mainly in the form of heat- depending on the direction of load traction elevators dissipating this energy directly in the form of heat by the brake resistors, motor windings, or the frequency inverters. The downwards travel of the hydraulic elevators is energy dissipative in the throttling process, meanwhile these elevators are characterised with considerably higher installed electrical power compared to the traction ones because of missing counterweight. Therefore it is necessary to pay special attention to the existing reserves and possibilities for the existing elevators with aim reducing the consumed electric energy from the supplying line.

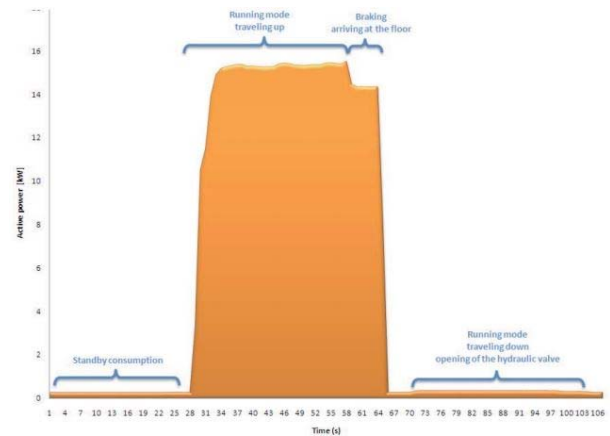


fig. 3 Typical working cycle of hydraulic elevator with nominal capacity 950 kg. [3]

Figure 3 represents a graph of typical work cycle of hydraulic elevator. From here the following basics are cleared. First of all there is 9 phases in this working cycle as follows:

- 1 standby mode (1-28 s);
- 2 starting up and acceleration in upward direction (28-34 s);
- 3 movement with nominal speed in upward direction (34-60 s);
- 4 decelerating down before reaching the floor (60-61 s);
- 5 movement with creeping speed before reaching the floor level (61-64 s);
- 1 stopping on the floor level (downtime in the standby mode) (66-70 s);

- 6 starting up and accelerating in downward direction (70-71 s);
- 7 movement with nominal speed in downward direction (71-98 s);
- 8 decelerating before reaching the floor (98-100 s);
- 9 movement with creeping speed before reaching the floor level (100-103 s);
- 1 stopping on the floor level (downtime in the standby mode) (103-106 s).

From here it is also clear that during the upwards travel elevator drive consumes electric energy dependant on the nominal power and loading of the car plus the necessary energy to supply the lighting, control systems and other needs. It is easy to see that during the downwards travel with nominal and creeping speed the energy consumption is almost equal to standby mode consumption. The reason for this fact is the way of performing this travel- as it was already mentioned, it is realised by the means of throttling the hydraulic fluid (usually, hydraulic elevators using hydraulic oil HLP46 or HLP32 according DIN51524). In this paper we will be focused on this travel.

4. SOME ADDITIONAL MEASURES FOR CONSUMPTION DECREASING

As it is seen from the graph, shown on Picture 3, described in [4] and it is confirmed from the practise, the elevators are in standby mode during the majority of time. In general case during this mode the energy consumers are the car illumination and control and signalization systems of elevator. In the up-to-date solutions this power consumption is reduced using the following two methods:

- Using the energy efficient lighting technology (for example LED- light emitting diodes), combined with switching off the illumination when the elevator is in standby mode, or not in use (it is important to mention that switching-off the illumination is applicable where it is appropriate depending on the elevator type and applicable codes);
- Using of systems for putting the elevator into 'sleep mode': switching-off most of the components and followed by switching on when necessary (for example- when a hall or car call received). This is usually realised by means of intelligent systems with

appropriate software, which allows very short time for 'firing up' all the systems.

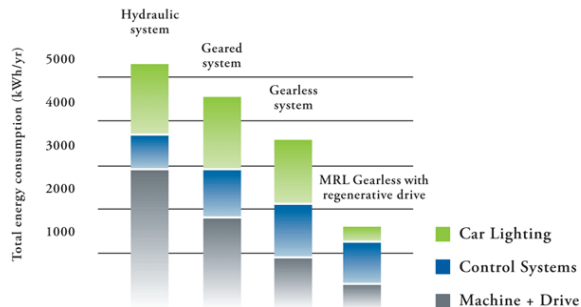


fig. 4 Electrical power consumption depending on the type of the elevator, distributed by consumers in the elevators [6]

5. TEST BENCH

For the research purposes it was designed and built the shown on Pict.5 and Pict.6 test bench for energy regeneration [7]. In the left part of Pict.6 is shown the simplified hydraulic schematic diagram.

The working principle is as follows:

Elevator's car travelling in the normal way to the upper floor by the means of hydraulic pump and the conventional valve block Blain EV100. After that Valve 1 is opened, hydraulic oil from the cylinder passes through and is feeding the reversible hydraulic motor thus the elevator's car starts moving downwards. When the car reach the lower landing level, the Valve 1 is closed and the system stops.



fig. 5 Hydraulic elevator test bench with energy regeneration system [7]

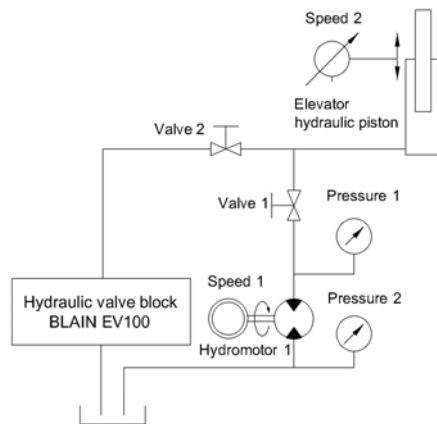


fig. 5 Simplified hydraulic schematic diagram of the first regeneration system



fig. 6 First regeneration system

For the research purposes, load wheel is coupled with the hydraulic motor's shaft. The load wheel is equipped with simple brake for applying the braking moment in order to measure the torque (Pict.6).

For the performing of the necessary measurement and records during the experimental research it was created measurement and registering systems. The measurement system includes tachometer for measuring the speed of the load wheel, tachometer for measuring the car speed of the elevator, two tensometric pressure sensors for measuring the pressure in hydraulic system- before and after the hydraulic motor. The registering system is based on the Data acquisition system of National Instruments. The data from the tests are recorded with specially developed software in Lab View environment of the same company.

The results from the experimental research with static pressure of 20 bar, corresponding to 630 kg elevator with empty car for this test bench are shown on Picture 6 [7].

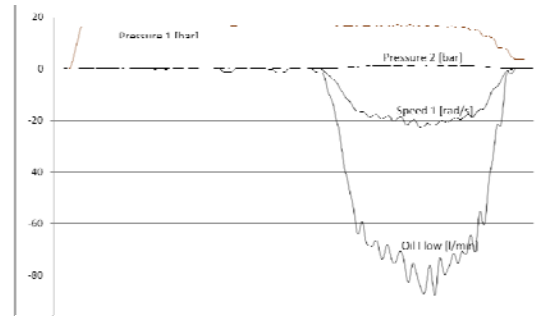


fig. 6 Graphics of pressure, speed and oil flow for static pressure of 20 bar in the regenerating mode.

Measured static pressure in the hydraulic system	Measured pressure in the hydraulic motor's inlet	Measured speed of the hydraulic motor	Power received
bar	bar	Rad/sec	W
15.00	14.52	15.36	361.61
19.00	17.98	19.16	541.13
20.00	18.64	25.24	831.80

Table 1 Table represented results of pressure, speed and oil flow for static pressure of 20 bar in the regenerating mode.

From the represented results in Table 1 it is clear that the received power is 831 W for the static pressure of 20 bar. This static pressure corresponds to elevator with capacity 630 kg/8 persons with empty car for this test bench [7].

6. HYDRAULIC ELEVATOR DYNAMIC MODEL

Because the experimental results confirmed the method, aiming to research the processes during the downward travel of hydraulic elevator a dynamic model was developed. This model has three masses with three degrees of freedom (each mass has one degree of freedom) (Figure 7). The model is solved using the simulation method in Simulink environment of Matlab software product (Figure 8). These experimental researches are good base for further developments in this field, as well as developing the

energy regenerating system for hydraulic elevators using the energy from the downward travel.

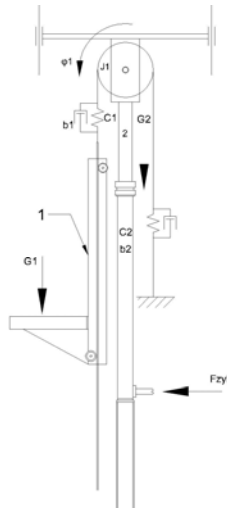


fig. 7 Dynamic model of hydraulic lift used.

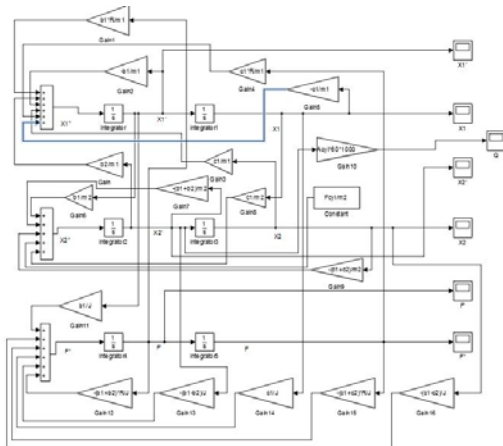


fig. 8 Dynamic model in Simulink environment

7. DEVELOPED AND PROPOSED ENERGY REGENERATION SYSTEM

Principal electro-hydraulic schematic of developed and proposed system is shown on Figure 9.

The system works in normal for the elevator way in the upward direction. The car is located on the first floor, the elevator control receives hall call from the 7-th floor (the highest one), all the necessary condi-

tions for permission to start are fulfilled (the safety circuit closed), the electric motor is started, accelerates to the nominal RPM, the valves for nominal and creeping speed are opened simultaneously and the piston starts its moving together with the car upwards.

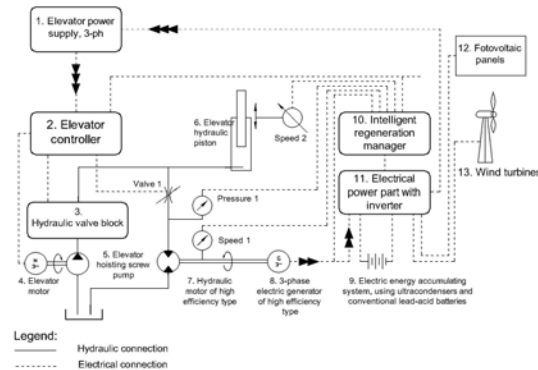


fig. 9 Electro-hydraulic schematic of developed and proposed system

When the positioning system receives the slowing-down signal the elevator control closes the nominal speed valve and leaves the creeping speed valve opened until reaching the floor level. When the floor reached elevator controller closes the valve, stops the motor and the car is positioned on the floor level. When the next travel in downwards take place, the other logic is activated as follows:

- 1) The elevator control receives hall call for travelling in downward direction, for example hall call from the first stop;
- 2) All the necessary conditions for travel start are fulfilled and the elevator controller opens the adjustable/ variable Valve 1, thus the downward travel starts together with hydraulic motor 7, which drives three phases AC generator;
- 3) The Intelligent regeneration manager 10 by its power part 11 switches the load to the generator 8 in the moment when the speed has reached its nominal value and regenerating starts.
- 4) Based on the information of the accumulating system 9 charge level the Intelligent regeneration manager 10 takes decision where to transfer this energy- whether to charge batteries or to send it back to the mains 1.
- 5) When the car reaches the slowing-down point, the elevator positioning system sends signal to the

elevator controller, which makes the necessary adjustment in the Valve 1 and reduce the travel speed together with switching off the regeneration by the Intelligent manager 10.

6) When the floor level reached, the elevator controller 2 closes the Valve 1 completely and the car stops on the floor level.

Based on the cyclicity of the energy regeneration under this schematic, additional charge system for the accumulators is provided. This system uses the fotovoltaic panels 12 and/or wind turbines 13. It is proposed to situate these facilities near to the elevator, on the building's roof or using other suitable areas.

When the next upwards travel take place depending on the quantity of energy stored in the accumulating system it is possible part or even entire necessary energy for this travel to be supplied from these devices.

8. MAIN PROBLEMS FACING THE ENERGY REGENERATING SYSTEM

One of the basic problems to be solved is coming from the character of this regenerated energy appearance. The problem is based under the condition that the energy appears in the cycle way with a random character, and the time of appearing is relatively short- from a few seconds (during the travel between adjacent floors) up to 30-40 or 60 seconds (travel from the highest to the lowest floor without intermediate stops). In the meantime the starting current of the elevator hoist motor is 2 to 3 times higher than the nominal one. Also, it is very important this system to have enough capacity to accumulate comparatively high levels of power in short terms. Because of this needs it is planned that the electric energy accumulating system contains not only conventional lead- acid accumulators, but also ultracondensers. These two types of accumulating devices will work jointly under special, incorporated in the Power part 11 and the Intelligent manager 10 of the system algorithm, in order to accumulate higher possible energy quantity and deliver of the required comparatively high starting current of the elevator hoisting motor. In addition to this, it is provided alternative energy sources of 'green energy'- fotovoltaic panels and wind turbine generators, which in addition will

provide the necessary charge of the accumulating system in case of need. Also, these sources will work as a 'Green' power plant, providing energy for common use in the building with possibility to returning energy into the mains in some cases.

Key feature of the system's work is to provide normal working parameters of the elevator like speed, acceleration, smooth ride and ride quality, etc. This is achieved by the monitoring of speed 1 and 2 as well as the pressure 1 in real time and to make the necessary corrections in the real time to provide the normal operation of the elevator.

9. CONCLUSION

1. Using different working modes of the built system in laboratory 4100 of TU- Sofia are performed experimental research on the test bench. Recorded are the speeds, pressures and oil flow, as well as the torque and the received regenerated power.
2. Dynamic three mass model of hydraulic elevator with three degrees of freedom created. The model gives possibility to research the downward travel of hydraulic elevator.
3. Proposed method for regeneration, storing and usage of electrical energy during the downward travel of hydraulic elevator.
4. Proposed principle schematics of the system with the main connections with the components of the elevator and principle of work.
5. Stated the main problems facing the energy regeneration system.

References

1. **Sedrak D.**, 'Hydraulic Elevators: A look at the past, present and future', Elevator World, June 2000, pp.100;
2. State Institute of Statistics in Turkey, www.die.gov.tr;
3. **Carlos P., Fong J., Rivet L., Aníbal de Almeida**, 'Energy efficient elevators and escalators', ECEEE 2009 Summer Study;
4. **Barney G.** "Energy models for lifts", CIBSE Lifts group;
5. **Barney G.** "Elevator Traffic Handbook", Spon Press, London and New York, 2003, ISBN0-415-27476;
6. www.otis.com. Visited on 10.11.2014;
7. **Dimitrov, T., Iliev, G., Chuchuganov, K.** "Research of Possibilities for energy regeneration during the downward travel of hydraulic elevator", Bulgarian journal for engineering design, Issue 21, January 2014.

МАТЕМАТИЧНО МОДЕЛИРАНЕ И ИЗСЛЕДВАНЕ НА ЦЕЛЕВА ФУНКЦИЯ ЗА ПРОИЗВОДИТЕЛНОСТ ПО ГОТОВ ПРОДУКТ ПРИ РАБОТА С КИД-300

Петко НЕДЯЛКОВ¹ Симеон САВОВ²

¹катедра „Машинни елементи и неметални конструкции”, Технически университет - София, България

e-mail: nedpetko@tu-soia.bg

²катедра „Механизация на мините”, Минно-геоложки университет „Св. Иван Рилски” - София, България

e-mail: ss.ss@abv.bg

Резюме: Докладът представя създаването на математичен статистически модел на целева функция за производителност по готов продукт при работа с конусна инерционна трошачка тип КИД-300. Направен е избор на управляващи фактори оказващи влияние върху целевата функция за производителност по готов продукт. Формулирана е целева функция за производителност по готов продукт. Проведен е експеримент и е направен статистически анализ на получените експерименталните резултати. Представени и анализирани са резултатите от статистическия анализ на функцията за производителност по готов продукт. Въз основа на получения регресионен модел са построени триизмерни диаграми за отчитане на влиянието на управляващите фактори върху целевата функция за производителност. Получените резултати ще се използват, като основа за оптимизация на процеса трошене от гледна точка на производителността на машината при работа с трошачки тип КИД.

Ключови думи: КИД-300, математично моделиране, статистически анализ, целева функция, производителност

1. УВОД

Трошачките тип КИД са конусни трошачки, при които вътрешният конус се задвижва от инерционен дебалансен вибратор. При въртене на дебалансния вибратор възниква кръгова центробежна сила, принуждаваща вътрешният конус да се търкала по вътрешната повърхност на външния конус, като се притиска към него с голяма сила и по този начин натрошава материала намиращ се между двата конуса. Този вид конусни трошачки нямат постоянен разтоварен отвор и големината на ексцентрицитета на вътрешния конус зависи от дебелината на слоя материал намиращ се в камерата на трошене и от стойността на силата на трошене. Трошачките тип КИД имат възможност за регулиране на широчината на разтоварния отвор, честотата на въртене и масовия статичен момент на дебалансния вибратор, като по този начин се изменя големината на силата на трошене. Изменението на големината на силата на трошене при тези трошачки оказва съществено влияние върху зърнометричния състав на готовия продукт и производителността на машината. С трошачка тип КИД-300 може да се получава продукт, който е характерен, както за трошачка за дребно трошене, така и за мелница за грубо смилане.

2. ИЗБОР НА УПРАВЛЯВАЩИ ФАКТОРИ

При описанието на процеса трошене в трошачка КИД могат да се дефинират и изследват няколко целеви функции, като производителността на машината по готов продукт е една от тях. Производителността измерва количеството готов продукт за единица време, както за определена класа така и общо за всички класи. Тя е интегрален критерий на процеса трошене, като по този начин изпълнява условието за ефективност на целевата функция. Производителността има ясен физически смисъл, може да бъде определена количествено, статистически ефективна е и може точно да бъде измерена. Единствен недостатък на производителността е, че характеризира процеса само от количествената му страна.

Механичните параметри, които могат да бъдат променяни при трошене в трошачка тип КИД-300 основно са:

- широчина на статичния разтоварен отвор на машината, като максимално може да достигне до 18 mm;
- масов статичен момент на дебалансния вибратор, вибраторът е регулируем и има 19 степени, чрез които се определя стойността на масовия му статичен момент;

• честотата на въртене на дебалансния вибратор, при КИД-300 този параметър не може да бъде изменен, но за целите на изследването честотата на въртене на дебалансния вибратор ще бъде променяна, чрез предавателното число на клиноремъчната предавка на машината.

Един от технологичните параметри, който лесно може да бъде променен по време на експеримента е едрината на изходния материал, като съществува ограничение за максималния му размер от $20 \div 25$ mm.

Избраните управляващи фактори влияещи на производителността по готов продукт при работа с КИД-300 са следните:

• Честота на въртене на дебалансния вибратор f , s^{-1} – този параметър зависи от предавателното число (i) на клиноремъчната предавка на машината. Предавателното число се изменя, чрез използването на двигателни ремъчни шайби с различни диаметри. Използваните предавателни числа са 0,75; 1; 1,25 и 1,44.

• Масов статичен момент на дебалансния вибратор S_0 , kg.m – опитите са направени при минимална (1-ва), средна (10-та) и максимална (19-та) степен на дебалансния вибратор. Съответно S_0 приема следните стойности: 0,095 kg.m, 0,921 kg.m и 1,295 kg.m.

• Широчина на статичния разтоварен отвор на трошачката b , mm – поради опасност от недопустимо нарастване на амплитудата на люлеене на вътрешния конус и респективно динамиката на машината се приема този параметър да има следните стойности: 4 mm, 6 mm и 8 mm.

• Среден диаметър на изходния материал D_{cp} , mm – опитите са направени с материал, който е с различна средна едрина, съответно по-дребен материал със среден диаметър на частиците 8,575 mm и по-едър материал със среден диаметър на частиците 16 mm.

Избраните управляващи фактори са лесно определими, могат да бъдат измерени в абсолютни единици и сравнително лесно могат да се регулират. В таблица 1 са представени управляващите фактори, както и техните интервали и стъпки на изменение.

табл.1 Управляващи фактори

Фактор означение	x_1			x_2			x_3			x_4		
Фактор	Ремъчна шайба			Дебаланс			Разтоварен отвор			Едрина на изходния материал		
Размерност	mm			брой			mm			mm		
Стъпка	52	52		9	9		2	2		7.425		
Означение	$D_{\text{рем}}, \text{mm}$			Степен, бр.			b, mm			$D_{\text{изх}}, \text{mm}$		
Стойност	156	208	260	1	10	19	4	6	8	8.575 16		
Интервал	104			18			4			7.425		
Ниво	-1	0	1	-1	0	1	-1	0	1	0	1	

3. ФОРМУЛИРОВКА НА ЦЕЛЕВАТА ФУНКЦИЯ ЗА ПРОИЗВОДИТЕЛНОСТ ПО ГОТОВ ПРОДУКТ

В повечето реални случаи математичните модели определящи дадена целева функция не са известни, а понякога са неподходящи поради голямата си сложност и се налага да се използва подходяща апроксимация. Именно тогава възниква трудната задача по определяне на структурата на модела. В най-простия случай математическият модел може да се избере във вид на линейна функция [1,2] от входните параметри:

$$f = \sum_{i=0}^n N_i \cdot x_i \quad (1)$$

За първоначално изследване на целевата функция за производителност по готов продукт се приема линеен модел с включена константа:

$$Q_m = N_0 + N_1 \cdot x_1 + N_2 \cdot x_2 + N_3 \cdot x_3 + N_4 \cdot x_4, \quad t/h \quad (2)$$

където: x_1 (f , s^{-1}) – честота на въртене на дебалансния вибратор; x_2 (S_0 , kg.m) – масов статичен момент на дебалансния вибратор; x_3 (b , mm) – широчина на статичния разтоварен отвор на трошачката; x_4 (D_{cp} , mm) – среден диаметър на постъпващия за трошене материал; N_0 , N_1 , N_2 , N_3 , N_4 – коефициенти на управляващите фактори.

В таблица 2 са представени размерностите на целевата функция и на управляващите факторите, както и на коефициентите на управляващите фактори при така дефинираната целева функция.

табл.2 Размерност на целевата функция, управляващите фактори и коефициентите им

Фактор		x_1	x_2	x_3	x_4
Означение		f	S_0	b	D_{cp}
Размерност		Hz	kg.m	mm	mm
SI		s^{-1}	kg.m	$m \cdot 10^{-3}$	$m \cdot 10^{-3}$
Q_m	N_0	N_1	N_2	N_3	N_4
t/h	t/h	3600.t	1/m.h. 10^3	mm.t/h	mm.t/h

4. ЕКСПЕРИМЕНТАЛНИ РЕЗУЛТАТИ

С цел изследване на избраната целева функция е проведен непълнофакторен експеримент върху конусна инерционна трошачка тип КИД-300.

табл.3 Експериментални резултати

№ на опита	x_1	x_2	x_3	x_4	y
	f	S_b	b	D_{sp}	Q_m
	s^{-1}	$kg.m$	mm	mm	t/h
1	17,82	1,295	4	16	0,329
2	17,75	1,295	6	16	0,916
3	17,70	1,295	8	8,575	1,462
4	17,80	0,921	4	8,575	0,258
5	17,73	0,921	8	16	1,109
6	17,83	0,095	6	8,575	0,239
7	17,85	0,095	8	16	0,000
8	24,48	0,921	7	16	0,701
9	24,50	0,921	6	16	0,716
10	24,52	0,921	6	16	0,716
11	24,52	0,921	6	16	0,736
12	24,52	0,921	6	16	0,796
13	24,53	0,921	6	16	0,794
14	24,53	0,921	6	16	0,794
15	24,55	0,921	6	8,575	0,888
16	24,78	0,095	4	8,575	0,287
17	24,78	0,095	6	16	0,336
18	24,78	0,095	8	16	0,400
19	24,38	1,295	6	8,575	0,915
20	24,40	1,295	8	8,575	1,076
21	24,57	1,295	4	16	0,336
22	30,90	0,095	4	8,575	0,346
23	30,90	0,095	4	16	0,329
24	30,93	0,095	6	16	0,398
25	30,92	0,095	8	8,575	0,623
26	30,48	0,921	4	16	0,643
27	30,37	0,921	6	16	0,690
28	30,03	0,921	8	8,575	0,636
29	30,22	1,295	4	8,575	0,721
30	30,05	1,295	6	8,575	0,752
31	29,97	1,295	6	16	0,811
32	29,85	1,295	8	16	0,749
33	35,92	0,095	4	8,575	0,233
34	35,87	0,095	4	16	0,144
35	35,95	0,095	6	16	0,385
36	35,98	0,095	8	8,575	0,621
37	35,17	0,921	4	16	0,543
38	34,42	1,290	6	16	0,614
39	33,72	1,290	8	8,575	0,656
40	34,35	1,290	4	8,575	0,534

Материалът, който е използван за трошене е предварително промит, подсушен и пресят речен чакъл. Направени са общо 40 опита при „сух“ режим на работа на машината. В таблица 3 са представени управляващите фактори, които са изменяни по време на експеримента, както и по-

лучените експериментални резултати за целевата функция за производителност по готов продукт.

5. СТАТИСТИЧЕСКИ АНАЛИЗ НА ЕКСПЕРИМЕНТАЛНИТЕ РЕЗУЛТАТИ

На базата на експерименталните данни получени от 40-те опита при работа с КИД-300 са съставени регресионни математически модели за изследване на целевата функция за производителност по готов продукт. Съставени са линейни модели с включена константа (и такива без константа) и нелинейни модели, като са търсени такива модели, които имат висока мярка за определеност (квадрат на коефициента на множествена корелация R^2). Основните критерии за избор на подходящ модел са следните:

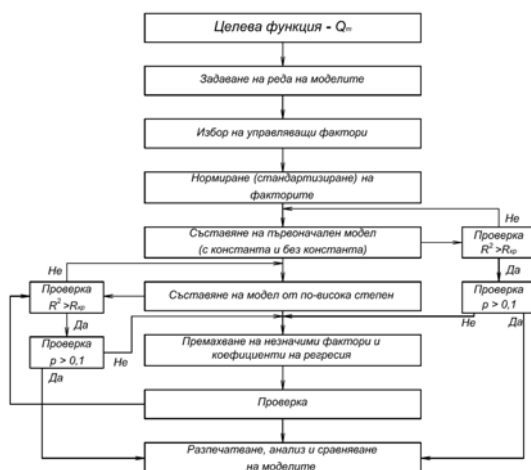
- максимална стойност на коефициент на множествена корелация R^2 ;
- максимална стойност на критерия на Фишер (F-Ratio) за съответния модел;
- минимални стойности на показателя за доверителна вероятност (P-Value) за модела;
- минимални стойности на показателите за доверителна вероятност (P-Value) за незначимост на регресионните коефициенти.

Целевата функция е съставена и изследвана с компютърната програма за статистически анализ STATGRAPHICS Centurion XV. Тази програма позволява изследването на различни типове функции с една и с повече от една променливи, които са без или със функционална връзка между променливите. Също така програмата има възможности за оценка на променливите и на коефициентите им на взаимна корелация.

За целите на практическото изследване на работния процес са търсени модели и коефициенти на регресия, които могат да бъдат приети с нива на доверителна вероятност минимум 95 %, като се очаква, че допустимите нива на инженерна грешка от 5 % са приемливи за такъв тип машини каквито са конусните инерционни трошачки.

Критичната мярка за определеност на моделите, според която те могат да бъдат приети или отхвърлени, зависи от броя на степените на свобода на модела и приетото минимално ниво на значимост. В конкретния случай моделите са със сумарен брой на степените на свобода $v=40$ и

ниво на значимост $\alpha=0,05$. Съгласно [3 – табл. П. 3.2.] при $\nu=40$ и $\alpha=0,05$ критичният коефициент на определеност е $R_{кр}=0,304$ (за $\alpha=0,1$; $R_{кр}=0,257$). Моделите, при които стойностите на мярката за определеност е над посочената критична стойност, могат да бъдат приемани, като статически определени. На фигура 1 е представена блок схемата, по която са съставяни, след което приемани или отхвърляни регресионните математически модели.



фиг.1 Блок схема на последователността на действията при теоретико-експерименталното изследване на целевата функция за производителност по готов продукт

Най-подходящият получен модел за производителност по готов продукт е регресионен модел от първа и втора степен на променливите без включена константа с изключени незначими променливи. Този модел съдържа в себе си всички управляващи фактори и е от следния вид:

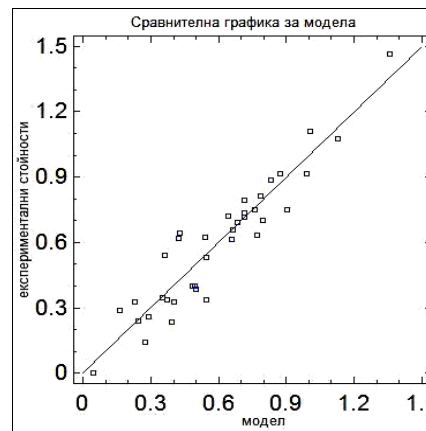
$$Q_m = \sum_{i=1}^n N_i \cdot x_i + \sum_{i=1}^n N_i \cdot x_i \cdot x_{i+1} + \sum_{i=1}^n N_i \cdot x_i^2, \quad t/h \quad (3)$$

За онагледяване на съпоставянето между модела и експерименталните стойности е приложена сравнителна графика (фигура 2). Точките върху графиката представляват експерименталните стойности, а правата линия показва разположението на стойностите на функцията получена от модела. Абсцисата и ординатата на тази графика са с еднаква размерност и това е размерността на изследваната функция. Сравнението между експеримент и модел е на визуална основа,

като подреждането на точките в максимална близост до правата линия показва добра сходимост между експеримент и модел.

табл.4 Параметри на модела

Параметри на модела					
Parameter	Estimate	Standard Error	T Statistic	P-Value	
X_1	0,238812	0,0338296	7,05926	0,0000	
X_2	1,1526	0,149351	7,71738	0,0000	
X_3	0,562347	0,0715498	7,85952	0,0000	
X_4	-0,787399	0,10275	-7,66322	0,0000	
$X_1 \cdot X_2$	-0,0297199	0,00518058	-5,73678	0,0000	
$X_1 \cdot X_3$	-0,0241952	0,00361929	-6,68507	0,0000	
$X_1^2 \cdot X_3$	-0,00782289	0,0013893	-5,63083	0,0000	
X_3^2	0,0313907	0,00414156	7,57944	0,0000	
Анализ на вероятностите					
Source	Sum of Squares	Df	Mean Square	F-Ratio	P-Value
Model	17,6242	8	2,20302	181,56	0,0000
Residual	0,388293	32	0,0121341		
Total	18,0125	40			
Статистика на модела					
$R^2 =$			97,8443	%	
R^2 (adjusted for d.f.) =			97,3728	%	
Standard Error of Est. =			0,110155		
Mean absolute error =			0,0788007		
Durbin-Watson statistic =			1,58401		
Lag 1 residual autocorrelation =			0,196074		



фиг.2 Сравнителна графика за модела

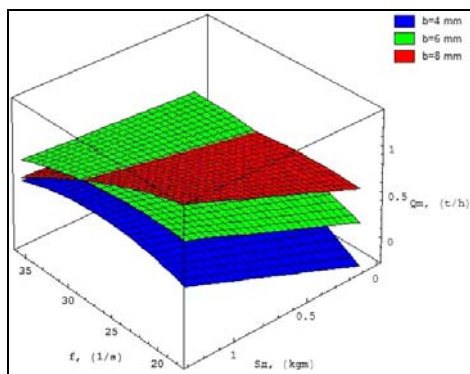
Уравнението на модела в натурални променливи, съгласно таблица 4 е:

$$Q_m = 0,238812 \cdot f + 1,1526 \cdot S_\delta + 0,562347 \cdot b - 0,787399 \cdot D_{cp} - 29,7199 \cdot 10^{-3} \cdot f \cdot S_\delta - 24,1952 \cdot 10^{-3} \cdot f \cdot b - 7,82289 \cdot 10^{-3} \cdot \frac{f^2}{b} + 31,3907 \cdot 10^{-3} \cdot D_{cp}^2, \quad t/h \quad (4)$$

Моделът представен в таблица 4 е с висока стойност на критерия на Фишер (това е максималната стойност на критерия на Фишер, която е получена при моделите за производителност) и е

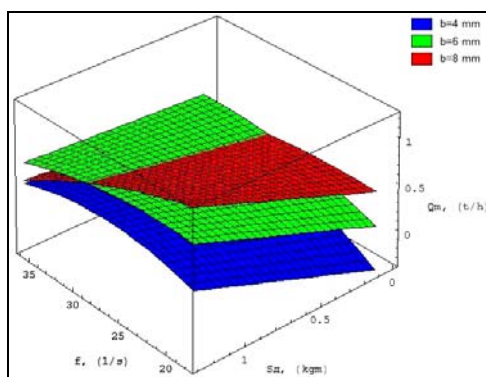
с висока стойност на коефициентите на множествена корелация над 97 %. Всички регресори, както и самият модел, могат да бъдат приети с ниво на доверителна вероятност над 95 %.

На базата на получения регресионен модел са направени (с помощта на програма Mathematica 5.2) триизмерни диаграми. От тези диаграми може да се отчете влиянието на четирите управляващи фактора (f , S_d , b и D_{cp}) върху целевата функция за производителност по готов продукт Q_m .

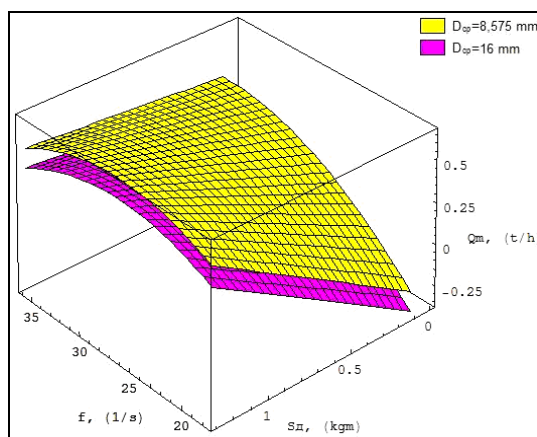


фиг.3 Производителност Q_m , t/h при $D_{cp}=8,575$ mm

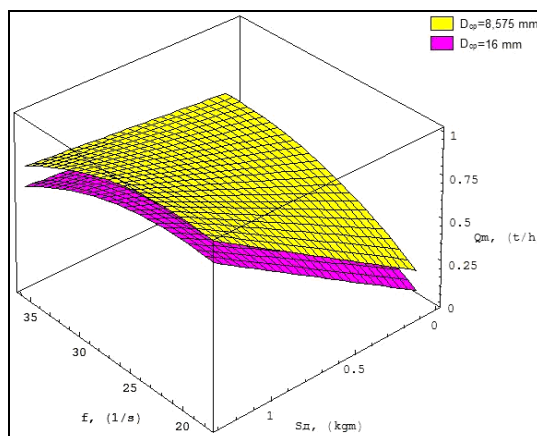
На фигура 3 при $D_{cp}=8,574$ mm и на фигура 4 при $D_{cp}=16$ mm са представени получените триизмерните диаграми за изменението на целевата функция в зависимост от масовия статичен момент на дебалансния вибратор, широчината на статичния разтоварен отвор и честотата на въртене на дебалансния вибратор.



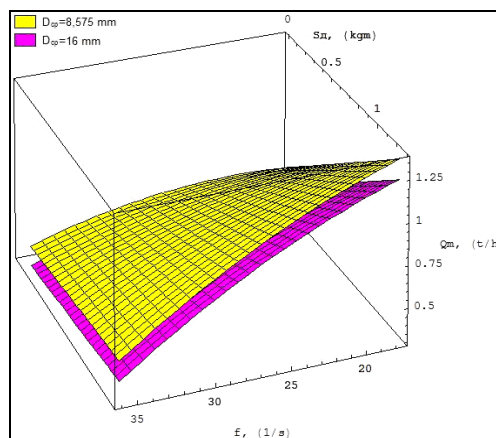
фиг.4 Производителност Q_m , t/h при $D_{cp}=16$ mm



фиг.5 Производителност Q_m , t/h при $b=4$ mm



фиг.6 Производителност Q_m , t/h при $b=6$ mm



фиг.7 Производителност Q_m , t/h при $b=8$ mm

На фигура 5 при $b=4$ mm, фигура 6 при $b=6$ mm и на фигура 7 при $b=8$ mm са представени получените триизмерните диаграми за изменението на целевата функция в зависимост от масовия статичен момент на дебалансния вибратор, едрината на изходния материал и честотата на въртене на дебалансния вибратор.

6. ИЗВОДИ

Изводите направени въз основа на получените резултатите от статистическия анализ, относно изследването на целевата функция за производителност, могат да бъдат обобщени по следния начин:

- Създаденият регресионен модел може да се използва за практически цели, като в него участват всички управляващи фактори и коефициентите на определеност на регресорите са достатъчно високи за инженерни цели. Моделът е сложен, но за сметка на това е с висока степен на определеност и има добри показатели като цяло.
- Получена е адекватна аналитична зависимост за производителността по готов продукт ур-е 4.

- На базата на получения регресионен модел са построени триизмерни диаграми за отчитането на влиянието на четирите управляващи фактора (f , S_d , b и D_{cp}) върху целевата функция. Тези диаграми могат да послужат, като основа за оптимизация на процеса трошене в КИД-300 от гледна точка на производителността по готов продукт.

Всички постановки при анализа на резултатите от теоретико-експерименталното изследване на целевата функция за производителност по готов продукт могат да се приемат за достоверни в указаните граници на изменение на управляващите фактори.

Литература

- 1.Божанов Е., Вучков И. Статистически методи за моделиране и оптимизиране на многофакторни обекти. София, Техника, 1973.
- 2.Божанов Е., Вучков И. Статистически решения в производството и научните изследвания. София, Техника, 1979.
- 3.Стоянов С. Оптимизация на технологични процеси. София, Техника, 1993.
- 4.www.statgraphics.com.

MATHEMATICAL MODELING AND RESEARCH OF PURPOSE FUNCTION FOR PRODUCT QUANTITY IN KID-300 OPERATION

Petko NEDYALKOV¹ Simeon SAVOV²

¹Department of Machine Elements and Non-metallic Constructions, Technical University - Sofia, Bulgaria
e-mail: nedpetko@tu-sofia.bg

² Department of Mining Mechanization, University of Mining and Geology "St. Ivan Rilski" - Sofia, Bulgaria
e-mail: ss.ss@abv.bg

Abstract: This paper presents the creation of mathematical model of purpose function for product quantity at operation with cone inertial crusher type KID-300. There are presented the choice of governing factors affecting on the purpose function for product quantity and formulation of purpose function for product quantity. There are experiment and statistical analysis of the experimental results. Results from statistical analysis of product quantity purpose function are presented and analyzed with regression models and 3D diagrams for determination of the influence of governing factors. The results will be used for a future work of functional crushing process optimization and multiple factors optimization of the working process in cone inertial crushers.

Keywords: KID-300, mathematical modeling, statistical analysis, purpose function, quantity

ОЦЕНЯВАНЕ НА СЪОТВЕТСТВИЕТО СПРЯМО ЕВРОПЕЙСКОТО ТЕХНИЧЕСКО ЗАКОНОДАТЕЛСТВО ОТНОСНО НАДЕЖНОСТ, РАБОТОСПОСОБНОСТ, РЕМОНТОПРИГОДНОСТ И БЕЗОПАСНОСТ (RAMS) В ПРОЕКТИ НА ЕС

Гая РАДЕВА Милчо ГЕОРГИЕВ

катедра „Основи и технически средства за конструиране“, Технически университет – София,

e-mail: galya.radeva@gmail.com, mtge@tu-sofia.bg

Резюме: В разработката е засегнато оценяване на съответствието относно надеждност, работоспособност, ремонтпригодност и безопасност (RAMS) спрямо Европейското техническо законодателство в проекти на ЕС.

Цитираните специфични изисквания са неразделна част от тоталния контрол на качеството и са изключително сложни. Поради иновативния им характер и липса на съществена информация, материалът би бил от значителна полза за специалистите в тази област.

Ключови думи: Работоспособност, ремонтпригодност, надеждност, RAMS

ВЪВЕДЕНИЕ

Тъй като системите, продуктите и отношенията между секторите се развиват все повече и стават по-комплексни, RAMS стандартите формират необходимост, която може да намали необходимите ресурси. Тези стандарти са най-добри за секторите на икономиката, които включват съвременни високотехнологични стоки/услуги, като транспорт, космическа индустрия и други, където въпросът за безопасността и прецизността са от особена важност. Анализът е построен върху реална процедура за реална система в европейски проект за високоскоростна железопътна линия Пловдив – Свиленград – турска/гръцка граници на Национална Компания Железопътна Инфраструктура – България.

За електрифицирането на ж.п. линия Пловдив – Свиленград, фаза 1 - участък Крумово - Първомай трябва да се проектира контактна система, включваща като основен елемент единична верижна компенсирана контактна мрежа за система на тока 25 kV/50 Hz и за скорост на движение 200 km/h. По задание мрежата се изпълнява с меден легиран контактен проводник със сечение 120 mm² и бронзово носещо въже 70 mm². Географското разположение на обекта е такова, че определя условия на работа в умерен климат зона N, категория I съгласно БДС 4972-71, надморска височина до 2000 m и климатични параметри за климатичен район II. Характеристиките на RAMS са

зависими от повредите и отказите, които се проявяват вътре в системата на който и да е етап на жизнения цикъл (условия на системата Us), от смущаващите въздействия, на които системата се подлага по време на експлоатацията (условия на експлоатация Ue) и от въздействия, предизвикани по време на техническото обслужване (условия на техническо обслужване Uto).

За да бъдат осъществени изискванията на RAMS, конкретната система трябва:

- да се проектира и изпълнява съгласно БДС EN 50 119-2004 “Железопътна техника. Стационарни съоръжения. Въздушни контактни системи за електрически транспорт” с максимално опростена схема за електрозахранване и секционизиране, позволяващо бързо, лесно и точно намиране и отстраняване на отказите, повредите или аварията;

- да включва елементи удовлетворяващи изискванията за надеждност, ремонтпригодност и дълъг експлоатационен живот при съществуващите експлоатационни и климатични условия, като се прилагат и докаже съответствието с изискванията посочени в Глава 5 на Техническа спецификация ТС-ЖИ. “Подсистема електрозахранване на тягов подвижен състав 25 kV, 50 Hz. Контактна система”, 2006 г;

- количествените стойности на показателите за надеждност, ремонтпригодност и експлоатационна готовност посочени в тази концепция се проверяват по време на гаранционния срок и се поддържат на проектното ниво в процеса на експлоатация за целия жизнен цикъл чрез прилагане на

Глава трета, раздели II, III, IV, V и VI от “Правилник за техническа експлоатация на контактната мрежа 25 kV, 50 Hz”, Министерство на транспорта, 1991 г.

Основен принцип на разработката е произволен Европейски проект (означен “ЭР”) да бъде обхванат от системен подход.

В случая ако U_s , U_e и U_{to} са главните подсистеми на RAMS, които представят обекта, предмет на ЭР, то

$$\mathcal{E}P = RAMS(U_s, U_e, U_{to}) \quad (1)$$

Оттук подсистемите се представят със следните множествени модели:

За условия на системата U_{si} при $(i=1 \div \alpha)$, $\alpha \geq 1$ – краен брой;

$$U_s = [U_{si}] (i=1 \div \alpha) \quad (2)$$

За условия на експлоатация U_{ep} при $(p=1 \div \xi)$; $\xi \geq 1$ – краен брой;

$$U_e = [U_{ep}] (p=1 \div \xi) \quad (3)$$

За условия на техническо обслужване U_{toq} при $(q=1 \div \zeta)$; $\zeta \geq 1$ – краен брой;

$$U_{to} = [U_{toq}] (q=1 \div \zeta) \quad (4)$$

След заместване се получава обобщения модел:

$$RAMS = F\{[U_{si}] (i=1 \div \alpha), [U_{ep}] (p=1 \div \xi), [U_{toq}] (q=1 \div \zeta)\} \quad (5)$$

КОНЦЕПЦИЯ НА RAMS

Всяка концепция на проект по RAMS трябва да цели осигуряване на високо ниво на надеждност, експлоатационна готовност, ремонтпригодност и безопасност (RAMS) на функциониране на определена система в съответствие с изискванията и препоръките на Европейски стандарт, в случая EN 50126 “Спецификация и доказателство на надеждността, експлоатационната готовност, ремонтпригодността и безопасността за използване в ж.п. транспорт” – CENELEC, 1999 с отчитане на предписанията залегнали в Заданието към тръжната документация на конкретен обект. Основните задачи се свеждат до създаване на възможности за:

- Практическо приложение на дефинирани в концепцията показатели за оценка на надеждността, ремонтпригодността и експлоатационната готовност на определена система;
- Използване на елементите от програмата за управление на RAMS в договорната

документация на доставчиците на съоръженията и елементите й;

- Следене на количествените стойности на дефинираните в концепцията показатели за надеждност, ремонтпригодност и експлоатационна готовност на разглежданата система. Количествените стойности на показателите в концепцията би трябвало да подлежат на проверка по време на гаранционния срок на системата и трябва да бъдат се поддържани на проектно ниво в процеса на експлоатация за целия жизнен цикъл чрез прилагане на политиката за техническо обслужване.

СПЕЦИФИКАЦИЯ НА КОЛИЧЕСТВЕНИТЕ СТОЙНОСТИ НА ПОКАЗАТЕЛИТЕ

За количествените стойности на показателите за оценка на RAMS в концепцията се приемат конкретни стойностите съгласно тръжната спецификация, както следва:

- показател за оценка на надеждността – не повече от N откази за конкретен период от време;
- експлоатационна готовност A – дефинирана като (EN 50126, Приложение С, таблица С3).

$$A = \frac{MUT}{MUT + MDT} \quad (6)$$

където: A – техническа експлоатационна готовност; MUT – средно време на изправно състояние за даден календарен срок; MDT – средно време на неизправно състояние за даден календарен срок.

- ремонтпригодност R – средно време за откриване и идентифициране на отказите и за тяхното отстраняване, такова, че да се постигне нивото на показателя за експлоатационна готовност – т.2.4.6 (а);
- безопасност B – не е зададена количествена стойност на показателя за ниво на опасни събития, но се изисква посочването на решения, които да осигуряват, доколкото е приложимо в практиката.

Ако обобщим количествените стойности на показателите за оценка на RAMS за произволния проект ЭР, то те ще бъдат:

За надеждност N_j при $(j=1 \div \beta)$, $\beta \geq 1$ – краен брой

$$N = [N_j] (j=1 \div \beta) \quad (7)$$

За експлоатационна готовност A_m при $(m=1 \div \zeta)$; $\zeta \geq 1$ – краен брой.

$$A = [A_m], (m=1 \div \zeta) \quad (8)$$

За ремонтпригодност Rk при $(k=I \div \delta)$; $\delta \geq I$ – краен брой.

$$R = [Rk], (k=I \div \delta) \quad (9)$$

За безопасност Bl при $(\ell=I \div \gamma)$; $\gamma \geq I$ – краен брой.

$$B = [Bl], (\ell=I \div \gamma) \quad (10)$$

Обединението ще бъде:

$$\mathcal{EP} = RAMS(Nj, Am, Rk, Bl) \quad (11)$$

оттук по заместване

$$RAMS = F\{[Nj](j=I \div \beta), [Am](m=I \div \zeta), [Rk](k=I \div \delta), [Bl](\ell=I \div \gamma)\} \quad (12)$$

НАДЕЖДНОСТ

Целите на надеждността са постигане на изискваната работоспособност на системата за конкретното приложение (контактна мрежа за електрифицирана ж.п. линия). За да се осъществи надеждна система, трябва да бъдат идентифицирани факторите, които влияят на характеристиките на системата, като причините за упражняваните въздействия трябва да се намират под контрол по подобаващ начин. Спецификата на ж.п. контактна мрежа по ж.п. линията Пловдив - Свиленград дава предимство на фактора “условия на системата” Us върху показателя за надеждност (технически или ремонтни причини) в сравнение с влиянието на факторите “условия на техническо обслужване” Uo или “условия на експлоатация” Ue , ако разбира се при проектирането са отчетени правилно утежняващите фактори като: температурни, ветрови, обледенителни и агресивни въздействия на околната среда.

Количествено дейността по профилактиката на контактната система може да се оцени чрез показателя МТТМ (EN 50126, Приложение С, таблица С2) – даващ представа за средната продължителност на техническо обслужване за даден календарен срок, която се определя като:

$$MTTM = \frac{\sum_{i=1}^n t_{iTo}}{\sum_{i=1}^n t_i}$$

където: t_{iTo} – време за извършване на i -тото техническо обслужване; n – брой на техническите обслужвания за даден календарен срок.

Относно произволния проект $\mathcal{EP}$ за МТТМ n при $(n=I \div \lambda)$; $\lambda \geq I$ – краен брой;

$$MTTM = [MTTMn](n=I \div \lambda) \quad (13)$$

БЕЗОПАСНОСТ

Политиката за безопасност на конкретната система изисква посочване на решения, които да осигуряват проблемите на подсистемата Bl , която вече беше дефинирана с (10).

Нивото на вероятност за безопасност не се нормира, но са посочени и трябва да се изпълнят задължителни мерки за предпазване от нещастни случаи съгласно съответните нормативни актове.

ЕКСПЛОАТАЦИОННА ГОТОВНОСТ

Основните насоки на политиката за достигане на целите (зададените стойности на количествени показатели за експлоатационна готовност и надеждност) са отбелязани в т.3, Характеристика на системата, т.4, Надеждност и т.5. Техническо обслужване на тази Техническа спецификация.

Зададената стойност на коефициента на експлоатационна готовност (т.2. Спецификация на зададените количествени стойности на показателите), която е в пряка зависимост от броя на възникналите откази за даден календарен срок (надеждността), може да се докаже единствено от данни получени в реална експлоатация.

По аналогия с коефициента на експлоатационна готовност A , може да се определи и коефициента на техническо използване на системата за същия календарен срок – A_t , като показател, който оценява количествено общата продължителност на изправна работа с отчитане както на престоите за профилактично обслужване на съоръженията, така и за възстановяване на възникнали откази:

$$A_t = \frac{\sum_{i=1}^n t_i}{\sum_{i=1}^n t_i + \sum_{i=1}^n \tau_i + \sum_{i=1}^m t_i}$$

Където $\sum_{i=1}^n t_i$ – сумарно време на изправна работа за даден календарен период.

Относно произволния проект $\mathcal{EP}$ за $A_t b$, където $(b=I \div \psi)$; $\psi \geq I$ – краен брой, множественият модел е, съответно:

$$Am = [Amb](b=I \div \psi) \quad (14)$$

СТРУКТУРА НА ПРОГРАМАТА НА RAMS

Създаването на увереност, че изискванията към RAMS ще бъдат постигнати се облекчава със съставянето на Програма за управление и организация на дейностите насочени към постигане на целите при всички етапи на концепцията в рамките на жизнения цикъл на системата (БДС EN 50126-1999, т.5.2). В стандарта в общ вид, като универсална структура, е показана схемата на жизнения цикъл на сложна система. За разглеждания случай се приема посочената по-долу адаптирана схема, съответстваща на спецификата на конкретната система. Формулират се следните етапи на жизнения цикъл в Програмата за целите на RAMS:

- ☐ Концепция;
 - ☐ Характеристики на системата;
 - ☐ Изисквания към RAMS;
 - ☐ Политика за постигане на целите на RAMS;
 - ☐ Базов и детайлен проект на конкретната система;
 - ☐ Строително-монтажни работи;
 - ☐ Атестация и приемане на системата;
 - ☐ Експлоатация в гаранционен срок;
 - ☐ Оценка на RAMS след наблюдавана експлоатация.
- Първите 4 етапа (концепция, характеристики на системата, изисквания към RAMS, политика за постигане на целите на RAMS) имат фундаментален характер.

МОДЕЛ НА КОЕФИЦИЕНТА НА ЕКСПЛОАТАЦИОННА ГОТОВНОСТ

По своята физическа същност коефициентът на експлоатационна готовност A представлява вероятността конкретната система да е изправна в произволно избран момент от време. Той се определя като отношение на сумарното време на изправна работа $\sum_{i=1}^n t_i$ към сумата от общото време на изправна работа и общото време на престои за възстановяване на възникнали откази $\sum_{i=1}^n \tau_i$ за един и същ календарен срок, т.е.,

$$A_T = \frac{\sum_{i=1}^n t_i}{\sum_{i=1}^n t_i + \sum_{i=1}^n \tau_i},$$

където: n - брой на възникналите откази за дадения календарен срок.

Като се раздели числителя и знаменателя на горното уравнение на броя на възникналите откази „ n ” и като се вземе предвид, че:

$$\frac{\sum_{i=1}^n t_i}{n} = MUT$$

- представлява средно време на изправно състояние на системата за дадения календарен срок;

$$\frac{\sum_{i=1}^n \tau_i}{n} = MDT$$

- представлява средното време на неизправно състояние за дадения календарен срок, се получава зависимостта за коефициента на експлоатационна готовност A във вида посочен в EN 50126, 1999, а именно:

$$A = \frac{MUT}{MUT + MDT}$$

Аналогичен е начинът за изчисляване на стойността на коефициента на техническо използване A_T , за който е необходимо да се знае и сумата на времената на прекъсване на експлоатацията за техническо обслужване (планово-предупредителен ремонт) за същия календарен срок.

За частния случай, когато броя на прекъсванията за техническо обслужване и броя на възникналите откази за разглеждания календарен срок са еднакви, коефициентът на техническо използване може да се представи, за аналогия с A , във вида:

$$A_T = \frac{MUT}{MUT + MDT + MTTM}$$

Относно произволния проект $ЭР$ за A_{Tt} , където $(t=1 \div \omega)$; $\omega \geq 1$ – краен брой, множественият модел е съответно:

$$A_m = [A_{mt}](t=1 \div \omega) \quad (15)$$

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В процеса по разработване на изискванията към спецификацията на системата са въвлечени три страни. Първата страна е Техническият мениджър. В конкретния проект това е НК „ЖИ”. Тясно задължение, съгласно стандартите, е подготовката на техническата спецификация. Много често изпълнението на тази задача се възлага пряко на (или в сътрудничество) индустриални разработчици (производители). Трета страна са наблюдаващите органи (органите по безопасност), които трябва да инспектират изискванията на спецификацията, осигурявайки съответствие

със стандартите. За конкретния проект този орган е Изпълнителна Агенция „Железопътна Администрация“ към Министерството на транспорта, но субектите биха били съответно различни при различни обекти на контрол. Европейската практика показва, че работата по инспектиране се възлага често на независим оценител, който е експерт в съответната приложна област. След приемане на изискванията на техническата спецификация работата се предава на индустриалните разработчици, които правят реализацията на спецификацията в качеството си на доставчик.

Изведените до тук модели позволяват да се формира модела на RAMS за произволния проект ЭР, като обединението ще даде следната зависимост след заместване:

$$RAMS = \{[Usi](i=1 \div \alpha), [Uep](p=1 \div \xi), [Utoq](q=1 \div \zeta), [Nj](j=1 \div \beta), [MTMn](n=1 \div \lambda) \} \quad (12)$$

$$[Am](m=1 \div \zeta), [Amb](b=1 \div \psi), [Amt](t=1 \div \omega), [Rk](k=1 \div \delta), [Bl](\ell=1 \div \gamma).$$

Необходими са изследвания и експерименти, касаещи моделирането на системи, водещи до реални и с практическа стойност резултати. Необходими са сравнителни експерименти между резултатите от аналитичното моделиране и различни реално работещи и използвани в практиката системи в лабораторни условия. Настоящата разработка не претендира за изчерпателност на проблема, но дава насоката на бъдещата работа на областта. (Докладвана ОТСК 2010 г.)

Литература

1. CENELEC, EN 50126: Railway applications – The specification and demonstration of Reliability, Availability, Maintainability and Safety (RAMS). 1998.
2. CENELEC, EN 50128: Railway applications – Communications, signaling and processing systems – Software for railway control and protection systems. 2000.
3. CENELEC, EN 50129: Railway applications – Safety-related electronic systems for signaling. 2002.
4. CENELEC, EN 50159-1/-2: Railway applications – Communication, signaling and processing systems - Safety-related communication in open/closed communication systems. 2001.
5. Тръжни документи – Техническа спецификация „Пловдив - Свиленград Реконструкция и електрификация на жп линията по коридори IV & IX”, ISPA – EIB, Национална компания „Железопътна инфраструктура”, 2004 г.
6. Сандалски Б., М. Сандалски, “Свободно движение и конкурентноспособност на продуктите в Европейския съюз”, Изд. СОФТТРЕЙД, С., 2009.
7. Иванов, Е., Н. Стойчева, Европейските норми в осигурителната техника, Списание “Железопътен транспорт”, стр.37-40, 10 брой, 2004
8. Strategic Rail Research Agenda – Technical Annex, ERRAC, 2002, http://www.errac.org/docs/ERRAC_SRRA_Tech_Annex.pdf
9. <http://europa.eu.int/comm/transport/rail/era/doc/wp2005.pdf>
10. Стойчева, Н., Минчев Б., Предложение за оценка на безопасността на съвременните железопътни системи за управление и контрол, XIX Международна научна конференция “ТРАНСПОРТ 2009”.

CONFORMITY ASSESSMENT IN RESPECT OF THE EUROPEAN TECHNICAL LEGISLATION REGARDING RELIABILITY, AVAILABILITY, MAINTAINABILITY AND SAFETY (RAMS) IN EU PROJECTS

Galya RADEVA Milcho GEORGIEV

Fundamentals of design department, Technical University-Sofia, Bulgaria

galya.radeva@gmail.com, mtge@tu-sofia.bg

Abstract: As far as the systems, products and relationships between the sectors cultivate more and more and become more complex, the RAMS standards form a necessity, which could decrease the necessary resources. These standards are the best the economic standards, including contemporary high-tech goods/services like transport, space industry and others, where the safety and precise issue are of exclusive importance.

The analyses is built on a real procedure of a real system in European project for high speed railway track Plovdiv – Svilengrad – Turkish/Greek border of the National Company Railway Infrastructure – Bulgaria.

The quoted specific requirements are an integral part of the Total Quality Control and are incredibly complicated because of their innovative character and lack of essential information, so this development could be of considerable advantage for this area's specialists.

Key words: Availability, Maintainability, Reliability, RAMS

ИЗБОР НА РАБОТЕН ФЛУИД ЗА НИСКОТЕМПЕРАТУРЕН ДВУФАЗЕН ТЕРМОСИФОН

Димитър КИРОВ¹, Таер МУНИС²

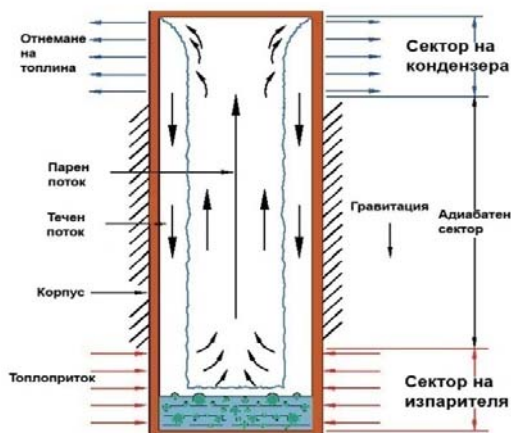
¹катедра „Топлотехника“, Енерго-Машиностроителен Факултет, Технически университет - София, България
e-mail: kirov@ecotop.bg

²катедра „Топлотехника“, Енерго-Машиностроителен Факултет, Технически университет - София, България
e-mail: thaer692004@yahoo.com

Резюме: Изложени са резултати от изследване на термосифони с различни работни флуиди. Описани са критериите за избора на подходящ топлоносител. Най-добри резултати показва термосифон, изработен от медна тръба и запълнен с диетилов етер. Характерно е равномерното разпределение на температурата по дължината на термосифона.

Ключови думи: термосифон, топлоносител, работен флуид, диетилов етер

Термосифонът е херметически затворена тръба, в която се поставя определено количество флуид. В долния край, тръбата се нагрява, течността се преобразува в пара, която се издига нагоре към студения край. При охлаждане парата кондензира и под въздействието на гравитационни сили се стича към горещия край. Скрытата топлина от парообразуването е достатъчно голяма дори при много малка температурна разлика между двата края на термосифона. Това свойство помага на подобна конструкция да има висока ефективна топлопроводимост [1]. Визуално принципна схема на термосифон може да се види на фиг. 1.



фиг.1 Принципна схема на термосифон

За ефективността на всеки термосифон реша-

ваща роля имат следните основни елементи, чийто избор зависи от избрания температурен диапазон:

- конструкция на корпуса;
- вид на работния флуид;
- степен на запълване;

Изборът на подходящ работен флуид зависи от зададения работен температурен интервал на парната фаза. Анализът на различните работни флуиди разгледани в таблица 1. показва, че в приблизителен температурен интервал могат да попаднат няколко работни флуида. Изборът на най-подходящия от тях, за поставената задача, се постига след задълбочен анализ на техните свойства[3]

Табл. 1 Работни флуиди за термосифони

Флуид	Температура на топене, (C°)	Температура на кипене при атмосферно налягане, (C°)	Работен диапазон, (C°)
Хелий	-272	-269	-271/-269
Азот	-210	-196	-203/160
Амоняк	-78	-33	-60/100
Фреон 11	-111	24	-40/120
Пентан	-130	28	-20/120
Фреон 113	-35	48	-10/100
Ацетон	-95	57	0/120
Метанол	-98	64	10/130
ФлутекPP2	-50	76	10/160
Флуид	Температура на топене, (C°)	Температура на кипене при атмосфер-	Работен диапазон, (C°)

		но налягане, (C°)	
Етанол	-112	78	0/130
Хептан	-90	98	0/150
Вода	0	100	30/200
Тулол	-95	110	50/200
ФлутокРР9	-70	160	0/225
Термекс	12	257	150/395
Живак	-39	361	250/650
Цезий	29	670	450/900
Калий	62	774	500/1000
Натрий	98	892	600/1200
Литий	179	1340	1000/1800
Сребро	960	2212	1800/2300

Важни изисквания към работния флуид са:

- съвместимост с материала на корпуса;
- добра термоустойчивост
- възможност да омекря достатъчно корпуса (адхезия на работния флуид към метала на корпуса);
- по възможност да има голяма топлина на фазово превръщане;
- висок коефициент на топлопроводност;
- ниска стойност на вискозитета на течната и парна фаза.

Използването на работния флуид зависи и от термодинамичните свойства, свързани с различните ограничения на топлинния поток в тръбата, които се появяват вследствие на вискозни сили, скорост, капилярни сили, устойчивост на междофазова граница и критичен топлинен поток при мехуресто кипене.

Работната температура на органичните течности е необходимо да бъде под опрделената критична стойност на разпад, за да може да функционира термосифона и топлоносителят да не се разложи (разпадне). Затова е необходима добра термоустойчивост на работните флуиди в избрания работен температурен интервал.

При работата на термосифона върху повърхността на течната фаза действат сили на задържане, породени от междумолекулярното привличане, препятстващи отделянето на всяка една молекула от течната фаза. Това задържане се изменя с промяната на температурата и налягането.

Изискването към работния флуид е да има по-голяма топлина на фазово превръщане, за да може да се пренася по-голямо количество топли-

на с по-малък поток флуид. Така се подобрява ефективността на термосифона. За намаляване на радиалния температурен градиент е необходимо топлопроводността на работния флуид да бъде по-висока.

Ниската стойност на вискозитета на флуида за течната и парната фаза би свело до минимум хидравличното съпротивление на потоците.

Други критерии за избора на флуид са:

- Цена;
- Достъпност ;
- Съвместимост с другите използвани материали.

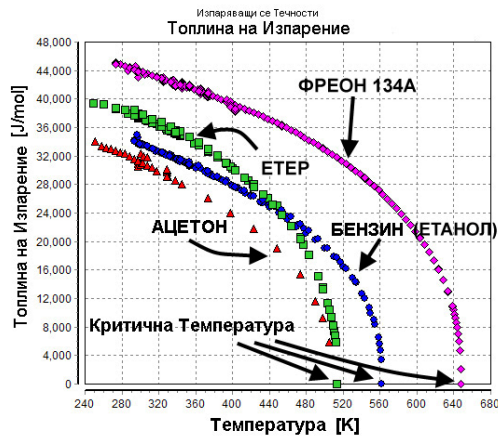
Употребата на работен флуид зависи и от температурния интервал, в режима на който ще работи термосифона. В таблицата „Работни флуиди за топлинни тръби“ се вижда, че при пониска температура за предпочитане са амонякът, ацетонът и алкохолите, но те имат и по-ниско налягане на парите. При средни температури 500К-650К могат да се използват високотемпературни органични топлоносители – термек, деутерм, силиконови течности. Макар те да имат ниски стойности на повърхностно напрежение и топлина на изпарение, предимството им е, че се характеризират с точка, а не с област на кипене. При високи температури се използват течни метали като живак например, който има подходящи термодинамични свойства. Неудобството при него е токсичността и проблеми при омекрянето на стената на корпуса. В зоната на високите температури подходящи работни флуиди са и цезий, калий и натрий, но за температура над 1400К, най-предпочитани са *литий* и *сребро*.

При избора на работен флуид в тази работа се базираме на следните ограничителни условия:

- термосифонът ще се използва като краен отоплителен елемент гравитационно при температури 0°C ÷ 90°C. Следователно, това е нискотемпературен термосифон;
- работният флуид трябва да има приемлива стойност на повърхностно задържане и висок коефициент на топлопроводност;
- топлината (температурата) на фазово превръщане да отговаря на технологичното предназначение на процеса - в случая подово (радиаторно) отопление или слънчева система;

- температура на изпарение (кондензация) трябва да се изследва в широк диапазон, за да се установи оптималната за случая стойност;
- работният флуид трябва да бъде екологичен, достъпен и с ниска цена.

Въз основа на тези описани условия е целесъобразно да изберем за експериментите следните алтернативни работни флуиди – виж графиката на фиг. 2 [2].



фиг. 2 Избор на флуиди

- А. Етанол 95% - температура на изпарение 78°C. Диапазон на функциониране 0°C ÷ 130°C.
- Б. Ацетон - температура на изпарение 57°C. Диапазон на функциониране 0°C ÷ 120°C.
- В. Диетилов етер - температура на изпарение 34°C. Диапазон на функциониране 0°C ÷ 120°C.
- Г. Фреон 134А - температура на изпарение 20°C. Диапазон на функциониране 0°C ÷ 130°C.

Въз основа на изложеното до тук и анализът на параметрите, направен в [4], са проведени серия от експериментални изследвания на специално изработен за целта стенд [5].

Изследвани са три различни термосифона, както следва:

- с меден корпус
- с алуминиев корпус
- с корпус от неръждаема стомана.

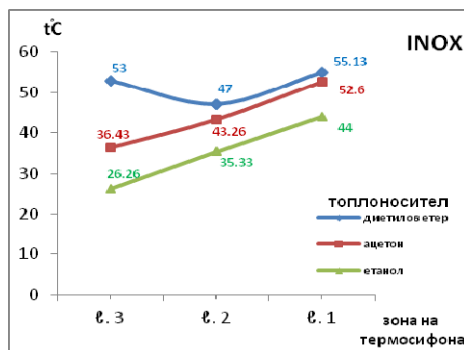
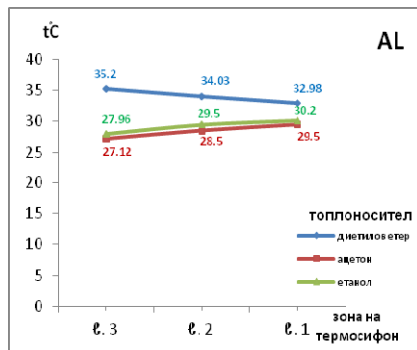
Използвани са три различни работни флуида, както следва: етанол, диетилов етер и ацетон, чиито параметри са показани на фиг.2.

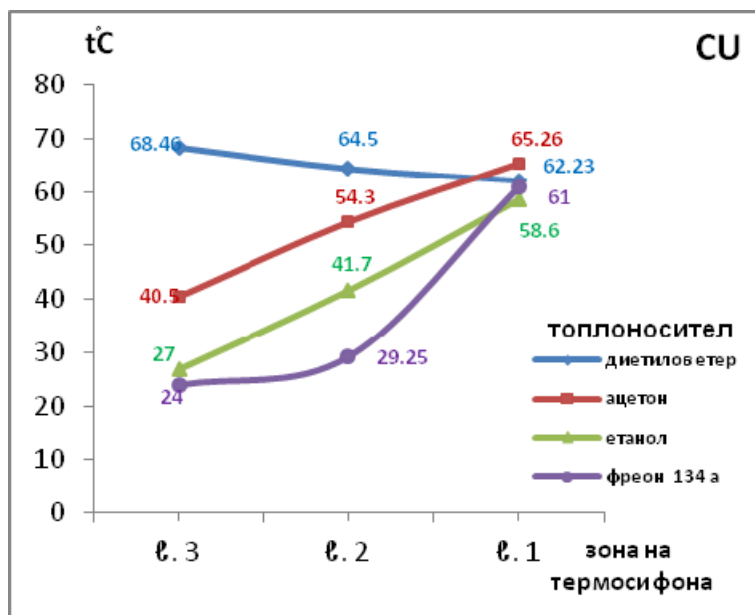
Резултати от изследванията са обобщени на графиките, показани на фиг. 3 и фиг. 4. Категорично е доказано, че за нискотемпературен сифон най-добри резултати показва конструкцията, изработена от мед (CU) с чистота 98% и работен флуид (топлоносител) „диетилов етер“.

Етерите са съединения, притежаващи структурно генетична връзка с алкохолите и фенолите. Функционалната група на етерите е С-О-С (етерна връзка). Химичните им свойства се определят главно от нуклеофилния център - кислородния атом в групата.

Диетиловият етер спада към групата на мастните етери. Представлява безцветна течност, която е леснолетлива и запалима, с характерна миризма. Той е отличен разтворител. В миналото е намирал приложение в анестезията.

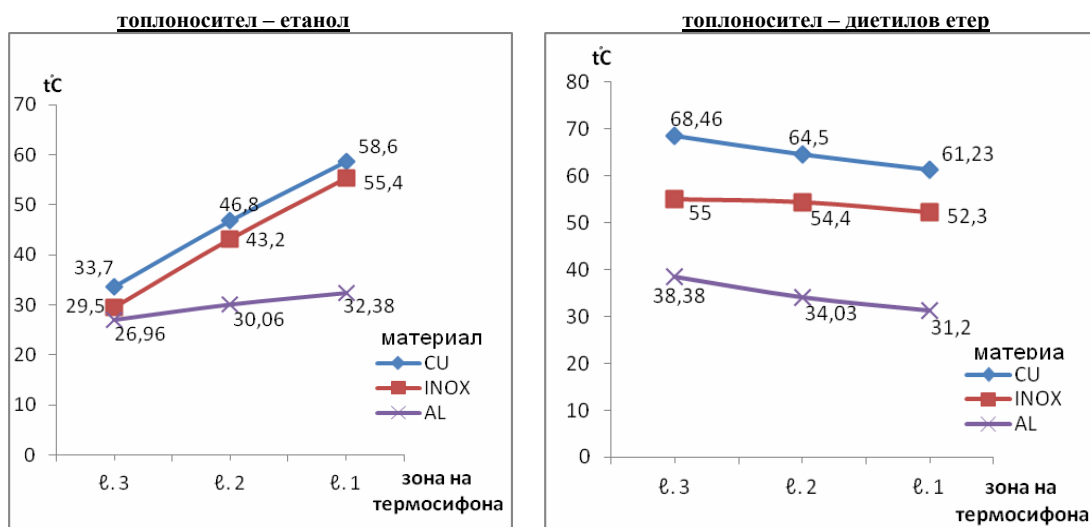
Широко разпространен и с ниска цена, той е напълно достъпен като работен флуид за нискотемпературни двуфазни термосифони.

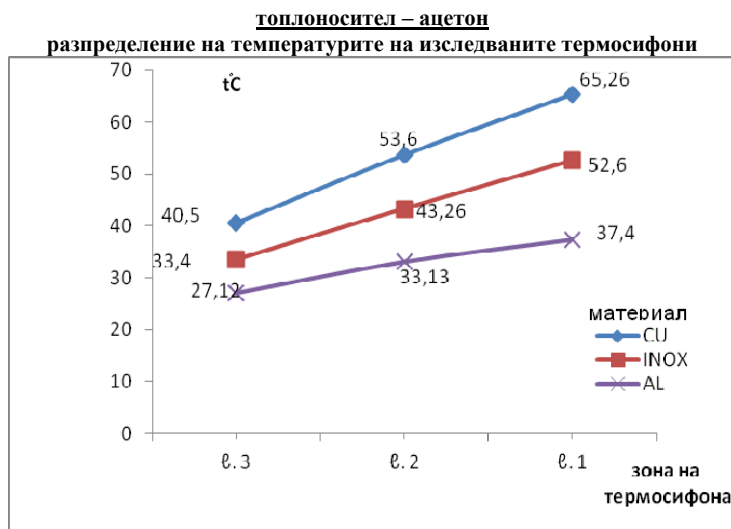




фиг.3 Експериментални резултати за термосифони с различни корпуси

Разпределение на температурите на изследваните термосифони





фиг. 4 Експериментални резултати за термосифони с различен работен флуид

Литература

- [1] Пиоро П. С., И. П. Пиоро Двухфазные термосифоны и их применение в промышленности, изд. „Наукова думка“, Киев, 1988
- [2] Уикипедия – свободна Енциклопедия, „Специфична топлина на изпарение на водата, метанола, бензина и ацетона“, 2014 – графично изображение.
- [3] Fagri Amir – “Heat Pipes: Review, opportunities and challenges”, Department of Mechanical Engineering, University of Connecticut, Storrs, CT 06269,

U.S.A, 2014, published in Frontiers in Heat Pipes (FHP), 5, 1 (2014)

- [4] Киров Д., Т. Мунис – „Анализ на параметрите на различни флуиди, приложими като топлоносители в термосифони“, Научни трудове на Русенски Университет, 2014 г.

- [5] Киров Д., Т. Мунис – „Конструирание и изработване на експериментален стенд за изследване на топлинни тръби“, Научна Конференция на ЕМФ при ТУ – София, 2014 г.

CHOICE OF WORKING FLUID FOR LOW-TEMPERATURE TWO PHASE TERMOSIPHON

Dimitar KIROV¹, Thaer MONES²

¹Department of “Heat and Refrigeration engineering”, Power- and Mechanical engineering faculty, Technical University – Sofia, Bulgaria

e-mail: kirov@ecotop.bg

²Department of “Heat and Refrigeration engineering”, Power- and Mechanical engineering faculty, Technical University – Sofia, Bulgaria

e-mail: thaer692004@yahoo.com

Abstract: There are results made on different termosiphons explored with different working fluids. The criterias are described for choosing the most suitable heatbringers. The best results came from termosiphon made by copper pipe, and filled with diethyl ether. It is typical evenly distribution of the temperature longside the termosiphon.

Key words: termosiphone, heat bringers, working fluid, diethyl ether

КОМПОЗИЦИЯ НА СГЛОБЕНА ЕДЕНИЦА И ВИЗУАЛИЗИРАНЕТО И В WEB СРЕДА

Марията ЯНЧЕВА

катедра „Основи и технически средства на конструирането”, Технически университет - София, България

e-mail: myancheva@tu-sofia.bg

Резюме: Работата е разработена основно с идеята за електронно обучение. Предложена е примерна визуализация в web среда на курсова задача използвана в основен курс на обучение по дисциплината „Основи на конструирането и CAD”-II и “Основи на CAD”. Засяга се моделиране на стандартизирани и нестандартизирани детайли в среда на Solid Works. Композиране на сглобена единица и визуализирането и в web среда.

Ключови думи: електронно обучение, 3D, модели, web, визуализиране

1. ВЪВЕДЕНИЕ

Темповете на развитие на съвременните технологии предлагат все по големи възможности в глобализирания свят. Нуждите, възможностите и търсенията са много по-различни от досегашните методи на работа и обучение. Кое то налага, коригиране на досегашните подходи използвани в образованието, който да отговорят на съвременните изисквания и конкурентоспособност. Използването на възможностите на новите технологии не е само удобство а необходимост, продиктувана от бързите темпове с които се развива глобализирания свят. Досегашните методи на обучение няма как да отговорят на ежедневието на бизнеса. Развитието на технологиите неминуемо засяга всички, поради което е необходим и нов подход на обучение на бъдещите кадри. От друга страна не може да се отхвърлят с лека ръка досегашните методи и средства за постигане на знания и умения. Развитието и усъвършенстването на технологиите, е желателно да се използва като средство за съществуващите методи на обучение. В много случаи, обаче коригирането на този процес е много по-трудно поради спецификата на материала. В други адаптирането към съвременните технологии е възможно да се осъществи много по-лесно. Това е и целта на настоящата работа. Да се адаптира вече съществуваща разработка доказала се във времето към съвременните технологии.

В статията се засяга курсова работа която се използва в дисциплината “Основи на конструирането и CAD” II част. Курсовата задача е част от дисциплината която се води на всички машинни

специалности в основния курс на обучение в Технически Университет-София. Идеята на тази работа е да се усвоят знания и умения за композиция на сглобена единица от стандартизирани и нестандартизирани машинни детайли.

Разработена преди години се е изпълнявала с чертожни средства върху кадастрон. Автора на настоящата статия усъвършенства курсовата работа и я адаптира към съвременните средства за визуализация посредством графични програми, в който вид се използва и в момента. Първоначално е използвана графичната програма AutoCAD а в последствие Solid Works [1].

Един от основните проблеми при усвояването на материала е способността на студентите за тримерното визуализиране на условието на задачата. Така на пръв поглед елементарно задание и решение, се превръща в съществен проблем.

Съвременните технологични инструменти като, смарт телефони и таблети са част от ежедневието ни. Достъпът до интернет е неизменна част от тези устройства, което ни води и до въпроса как най-лесно те могат да бъдат използвани.

2. СРЕДСТВА ЗА ВЪЗМОЖНА РЕАЛИЗАЦИЯ

2.1. Интернет

Интернет е глобална система от взаимосвързани компютърни мрежи, която използва стандартния пакет от протоколи TCP/IP, обслужвайки милиарди потребители по целия свят. Тя представлява мрежа съставена от милиони частни, обществени, академични, търговски и държавни мрежи с от местен до глобален обхват,

свързани помежду си чрез сложна система електронни и оптически мрежови устройства и съоръжения. Интернет служи за пренасяне на голямо разнообразие от информационни ресурси и услуги.

Интернет има мрежовидна структура. Компютрите които са част от Интернет, се наричат хостове /host/. Обменът на информация се осъществява като се предава информация от един компютър на друг. Компютърът, който получава информацията, се нарича клиент, а този който я предоставя – сървър. При обмена на информацията тя може да премине през други компютри. Тяхна работа е да преценят накъде да препращат информацията, така че тя да достигне крайната си цел. Обменът на информация в Интернет се осъществява по определени правила, наречени стандарти. А връзките между компютрите в мрежата се осъществява с помощта на протоколи /съвкупност от стандарти/, всеки един от които отговаря за отделна услуга.

Интернет все по често заменя традиционните средства на информация: книги, списания, вестници, телевизия[6].

2.2. Flux

Flux / Vivaty Studio и Flux/ Vivaty Player са безплатни програми за моделиране на 3D обекти, интегриране на 3D модели създадени в различни програми и инструмент за създаване на триизмерни интерактивни пространства.

Flux Studio и Flux Player поддържат всички 3D формати като WRL, X3DV и X3D, които са стандартни 3D формати в Web 3D.

Flux Player се използва за 3D изображения, докато Flux Studio за редактиране на 3D изображения [5].

Vivaty Studio е много лесен и интуитивен за употреба. Предоставя възможност както за собствено композиране на обекти така и за импортиране на външни 3D файлове и обработката им. При използването на външни файлове е необходимо, те да бъдат запазени от основната графична програма с разширение X3D или VRML [4].

2.3. Web GL

Web GL е уеб стандарт осигуряващ възможност за ползване на 3D графики през уеб браузър без употребата на допълнителни плъгини. Така

наречените плъгини /приставки/ представляват софтуерен компонент, който се инсталира в допълнение към съществуващо софтуерно приложение /компютърна програма/ за да предостави на потребителя допълнителна функционалност, която не е част от базовото приложение. WebGL е базиран върху OpenGL ES2.0 и осигурява интерфейс за програмисти за създаване на 3D обекти. Използва HTML5 елементи и е достъпен посредством Document Object Model интерфейси [5].

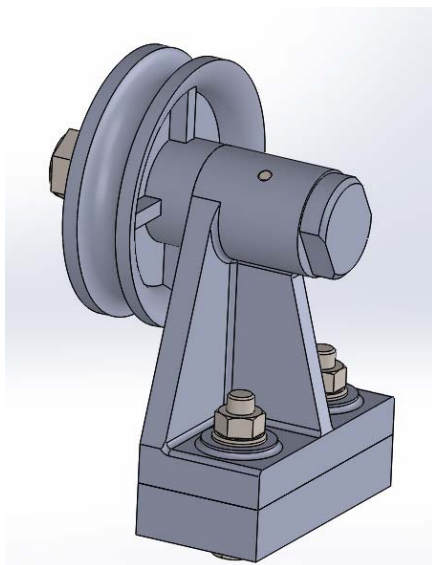
3. ПРИМЕРНА РЕАЛИЗАЦИЯ

В повечето случаи когато говорим за електронно обучение, едно от най-важните условия е достъпността на необходимата информацията. Това се отнася както за самата информация така и за нейното споделяне. Относно това можем да формираме някои основни стъпки необходими за изпълнението и формирането на материала за електронното обучение:

- Максимално кратко и ясно задание;
- Алгоритъм съпътстваща конкретното задание;
- Примерно задание и примерно изпълнение;
- Достъпност на инструментите за изпълнение на задачата;
- Достъпност до средствата за визуализиране на крайния продукт.

Все по-често се използва подход за визуализация в web среда [2,3], който осъществява свободно споделянето на 3D изображения в web пространството. Дава възможност за разглеждането на тримерни изображения без необходимостта от специализиран софтуер, което улеснява достъп до информация. Както и разглеждането, чрез смарт телефони и таблети с връзка към интернет. От подходът който е описан [2,3] се използват само следните етапи:

- разработване на 3D модели с помощта на графична програма / Auto CAD, Solid Works или др. , като е подсигурен достъп до учебни версии/;
- експортиране на файла на създадения 3D модел в VRML формат;
- импортирането на VRML файла в Flux/Vivaty Studio и генериране на X3D файл;



фиг.1 Модел на сглобена единица в среда на SolidWorks

- редактиране на X3D модела в Flux/Vivaty Studio- след избор чрез посочване на определен елемент от модела визуализиран в лявата част на екрана. Този елемент се намира в дървовидната текстова структура на X3D в дясната част и е достъпен за редактиране, ако е необходимо.

- инсталиране на X3D модела на Web страница съгласно изискванията на Flux/Vivaty Player;

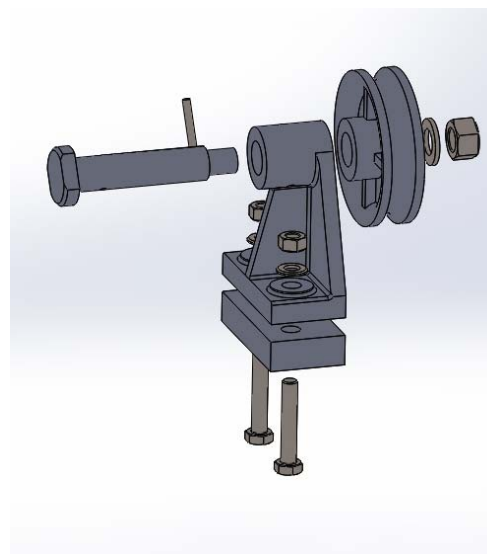
Курсовата задача се изпълнява в CAD среда, като за програмен продукт се използва учебната версия на SolidWorks. Визуализирането на крайния продукт в web среда се предлага да се извърши посредством Vivaty Studio и WebGL който са със свободен достъп.

Адаптирането към електронно обучение на конкретната задача се предлага да се реши както следва:

- 1.1. Максимално кратко и ясно задание - в табличен вид се предоставя на студентите необходимата информация по варианти.

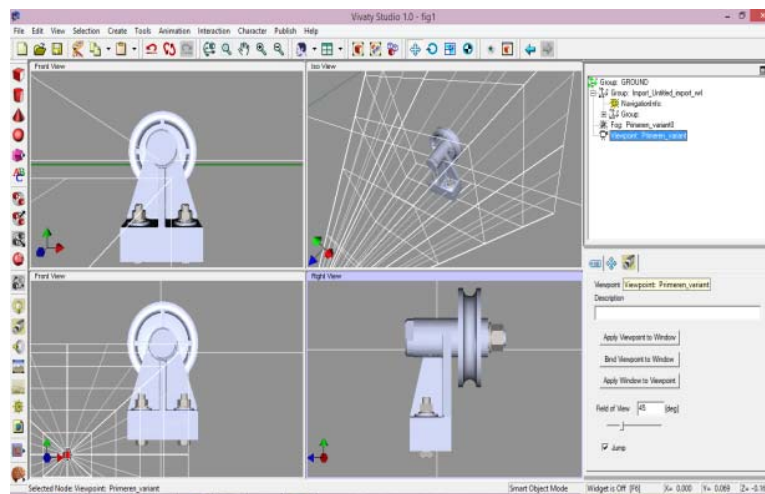
Описани са кои са стандартизираните и кои са нестандартизираните детайли за конкретния вариант.

- 1.2. Задават се конкретни стъпки на последователност на изпълнение.



фиг.2 Модел на детайлите за сглобената единица в среда на SolidWorks – в разглобен вид

- 1.3. Предоставя се конкретно примерно задание и примерно изпълнение на съответното задание /фиг.1 и фиг.2/.
- 1.4. Използва се учебна версия на Solid Works.
- 1.5. Посредством Vivaty Studio се трансформират тримерните изображения във формат подходящ за качване в интернет фиг.3.
- 1.6. Посредством WebGL е възможно споделянето и разглеждането му.



фиг.3Работен прозорец в Vivaty Studio

4. ИЗВОДИ

Представена е примерна реализация подходяща за електронно обучение при курсова задача използвана в обучението на основен курс машинни специалности в Технически Университет-София. Задачата се използва в дисциплините „Основи на конструирането и CAD” и “Основи на CAD”. Адаптирана е към съвременни средства за визуализация, позволяващи свободен достъп без необходимост от специализиран софтуер. Примерната реализация успешно може да се използва за повишаване качеството на обучение в учебния процес. Позволява на студентите достъп до материали необходими за по-успешно усвояване на материала.

Литература

1. **Николова И., Янчева М., Вичева М., Пенчев В.** Ръководство за упражнения и курсова работа по Основи на конструирането и CAD., Софтрейд, 2008
2. **Колева Д.** „Експериментален web –базиран E-learning модул по Основи на конструирането” CAX Technologies, issue N2, December 2014, ISSN1314-9628 pp. 97-103
3. **Туджаров Б., Митрев Р., Колева Д.**”Подход и средства за моделиране, визуализация и симулиране в Web среда” БСИП, бр.16/2012г. стр. 65-69
4. <https://mediamachines.wordpress.com> Посетен на 11.05.2015г.
5. <http://learningwebgl.com> Посетен на 11.05.2015г.
6. <http://www.internetsociety.org> Посетен на 11.05.2015г.

COMPOSITION OF ASSEMBLIES AND VISUALIZE THEIR WEB ENVIRONMENT

Marieta YANCHEVA

Fundamentals and technical means for design department, Technical University-Sofia, Bulgaria

e-mail: myancheva@tu-sofia.bg

Abstract: The work has been developed mainly with the idea of e-learning. An example is proposed of the web visualization environment, used coursework in basic training discipline "Fundamentals of Design and CAD" -II and "Fundamentals of CAD". Impacted modeling of standardized and non-standardized parts in an environment of Solid Works. Composing assembled unit and visualization and the web environment.

Keywords: e-learning, 3D, models, web, visualizing

ОТНОСНО СИЛОВОТО ПРЕДАВАТЕЛНО ОТНОШЕНИЕ НА РЕДУЦИРАЩА ЛОСТОВА СИСТЕМА НА ВЕЗНА ТИП ВЦ

Валентин ИВАНОВ

катедра „Прецизна техника и уредостроене“, Технически университет - София, България
e-mail: vgi@tu-sofia.bg

Резюме: Лостовите везни намират широко приложение в много области на човешката дейност. Работата описва изследване влиянието на определен брой параметри върху предавателното отношение на редуциращата лостова система на везна тип ВЦ. Показано е въздействието на тези параметри върху факторите определящи предавателното отношение на везната. Резултатите са дадени в табличен и графичен вид за по-голяма яснота.

Ключови думи: везна, редуцираща лостова система, измерване на маса

1. ВЪВЕДЕНИЕ

Понятието “маса” е въведено от Нютон като величина, характеризираща количеството вещество в даден обект. Масата е скаларна величина. Единицата за маса в SI е kg [2].

Уредите за измерване на маса се наричат везни. Тъй като преобладаващата част от везните работят на тегловен принцип, често наричат всички уреди за измерване на маса теглоизмервателни. Във връзка с това трябва да се прави ясна разлика между маса и тегло [1]. Теглото е сила и се измерва в N. Като векторна величина, теглото освен големина има направление (посока) и приложна точка. Силата, с която даден обект действа на опората си, се нарича тегло G' , а силата с която обектът се стреми да падне на Земята, се нарича сила на тежестта G . Обикновено се приема, че $G' = G$, но това е вярно само при покой или равномерно праволинейно движение. При движение с ускорение $G' \neq G$ и дори може да се постигне $G' = 0$ (безтегловност). В рамките на Земята теглото не е постоянно, тъй като земното ускорение g е функция както на географската ширина, така и на надморската височина (зависи от отдалечеността на точката от центъра на Земята). За нормална стойност на g е приета стойността $g_n = 9.80665$ за средна географска ширина. В рамките на България земното ускорение варира от 9.8026 до 9.8045 $m.s^{-2}$. На всеки километър издигане, материалните обекти олекват с около 0.03 %. Освен това във въздушна

среда, поради архимедовите аеростатични сили, теглото (но не и силата на тежестта) намалява с $\Delta G = G \cdot \rho_v / \rho_{об}$, където ρ_v и $\rho_{об}$ са плътностите на въздуха и на обекта. При материали с малка плътност изменението на теглото е значително и трябва да се взема предвид при точни измервания.

2. РЕДУЦИРАЩА ЛОСТОВА СИСТЕМА НА ВЕЗНИТЕ

В практиката, за измерване на маса, най-разпространени са уредите функциониращи на основата на първата разновидност на тегловния принцип – лостовите везни. Те се разделят на две големи групи – кобилични и квадрантни.

Според областите в които се използват, везните се разделят на лабораторни, с общо предназначение, технологични и специални.

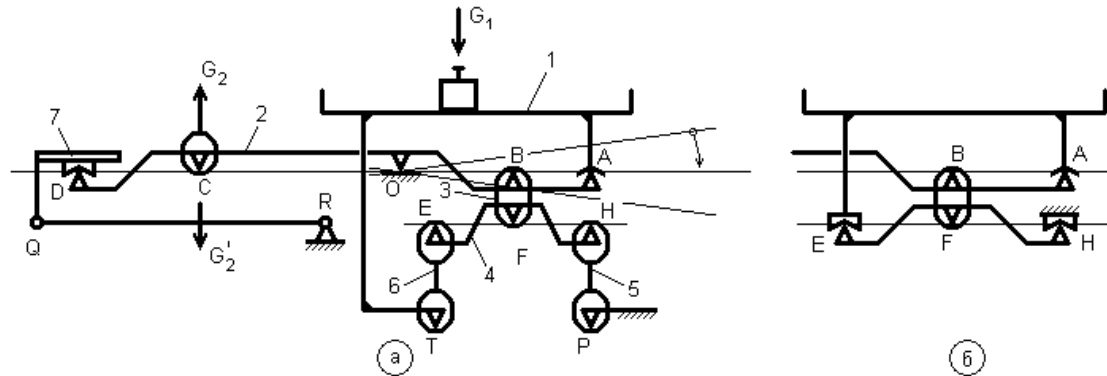
Голяма част от везните имат в схемата си машабен преобразувател, който намалява (редуцира) теглото на измерваната маса. Той се изпълнява от последователно свързани лостове от I и II род, които образуват редуцираща лостова система (РЛС). В някои конструкции РЛС изпълнява и спомагателни функции, свързани с осигуряване на независимост на показанието на уреда от положението на товара [1].

Основна характеристика на РЛС е нейното силово предавателно отношение, което в идеалния случай е константа.

Принципната схема на РЛС на везна тип везна циферблатна (ВЦ-10) (без квадрантния ме-

ханизъм) е показана на фиг. 1. Блюдото 1 чрез призмата А лежи върху главния лост 2, а чрез призмата Т, обичата 6 и призмата Е опира в спомагателния лост 4, който е свързан към основата чрез призмата Н, обичата 5 и призмата Р. Чрез призмите В и F и обичата 3 лостове 2 и 4 са свързани помежду си. Призмата С на лоста 2

свързва системата с квадрантния измервателен механизъм. Върху двойката призми D е поставена платформата 7, която носи набор теглилки за промяна на обхвата на скалата. Положението на платформата 7 се поддържа чрез паралелограмния механизъм ODQR, изпълнен в точки Q и R с призмени връзки с опростена конструкция.



фиг. 1 Принципно схема на РЛС на везна тип ВЦ

Лостове 2 и 4 и техните връзки образуват подплатформена система тип “Беранже”, която подобно на паралелограмния механизъм осигурява независимост на показанията от положението на товара върху блюдото 1. При изпълнение на равенството $OA/OB = HE/HF$, силовият ефект на товара върху лоста 2 е равен на този при прилагане на товара изцяло в т. А. Чрез обичите 5 и 6 и призмите Р и Т се намалява наклона на съединителния елемент между 3 и 4, с което се постига почти постоянно предавателно отношение на РЛС. При показаното на фиг. 1б (без обичите 5 и 6) изпълнение се получава предавателно отношение, което зависи от положението на лостове в системата.

За да се намали влиянието на положението на лостове върху предавателното отношение, за главния лост 2 се осигурява работна зона, разположена симетрично спрямо начертаното (номиналното) положение на фиг. 1а. Това означава, че в За да се изключи влиянието на началното натоварване е необходимо да се определи за същото положение на РЛС и изходящата сила при ненатоварено блюдо (Начално натоварване) G_2' , която

границите на обхвата на уреда, лостът 2 се премества от горно (0 по скалата) положение към долно (максимално показание по скалата) положение, както е показано на фигурата.

Началното натоварване G_n (при нулев начален товар) се създава от собствените тегла на блюдото и лостове. Тъй като последните са статично уравновесени, те действат като махало (квадрант), поради което при изменение на положението на системата се получава и изменение на изходната сила от действието на началното натоварване. При работа на везната РЛС заема различни положения, обусловени от положението на квадрантния механизъм.

За да се определи предавателното отношение при дадено положение на системата е необходимо върху блюдото да се постави съответен товар G_1 (теглилка с маса m_1) и да се измери съответната изходяща сила G_2 (за конкретната схема насочена нагоре).

при ВЦ 10 е насочена надолу.

Тогава резултантната сила в т. С, която се измерва при поставена теглилка върху блюдото е: $Q = G_2' - G_2$.

За силовото предавателно отношение може да се запише изразът:

$$i = \frac{G_1}{G_2} = \frac{G_1}{G_2 - Q}. \quad (1)$$

Силата G_2' действа надолу и е по-голяма от Q . Разликата $G_2' - Q$ е големината на редуцираната в РЛС входна сила G_1 .

Стойността на i може да се определи и като отношение на измерените дължини на рамената ОС и ОА, а именно:

$$i = \frac{OC}{OA}. \quad (2)$$

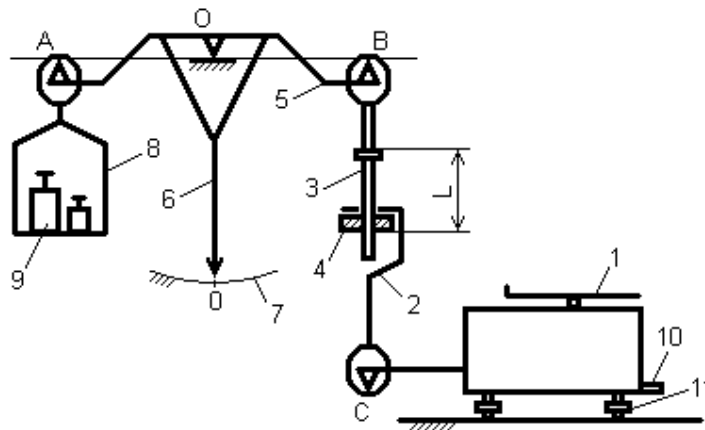
Връзката между (1) и (2) следва от уравнението за равновесие на лост 2.

3. ОПИТНА УСТАНОВКА

На фиг.2 е показана схемата на установката. За

да се измери изходната сила G_2 на РЛС се използва равнораменна кобилична техническа везна Т 500. Връзката между везните се осъществява чрез елементите 2 и 3, краищата на които чрез обичи се свързват с призмите С и В. Елементът 3 представлява винт, върху който се навива гайката 4, чрез която се задават различните положения на изследваната РЛС. Размерът L се измерва с шублер. На лявото рамо на кобилищата 5 е закрепено блюдото 8, върху което се поставят теглилките 9, чрез които се измерва изходната сила.

Измерването се извършва като се поставят или снемат теглилки (грамови и милиграмови) докато стрелката 6 попадне точно върху нулевата отметка на скалата 7. Основата на везната ВЦ се хоризонтира по показанията на нивелира 10 чрез регулируемите крачета 11. При определяне на предавателното отношение i върху блюдото 1 се поставя теглилка с маса $m_1 = 200$ g.



фиг. 2 Схемa на експерименталната установка

От уравненията за равновесие следва:

$$(G_H + G_I) = Q \quad (3)$$

$$G_9 \cdot OA = OB \cdot Q \quad (4)$$

Тъй като $OA = OB$ и след съкращаване с g от (3) и (4) следва:

За началния товар се получава съответно:

$$m'_{изх} = m'i = m'_9 + m_{AB}, \quad (7)$$

където m' се получава от собственото тегло на елементите на РЛС и нейната големина не е известна.

$$(m' + m_1)i = m_9 = mQ \quad (5)$$

Масите на елементите, окачени в т. В и т. А не са равни, поради което уравнение (5) трябва да се коригира с тяхната разлика $m_A - m_B = m_{AB}$. Тогава

$$mQ = (m' + m_1)i = m_9 + m_{AB}. \quad (6)$$

Като се вземат предвид уравненията от (3) до (7), за (1) се получава:

$$i = \frac{m_1}{m'_9 - m_9}. \quad (8)$$

Данни за установката

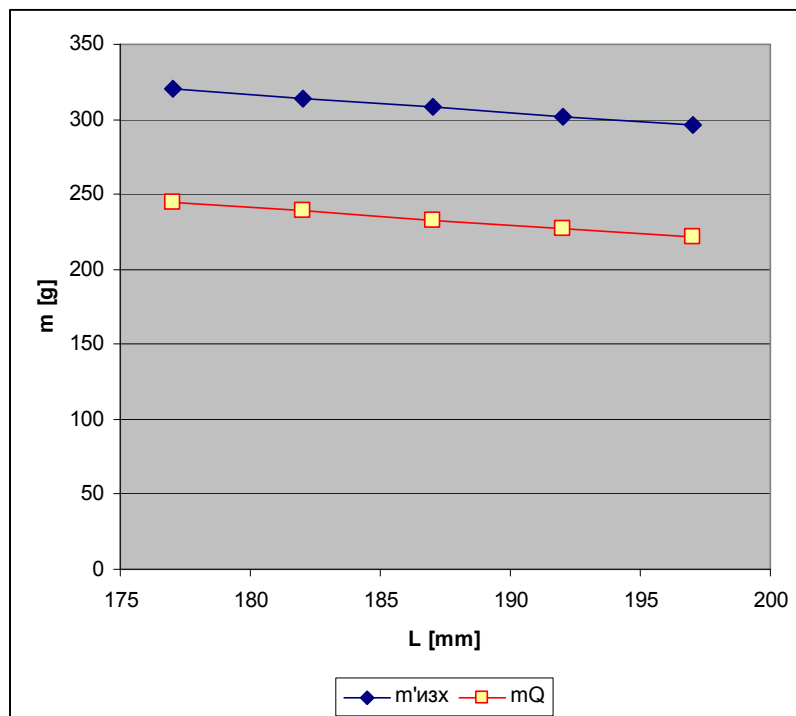
$L_{\text{ном}} = 177 \text{ mm}$ (размерът L при номинално положение на РЛС); $m_A = 173,5 \text{ g}$; $m_B = 113,4 \text{ g}$; $m_I = 200 \text{ g}$.

Резултатите от проведените експерименти са дадени в табл.1 (Експериментите са проведени по десет пъти, като числените резултати са усреднени.).

3. ЕКСПЕРИМЕНТАЛНИ РЕЗУЛТАТИ

табл.1 Резултати от проведените експерименти

№	L [mm]	m'_g [g]	m_g [g]	$m'_{\text{изх}} = m'_g + m_{AB}$ [g]	$m_Q = m_g + m_{AB}$ [g]	$m'_g - m_g$ [g]	i -
1	177	260	185	320,1	245,1	75	2,67
2	182	253,5	179	313,6	239,1	74,5	2,68
3	187	248	173	308,1	233,1	75	2,67
4	192	242	167,5	302,1	227,6	74,5	2,68
5	197	236,5	161,5	296,6	221,6	75	2,67



фиг.3 Графични зависимости на началния товар $m'_{\text{изх}}$ и изходящия товар m_Q от положението на РЛС

Графичното изображение изразяващо зависимости на началния товар $m'_{\text{изх}}$ и изходящия товар m_Q от положението на РЛС е дадено на фиг.3. Забелязва се, че характеристиките са линейни т.е. влиянието на положението на РЛС

върху изходящата сила е с линейна зависимост. Предавателното съотношение се получава с приблизително постоянна стойност, което е близко до идеалния случай, която трябва да има везната.

Литература

1. **Троянов, Б.** Уреди за измерване на физико-механични величини. ПБ на ТУ, София, 1989.
2. International Vocabulary of Metrology (VIM3), ISO, 2008.

**ABOUT THE FORCE TRANSMISSION RATIO OF REDUCER LEVER SYSTEM
OF SCALE TYPE VC**

Valentin IVANOV

Department of precision engineering and measurement instruments, Technical University-Sofia, Bulgaria
e-mail: vgi@tu-sofia.bg

Abstract: Lever scales find wide implemented in many areas of human activity. This work describes the investigation of the influence of a number of parameters on the transmission ratio in the reducer lever system of scales type VC. It is shown the impact of these parameters on the factors determining the transmission ratio of the scale. The results are presented in tabular and graphic form for clarity.

Keywords: scale, reducer lever system, mass measurement

ВЛИЯНИЕ НА СТЕПЕНТА НА ЗАПЪЛВАНЕ С РАБОТЕН ФЛУИД ВЪРХУ ФУНКЦИОНИРАНЕТО НА НИСКОТЕМПЕРАТУРЕН ДВУФАЗЕН ТЕРМОСИФОН

Димитър КИРОВ¹ Таер МУНИС²

¹ катедра „Топлотехника“, Енерго-Машиностроителен Факултет, Технически университет - София, България
e-mail: kirov@ecotop.bg

² катедра „Топлотехника“, Енерго-Машиностроителен Факултет, Технически университет - София, България
e-mail: taer692004@yahoo.com

Резюме: Изложени са финалните резултати от експериментално изследване на термосифони с различна степен на запълване. Най-добри резултати показва меден термосифон с топлоносител „диетилов етер“ и степен на запълване 50%.

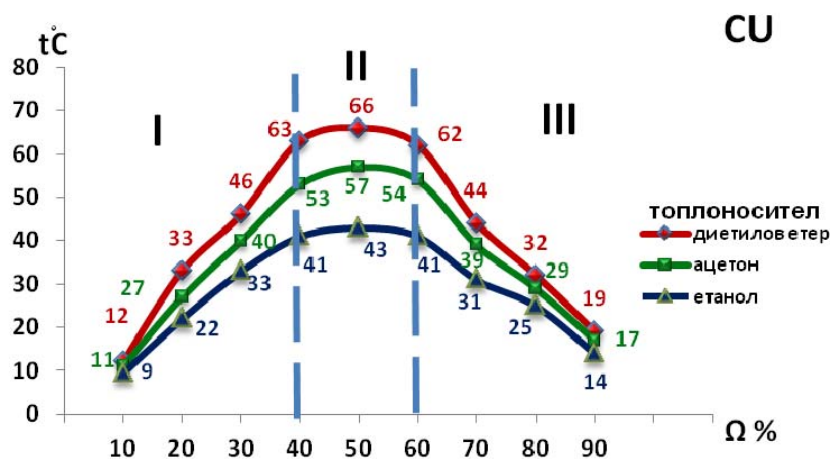
Ключови думи: термосифон; степен на запълване; диетилов етер.

Целта на това изследване е установяването на препоръчителна стойност на запълването с работен флуид на термосифони така, че да имат максимална повърхностна температура, респективно максимално топлопренасяне. От значение е и равномерното загряване по дължината на термосифона.

Изследването е проведено върху действителни конструкции на термосифони по параметрите описани в [3]. Използван е универ-

сален експериментален стенд, описан в [4].

Термосифонът е изработен от мед (Cu) с чистота 98%. Дължината му е 2100 mm. За да се получи желаният гравитационен ефект, наклонът на тръбата е фиксиран на 5/1000. Избраният работен флуид е диетилов етер от групата на мастните етери с температура на изпарение 34°C. Проведени са експерименти със седем (7) степени на запълване от 10 % до 90 % през 10 %.



фиг.1 Резултати за термосифон с диаметър 20mm

На графиката на фиг.1 се открояват три характерни участъка:

I участък - степеня на запълване е ниска за този термосифон. След като работният флуид се

изпари, парите не успяват да кондензират и да се върнат в изпарителя за втори цикъл. Топлиният поток е недостатъчен и нестабилен, а повърхностната температура е ниска и варира в широки

граници. Следователно, изводът е - недостатъчно количество работен флуид. Парната фаза е с малък обем и не успява да осигури достатъчно количество течност за стабилен, постоянен процес на изпарение.

II участък - условно хоризонтален, с максимална температура и максимален пренос на топлина. Температурата по повърхността на тръбата е изравнена, стабилна и постоянна. Процесите на изпарение и кондензация са стабилни и равновесни. Течната и парната фаза са в постоянно равновесие.

III участък - степента на запълване е твърде висока. Преобладава течната фаза, а парният обем е в горната част на тръбата. Нарушен е баланса на двуфазната система. По-голямата част от обема на термосифона е зает от течност, която пречи за оползотворяване на скритата топлина от кондензация. Термосифонът е неравномерно загрят с подтисната конвекция и с ограничен пренос на топлина.

Ясно личи, че двуфазният нискотемпературен термосифон трябва да е запълнен с 50% от вътрешния си обем, като в студено състояние работният флуид да се събира изцяло в изпарителния резервоар.

Следователно, всички термосифони от изследвания тип трябва да имат равни части вътрешен обем – 50% в изпарителя и 50% в кондензатора. При конструирането на произволен нискотемпературен термосифон трябва да се спазва правилото 50/50, независимо от диаметъра и дължината на тръбния елемент.

Литература

- [1] **Пиоро П. С., И. П. Пиоро** „Двухфазные термосифоны и их применение в промышленности”, изд. „Наукова думка”, Киев, 1988
- [2] **Fagri Amir** Heat Pipes: Review, opportunities and challenges, Department of Mechanical Engineering, University of Connecticut, Storrs, CT 06269, U.S.A, 2014, published in *Frontiers in Heat Pipes (FHP)*, 5, 1 (2014)
- [3] **Киров Д., Т. Мунис** Анализ на параметрите на различни флуиди, приложими като топлоносители в термосифони, Научни трудове на Русенски Университет, 2014 г.
- [4] **Киров Д., Т. Мунис** Конструиране и изработване на експериментален стенд за изследване на топлинни тръби, Научна Конференция на ЕМФ при ТУ – София, 2014 г.

INFLUENCE OF THE LEVEL OF FILLING WITH WORKING FLUID OVER FUNCTIONING OF LOW-TEMPERATURE TWO FASE TERMOSIPHON

Dimitar KIROV¹, Thaer MONES²

¹Department of “Heat and Refrigeration engineering”, Power- and Mechanical engineering faculty, Technical University – Sofia, Bulgaria

e-mail: kirov@ecotop.bg

²Department of “Heat and Refrigeration engineering”, Power- and Mechanical engineering faculty, Technical University – Sofia, Bulgaria

e-mail: thaer692004@yahoo.com

Abstract: The final results are shown of the experimental treatment of thermosifons with different level of filling. The best results are shown by the copper thermosiphon with heat bringer diethyl ether and 50% level of fillement.

Key words: thermosiphone, level of fillement , diethyl ether

ПРОСТРАНСТВЕНИ ПРИНУДЕНИ ТРЕПТЕНИЯ НА АВТОМОБИЛ С КОЛЕСНА ФОРМУЛА 8x8, ПОРОДЕНИ ОТ РАБОТАТА НА ДВИГАТЕЛЯ С ВЪТРЕШНО ГОРЕНЕ

Деян ЖЕЛЕВ

катедра „Механика”, Технически университет - София, филиал Пловдив, България
e-mail: hidro_eood@abv.bg

Резюме: В тази статия е представено изследване на пространствените принудени, породени от работата на двигател с вътрешно горене, малки трептения около устойчиво равновесно положение на автомобил с колесна формула 8x8. За изследване на пространствените принудени трептения на автомобила е създаден динамичен модел. Последният е съставен от единадесет идеално твърди тела свързани по между си с холономни връзки с двадесет и една степени на свобода. Определени са обобщените сили от газовите сили и моменти на сили, на двигател с вътрешно горене, и от инерционните сили на неуравновесените движещи се маси на двигателя. Изведена е система свързани диференциални уравнения на принудените, от работата на двигателя с вътрешно горене, малки трептения около устойчиво равновесно положение на автомобила. Представено е аналитично решение в матрична форма. За три обобщени координати са представени резултати от числено решение с параметри на реален двусосен автомобил с висока проходимост.

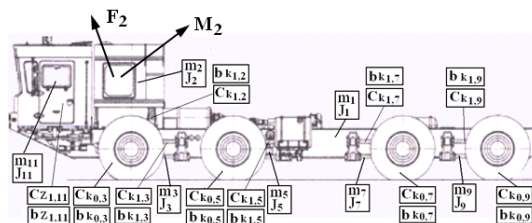
Ключови думи: Пространствени принудени трептения, автомобил с колесна формула 8x8, двигатели с вътрешно горене.

1. УВОД

В достъпната литература няма трудове, които разглеждат принудените, от работата на двигател с вътрешно горене (ДВГ), трептения на автомобил с колесна формула 8x8 в пространството. Тъй като главният вектор F_2 - (фиг.1) и главният момент M_2 на смущаващите сили са разположени произволно в пространство [1, 2, 3], целта на настоящата работа е да даде решение на тази пространствена задача.

2. ДИНАМИЧЕН МОДЕЛ НА АВТОМОБИЛ С КОЛЕСНА ФОРМУЛА 8x8

На фиг. 1 е представен динамичният модел (ДМ) на автомобил с колесна формула 8x8. В ДМ са включени 11 тела на автомобила. Те се разглеждат като идеално твърди тела. Последните са свързани по между си с кинематични двоици и с еластични и демпфиращи елементи. ДМ е с 21 степени на свобода, на която векторът на обобщените координати е записан във вида [3, 5, 6, 7]:



работното вещество в цилиндъра и в картера на ДВГ; инерционните сили от възвратно - постъпателно, равнинно и ротационно движещите се маси, и от неуравновесените движещи се маси [1]. За удобство силите се представят във функция на ъгъла на завъртане на коляновия вал α и се разглеждат за един работен цикъл на ДВГ. При четиритактовите ДВГ един работен цикъл се извършва за две завъртания на коляновия вал. Смущаващата сила F_2 на ДВГ е равна на [1]:

$$F_2 = Re(\gamma_{F2} \sum F_{k2} e^{ik\alpha}), \quad k=1, \dots, n \quad (2)$$

където: F_{k2} - вектор на амплитудата на k -тия хармоник; γ_{F2} - коефициент; $k = \frac{s \cdot j}{2}$ s - брой на цилиндри на ДВГ; $j = 1, 2, \dots, n$.

Векторът на смущаващата сила се проектира върху координатите на правоъгълна Декартова координатна система и записът му в матричен вид е от вида [1]:

$$F_2 = [F_{2x} \quad F_{2y} \quad F_{2z}]^T \quad (3)$$

Смущаващият момент от газовете сили M_r^* , разложен в ред на Фурие, е от вида:

$$\begin{aligned} M_r^*(\alpha, \dot{\alpha}) &= M_0^*(\dot{\alpha}) + M_1^* \cdot \sin(\alpha + \varphi_1) + \\ &+ M_2^* \cdot \sin(\alpha + \varphi_2) + \dots = \\ &= M_0^* + \sum M_k^* \cdot \sin(k \cdot \alpha + \varphi_k), \quad k = 1, \dots, \infty \end{aligned} \quad (4)$$

Смущаващият момент M_2 на ДВГ е от вида:

$$\begin{aligned} M_2 &= Re(\gamma_{M2} \sum M_{k2} e^{ik\alpha}); \quad k = 0, \dots, n; \\ M_0^* &= M_0^*(\dot{\alpha}) \end{aligned} \quad (5)$$

където M_{k2} е вектор на амплитудата на k -тия хармоник, γ_{M2} е коефициент.

Векторът на смущаващия момент се проектира върху координатите на правоъгълна Декартова координатна система и записът му в матричен вид е от вида [4]:

$$M_2 = [M_{2,x} \quad M_{2,y} \quad M_{2,z}]^T \quad (6)$$

4. ОБОБЩЕНИ СИЛИ

Принудените пространствени трептения на автомобили се изследват, като се отчита смущаващото действие на силите и моментите от

работата на ДВГ [4, 5, 6]. На фиг. 2 е показано свободно тяло в пространството, с действаща върху него сила

$$F_i = [F_{ix} \quad F_{iy} \quad F_{iz}]^T \quad (7)$$

и момент на двоица сили

$$M_i = [M_{ix} \quad M_{iy} \quad M_{iz}]^T \quad (8)$$

с вектор R_{Pi}^0 на приложената точка P_i на силата F_i

$$R_{Pi}^0 = R_i^0 + U_i^0 \cdot r_{Pi} \quad (9)$$

Виртуалната работа на силата и на момента на сила се дефинира с уравнението

$$\delta W_e = F_i^T \cdot \delta R_{Pi}^0 + M_i^T \cdot \delta \theta \quad (10)$$

където

$$\delta R_{Pi}^0 = \delta R_i^0 - U_i^0 \cdot \tilde{r}_{Pi} \cdot U_i^{\Omega 0} \cdot \delta \theta \quad (11)$$

$$\delta \theta = [\delta \theta_1 \quad \delta \theta_2 \quad \delta \theta_3]^T \quad (12)$$

$U_i^{\Omega 0}$ е дефинирана в [1].

Като с (15) се замести в (14), за виртуалната работа на силата и на момента, действащи на тялото, се получава изразът:

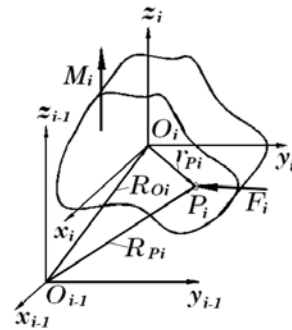
$$\begin{aligned} \delta W_e &= F_i^T \cdot \delta R_i^0 - F_i^T \cdot \tilde{r}_{Pi} \cdot U_i^{\Omega 0} \cdot \delta \theta + M_i^T \cdot U_i^{\Omega 0} \cdot \delta \theta = \\ &= Q_F \cdot \delta R_i^0 + Q_M \cdot \delta \theta \end{aligned} \quad (13)$$

От това уравнение се определят обобщените сили:

$$\begin{aligned} Q_F &= F_i^T \\ Q_M(F, M_i) &= U_i^{\Omega 0 T} \cdot (\tilde{r}_{Pi}^{0 T} \cdot F_i + M_i) \end{aligned} \quad (14)$$

Обобщените сили на ДВГ:

$$\begin{aligned} Q_{F2} &= F_2^{*T} \\ Q_{M2} &= U_2^{\Omega 0 T} \cdot (\tilde{r}_{P2}^{0 T} \cdot F_2^* + M_2^*) \end{aligned} \quad (15)$$



Фиг. 2 Схема на тяло с приложени върху него главен вектор на сила и главен момент на сила [2]

5. ДИФЕРЕНЦИАЛНИ УРАВНЕНИЯ НА ПРИНУДИЕНИТЕ ТРЕПТЕНИЯ НА АВТОМОБИЛ С КОЛЕСНА ФОРМУЛА 8x8, ПОРОДЕНИ ОТ РАБОТАТА НА ДВГ

При малки трептения около устойчиво равновесно положение системата диференциални уравнения придобива следния вид:

$$\mathbf{M}_{(21 \times 21)} \ddot{\mathbf{q}}_{(21 \times 1)} + \mathbf{B}_{(21 \times 21)} \dot{\mathbf{q}}_{(21 \times 1)} + \mathbf{C}_{(21 \times 21)} \mathbf{q}_{(21 \times 1)} = \mathbf{Q} \quad (16)$$

където:

$\mathbf{M}_{(21 \times 21)}$, $\mathbf{C}_{(21 \times 21)}$ са матрици съответно на масите и на еластичните коефициенти на механичната система, дефинирани в [4];

$\mathbf{B}_{(21 \times 21)}$ е матрица на демпиращите свойства на механичната система, дефинирана в [5];

$\mathbf{Q}$ е смущаваща обобщена сила.

Векторът на обобщената смущаваща сила $\mathbf{Q}$ е от вида:

$$\mathbf{Q} = \begin{bmatrix} [0]_{(6 \times 1)}^T & [r_{F2} \cdot \mathbf{F}_2^*]_{(3 \times 1)}^T \\ [\gamma_{M2} \cdot \mathbf{M}_2^*]_{(3 \times 1)}^T & [0]_{(9 \times 1)}^T \end{bmatrix} \quad (17)$$

Решението на системата свързани диференциални уравнения (16) при начални условия $t = 0$, $\mathbf{q}(0) = \mathbf{q}_0$, $\dot{\mathbf{q}}(0) = \dot{\mathbf{q}}_0$ има вида:

$$\begin{aligned} \mathbf{q}(t) = & \sum_{r=1}^{21} \frac{2}{g_r^2 + h_r^2} \cdot \left[\mathbf{G}_r \cdot \mathbf{M} \cdot \dot{\mathbf{q}}(0) + \begin{pmatrix} -\alpha_r \cdot \mathbf{G}_r \cdot \mathbf{M} + \\ \beta_r \cdot \mathbf{H}_r \cdot \mathbf{M} + \\ \mathbf{G}_r \cdot \mathbf{B} \end{pmatrix} \cdot \mathbf{q}(0) \right] \cdot \\ & e^{-\alpha_r t} \cdot \cos \beta_r t + \\ & + \sum_{r=1}^{21} \frac{2}{g_r^2 + h_r^2} \cdot \left[\mathbf{H}_r \cdot \mathbf{M} \cdot \dot{\mathbf{q}}(0) + \begin{pmatrix} -\alpha_r \cdot \mathbf{H}_r \cdot \mathbf{M} - \\ \beta_r \cdot \mathbf{G}_r \cdot \mathbf{M} + \\ \mathbf{H}_r \cdot \mathbf{B} \end{pmatrix} \cdot \mathbf{q}(0) \right] \cdot \\ & e^{-\alpha_r t} \cdot \sin \beta_r t + \\ & + \operatorname{Re} \left\{ \sum_{k=0}^n \sum_{r=1}^{50} \frac{2}{g_r^2 + h_r^2} \cdot \right. \\ & \left. \cdot \frac{\alpha_r \cdot \mathbf{G}_r + \beta_r \cdot \mathbf{H}_r + i \cdot k \cdot \Omega \cdot \mathbf{G}_r}{\omega_r^2 - k^2 \cdot \Omega^2 + 2i \cdot k \cdot \sigma_r \cdot \Omega_r \cdot \Omega} \cdot \mathbf{Q}_{Fk}^* \cdot e^{ik\Omega t} \right\}, \quad (18) \end{aligned}$$

където:

$$\begin{aligned} \mathbf{g}_r = & -2\alpha_r \cdot (\mathbf{V}_r^T \cdot \mathbf{M} \cdot \mathbf{V}_r - \mathbf{W}_r^T \cdot \mathbf{M} \cdot \mathbf{W}_r) - \\ & 4\beta_r \cdot \mathbf{V}_r^T \cdot \mathbf{M} \cdot \mathbf{W}_r + \mathbf{V}_r^T \cdot \mathbf{B} \cdot \mathbf{V}_r - \mathbf{W}_r^T \cdot \mathbf{B} \cdot \mathbf{W}_r; \quad (19) \end{aligned}$$

$$h_r = 2\beta_r \cdot (\mathbf{V}_r^T \cdot \mathbf{M} \cdot \mathbf{V}_r - \mathbf{W}_r^T \cdot \mathbf{M} \cdot \mathbf{W}_r) - \quad (20)$$

$$4\alpha_r \cdot \mathbf{V}_r^T \cdot \mathbf{M} \cdot \mathbf{W}_r + 2\mathbf{V}_r^T \cdot \mathbf{B} \cdot \mathbf{W}_r; \quad (21)$$

$$\mathbf{G}_r = \mathbf{g}_r \cdot \mathbf{L}_r + h_r \cdot \mathbf{R}_r; \quad (22)$$

$$\mathbf{L}_r = \mathbf{V}_r \cdot \mathbf{V}_r^T - \mathbf{W}_r \cdot \mathbf{W}_r^T; \quad (23)$$

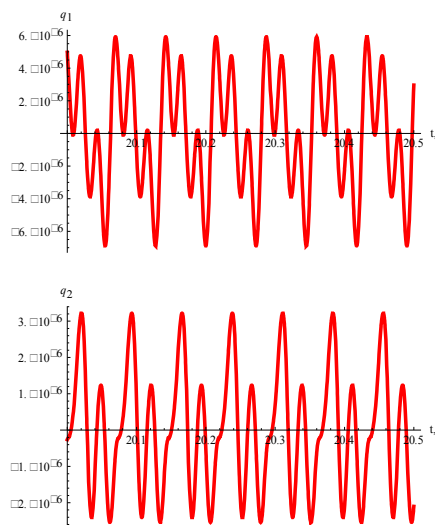
$$\mathbf{H}_r = h_r \cdot \mathbf{L}_r - \mathbf{g}_r \cdot \mathbf{R}_r; \quad (24)$$

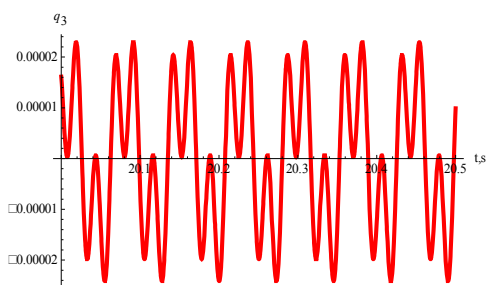
$$\mathbf{R}_r = \mathbf{V}_r \cdot \mathbf{W}_r^T + \mathbf{W}_r \cdot \mathbf{V}_r^T.$$

5. РЕЗУЛТАТИ ОТ ИЗЧИСЛЕНИЯТА

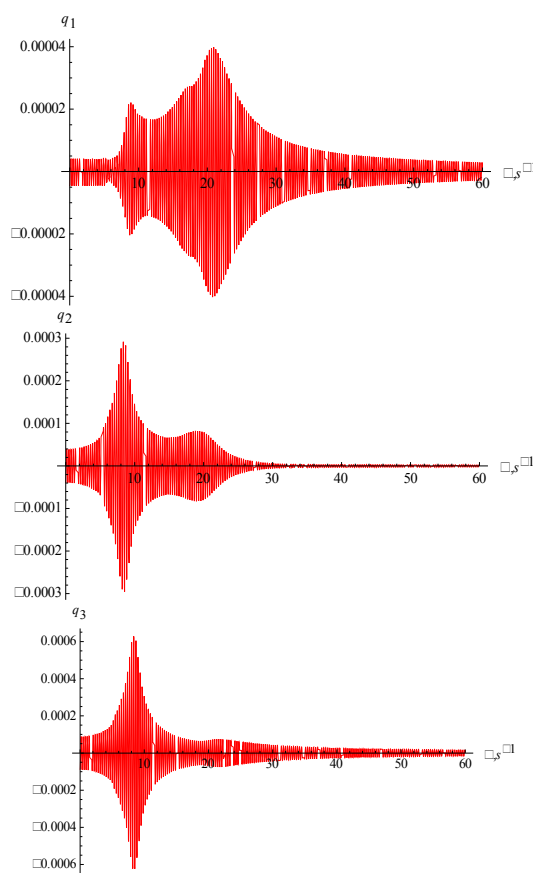
С изведените уравнения на свързаните пространствени принудени трептения на автомобил с колесна формула 8x8, породени от работата на ДВГ, е създадена програма в среда на стандартен програмен продукт Wolfram Mathematica. С физичните параметри на изследвания автомобил са получени стойностите за амплитудите и за амплитудно - честотните характеристики на принудените трептения за всички обобщени координати на разглеждания ДМ.

На фиг. 3 и фиг. 4 са представени получените резултати за принудените, от работата на ДВГ, трептения на автомобил с колесна формула 8x8, за две обобщени координати.





фиг.3 Амплитуди на принудените трептения



фиг.4 АЧХ на принудените трептения

6. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Извършено е изследване на пространствените принудени трептения на автомобил с колесна формула 8x8, породени от работата ДВГ. Съставеният динамичен модел на автомобила е с 21 степени на свобода. Изведена е системата диференциални уравнения на пространствените принудени трептения на автомобила, породени от работата на ДВГ. Представено е решение в матричен вид. Създадена е програма в среда на програмния продукт Wolfram Mathematica. С конкретни стойности на параметрите на изследвания автомобил са получени числени резултати за принудените трептения, породени от работата на ДВГ, по обобщените координати и техните амплитудно-честотни характеристики.

Литература

1. Ангелов И. Матрично моделиране в 3D пространството на кинематиката, динамиката и трептенията на механични модули и многомасови системи. Дисертация за получаване на научна степен д.т.н. ТУ-София, 2000.
2. Ангелов И. Матрична механика. Динамика. София, Авангард Прима, 2008.
3. Ангелов И., Бачев В., Попаров А., Читаков С., Принудени ъглови трептения на агрегат с ДВГ, еластичен съединител, диференциал, полуоси със синхронни кардани и задвижвани маси със съпротивления., Научни трудове на Русенския университет - 2012, том 51, серия 2, стр. 83-87.
4. Бачев В., Ангелов Ч. Пространствени принудени трептения на лек автомобил от двигателя и вентилатора на охлаждащата система. Българско списание за инженерно проектиране, брой 13, юни 2012, стр. 31-35.
5. Бачев В., Николов В., Ангелов И., Принудени трептения в пространството на силов агрегат с ДВГ на стенд. Научно списание "Механика на машините", год. XXI, кн. 2, бр. 101, 2013, стр. 38-41.

FORCED SPATIAL OSCILLATIONS OF A VEHICLES WITH WHEEL CONFIGURATION 8X8, CAUSED BY THE WORK OF THE INTERNAL COMBUSTION ENGINE

Deyan ZHELEV

hidro_eood@abv.bg

Summary: This article investigates the small spatial oscillations forced by the work of an internal combustion engine, around a sustainable equilibrium position of a vehicle with wheel configuration 8x8. For the investigation of the spatial forced vibrations the vehicle a dynamic model has been created. The latter is composed of twenty one perfectly rigid bodies interconnected with holonomic constraints with fifty degrees of freedom. Generalized forces by: gas forces and moments of forces of internal combustion engine, and by inertial forces of the unbalanced moving engine masses have been defined. A system of linked differential equations of the small oscillations forced by the internal combustion engine, around the steady equilibrium position of the vehicles been created. Analytical solution in matrix form has been presented. For three generalized coordinates results of numerical solution with parameters of a vehicle with wheel configuration 8x8 have been presented.

Keywords: spatial forced oscillations, vehicles with wheel configuration 8x8, internal combustion engines.

РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ СТАБИЛИЗАЦИИ УГЛА ОТКЛОНЕНИЯ БАЛАНСИРУЮЩЕГО РОБОТА

Дмитрий ФЕДОРОВ¹ Андрей ИВОЙЛОВ¹ Вадим ЖМУДЬ¹ Виталий ТРУБИН¹
Любомир ДИМИТРОВ²

¹ФГБОУ ВПО НГТУ, Новосибирск, Россия

fds0303@mail.ru; iau13hv@mail.ru; oao_nips@bk.ru; trubin@ngs.ru;

²ТУ-Софии, Лаборатория Мехатроника, София, Болгария

lubomir_dimitrov@tu-sofia.bg

Аннотация. В данной работе производится описание и исследование экспериментальной разработки двух колесного робота. На базе существующей математической модели балансирующего робота созданы настроечные алгоритмы стабилизации угла отклонения от вертикали. Для практического определения угла отклонения были использованы альфа-бета фильтры, а угол поворота колес определяется с помощью энкодеров.

Ключевые слова: балансирующий робот, система автоматического управления, модальный метод синтеза, комплементарный фильтр, альфа-бета фильтр, акселерометр, гироскоп, энкодер

ВВЕДЕНИЕ

В данной статье описан процесс разработки системы стабилизации двухколесного балансирующего робота. Внешний вид робота представлен на рис.1. Данное устройство представляет собой платформу, на которой размещена управляющая электроника робота и датчики. К платформе жестко крепятся статоры двигателей постоянного тока. На роторах же двигателей закреплены колеса. Идея работы устройства состоит в том, чтобы поддерживать вертикальное положение робота путем вращения колес, поддерживая равновесие балансировкой.

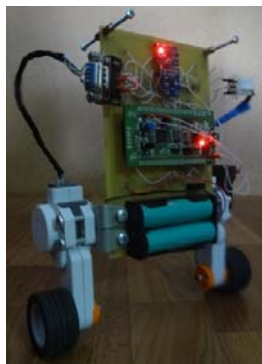


рис.1 Балансирующий двухколесный робот

Балансирующий робот с математической точки зрения представляет собой перевернутый

маятник с точкой подвеса на колесе – рис. 2 [1,2,3,4]. Это нелинейная неустойчивая система, которая может служить для отработки и сравнения различных алгоритмов управления. Многие неустойчивые системы содержат звенья, представляющие собой перевернутый маятник: транспортное средство Segway [5], двуногие шагающие механизмы, экзоскелеты. Поэтому результаты, полученные в данной статье, могут иметь широкое практическое применение.

Первичной задачей является задача определения математической модели объекта, а также проверка разрешимости задачи синтеза.

Неотъемлемой частью работы любой системы автоматического управления является измерение выходной переменной. От точности этого измерения зависит качество регулирования и запас устойчивости. В этой статье будут рассмотрены особенности работы акселерометра и гироскопа, входящих в измерительную систему MPU6050, а также предложено объединять показания этих двух датчиков с помощью комплементарного фильтра, что даст возможность достаточно точно определять угол отклонения в данный момент времени.

Результатом всей работы является система стабилизации балансирующего робота. Эта система поддерживает состояние робота в вертикальном положении и может обрабатывать внешние возмущения.

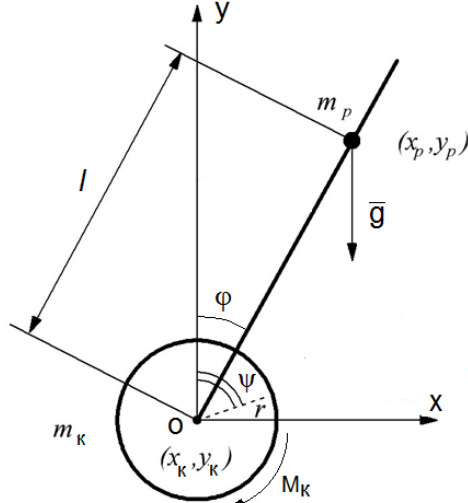


рис. 2 Маятник с точкой подвеса на колесе.
О – точка подвеса, M_k – момент колеса, ψ – угол поворота колеса, r – радиус колеса, m_k – масса колеса, (x_k, y_k) – центр масс колеса, ϕ – угол наклона, (x_p, y_p) – центр масс робота, l – расстояние от центра масс робота до точки подвеса (центра масс колеса), $\bar{g}$ – ускорение свободного падения.

1. ОПИСАНИЕ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ

Целью работы системы стабилизации является приведение робота в положение с нулевым углом отклонения от вертикали из некоторого диапазона начальных состояний и удержание его в этом положении. С точки зрения математики данная система является объектом вида «перевернутый маятник» [1,2,3,4,9,10]. Вывод и исследование математической модели объекта такого типа выходит за рамки данной статьи, поэтому приведем лишь итоговые соотношения. Для случая, когда колеса приводятся во вращение двигателями постоянного тока.

$$a_1\ddot{\phi} + a_2\dot{\psi}\cos\phi = a_5\sin\phi + 2a_6(\dot{\psi} - \dot{\phi}) - 2bU$$

$$a_3(\ddot{\phi}\cos\phi - \dot{\phi}^2\sin\phi) + a_4\ddot{\psi} = -a_6(\dot{\psi} - \dot{\phi}) + bU$$

где

$$a_1 = m_p(\lambda^2 + l^2) + 2J_m;$$

$$a_2 = m_p r l - 2J_m;$$

$$a_3 = m_p r l - J_m; \quad a_4 = m_p r^2 + J_m; \quad a_5 = m_p g l;$$

$$a_6 = \frac{k_m k_e}{R_{я}}; \quad b = \frac{k_m}{R_{я}};$$

Здесь m_p – масса стержня маятника, l – расстояние от центра масс стержня до точки подвеса маятника, λ – радиус инерции стержня, r – радиус колеса, J_m – момент инерции двигателя, $R_{я}$ – сопротивление обмоток, k_m, k_e – конструктивные коэффициенты двигателя. Для расчета регулятора необходимо произвести линеаризацию данных соотношений в окрестности точки равновесия. Для этого воспользуемся соотношениями:

$$\sin\phi = \phi; \quad \cos\phi = 1; \quad \dot{\phi} = 0;$$

Таким образом, линеаризованная математическая модель системы имеет следующий вид:

$$\begin{cases} a_1\ddot{\phi} + a_2\dot{\psi} = a_5\phi + 2a_6(\dot{\psi} - \dot{\phi}) - 2bU \\ a_4\ddot{\psi} + a_3\dot{\phi} = -a_6(\dot{\psi} - \dot{\phi}) + bU \end{cases} \quad (1.1)$$

Стабилизируемым параметром системы является угол отклонения от вертикали, а управляющим воздействием – напряжение, приложенное к двигателям постоянного тока. Таким образом, для решения задачи стабилизации системы необходимо оценивать угол наклона платформы по отношению к вертикали. В нашем случае оценка будет осуществляться с помощью комплементарного фильтра, о котором подробнее будет сказано далее.

Регулятор для объекта данного типа может быть рассчитан на основе модального метода синтеза [6]. Расширим систему (1.1), добавив два уравнения:

$$\dot{\phi} = \dot{\phi}$$

$$\dot{\psi} = \dot{\psi}$$

Получим систему уравнений, которая может быть представлена в векторно-матричной форме:

$$H_1 \dot{x} = H_2 x + H_3 u,$$

где

$$H_1 = \begin{bmatrix} a_1 & 0 & a_2 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ a_3 & 0 & a_4 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix};$$

$$H_2 = \begin{bmatrix} -2a_6 & a_5 & 2a_6 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 \\ a_6 & 0 & -a_6 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \end{bmatrix};$$

$$H_3 = \begin{bmatrix} -2b \\ 0 \\ b \\ 0 \end{bmatrix}; x = \begin{bmatrix} \dot{\varphi} \\ \varphi \\ \dot{\psi} \\ \psi \end{bmatrix}.$$

После преобразования к стандартному виду получим:

$$\dot{x} = Ax + Bu$$

$$A = H_1^{-1}H_2; B = H_1^{-1}H_3$$

Закон управления имеет следующий вид:

$$u = Kx$$

$$K = [k_1 \ k_2 \ k_3 \ k_4]$$

где K – матрица коэффициентов регулятора. Здесь параметры матрицы K соответствуют коэффициентам в обратной связи при следующих величинах:

k_1 – производная угла наклона платформы $\dot{\varphi}$

k_2 – угол наклона платформы φ

k_3 – производная угла поворота колеса $\dot{\psi}$

k_4 – угол поворота колеса ψ

Далее необходимо определить характеристическое уравнение системы исходя из следующего соотношения:

$$\begin{aligned} A(p) &= \det(pI - (A + BK)) = \\ &= p^4 + A_3(K)p^3 + A_2(K)p^2 + A_1(K)p + A_0(K) \end{aligned}$$

После этого составляется желаемое уравнение системы:

$$C(p) = p^4 + C_3p^3 + C_2p^2 + C_1p + C_0$$

Для нахождения коэффициентов регулятора необходимо приравнять коэффициенты при степенях оператора p характеристического уравнения к соответствующим коэффициентам желаемого уравнения.

Данный метод применен для решения задачи стабилизации в силу следующих причин. Во-первых, основным режимом работы системы стабилизации робота является режим отработки начальных условий, а модальный метод дает лучший результат именно в таких системах. Во-вторых, для решения задачи стабилизации необходимо оценивать четыре переменных состояния системы, две из которых могут быть измерены напрямую. Угол поворота колеса измеряется с помощью энкодеров, встроенных в двигатели, а угловая скорость платформы – с помощью гироскопа. Оставшиеся две могут быть оценены с помощью фильтров, которые будут рассмотрены далее.

2. СТРУКТУРА РОБОТА

В соответствие с полученной математической моделью системы и выбранным методом синтеза регулятора была выбрана структура робота, представленная на рис. 2.1.

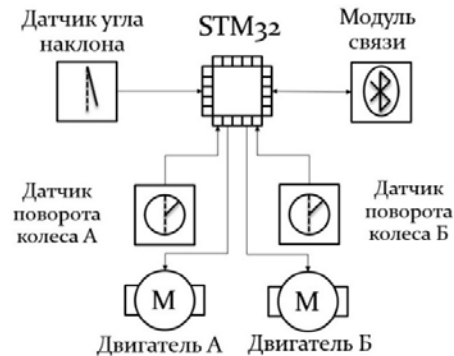


Рис. 2.1 - Структурная схема робота

Ядром системы является микроконтроллер STM32F100R8T6, установленный на отладочной плате STM32VLDISCOVERY. Данный микроконтроллер полностью реализует управление системой.

В качестве датчика угла наклона применен измерительный модуль MPU6050. Этот модуль включает в себя трехосевые гироскоп и акселерометр и может быть применен для определения не только угла наклона, но и его первой производной (угловой скорости) [7]. Это позволяет напрямую измерить еще одну переменную состояния, что существенно упрощает процедуру разработки системы стабилизации.

В качестве исполнительных механизмов системы применены сервомоторы NXT Lego Mindstorm. В сервомоторы встроены энкодеры, которые позволяют определить угол поворота ротора двигателя относительно статора. Это означает, что существует возможность определить угол поворота колеса.

Так же в систему включен модуль связи по интерфейсу UART. К данному модулю может быть подключен преобразователь TTL-USB для связи с ПК или модуль Bluetooth, например HC05. Данный модуль введен в систему для отладки ее работы, получению параметров системы в

текущий момент времени, а также отправки команд устройству.

Таким образом, можно сформулировать следующие задачи, которые необходимо решить в процессе разработки системы.

1. Реализация управления сервомоторами и получение данных по углу поворота колеса;
2. Определение угла наклона робота с помощью измерительного модуля MPU6050;
3. Определение параметров математической модели системы;
4. Синтез регулятора модальным методом.

В следующих разделах статьи описано последовательное решение этих задач.

3. УПРАВЛЕНИЕ СЕРВОМОТОРАМИ

Одним из самых распространенных способов управления электродвигателями является широтно-импульсная модуляция. На вход двигателя подаются прямоугольные импульсы постоянной частоты, но различной скважности. При достаточно высокой частоте импульсов ток в якорной цепи и, следовательно, момент будут меняться плавно благодаря индуктивности обмоток электродвигателя. При этом изменение скважности входного сигнала, имеющего постоянную амплитуду, будет эквивалентно изменению амплитуды входного непрерывного сигнала.

Для управления двигателем был задействован встроенный в микроконтроллер таймер, который имеет четыре канала управления с возможностью настройки их в режиме генерации ШИМ-сигнала. Модулированное напряжение подается на двигатель через специальные микросхемы – драйверы напряжения.

4. ОЦЕНКА УГЛА ПОВОРОТА И СКОРОСТИ ВРАЩЕНИЯ КОЛЕСА

Для оценки угла поворота колеса используются встроенные в двигатель квадратурные инкрементальные энкодеры. Каждый энкодер имеет два вывода: канал А и канал В. За один оборот колеса будет сгенерировано 180 импульсов на обоих выводах,

причем время импульса $T_{и}$ равно времени паузы $T_{п}$, что позволяет измерять угол поворота колеса с точностью до одного градуса, путем регистрирования не только положительных, но и отрицательных фронтов. Сигнал на одном канале сдвинут относительно другого. Это позволяет определять также направление поворота колеса. На рис. 4.1 представлена диаграмма сигналов с каналов энкодера при повороте колеса по часовой стрелке, а на рис. 4.2 – против.

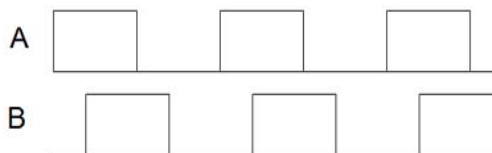


Рис. 4.1 Сигналы энкодера при повороте колеса по часовой стрелке

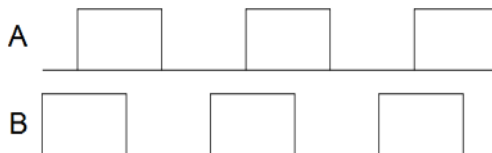


Рис. 4.2 Сигналы энкодера при повороте колеса против часовой стрелки

Для регистрации фронтов был задействован таймер микроконтроллера. Каждый вывод энкодера подключен к отдельному его каналу. Если при регистрации положительного фронта на канале А значение на канале В равно нулю или при отрицательном фронте – единице, то угол поворота инкрементируется, в других случаях – декрементируется.

Для оценки скорости вращения колеса потребовалось применить специальный фильтр, называемый дифференцирующим фильтром.

Дифференцирующий фильтр – это устройство, позволяющее получить оценку фильтруемой величины, а так же её производные. Рассмотрим его работу на примере дифференцирующего фильтра второго порядка. Структурная схема фильтра приведена на рис. 4.3. Данной структурной схеме соответствует дифференциальное уравнение:

$$y = T^2 \ddot{y}_o + 2dT\dot{y}_o + y_o$$

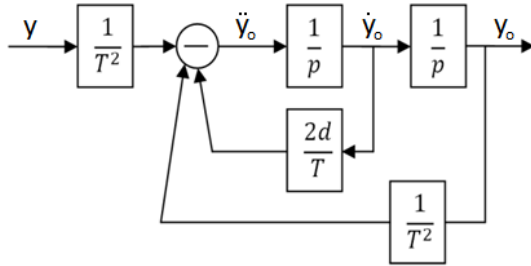


Рис. 4.3 - Структурная схема дифференцирующего фильтра второго порядка. y - фильтруемый сигнал, y_0 - его оценка $\dot{y}_0 = \frac{dy_0}{dt}$, $\ddot{y}_0 = \frac{d\dot{y}_0}{dt}$.

На вход фильтра подается выходной сигнал объекта, на выходе можно получить оценку выходного сигнала объекта и ее первую производную. Теоретически, данный фильтр так же позволяет получить оценку второй производной (для этого необходимо взять сигнал со входа первого интегратора), но в силу зашумленности выходного сигнала объекта, качество получаемой оценки второй производной, как правило, неудовлетворительно. Для корректного определения n -й производной требуется дифференцирующий фильтр $n+1$ порядка [8].

При построении фильтра необходимо правильно выбрать его параметры. Основными параметрами данного фильтра являются постоянная времени фильтра T и коэффициент демпфирования d . Первый параметр определяет длительность переходных процессов в фильтре, то есть, его быстродействие. Второй параметр определяет колебательность процессов в фильтре. Рекомендуется выбирать данный параметр в пределах 0.5 – 1. Величина постоянной времени фильтра определяется постоянной времени процессов в объекте. Для корректного оценивания выходного сигнала объекта необходимо, чтобы постоянная времени фильтра была в 3 – 5 раз меньше, чем наименьшая постоянная времени объекта. Однако, следует помнить, что чем меньше значение постоянной времени фильтра, тем хуже эффект от его применения. Таким образом, значение постоянной времени должно быть достаточно малым, чтобы задержка выходного сигнала

фильтра была приемлемой, но в то же время достаточно большим, чтобы помехи выходного сигнала успешно сглаживались.

Наиболее простой способ реализации дифференцирующего фильтра второго порядка со структурой, описанной выше, состоит в замене операции интегрирования операцией суммирования:

$$y = \int_{t_1}^{t_2} \dot{y} dt \longrightarrow y(k) = y(k-1) + dy(k) \cdot dt$$

где $y(k-1)$ – значение фильтруемого параметра на предыдущем шаге, $y(k)$ – значение на текущем, $dy(k)$ – входной параметр интегратора (производная выходного сигнала) на текущем шаге, dt – шаг интегрирования. Фильтр второго порядка может быть реализован последовательным выполнением следующих операций:

$$d2y_0(k) = \frac{y(k)}{T^2} - \frac{2 \cdot d \cdot dy_0(k-1)}{T} - \frac{y_0(k-1)}{T^2}$$

$$dy_0(k) = dy_0(k-1) + d2y_0(k) \cdot dt$$

$$y_0(k) = y_0(k-1) + dy_0(k) \cdot dt$$

где, $d2y_0$ – значение оценки второй производной, dy_0 – значение оценки первой производной, y_0 – значение оценки фильтруемой величины, y – значение фильтруемой величины, dt – шаг интегрирования.

В отличие от теоретической модели фильтра, в фильтре, реализованном на микроконтроллере, появляется еще один важный параметр, который необходимо правильно выбрать. Это шаг интегрирования. Основное правило при его выборе – шаг интегрирования должен быть меньше наименьшего параметра фильтра, то есть, постоянной времени. Для корректной работы фильтра необходимо, чтобы шаг интегрирования был меньше постоянной времени хотя бы в 3 раза.

Существует еще одна особенность при реализации фильтра на микроконтроллере. Большинство микроконтроллеров могут работать лишь с целочисленной арифметикой, поэтому, во избежание потерь данных при делении, необходимо выполнять сдвиг влево на несколько разрядов перед операцией деления (что эквивалентно умножению на 2 в некоторой степени), а по завершении всех операций, выполнять обратный сдвиг (эквивалентно делению).

Для работы в реальном времени, операции, приведенные выше, могут быть реализованы в виде функции, которая вызывается через интервалы времени, равные выбранному шагу интегрирования. Ниже представлены результаты работы дифференцирующего фильтра, примененного для оценки скорости вращения колеса. На рис. 4.4 приведены результаты измерения угла поворота колеса, на рис. 4.5. – результат оценки скорости вращения колеса по данным угла поворота.

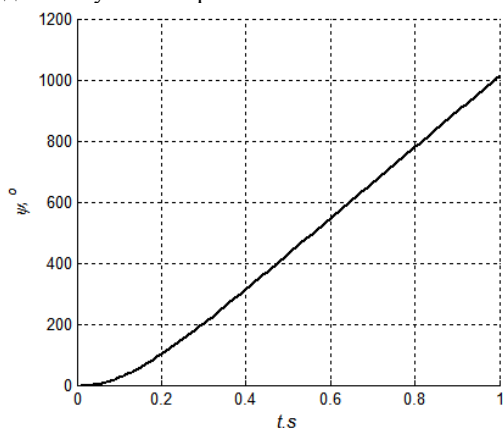


Рис. 4.4 Угол поворота колеса

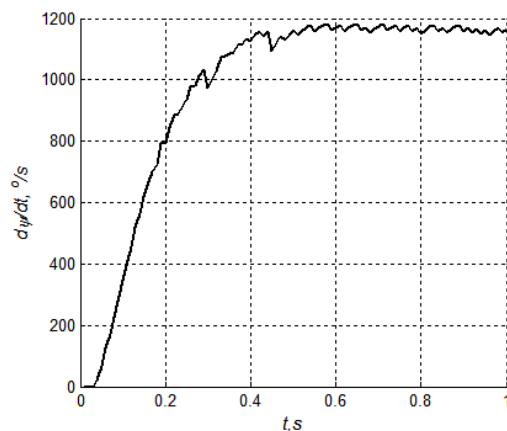


Рис. 4.5 Оценка скорости вращения колеса

5. ПОЛУЧЕНИЕ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ СЕРВОМОТОРА

Для работы двигателя в соответствии с алгоритмом управления системы необходимо получить его математическую модель. Приближенно поведение двигателя постоянного тока описывается следующими соотношениями:

$$\begin{aligned} J\dot{\omega} &= M - M_1; \\ M &= k_m I; \\ U - E &= IR; \\ E &= k_e \omega; \\ \frac{k_m}{R} U &= J\dot{\omega} + \frac{k_m k_e}{R} \omega + M_1 \end{aligned} \quad (5.1)$$

где J – момент инерции вала; M – момент, создаваемый двигателем; M_1 – нагрузочный момент; k_m, k_e – конструктивные коэффициенты двигателя; R – сопротивление обмотки якоря; E – противо-ЭДС.

В режиме холостого хода при напряжении U_0 на входе двигателя решением дифференциального уравнения (5.1) является функция:

$$\omega(t) = U_0 K \left(1 - e^{-\frac{t}{T}} \right) \quad (5.2)$$

где $K = \frac{1}{k_e}$, $T = \frac{JR}{k_m k_e}$. Если проинтегрировать это уравнение на интервале от 0 до t , получим выражение для угла поворота ротора двигателя:

$$\varphi(t) = \int_0^t \omega(t) dt = U_0 K (t - T) + U_0 K T e^{-\frac{t}{T}} \quad (5.3)$$

Как видно из уравнения (5.3), с течением времени угол поворота приближается к прямой, описываемой уравнением:

$$\bar{\varphi}(t) = U_0 K (t - T) \quad (5.4)$$

Для получения математической модели двигателя были проведены измерения угла поворота ротора при напряжении $U=5$ В. Результат измерения угла поворота двигателя представлены на рис. 5.1. Точки на линейном участке графика были аппроксимированы прямой, по коэффициентам которой были определены параметры модели:

$$\begin{aligned} K &= 1.56 \frac{V \cdot s}{rad}; \\ T &= 0.12 s; \end{aligned}$$

Для проверки было проведено моделирование системы с полученными значениями параметров. На рисунке 5.2 представлены результаты моделирования системы и данные, полученные по результатам измерения для скорости вращения ротора двигателя.

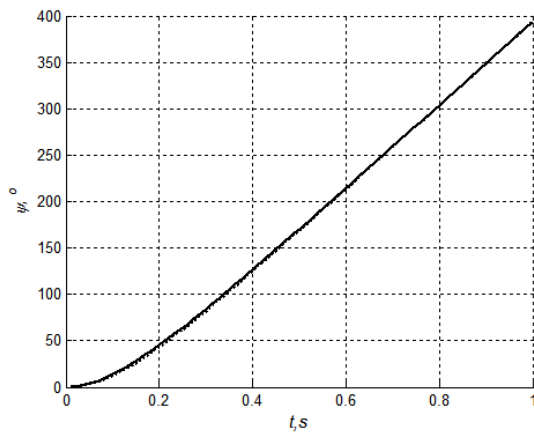


Рис. 5.1 Данные для угла поворота ротора двигателя: синяя кривая – данные эксперимента, красная – данные по результатам моделирования

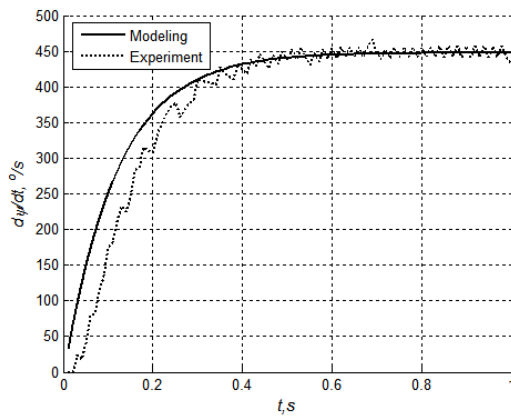


Рис. 5.2 Данные для скорости вращения ротора двигателя: синяя кривая – данные эксперимента, красная – данные по результатам моделирования.

Далее необходимо определить конструктивные коэффициенты двигателя k_m и k_e . Значение k_e полностью определяется параметром K :

$$K = \frac{1}{k_e}$$

Однако данный параметр обладает существенной нелинейностью. Причинами наличия нелинейности являются конструктивные особенности двигателя, а так же микросхем драйверов, используемых для управления двигателем. На рис. 5.3 представлены переходные характеристики двигателя при значениях

входного напряжения 1 – 10В с шагом 1В. На рис. 5.4 представлена зависимость параметра k_e от входного напряжения.

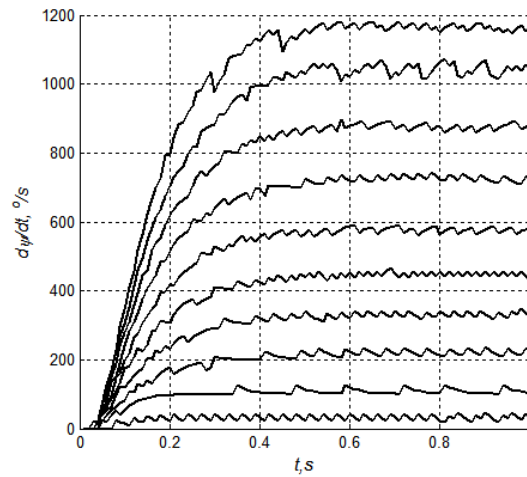


Рис. 5.3 Переходные характеристики двигателя при различных значениях входного напряжения.

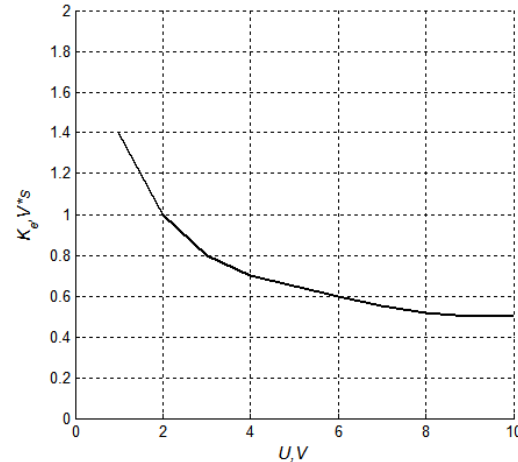


Рис. 5.4 Зависимость величины параметра k_e от входного напряжения.

Для определения параметра k_m был проведен эксперимент, в ходе которого измерялось значение пускового тока при известном нагрузочном моменте на валу двигателя. Схема опыта приведена на рисунке 5.5.

На колесе, соединенным с валом двигателя, был закреплен груз с помощью нити. Сначала

была измерена сила давления этого груза на опору при отключенном электродвигателе.

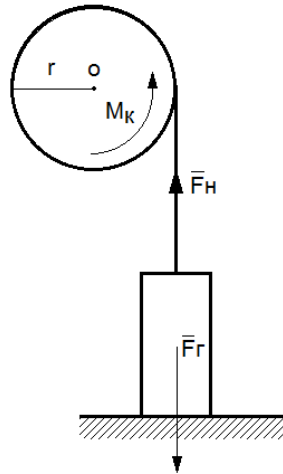


Рис. 5.5 Схема эксперимента по определению конструктивного коэффициента k_m . M_k – момент, создаваемый колесом; O – ось колеса; r – радиус колеса; $\vec{F}_n$ – сила натяжения нити; $\vec{F}_r$ – сила давления груза на опору.

Затем на двигатель подавалось напряжение, при этом измерялся якорный ток. Сила давления груза уменьшалась на величину силы натяжения нити. Зная эту силу и радиус колеса, несложно определить создаваемый колесом момент.

$$M_k = r \cdot F_n = r(F_{r1} - F_{r2}),$$

где F_{r1} – сила давления груза на опору при отключенном электродвигателе, F_{r2} – при включенном.

На рис. 5.6 изображена полученная зависимость момента колеса от тока в якорной цепи.

На основании эксперимента было определено следующее значение коэффициента: $k_m = 0.25$.

При известных значениях параметров k_m и k_e , а так же активного сопротивления якорной цепи R , которое может быть определено с помощью мультиметра, можно вычислить значение момента инерции двигателя J . Поскольку в двигатель встроен редуктор, значение момента инерции, полученное согласно процедуре, описанной выше, будет соответствовать выходу редуктора

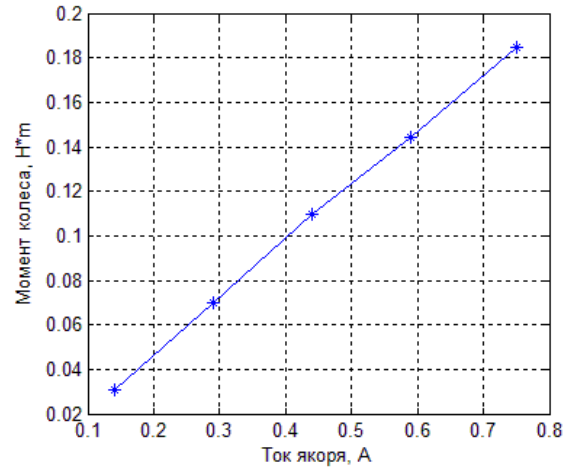


Рис. 5.6 Зависимость момента колеса от тока в якорной цепи

Значение k_m можно получить из выражения:

$$k_m = \frac{M}{I};$$

6. ПОДКЛЮЧЕНИЕ MPU6050

В качестве датчика угла наклона робота применяется измерительный модуль MPU6050. Данный модуль включает в себя два МЭМС-датчика – акселерометр и гироскоп. Модуль имеет цифровой выход I²C. Встроенный АЦП преобразует аналоговые сигналы датчиков в цифровой код для дальнейшей передачи по интерфейсу I²C. Ниже приведены технические характеристики модуля.

- Трехосевой гироскоп;
- Трехосевой акселерометр;
- Термодатчик;
- Напряжение питания 2.375V-3.46V;
- FIFO-буфер объемом 1024 байт;
- Программируемые пользователем цифровые фильтры для гироскопа, акселерометра и термодатчика;
- Интерфейс I2C для записи и чтения; регистров устройства, работающий на частоте до 400кГц;
- Программируемый пользователем диапазон измерений: ± 250 , ± 500 , ± 1000 ,

- и ± 2000 %/с;
- Встроенный 16-разрядный АЦП;
- Цифровой программируемый ФНЧ;
- Ток в режиме работы – 3,6 мА;
- Ток в режиме ожидания 5 мкА.

MPU 6050 был подключен к I²C модулю микроконтроллера STM32F100RBT6B для отправки команд и считывания из регистров необходимых данных. После отправки модулю команды о начале измерений происходит постоянная оцифровка показаний со всех осей гироскопа, акселерометра и термодатчика. Остается только считывать информацию из необходимых регистров. Частота записи новых данных в эти регистры аналогово-цифровым преобразователем зависит от выбранной пользователем чувствительности сенсора и, следовательно, диапазона измерений.

Связь датчика и микроконтроллера осуществляется по интерфейсу I²C. Данный интерфейс имеет архитектуру ведущий – ведомый, то есть одно устройство (ведущее) производит запрос на чтение или запись ведомых устройств. В нашем случае ведомым является MPU 6050, а ведущим I²C модуль, находящийся на микроконтроллере. Для связи используется две двунаправленные линии: тактирования и данных. Ведомое устройство имеет свой адрес, который на данной линии должен быть уникальным (в нашем случае это 0x00). Линии должны быть подтянуты к уровню логической единицы. Как правило, устройства подключаются к линиям через выводы с открытым коллектором (стоком). Преимуществом является возможность подключения большого количества ведомых устройств, а также сравнительно высокая дальность передачи данных. Но при увеличении дальности фактическая скорость передачи данных снижается. Это связано с тем, что фронты сглаживаются из-за увеличения емкости проводов.

Стоит обратить внимание на некоторые особенности, связанные с программной реализацией алгоритма получения данных на микроконтроллере серии STM32.

Во-первых, необходимо сбрасывать флаги состояния модуля I²C – периферии микроконтроллера. Осуществляется это чтением

регистра флагов. Если этого не сделать, I²C - модуль MPU6050 не сможет перейти к следующей стадии работы и произойдет зависание программы. Момент времени, когда необходимо сбрасывать флаги зависит от конкретной микросхемы контроллера. Поэтому необходимо тщательно изучить документацию на данный периферийный модуль микроконтроллера, а также документ, содержащий сведения об ошибках в документации (ERRATA SHEET).

Вторая особенность связана с завершением сеанса связи при чтении данных из регистров MPU6050. Сигналом завершения обмена данных является установка стоп-условия на линии данных. В случае с микроконтроллером STM32F100 команду на генерацию стоп-условия для него необходимо отдать *после прочтения предпоследнего байта*. Если принимается один байт, это необходимо сделать после получения бита подтверждения адреса от ведомого устройства. Если это сделать после прочтения последнего байта, микроконтроллер будет ожидать прием еще одного байта, которого не будет, и программа зависнет.

7. ОПРЕДЕЛЕНИЕ УГЛА ОТКЛОНЕНИЯ ОТ ВЕРИКАЛИ

Измерения угла, полученные акселерометром, содержат высокочастотную помеху даже в статическом режиме. В динамике же линейные ускорения приводят к тому, что показания угла могут быть вообще некорректными. Первую проблему можно решить с помощью сглаживания, но это приводит к сдвигу по фазе полезного сигнала, что может сделать систему неустойчивой. Многие объекты управления могут подавить эту высокочастотную составляющую своей инерционностью, и сглаживание можно не применять, но вторая проблема, связанная с неправильным определением угла отклонения акселерометра при воздействии на него линейных ускорений, легко может сделать систему неустойчивой даже при правильно рассчитанном регуляторе.

Измерение угла гироскопом приводит к появлению низкочастотного шума, возникающего вследствие интегрирования

угловой скорости (гироскоп измеряет именно эту величину). Это приводит к дрейфу нуля, и значение угла будет постоянно увеличиваться или уменьшаться даже если система неподвижна.

Напомним, что акселерометр измеряет проекцию на его оси суммы всех сил, приложенных к нему, за исключением силы тяжести. То есть в статике производится измерение силы реакции опоры на данное устройство. А так как эта сила противоположна по направлению гравитационной, то, зная величины её проекций на оси, можно определить угол отклонения от вертикали. Это можно сделать по формуле:

$$\varphi_{\text{акс } i+1} = \arctg \left(\frac{F_{\text{оп } y \ i+1}}{F_{\text{оп } x \ i+1}} \right) \quad (7.1)$$

где $\varphi_{\text{акс } i+1}$ – угол отклонения в текущий момент времени, вычисленный с помощью акселерометра, $F_{\text{оп } y \ i+1}$ – проекция силы реакции опоры на ось y , а $F_{\text{оп } x \ i+1}$ – на ось x .

Гироскоп измеряет угловую скорость в определенной плоскости, используя эффект Кориолиса. В данном случае нас интересует угловая скорость в плоскости ХУ. Получить величину угла можно проинтегрировав сигнал гироскопа:

$$\varphi_{\text{гир}}(t) = \int_0^t \omega(\tau) d\tau.$$

При реализации на микроконтроллере данная операция заменяется численным интегрированием:

$$\begin{aligned} \varphi_{\text{гир } i+1} &= \varphi_{\text{гир } i} + \Delta\varphi_{\text{гир } i+1} \\ &= \varphi_{\text{гир } i} + \omega_i \cdot \Delta t, \end{aligned} \quad (7.2)$$

где $\varphi_{\text{гир } i+1}$, $\varphi_{\text{гир } i}$ – угол, вычисленный с помощью гироскопа на текущем и предыдущем шаге, ω_i – угловая скорость на предыдущем шаге, $\Delta\varphi_{\text{гир } i+1}$ – приращение угла за промежуток времени, равный шагу интегрирования, Δt – шаг интегрирования.

На рис. 7.1 и рис. 7.2 представлены графики углов, полученных с использованием данных акселерометра и гироскопа, входящих измерительную систему MPU6050. Для удобства начальный угол гироскопа выбран максимально близким к углу акселерометра.

На рис. 7.1 видно, что разброс значений угла, вычисленного из показаний акселерометра, превышает один градус, а на рис. 7.2 имеется

четырёхкратная ошибка его определения в динамике.

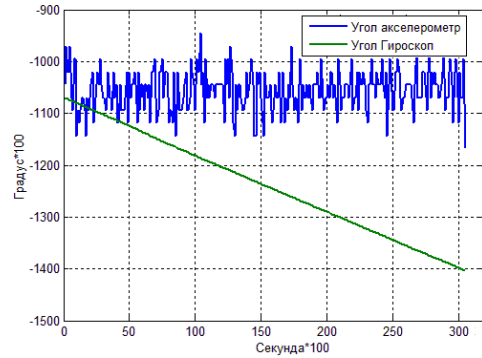


Рис. 7.1 Угол, вычисленный с помощью показаний акселерометра и гироскопа в статике

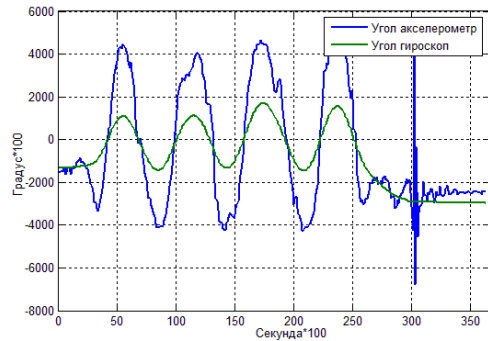


Рис. 7.2 Угол, вычисленный с помощью показаний акселерометра и гироскопа в динамике.

Показания угла, вычисленного из угловой скорости гироскопа, более корректны на втором графике, но на первом имеется значительный дрейф этого угла.

Поскольку оба этих датчика имеют недостатки и не могут быть использованы напрямую в системах, где требуется высокая точность оценки угла наклона, необходимо применить специальный фильтр, который бы использовал преимущества каждого датчика и компенсировал недостатки. Один из возможных вариантов такого фильтра – комплементарный фильтр, или альфа-бета фильтр.

8. КОМПЛЕМЕНТАРНЫЙ ФИЛЬТР

Комплементарный фильтр или альфа-бета фильтр в данном случае используется для определения угла наклона и оперирует в своей работе показаниями акселерометра и гироскопа. Ниже представлена формула для вычисления этого угла:

$$\varphi_{i+1} = (1 - K)(\varphi_i + \Delta\varphi_{\text{гир } i+1}) + K \cdot \varphi_{\text{акс } i+1}, \quad (8.1)$$

где K – коэффициент фильтра (имеет значение в пределах от 0 до 1), φ_{i+1} , φ_i – угол, вычисленный с помощью фильтра, на текущем и предыдущем шагах.

Подставим 7.1 и 7.2 в 8.1 и получим окончательное выражение для вычисления угла отклонения:

$$\varphi_{i+1} = (1 - K)(\varphi_i + \omega_i \cdot \Delta t) + K \cdot \arctg\left(\frac{F_{\text{он } y \ i+1}}{F_{\text{он } x \ i+1}}\right).$$

Данный фильтр является упрощенным вариантом фильтра Калмана для одномерного случая, где первое слагаемое представляет собой звено предсказания. Только приращение угла определяется исходя не из математической модели системы и известной величины управления, а угловой скорости на предыдущем шаге, которая измеряется напрямую гироскопом. Также коэффициент K является постоянной величиной. Всё это значительно упрощает вычислительный процесс, при этом полученное значение угла можно считать достаточно точным приближением к реальному. Стоит отметить, что применение гироскопа хорошо тем, что на его выходе мы получаем величину угловой скорости, что избавляет нас от необходимости дифференцировать величину угла, которая имеет высокочастотную составляющую. Особенно важно, что на его показания не оказывают влияния линейные ускорения. Поэтому и при синтезе алгоритма управления желательно, по возможности, переменные состояния измерять датчиками, а не рассчитывать, исходя из значений других, связанных, величин. Это положительно повлияет на запас устойчивости и качество регулирования.

Изменяя значение коэффициента K , мы определяем, какое из слагаемых будет иметь больший вес. При уменьшении K показания фильтра будут стремиться к показаниям гироскопа, а при увеличении – акселерометра.

При $K = 0$ уравнение 8.1 вырождается в 7.2, и мы получим величину угла без высокочастотных помех, но постоянно “уплывающую”. При $K = 1$ уравнение 8.1 вырождается в 7.1, и вычисленный угол будет сильно зашумлен и подвержен влиянию линейных ускорений. Задача состоит в правильном подборе этого коэффициента, чтобы оценка угла, полученная с выхода этого фильтра, удовлетворяла заданным требованиям.

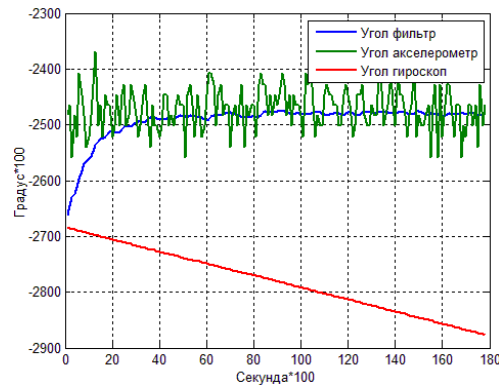


Рис. 8.1 Значения углов гироскопа, акселерометра и альфа-бета фильтра при $K = 0.01$

На рис. 8.1 и рис. 8.2 представлены графики при различных значениях параметра K . Шаг дискретизации равен 1 мс. Начальные значения угла гироскопа и фильтра заданы отличными от начального значения угла акселерометра на 2 градуса для более удобной оценки медленных процессов в фильтре. В работающей системе эти значения должны совпадать, как это показано на рис. 8.3.

На рис. 8.1 и рис. 8.2 представлены графики при различных значениях параметра K . Шаг дискретизации равен 1 мс. Начальные значения угла гироскопа и фильтра заданы отличными от начального значения угла акселерометра на 2 градуса для более удобной оценки медленных процессов в фильтре. В работающей системе эти значения должны совпадать, как это показано на рис. 8.3.

Как видно из графиков, при уменьшении значения параметра K увеличивается время протекания медленных процессов в фильтре. Это обусловлено ослаблением влияния на его показания данных акселерометра (линия стала

более гладкой) и увеличением влияния данных гироскопа.

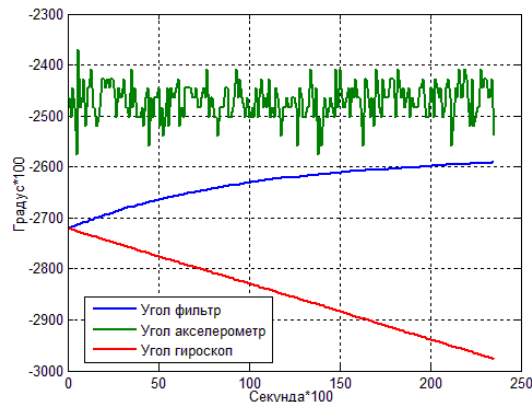


Рис. 8.2 Значения углов гироскопа, акселерометра и альфа-бета фильтра при $K = 0.001$

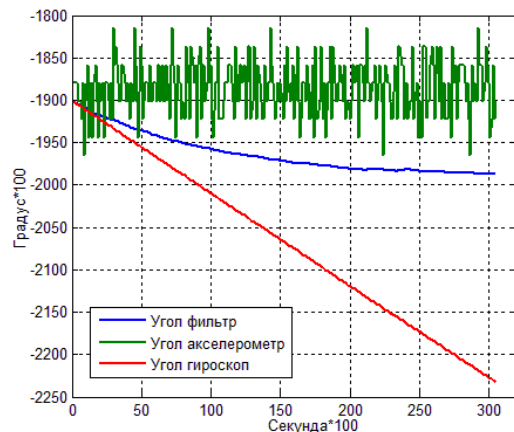


Рис. 8.3 Значения углов гироскопа, акселерометра и альфа-бета фильтра при $K = 0.001$ и одинаковых начальных условиях.

Изменение начальных условия не влияет на время протекания медленных процессов (видно из рис. 8.2, рис. 8.3). Также можно наблюдать появление статической ошибки, которая будет расти при уменьшении коэффициента K и увеличении скорости смещения угла гироскопа, но эту скорость можно считать постоянной, и она зависит от точности датчика и вычислительной погрешности: чем меньше шаг интегрирования, тем меньше ошибка и ниже скорость дрейфа. При

этом статическая ошибка не зависит от начальных условий. При $K = 0.001$ она составила 1.2 – 1.3 градуса. Для наиболее точной работы системы рекомендуется начальное значение фильтра приравнять начальному значению угла акселерометра. А смещение можно вычислить опытным путем, и оно будет одинаковым во всем диапазоне измерения угла.

На рис. 8.4 и рис. 8.5 представлены графики углов гироскопа, акселерометра и альфа-бета фильтра в динамике при различных значениях параметра K . На рис. 8.5 угол фильтра в большей степени соответствует углу гироскопа. Это означает, что для коэффициента K лучшим значением будет 0.001, несмотря на большее время протекания медленных процессов. Измерив смещение, мы сможем его скомпенсировать, но на протяжении времени протекания медленных процессов (первых трех секунд) угол будет определяться неточно: наибольшее значение ошибки будет в нулевой момент времени и будет равно величине смещения.

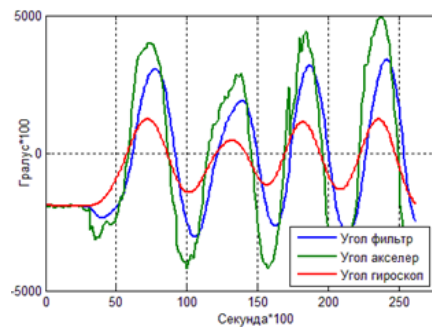


Рис. 8.4 Значения углов гироскопа, акселерометра и альфа-бета фильтра в динамике при $K = 0.01$

Но ошибку в 1-2 градуса регулятору будет гораздо легче отработать, чем ошибки, вносимые акселерометром при большем значении параметра K . В динамике задержка фильтра минимальна (при $K = 0.001$ не превышает 20мс).

На рис. 8.6 представлены графики изменения углов при воздействии линейных ускорений вдоль оси, параллельной поверхности, по которой будет двигаться балансирующий робот.

Эти ускорения могут возникать при разгоне и торможении.

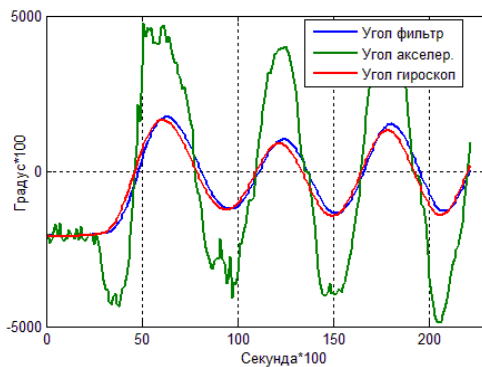


Рис. 8.5 Значения углов гироскопа, акселерометра и альфа-бета фильтра в динамике при $K = 0.001$

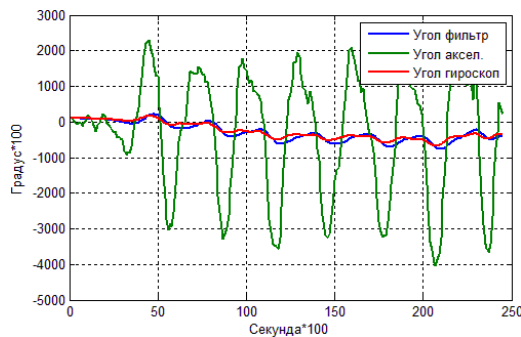


Рис. 8.6 Углы при воздействии линейных ускорений

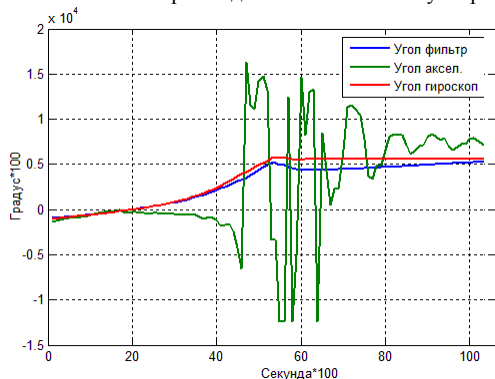


Рис. 8.7 Углы при падении робота из вертикального положения

Из графиков видно, что они практически не оказали влияния на величину оцениваемого угла при десятикратной ошибке акселерометра.

На рис. 8.7 – графики изменения углов при падении балансирующего робота, который изначально находился в вертикальном положении. Из графиков видно, что падение робота в одну сторону акселерометр изначально определил, как падение в другую, вследствие своей внутренней структуры. В системе с обратной связью это может привести к появлению положительной обратной связи, что может сделать систему неустойчивой. Но использование комплементарного фильтра решило эту проблему.

9. ЭМПИРИЧЕСКАЯ НАСТРОЙКА КОЭФФИЦИЕНТОВ РЕГУЛЯТОРА

Процедура расчета коэффициентов регулятора была описана в разделе 2. Однако, для лучшего понимания работы системы рассмотрим иной способ получения коэффициентов, а именно – настройка коэффициентов. К сожалению, далеко не всегда удастся точно оценить параметры математической модели системы. Кроме того, всегда присутствуют неучтенные составляющие модели. В нашем случае такими составляющим являются: нелинейность характеристик двигателей постоянного тока, зона нечувствительности по напряжению, наличие люфтов в двигателях, а так же неточность калибровки угла наклона платформы. Следует отметить, что этот перечень далеко не полный. Поэтому на практике иногда бывает необходимо «подобрать» коэффициенты для обеспечения по крайней мере устойчивости системы. В случае, если система относительно проста, коэффициенты регулятора могут быть полностью настроены вручную на основании экспериментальных данных. Далее описан процесс настройки коэффициентов для системы стабилизации двухколесного робота.

Для начала необходимо получить первые два коэффициента регулятора – k_1 и k_2 . Данные коэффициенты связаны с углом наклона платформы. Первым осуществлен поиск пропорционального коэффициента. Предельное значения угла наклона, при котором двигатели еще могут двигать платформу в сторону равновесия, составляет примерно 20° . Данное значение было получено экспериментально.

Таким образом, значение пропорционального коэффициента было выбрано таким, чтобы максимальный уровень управляющего воздействия (9В) был при меньшем угле отклонения (от 1 до 5 градусов). Ниже представлены переходные процессы для угла наклона платформы при различных значениях коэффициента. Наиболее подходящим является значение 50.

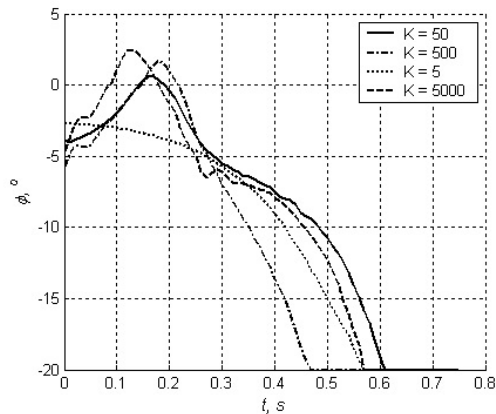


Рис. 9.1 Настройка коэффициента k_1

Следующий шаг – определить дифференциальный коэффициент k_2 . Из рисунка 9.1 видно, что система выходит из равновесия в силу того, что по достижении нулевого значения угла отклонения управляющее воздействие не успевает снизиться до приемлемого уровня, и платформа постепенно раскачивается и падает. Поскольку величина и ее производная при колебаниях имеют противоположные знаки в каждый момент времени, для компенсации управляющего воздействия необходимо добавить составляющую, связанную с производной угла наклона с небольшим весом. Исходя из этих рассуждений значение дифференциального коэффициента k_2 было выбрано равным 5. Однако при таком значении поведение системы существенно хуже (рис. 9.2). Система практически не реагирует на падение. Следовательно, выбранное значение слишком велико. Наилучший результат был достигнут при значении $k_2 = 1.2$. Однако, при заданных значениях коэффициентов главная цель по-прежнему не достигнута – система не

стабилизирована. С течением времени платформу уводит в сторону, и всегда в одну и ту же. Это говорит о том, что датчик угла наклона (гироскоп) не откалиброван. Однако, полностью откалибровать датчик невозможно из-за того, что всегда есть ограничение по точности измерения. Поэтому, для компенсации этого эффекта необходимо ввести поправку в управление на основе величины, не связанной с углом наклона. Такой величиной является скорость вращения колеса.

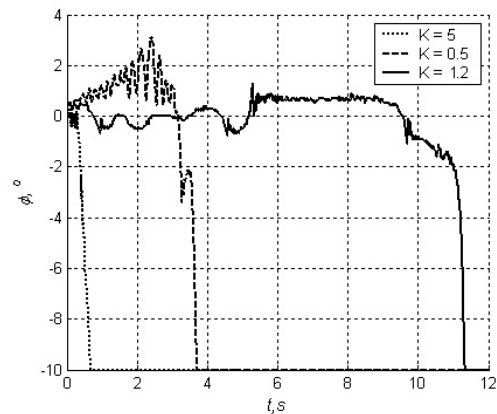


Рис. 9.2 Настройка коэффициента k_2

Следующий этап настройки – поиск дифференциального коэффициента угла поворота колеса (k_3). Из данных, полученных в предыдущих опытах, следует, что угловая скорость вращения колеса примерно в 5-6 раз больше угловой скорости платформы. Исходя из этого, примем значение коэффициента $k_3 = 0.5$.

При данном значении коэффициентов платформа стабилизируется, однако, из-за неточности калибровки платформа постепенно уходит в сторону, сохраняя равновесие. Для компенсации этого эффекта необходимо добавить в управление последнюю составляющую, связанную с углом поворота колеса (k_4). При значении коэффициента $k_4 = 0.5$ платформа полностью стабилизируется.

Таким образом данный метод настройки может быть применен для первичной стабилизации неустойчивых систем, для их дальнейшей настройки.

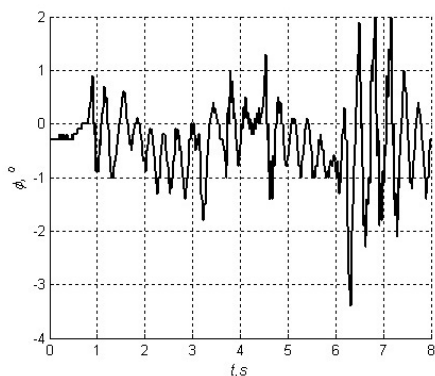


Рис. 9.3 Угол наклона платформы при значении $k_3 = 0.5$

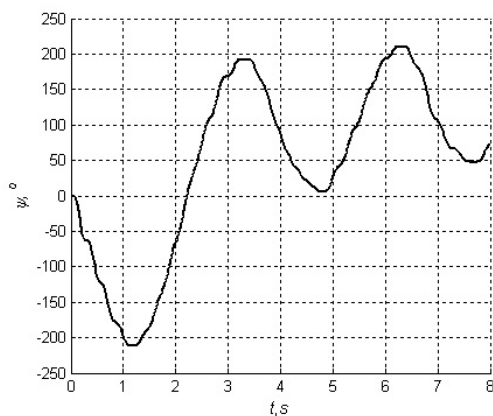


Рис. 9.6 Угол поворота колеса при значении $k_4 = 0.5$

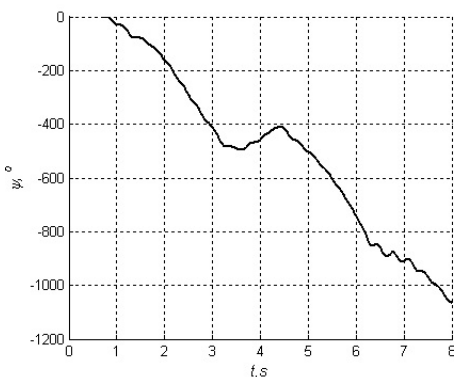


Рис. 9.4 Угол поворота колеса при значении $k_3 = 0.5$

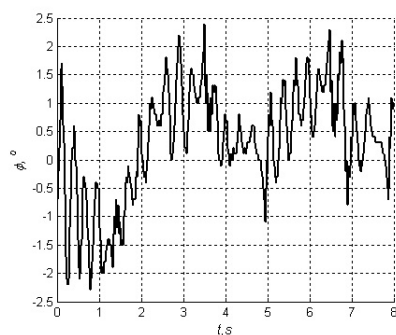


Рис. 9.5. Угол наклона платформы при значении $k_4 = 0.5$

10. РЕЗУЛЬТАТЫ РАБОТЫ

Двухколесный балансирующий робот, являющийся нелинейным и неустойчивым при отсутствии управления объектом, стабилизируем в вертикальном положении, то есть в окрестности точки $\varphi=0$. Несмотря на сложность данной системы, возможно эмпирически подобрать коэффициенты регулятора, но при этом необходимо исследовать сам объект, чтобы выяснить, по каким переменным состояния заводить обратные связи.

В результате всей работы была разработана система управления балансирующим роботом, поддерживающая его состояние в вертикальном положении и отрабатывающая начальные условия и внешние возмущения. Она состоит из подсистемы измерения и оценки переменных состояния объекта (угла отклонения, угловой скорости отклонения, угла поворота колес и скорости поворота колес) и подсистемы управления двигателями, которая непосредственно формирует управляющие воздействия. Управляющая программа реализована на языке программирования C++ и выполняется на микроконтроллере STM32F100RBT6B.

Литература

- [1] **Формальский А.М.** Управление движением неустойчивых объектов. Москва: ФИЗМАТЛИТ, 2012; 232 с.

- [2] **Petrov P., M. Parent.** „Dynamic Modeling and Adaptive Motion Control of a Two-Wheeled Self-Balancing Vehicle for Personal Transport.“ In: 13th International IEEE “Annual Conference on Intelligent Transportation System”, Madeira Island, Portugal, September 19-22, 2010, 1013-1018.
- [3] **Kim, Y., S. Kim, Y. Kwak.** “Dynamic analysis of a nonholonomic twowheel inverted pendulum robot.” Journal of Intelligent and Robotic Systems 44 (2005): 25-46.
- [4] **Grasser,F., A. D’Arrigo, S. Colombi,** “JOE: A mobile inverted pendulum.” IEEE Trans. industrial Electronics 49 (2002), no. 1, 107- 114.
- [5] <http://segway.com>
- [6] Основы теории непрерывных и дискретных систем регулирования. Учеб. пособие. Авт.: А.С. Востриков, Г.А. Французова, Е.Б. Гаврилов. 5-е изд., перераб. и доп. Новосибирск : Изд-во НГТУ, 2008, 476 с.
- [7] MPU-6050 Datasheet (PDF). List of Unclassified Manufacturers [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.alldatasheet.com/datasheet-pdf/pdf/517744/ETC1/MPU-6050.html>
- [8] Задача синтеза в теории регулирования. Учеб. пособие. Авт.: А.С. Востриков. Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2011, 104 с.
- [9] **Tsai, C., S.-C. Lin, W.-L. Luo.** “Adaptive steering of a self-balancing two-wheel transporter.” In: Proc. CACS Automatic Control Conference. Tawan, 2006, 789 - 794.
- [10] **Pathak, K., J. Franch, S. Agrawal.** “Velocity and position control of a wheeled inverted pendulum by practical feedback linearization.” In: IEEE Trans. Robotics 21 (2005): 505–513.

DEVELOPMENT OF A SYSTEM FOR STABILIZATION OF DISBALANSING ANGLE OF INVERTED PENDULUM TWO WHEELED ROBOT

Dimitrij FEDOROV¹ Andrej IVOJLOV¹ Vadim ZHMUD¹ Vitalij TRUBIN¹ Lubomir DIMITROV²

¹FGBOU VPO NGTU, Novosibirsk, Russia,

²TU-Sofia, Lab. Mechatronics, Sofia, Bulgaria

fds0303@mail.ru, iau13hv@mail.ru, oao_nips@bk.ru, trubin@ngs.ru;

lubomir_dimitrov@tu-sofia.bg

Abstract: In the work presented an inverted pendulum two wheeled robot is examined. On the base of already developed mathematical model algorithms for stabilizations of the disbalancing angle in vertical plane have been created. Alpha-beta filters have been used for practical determination of the deviation angle. Wheels turning angle is followed by encoders.

Keywords: Inverted wheeled robot, automatic control system, method of modal synthesis, complimentary filter, alpha-beta filter, accelerometer, gyroscope, encoder

3D МОДЕЛИРАНЕ НА ГЕОМЕТРИЧНИ ОБЕКТИ В CAD СРЕДА И WEB ВИЗУАЛИЗАЦИЯТА ИМ

Марията ЯНЧЕВА

катедра „Основи и технически средства на конструирането”, Технически университет - София, България

e-mail: myancheva@tu-sofia.bg

Резюме: Изработена е курсова работа за дисциплините „Основи на конструирането и CAD“ II част и „Основи на CAD”. Описан е примерен алгоритъм който обхваща основните стъпки при изпълнението на задачата. Разгледан е подход за визуализиране на крайния продукт, без да се налага използването на специфични програмни средства. Така примерен вариант на курсовата задача може да бъде разгледан от всеки само с наличието на електронно устройство с връзка към Интернет, което от своя страна улеснява задаването и изпълнението на курсовата задача.

Ключови думи: 3D, CAD, моделиране, Web среда

1. ВЪВЕДЕНИЕ

От съществено значение за всеки инженер е развитието на възприятията на тримерните обектите около него. Неизменно във работата си всеки се сблъсква под една или друга форма с различни проблеми, касаещи това възприятие. Способността за възприемане и визуализиране на двумерни изображения и представянето им в тримерното пространство, е съществена в работата на всеки инженер. И въпреки бързото развитие на технологиите, неизменен фактор остава човекът, който използва тези съвременни средства.

От друга страна бързо развиващите се технологии предлагат неизчерпаеми възможности за изучаване, придобиване и прилагане на знания и умения. Успешното използване на съвременните технологии стават все по нужни в инженерната работа. Изборите и решенията, които се правят ежедневно трябва да са съобразени с технологичните възможности, на съвременните средства с които разполага всеки инженер.

2. РЕАЛИЗАЦИЯ

Задачата за моделиране на реален обект е включена в учебната програма на дисциплините в основен курс на обучение „Основи на конструирането и CAD” и “Основи на CAD”. Основната цел на задачата е да изгради и доразвие пространствената представа на студентите. Условието на задачата е зададено с текстово описание на

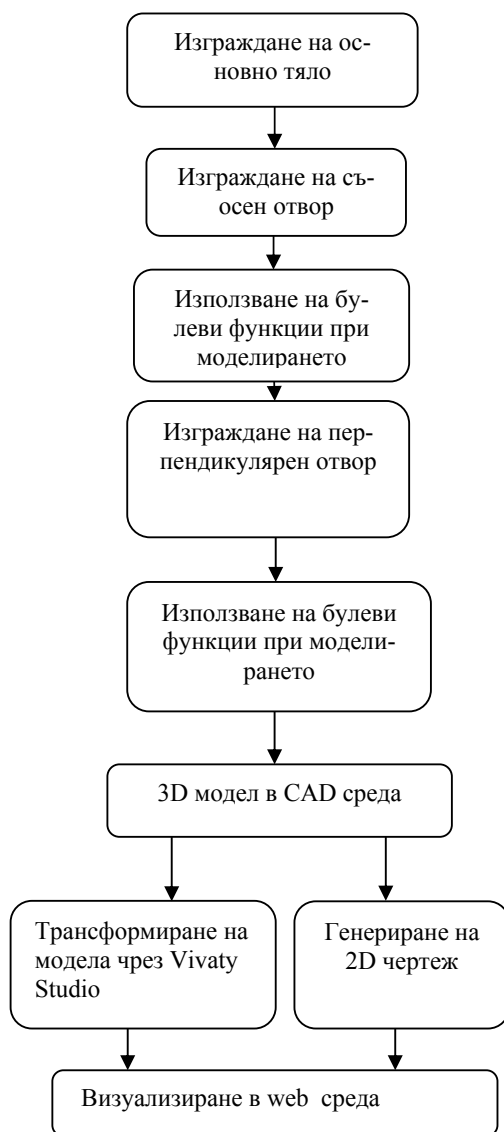
основните фигури съставляващи реалният обект. Необходимо е студентите да възприемат заданието и изградят собствена представа за търсения обект като първи етап от изпълнение на курсовата задача. Това в действителност е основният проблем на студентите от основен курс и с настоящата работа им се предоставя възможност за лесен достъп до разработен примерен модел визуализиран в Web среда. Достъпът до този примерен модел е възможен от всяко място и по всяко време посредством устройства свързани с Интернет, осигуряващ визуално разглеждане на тримерния модел.

Именно тук, отдалеченият достъп до учебен материал елиминира известни ограничения, улеснява изпълнението на съответната курсова задача и спомага развитието на пространствената представа на студентите за реални тела. Възприемането на текстовото описание на заданието и способността за неговото моделиране в пространствена фигура създава необходими умения отнасящи се до решаване на реални задачи. Съществен момент в обучението на студентите е изграждане на способността за вземане на решение при реално поставени задачи, прилагане на придобитите знания и умения и използване на съвременни технологии при реализация на търсеното решение.

До момента курсовата задача, се изпълнява от студентите с програмата AutoCAD. Предлага се използването на програмния продукт Solid Works, като програма изцяло насочена към 3D моделиране. На фиг. 1 е показан алгоритъм за

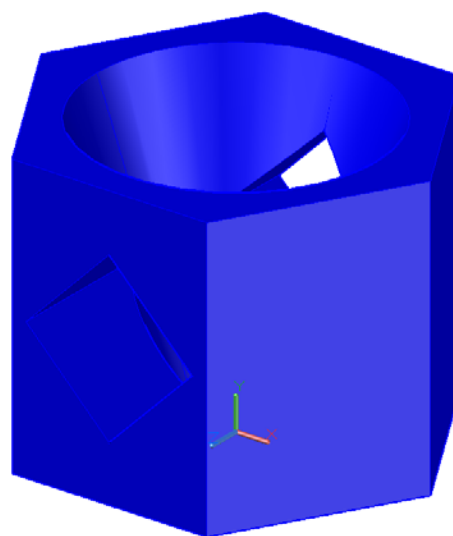
изпълнение на задачата, като той е приложим и в двете графични програми. Търси се по-удачно изпълнение на задачата посредством програма изцяло насочена към 3D моделиране и с достъп до студентска версия.

Използвани са две графични програми в процеса на моделиране на тела и генериране на 2D чертежи. Съпоставката цели, избор на по адекватна програма за изпълнение на курсовата задача, обоснована на базата на достъпност и по-голяма интуитивност при изборния продукт.

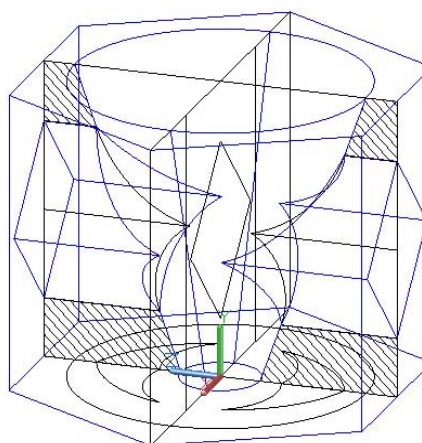


фиг.1 Схематично изпълнение на курсовата задача.

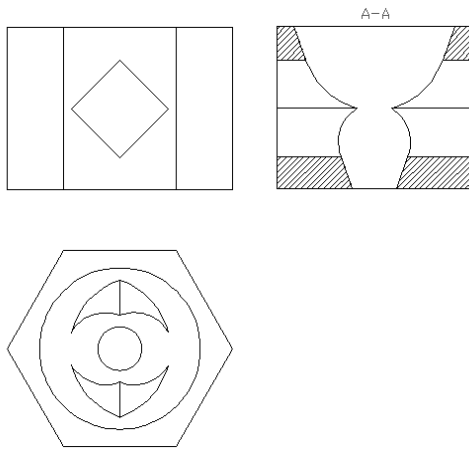
- Съпоставка между два CAD продукта.



фиг.2 3D модел в среда на AutoCAD.



фиг.3 3D модел в среда на AutoCAD.



фиг.4 Генериран 2D чертеж в среда на AutoCAD

На фиг.2 и фиг.3 е показан тримерен модел на пресечени геометрични фигури в среда на AutoCAD, а на фиг.5а,б,в е показан модел на същите пресечени геометрични фигури в среда на SolidWorks. На фиг.4 е показан двумерния чертеж в средата на AutoCAD, а на фиг.6 генерирания чертеж в среда на SolidWorks.

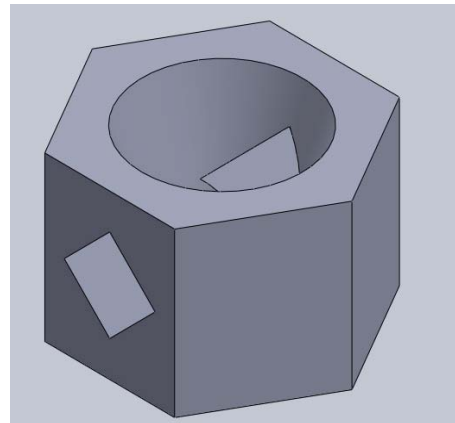
При изпълнението на модела в двете графични програми няма съществена разлика при реализацията, с изключение на спецификата на програмите. Основната разлика се отчита при генерирането на двумерните изображения. Изпълнението на чертежа на модела в среда на AutoCAD изисква предварително създаден темплейт /шаблон/, който съществено се различава при настройките от стандартните темплейти използвани от студентите. Като под темплейт в случая разбираме стандартен формат A3 BDS създаден за нуждите на учебния процес, който съдържа рамка и основен надпис съобразени със стандарта. За нуждите на конкретната курсова задача темплейтът изисква разделяна на чертожното поле на необходим брой визуализационни области, които съдържат изображения на създадения модел. Процесът на определяне на визуализационните области изисква допълнителни умения. В случай, че тази настройка не е направена, то визуализационната област на хартиеното пространство е една, вместо необходимите четири области. Генерирането на чертежа се изпълнява посредством команда SOLVIEW, ко-

ято в своята си същност представлява поредица от подкоманди оказващи визуализирането на модела в основните проекционни равнини.

SolidWorks от своя страна предлага изключително лесен достъп за автоматично генериране на двумерен чертеж и неговото манипулиране. Предоставя по-достъпни и многобройни функции, с който да се постигне изпълнението на конкретната задача. Не се налага предварително:

- създаване на специфични настройки към стандартните темплейти;
- спазване на последователност от обвързани подкоманди при генерирането на чертежа;
- манипулиране на визуализационните области;
- дообработка на чертежа.

Реализацията на задачата с използване на програма предимно ориентирана за моделиране на геометрични обекти SolidWorks, дава знания и умения и за бъдещи проекти, където се прилагат различни инженерни анализи [3].



фиг.5а 3D модел в среда на SolidWorks .

• Подход за визуализирането на крайният резултат от примерен вариант в Web среда.

Относно визуализирането в web среда използваме част от подход описан подробно в [2]. Адаптира се за нуждите на конкретната работа, а именно :

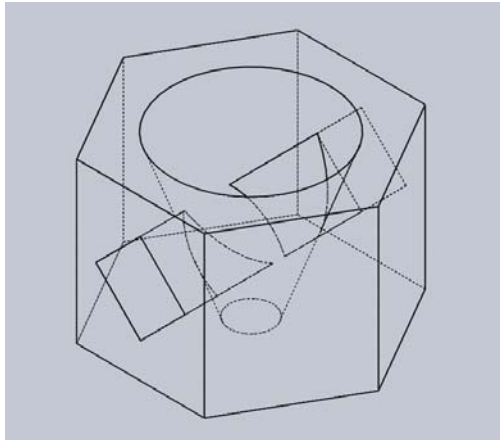
- експортиране на файла на създадения 3D модел в VRML формат;
- импортирането на VRML файла в Flux/Vivaty Studio и генериране на X3D файл;

На фиг.7 е показан работният екран във Vivaty Studio с 3D модел с създаден е среда на SolidWorks.

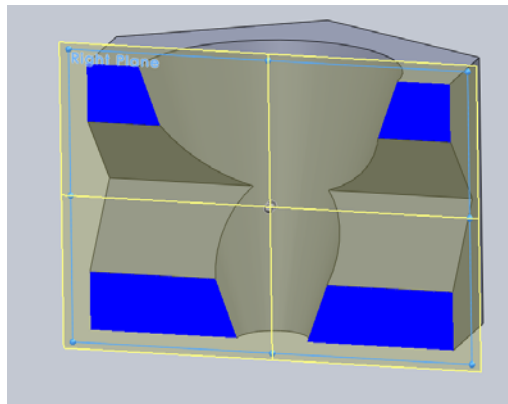
- редактиране на X3D модела в Flux/Vivaty Studio- ако е необходимо;

На фиг.8 е показано как ще изглежда модела във формат X3D подходящ за Web среда.

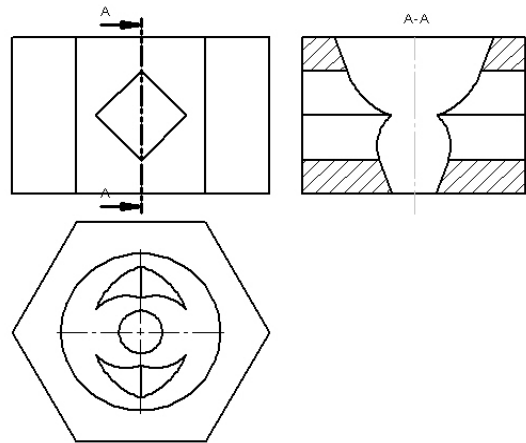
- инсталиране на X3D модела на Web страница съгласно изискванията на Flux/Vivaty Player;



фиг.5б 3D модел в среда на SolidWorks.



фиг.5в 3D модел в среда на SolidWorks.



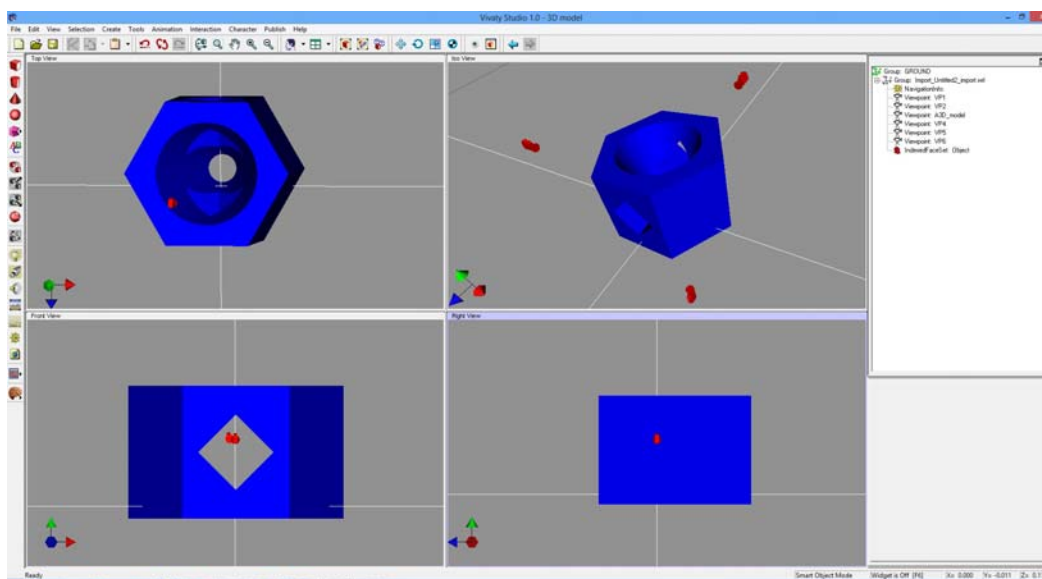
фиг.6 Генериран 2D чертеж в среда наSolidWorks.

3. ИЗВОДИ

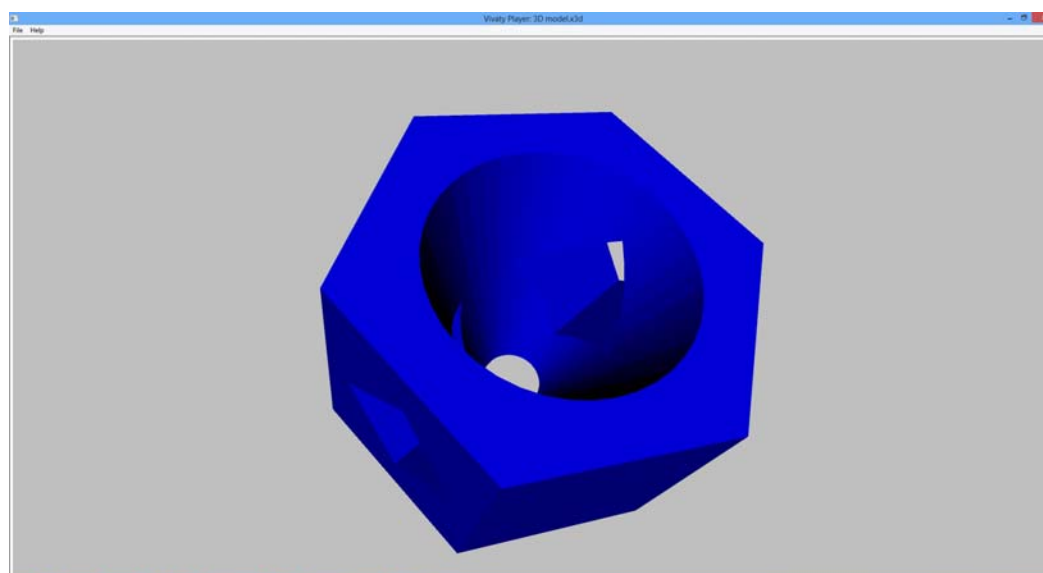
Разработен е вариант на задачата посредством CAD програма изцяло насочена към 3D проектиране и моделиране. Направена е съпоставка между двата графични продукта- използваният досега и предлаганият от автора. Предоставена е възможност за улеснен достъп до примерно решение на задачата, без необходимост от специализиран софтуер. Достъпът до конкретно решение спомага за по-лесното разбирането условието на задача

Литература

- 1.Туджаров Б., Тодорова Е., Колева Д., Янчева М. „Ръководство за упражнения и курсова работа по Основи на конструирането и CAD” I част, 2009 СОФ-ТТРЕЙД
2. Туджаров Б., Митрев Р., Колева Д.,”Подход и средства за моделиране, визуализация и симулиране в Web среда” БСИП, бр.16/2012г. стр. 65-69
3. Iliev Zhivko, Perenovski Nikolay "Opportunities for using finite element method by computer research of rotor of eccentric crusher type 800Dx75", International multi-disciplinary symposium"-Simpro-2014, Petrosani Romania, pp. 516-521



фиг.7 Работен екран на Vivaty Studio с 3D модел създаден в среда на SolidWorks.



фиг.8 X3D модел на реално тяло.

3D MODELING OF GEOMETRIC OBJECT IN A CAD ENVIRONMENT AND WEB VISUALIZATION

Marieta YANCHEVA

Fundamentals and Technical Means for Design department, Technical University - Sofia, Bulgaria

e-mail: myancheva@tu-sofia.bg

Abstract: A coursework is made for the courses "Fundamentals of Design and CAD" II part and "Fundamentals of CAD". Described is an example algorithm that covers the main steps in the task. Displayed is a way to visualize the final product without the use of specific software. So exemplary embodiment of the coursework can be viewed by anyone with an electronic device with an Internet connection, which in turn facilitates the setting and implementation of course work.

Keywords: 3D, CAD, modeling, Web Environment

RESEARCH ON THE SAFETY LEVEL OF THE EXISTING ELECTRIC TRACTION ELEVATORS

Tihomir DIMITROV Georgi ILIEV Kalin CHUCHUGANOV Pavel DAVIDOV

Engineering logistics, material handling, building and roadbuilding machines department, Technical University-Sofia, Bulgaria

e-mail: tichomir.dimitrov@gmail.com; giliev@tu-sofia.bg; chuchuganov@tu-sofia.bg; pdavidoff@abv.bg

Abstract: In Bulgaria there are more than 80 000 elevator installations in operation. Each year there are a few accidents with these equipments, some of them are fatal for one or more persons. Most of these elevators are with electric traction drive with worm gear and drive sheave, manufactured in our country before more than 30 years. According to the Bulgarian legislation, all of them are under constant separated maintenance and technical supervision contracts. In the meantime both activities- supervision and maintenance are under additional control of the State Agency for Metrology and Technical Supervision in the face of their State Inspection for Technical Supervision. The legislation now contains Law for Technical Requirements for the Products with its State Regulation for Safe Operation and Technical Supervision of Lifts, where all the requirements for performing of both activities are stated. In the same time a lot of materials regarding the elevator's safety are published in different media- newspapers, television, etc. And instead of this a lot of accidents with this equipment happened.

The performed in this work experimental research shows the main reasons for accidents happened. Measures for improvement in the situation proposed.

Key words: elevators, lifts, safety, accident, incident, maintenance, technical supervision of lifts.

1. INTRODUCTION

There are more than 80 000 elevator installations in operation according to different data in Bulgaria. But other sources say that this number is more than 100 000. In the same time other organization says they are not more than 70 000. In the same time these units are of high risk equipment. Unfortunately clear and exact unitary register of the installed elevators in the entire country is still missing in the governmental institutions either in private bodies because a lot of reasons. This register has to include a few important things as information for the elevators- address of installation, technical characteristics and complete history of maintenance, supervision and repair works. Based on this, the State Agency for Technical Supervision starts making efforts to solve this problem. The way used to do this is by the means of collecting information in digital form periodically from all the privately owned companies for technical supervision (licensed according to the legislation bodies for performing of technical supervision) as well as transfer of the old paper registers of this inspection in modern digital form. The final result of all these activities have to be that State Inspection will have detailed and

exact electronic register of the elevators installed in the entire country.

On the other hand each year there are a few accidents with elevators, some of them are fatal for one or more persons. Sometimes injured are elevator technicians, sometimes there are injured users or other persons. Most of these elevators are with electric traction drive with worm gear and drive sheave, manufactured in our country before more than 30 years. According to the Bulgarian legislation, all of them are under constant separated maintenance and technical supervision contracts. In the meantime both activities- supervision and maintenance are under additional control of the State Agency for Metrology and Technical Supervision in the face of their Governmental Inspection for Technical Supervision. The legislation now contains Law for Technical Requirements for the Products with its State Regulation for Safe Operation and Technical Supervision of Lifts, where all the requirements for performing of both activities are stated.

In the last years a lot of materials, interviews and reportages regarding the elevator's safety appeared in different media- newspapers, television, etc. And in-

stead of this public interest and legislation, a lot of accidents with this equipment happened.

For the purposes of this paper 54 units of old types were analyzed, all of them manufactured between 1965 and 1986 year.

2. THE ELEVATOR CONSTRUCTIONS DETAILS

Types of the main components used:

2.1 Machine room

These units are with machine room above the hoistway. Drive, controller, overspeed governor and positioning system are installed in this special room.

2.2 Hoistway (Shaft)

The construction is masonry, plastered from inside the shaft for the older units. Concrete constructions are often used after 1980.

2.3 Drive and roping

The drive constructions used are roped electric traction lifts with asynchronous motor with worm gear and traction sheave drives. In all the cases studied roping 1:1 is used- car and counterweight are suspended directly.

2.4 Electric motor

When the rated elevator speed is up to 0.71 m/sec one speed asynchronous three phase alternating current motors are used. In case of 1.0m/sec two speed asynchronous motors are used.

2.5 Gear

The gears used are of worm type with safety factor at least 8. The gear is self-locking mainly because of the high ratio needed to achieve the rated car speed.

2.6 Brake

The brakes used are of drum type with two independent brake levers and pressure springs. This brake acts on the fast shaft of the gear, exactly before the gear. The brake drum is used also as flywheel. Sheave brake is not used. Safety contacts for monitoring of brake operation and friction material wear are not used.

2.7 Drive sheave

Driving sheaves used are of friction type with wedge shaped with undercut or semi-circular with undercut. The angle of rope coverage is 180°, without using of diversion sheave.

2.8 Hoisting ropes

Used ropes are 6x19 Seale originally built, as well as both 8x19 and 6x19 Seale where replacement is done. The minimum safety factor for the ropes is 12 when 3 ropes are used and 16 when 2 ropes are used. Using only 1 rope is forbidden for passenger elevators.

2.9 Guide rails and fastening

Car guide rails are one pair of 2 pcs. special "T"-type steel guiding profile for elevators, counterweight guides are mainly from 4 pcs. steel wires, fixed in the overhead and tighten in the pit. Other used way of counterweight guidance is with the same type of guiding as above described for the car, but with smaller cross-section.

Few constructions of guide rail brackets and their fastening used.

2.10 Car and car frame

Cars are as standard plywood and chipwood made in all the cases, with solid wooden beams used for the floor frame. Only few units manufactured after 1986 are with steel construction cars. Car is equipped with safety floor edge as well as safety ceiling edge. It is important to mention that the older units, where car is equipped with sliding grid type door with safety contact, the safety edge on the floor is not demanded from the applicable law. These units are equipped with movable floor with function to switch-off hall calls when person is detected in the car as well as not receive a car call when child lighter than 20 kg. is alone in the car. Stop button in car operating panel is compulsory for all the units of the studied types.

The guide shoes are mainly of sliding type, made from plastic. In only few cases there where rubber roller guides with roller bearings.

Car frame is equipped with safety gear with instantaneous action. Two main types used- with roller and with toothed wedge.

2.11 Overspeed governor

The device used is of "bouncing-roller" type. Type of the groove is wedge shaped with angle of 35°. Original rope used is 4.8 mm diameter with dry surface. Under some conditions this rope is replaced with 6.0 or 6.3 mm. The necessary pre-tension for providing the rated force for actuate the safety gear is achieved by the means of diversion sheave with weight in the pit, or, in the older units by diversion sheave with spring tension. The necessary force to actuate the safety gear is provided by the friction

force between the rope and the groove of the governor's pulley.

For the overspeed governor special attention will be paid in the next pages.



Picture 1: Overspeed governor of the type most commonly used

2.12 Safety gear

Car frame is equipped with safety gear with instantaneous action. Two main types used- with roller and with toothed wedge.

This device is actuated by overspeed governor in the machine room and rope, as it is mention in 2.11. Here bellow special attention is provided for this safety device.

2.13 Controller

The types used are relay controllers, as they are manufactured in these stages of technology development. It has to consider also the aim to lowering the manufacturing cost of the units using the cheapest solutions especially in the field of controllers.

When making comparison between these units and comparable solutions of other manufacturers of the same years, the trend mentioned in point 2.13 above is clearly visible. But the practice since a lot of years shows no serious safety issues with these types of controllers. We have to mention only one safety related thing here. There is one type of the controllers used, which are without third contactor used as a safety device against contacts welding. Theoretically this is a safety issue, and according to the current legislation this is nonconformity.



Picture 2: Relay controller frequently used

3. OVERVIEW OF THE ACCIDENTS HAPPENED IN THE LAST 5 YEARS

When making any analysis in the field of safety of such used and well known passenger transport, it is really important to consider its social aspects and importance, because everybody uses this transport every day a lot of times. Also we have to consider the fact that Bulgarian society is very sensitive under this matter because for a lot of years information about these kind of accidents were not given to the public. Not only this, but the thinking is that each accident is covered by the authorities and finally nobody is judged.

Instead of general safety of this kind of transport, during the last years a few fatal accidents happened. Table 1 represents a list with 6 recorded accidents for the last 5 years with description of the causes and effects of these events in chronological order.

Table 1 Known elevator accidents in Bulgaria in the period of years 2010-2015

№	Month & year	City of accident happened	Short accident description
1	03.2010	Sofia	Elevator car falls down after overloading of the car with passengers
2	08.2014	Sofia	Hoisting ropes broken, car falls down in the bottom of the shaft

3	10.2014	Sofia	Person falls down in the shaft during try to gets out from blocked car
4	11.2014	Velinograd	Person falls down in the shaft after his try to re-open the hoistway door by the means of block the automatically closing door with leg
5	02.2015	Varna	Car travels uncontrolled downwards after frequency inverter of elevator drive fail. Safety gears block properly the car.

In the next points a detailed overview of the accidents will be done.

3.1 Accident in Sofia in March 2010.

This is an elevator of old type with semiautomatic hinged hoistway doors and without car door. The elevator is for 6 persons/500 kg, but it has larger than the stated in EN 81.1-1 car area according to the load. This car is large enough to accommodate more than 10 persons.

From the top floor 12 persons entering the car and elevator starts the travel to desired floor downwards. Suddenly the normal run stops and the car fall down on the car buffers in the pit. During this the safety devices such as overspeed governor and safety gears were not activated. The severity of the accident to the passengers was high, but not fatal. Finally it was not completely clear what exactly happened, there are only technical assumptions for the possible events. Instead of all one thing is clear- the elevator's speed was not much higher than the nominal speed at the moment of impact on the buffer. This is clear from the high but not the highest severity of the effect to the passengers. In anyway, from these assumptions it is clear that the speed was not high enough to actuate the overspeed governor and safety gear, where their efficiency was clearly identified as good during the court expert report.

Other thing that was clarified is the fact there is no overload system in this elevator. This elevator is probably overloaded with twice the nominal load. Facing and knowing the facts it is clear that mainly because of some features of this elevator (for example double envelop of the ropes on the drive sheave) and the safety factors used during design and manu-

facturing of the elevator the severity of this accident was not the highest.

3.2 Accident in Sofia in August 2014.

This is an old type elevator for 225kg/3 persons and 10 stops, machine room above the hoistway, with hinged hoistway doors and sliding grid type car door with safety contact. The unit is manufactured and installed in year 1965. The elevator is with wooden car, two ropes system, with almost all safety devices according to actual EN81.1, without overload device.

Two persons were entering the car and give a car call. After the elevator starts both ropes completely broke simultaneously and the car falls down in the pit. The safety gear and/or overspeed governor doesn't act as it has to. In the crash one of the passengers immediately died and the other one received serious injuries.

During the investigation a few facts were found. First it was found that the elevator was overhauled 2 or 3 years before the accident. Replaced are the entire machine, controller and flexible cables between machine room and car. Also car operating panel and hall operating panels are renewed. It appeared that the new machine is with drive sheave with smaller diameter and because of this deflection sheave is used. Also the diameter of new ropes is smaller than the original one as well as the minimal breaking force is smaller. The diameter of the deflector sheave of 120 mm is smaller than the required in EN81.1. Mainly because of the last problem the ropes are broken fast. But in this case the problems are much more and they are not only technical. There is serious human factors- possible leak of knowledge and inactivity of responsible persons. As the car falls down with high speed in the pit, the safety gear was not acting properly. The behavior of overspeed governor is also not known. All the facts are leading to qualification of this accident as one of the heaviest in Bulgaria ever.

3.3 Accident in Sofia in October 2014.

The elevator is manufactured in the last 15 years and theoretically has to be safer than the older ones mainly because of the fact this unit is equipped with more devices and safety interlocks required from the code. The elevator car was blocked between 4th and 5th floor of the building with 2 passengers inside. Other man, who was relative to one of the passengers inside, tries to open the hoistway door in order to free the blocked passengers by using some tool similar to

the original specialized key. During these actions he falls down in the pit trough opening between the floor and the car floor. After that he died immediately. Nobody else was injured during this accident.

3.4 Accident in Velingrad, November 2014.

The elevator is newer than the last one, with automatic sliding hoistway and car doors. The elevator is installed in hotel building in Velingrad City. A man just like to catch the elevator from the lobby floor at the moment of the doors are closing. He put his leg between the door panels, but the elevator doesn't react as it has to. The doors are not fully closed and the hoistway door not locked, but the car start its travel upwards, which results in catching the person's leg and after that her body pull and open the hoistway door. Finally he falls down through the door in the pit. The person was seriously injured with multiple fractures and with risk for life.

This case is a little bit different from all the others. The main reason for this is the fact that the elevator travels with open and not locked hoistway door, which the investigation found that is because of bypassed safety interlocks.

3.5 Accident in Varna, February 2015.

The elevator involved in this accident is quite new. It is electric traction type, with automatic hoistway and car doors, equipped with VVVF technology drive and with all the required safety devices from the code. Normally loaded car travels between the floors at the moment VVVF inverter fails. The car starts moving uncontrolled downwards; the overspeed governor activates car safety gear, which blocks the car to the guide rails. Because the safety devices involved in this case were functioning as it is purposed, this accident finally was not more than normal technical malfunction of one of the major elevator components. It is clear from the facts known that the car was achieved overspeed, where it was blocked by the safeties. Based on this, however, one of the passengers was injured and he has bruise.

Other arising question from this case is „what behavior elevators should have in cases like this- to wait the raising speed activating the overspeed governor and after that to use the car safety gear to stop the falling car, or, may be better, to follow other safety procedure"? But this question is a matter of other researches.

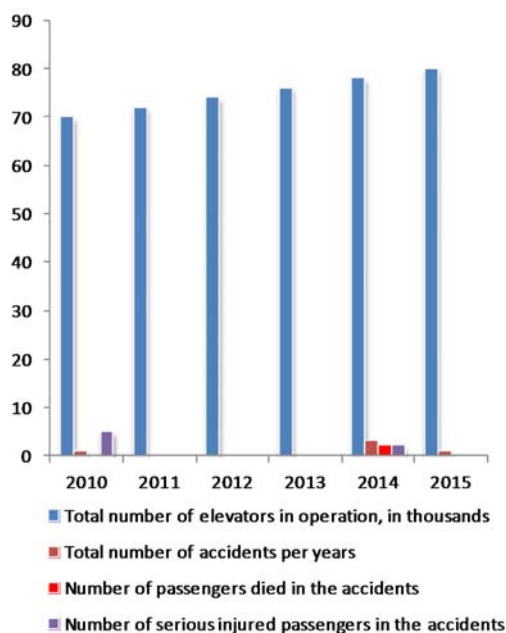
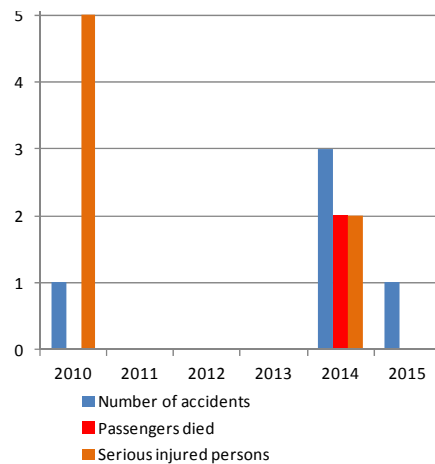


Figure 1: Last 5 years- graphical representation of the total number of elevators in operation (in thousands), number of accidents, number of deaths and number of serious injured persons

On the Figure 1 represented graphically are the total number of elevators in operation in Bulgaria, total number of recorded accidents, number of passenger died in the accidents and number of serious injured persons in these accidents. (Base of the total number of elevators in operation is information in the public from the SAMTS). It is possible to classify these accidents by their severity of harm according to BDS EN ISO 14798- Lifts (elevators), escalators and moving walks- Risk assessment and reduction methodology. Here is the place to mention that in Table C.1, Anex C of BDS EN ISO 14798 are stated levels of severity of the harm from level 1- High to level 4- Negligible. This table is represented here bellow as Table 1. Pursuant to this classification Figure 2 represents the same accidents by their number, number of seriously injured persons and number of persons died. This represents the accidents where the severity of harm according to the above mentioned standard is of the highest level 1 and level 2. The persons who receive lower level of severity of harm are excluded from this graph.

Table 1: Levels of severity of the harm according Annex C of BDS EN ISO 14798

Identify level of severity	Description
1 - High	Death, system loss, or severe environmental damage
2 - Medium	Severe injury, severe occupational illness, or major system or environmental damage
3 - Low	Minor injury, minor occupational illness, or minor system or environmental damage
4 - Negligible	Does not result in injury, occupational illness, or system or environmental damage

**Figure 2:** Last 5 years- graphical representation of the number of accidents, number of deaths and number of serious injured persons

4. COLLECTED DATA DURING THE EXPERIMENTAL RESEARCH

During the research, 54 elevators were analyzed. These units are located in one of the economically poorest regions of the country. Instead of this research, it is important to mention that all the units where safety issues were found, the owner suspend their operation immediately. The extract from the survey results are shown in tables 2, 3 and 4 here bellow.

It is clear the number of units with safety gears affected is 3 and the units with overspeed governor affected are 2. But the total number of units where the complete system of overspeed governor and safety gear not works as it is purposed is the sum of the above, so the total number of the affected units is 5. This is based on the fact that in order to have properly

working system it is necessary all the components inside to work properly. Or with other wording, if we have to have the car not falling down in case of ropes broken, it is necessary all the components in the related system to work in the proper manner. In this system the overspeed governor appears as the activation device for the safety gears and the safety gears are the device which has to be actuated from the governor's rope.

Table 2: Number of units with safety devices affected by type of device

Total number of units in the research	Number of units with safety gears affected	Number of units with overspeed governor affected
54	3	2

Table 3: Total number of units with safety devices affected and percentage from the total number of units in the research

Total number of units in the research	Total number of units with safety devices affected	Percentage of safety affected units from the total number of units in the research
54	5	9,26 %

Table 4: Total number of units with other technical issues where the safety is not directly affected and percentage from the total number of units in the research

Drive sheave wear	Broken wires in the ropes	Worm gear wear	Others	Total number of units with other technical issues	Percentage of units with other technical issues
3	1	3	6	13	24,07 %

Other part of this research is shown in Table 4. Here are represented the results in the part of the general technical issues of the units. The number of units with drive sheave wear is 3, the number of units were broken wires in the hoisting ropes is 1, the number of units were the worm gear have wear is 3. The number of units in cell other represents issues such as car and counterweight guide shoes wear, door dampers not

properly working, stored materials in the machine room, etc. Because these issues are related mainly to the technical condition of the units and not to the general safety, these units are still in operation with notes in the corresponding papers according to the legislation. In these cases the owner and the maintainer of the units has to act as soon as possible in order to solve these technical issues.

5. IDENTIFIED SAFETY ISSUES

The main identified problem in the face of safety is the not working safety gears of one of the types used. The problem type is toothed wedge safeties, as it was described in 2.12. Picture 3 illustrates the key part of this type of safety gears- toothed wedge, which have to react with the guide rail.



Picture 3: Toothed wedge

The construction of this wedge contains two parts, as it can be seen from this picture as well. They are steel toothed body and bronze sliding part, bolted on the back. The toothed part is the working surface of the safety block while the bronze sliding part is in contact and is purposed to glide with the safety block body. The condition for proper work of this device is to provide self wedging. This is possible when the coefficient of friction between the toothed part and the rail is bigger than the one between the safety block body and the bronze slide. On the Figure 3 is shown schematic of acting forces of this type of wedge safety block. Here bellow are the formulas for force analysis of this type of safety gear and finally the explanation why this dependence of coefficients of friction has to be fulfilled.

The condition for self wedging is to have positive resulting vertical force on the wedge, or this force to act in upwards:

$$F1 - N2 \cdot \sin \alpha - F2 \cdot \cos \alpha > 0 \quad (1)$$

From the equality of horizontal projections of the forces follows:

$$N1 + F2 \cdot \sin \alpha - N2 \cdot \cos \alpha = 0 \quad (1)$$

And if we consider the following from Amonton's law:

$$\mu1 \cdot N1 = F1$$

and

$$\mu2 \cdot N2 = F2$$

Self wedging can be achieved if:

$$\tan \alpha < \frac{\mu1 - \mu2}{1 + \mu1 \cdot \mu2} \quad (1)$$

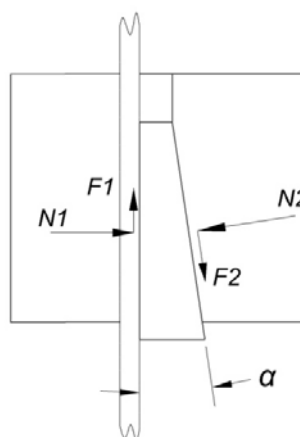


Figure 3: Schematic of forces of wedge type safety block

The last well known formula explains why the dependence of both coefficients of friction has to be fulfilled in order to have working device. Also, in order to achieve the higher coefficient of the working surface in most cases the wedge is toothed or channelled, as well as hardened to achieve higher wear resistance. The last thing is very important in the long term like in this case with elevators of more than thirty years old.

It was surely proven by the survey and tests that in all the cases where the bronze slide was clean and properly oiled or greased and the toothed surface was clean and without grease and dirt the safeties works as it is necessary. On the contrary, in all the cases where the toothed surface was dirty or greased the safeties doesn't work at all. During the tests it was not possible to activate them even after 5 attempts.

In order to analyze the reason it is necessary to mention other aspect of the problem. The dust and dirt on the toothed surface is mixed with oil from the rails. In the problem cases this dirt covers completely the entire height of the teeth. This new surface provides different coefficient of friction than the designed one, definitely lower one. In the same time on the back we have again dust and dirt from the years of operation and again we have different coefficient of friction than the necessary according to the design. As it was cleared from the formulas above, the reason for not working safety gear of this type in these conditions is in the non realizing the self wedging process because of reduced coefficient of friction between the working surface of the wedge and the rail, and in the same time the changed (most probably raised) coefficient of friction between the bronze slide and the safety block body. Because of all these changes, the self wedging is not happening and the wedge just sliding on the rail.

The next thing cleared from the analysis is the requirements of the applicable instruction for maintenance and repair of these types of elevators. This instruction is the leading document for the proper maintenance of these elevators, and this is as standard for each type of machine. In this document special attention is paid for the safety of the elevator and to the measures to provide it. There under yearly maintenance procedure is stated dismantling, cleaning and greasing/oiling of the safety gear blocks, as well as adjustment and test for proper work after assembly. In the problem cases it is visible that this procedure was not followed for a long period of operation. The result of this is not working elevator's safety device- the component which stops the elevator car in case of exceeding the nominal speed. This problem leads the unit to really dangerous situations where the car will not be blocked in case of need. Also these units are dangerous for operation as it is specified in SRSETSL.

Other key safety component is the overspeed governor. First problem ascertained is the missing seal on the adjusting screw. The tripping speed of the device is not guaranteed in these conditions. During the research it was proven that where the seal is missing these governors are not tripping at the necessary speed. If we consider the braking distance of well working safety gear of only few centimeters, we have to pay special attention on this fact. The reason

is the limitation on the acceleration levels during the emergency stop of the car by the means of the instantaneous safety gears used. This limit is average 25 m/sec^2 , and peak value of 30 m/sec^2 according to the requirements at the times of design and manufacture of the units. As experimentally is proven that the braking distance is 15 mm approximately, these limits means that the maximal tripping speed and maximal nominal speed of lifts when using this type of safety gears are limited to the following values:

Maximal tripping speed:

$$V_{tr} = \sqrt{2 \cdot a \cdot s} \approx 0.95 \text{ m/sec.}$$

Maximal nominal speed:

$$V_{nom} = 0.68 \div 0.83 \text{ m/sec}$$

From these values the danger from the higher than the necessary tripping speeds is clear. In the case of higher than the above values of speed together with the same braking distance means that the acceleration goes to the higher and dangerous values of much more than 30 m/sec^2 . These values are really dangerous for health and even the life of passengers inside the car.

The other safety related problem found during the research with the system of the overspeed governor was the missing tension of the governor rope mainly in one of the types of diversion pulleys used. The affected type of the diversion pulley is with spring force and without safety contact used. The problem is based on elongated rope and as a consequence exhausted move of the tension mechanism. In this case the necessary tension in the rope of the system is not provided and thus the system is not working at all. This again represents serious danger for the users and these units are dangerous for operation as it is specified in SRSETSL.

6. ANALYSIS ON THE REASONS FOR THE NONCONFORMITY OF THE UNITS

When making this analyze we have to be very careful. The reason is the sensitivity in the Bulgarian society when talking about the elevator safety.

6.1 Safety gears.

It was proven the main reason for this is the not performed operations according the manufacturer's instructions. The safeties with the wedges were not clean and properly oiled. The frequency of appearance is high- each of the problem units has this problem. The related risk is also very high- in case of

need this safety device will not block the car to the guide rails.

Other identified reason was in the not proper adjustment of the activation levers of the safeties. But we have to consider that this reason was found in only one case of all the studied units, so the frequency of appearance is very low and it is related to the not followed instructions as it was described above.

6.2 Overspeed governor

The first problem with this safety device is the tripping speed. The seal on the tripping speed adjustment screw is missing. The real tripping speed is quite higher than the needed one in few cases. The related risk is high- in case of need the acceleration caused from the activation of the safeties will be higher than the limits. Not only this, but there is additional risk based on the fact that the safeties have maximal tripping speed and their proper work is not guaranteed for higher speeds.

Other serious problem is with the not enough tension of the governor rope because of elongated rope and as a consequence exhausted move of the tension mechanism. In this case the problem is the same- again the safety gears were not activated during the tests.

7. CONCLUSIONS FROM THE RESULTS

1. This research proves that the safety level of these elevators is like it was required at the time when these units are designed and manufactured in the conditions of proper maintenance and service provided. In this relation it is confirmed generally that these units meet the corresponding legislation safety requirements.

2. In few cases, some units and the places they work have issues, which are not directly related to the general safety of the elevator operation, but in fact these issues represents discrepancy of the current legislation.

3. There were few cases with safety affected. But in all of them the reason for this fact was in the field of the proper maintenance and adjustment of the safety devices and their activation mechanisms and not in the constructional or design part.

4. In all the problem cases there were necessary very few efforts in order to achieve the proper level of safety of the elevator. These efforts containing simple

operations like dismantling, cleaning, assembling, adjustment and testing of some safety devices.

5. It was found during the research that the use of spring tensioning device of oldest type is not safer enough mainly because of short possible move until exhausting of only few centimetres, compared with the other types possible as well as the not present safety contact for the rope elongation/breaking. Even in case of proper maintenance it is still possible to have not properly working device, which combined with the not present safety contact for the rope elongation/ breaking directly concerns the safety of the units affected.

6. During the research it was found that the Bulgarian State Agency for Metrological and Technical Supervision is failing during the last years in the field of accidents preventing activities, as well as public activities in the field of information campaigns on the safety issues. It appears this organization as a rule of the last years is acting and informing in public only when something happened or somebody is died. But in the same time in the public there is lack of knowledge, information and transparency under this matter. In the same time other European countries have different practises. There as a standard these organizations performing informational and prevention campaigns in the field of safety and not only their control and supervisory functions. The results from these campaigns are much more than sufficient. That is why SAMTS has to break this old behaviour model of performing only control activities and to establish new model with accidents preventing and informative campaigns in the public, as well as starting to be more transparent when doing all the related activities in Bulgaria.

8. MAIN PROPOSED MEASURES TO BE TAKEN

This research proves the importance of proper and reliable maintenance, repair and services, as well as the reliable, independent and free of any bias technical supervision of elevators. Also the results prove the importance of the proper maintenance and repair instructions, which have to be strictly followed during the works on the elevators, even for newer units. Finally the following measures on few levels are proposed:

1. Provide a proper internal supervision of the maintenance and repair works. As a base ISO 9001 family standards can be used.

2. Provide proper control and reporting methods for the licensed companies for technical supervision as part of their integrated quality management systems according to ISO 9001, which is already compulsory for these companies. Reporting system for these activities also is proposed in order to make the work of the technical supervisors more transparent and reliable.

3. Improvement and strengthen the SAMTS supervision and control activities to the licensed bodies for technical supervision in order to achieve the necessary and higher level of safety of these units.

4. Changes in the terms and conditions of the knowledge and the related certification of the lift technicians, which performing maintenance and repair works on these machinery. As a part in these changes, the related license of these persons has to be validated for example each 2 years and not unlimited.

5. Replacement of the old spring type governor rope tensioning devices with the newer one, where tensioning weight and safety contact are used in order to achieve higher safety level and to decrease the possibility of failure of the overspeed governor work.

6. It was proven that the level of awareness of the users and in some cases the maintainers is low. The

Bulgarian SAMTS has to establish new model of activities in the field of accidents preventing and informative campaigns in the public, for supervisory bodies, for maintenance companies and for owners and users of elevators. In the same time this organization has to be more transparent when doing all the related activities.

7. Information for the accidents happened- reasons, actions, effect and harm has to be public, not hidden in some institutions. Register with open access has to be established immediately.

Bibliography:

1. BDS EN 81.1 Safety rules for the construction and installation of lifts- Part 1: Electric lifts;
2. **Barney G.** "Elevator Traffic Handbook", Spon Press, London and New York, 2003, ISBN0-415-27476;
3. **Arhangelskiy G.G., Babichev S.D., Vaksman M.A., Kotelnikov V.S.** „Hydraulic lifts” ASV, 2002, ISBN 5-03093-121-6;
4. **Chavushian N.K.**, „Elevators and shaft hoisting machines” Tehnika 1980;
5. Law for the technical requirements to the products, State Gazette 86 from 01.10.1999 and feature amendments and changes;
6. State regulation for safe operation and technical supervision of elevators, State Gazette 33 from 11.04.2003 and feature amendments and changes;

ОЦЕНЯВАНЕ И УДОСТОВЕРЯВАНЕ НА СЪОТВЕТСТВИЕТО ЗА ОПЕРАТИВНА СЪВМЕСТИМОСТ В ИНФРАСТРУКТУРНИ ПРОЕКТИ НА ЕС

Галя РАДЕВА Милчо ГЕОРГИЕВ

катедра „Основи и технически средства за конструиране“, Технически университет – София

e-mail: galya.radeva@gmail.com, mtge@tu-sofia.bg

Резюме: В разработката е засегнато оценяване и удостоверяване на съответствието относно Оперативната съвместимост спрямо Европейското техническо законодателство в проекти на Европейския съюз. Изяснена е теоретичната постановка, нормативната уредба и на тази база са изведени обобщение на модели за оценяване на съответствие за оперативна съвместимост и съставните им елементи.

Оперативната съвместимост на трансевропейската железопътна система като цяло е една съвременна развита широка основа за необходимо взаимодействие и хармонизация на отделните подсистеми, елементи, параметри и други белези. Този анализът е построен върху реална процедура за реална система в европейски проект за високоскоростна железопътна линия Пловдив – Свиленград – турска/гръцка граници на Национална Компания Железопътна Инфраструктура – България.

Ключови думи: Оценяване, съответствие, оперативна съвместимост, проекти.

ТЕОРЕТИЧНА ПОСТАНОВКА

Оперативна съвместимост (от английски език interoperability) е свойството на различни системи или организации да работят съвместно. Терминът се използва обикновено в чисто технически смисъл, но има и по-широка употреба, при която се отчитат социални и политически фактори, влияещи на функционирането на организациите.

Американският Институт на електро и електронните инженери (IEEE — Institute of Electrical and Electronic Engineers) дава следната дефиниция на понятието: Способността на две или повече системи или компонента да обменят информация и да използват тази информация (the ability of two or more systems or components to exchange information and to use the information that has been exchanged).

Пътищата за постигане на оперативна съвместимост в технически смисъл са:

- * чрез подходящо проектиране на продуктите,
- * чрез партньорство между компаниите в съответния промишлен сектор и в професионалните среди,
- * чрез осигуряване на достъп до технологии и патенти и чрез прилагането на стандарти.

Съгласно дефинициите, възприети в Европейския съюз:

- Оперативна съвместимост е способността на информационните системи и бизнес процесите,

които те поддържат, да обменят данни и да интегрират информация и знание.

- Системната интеграция се дефинира, като способност на функционалните поведения на различните системи, както и данните, върху които те се базират, да се интегрират в нови бизнеспроцеси.

- Рамка за оперативна съвместимост е комплекс от стандарти, правила и ръководства, които описват начините за постигане на дефинираната по-горе оперативна съвместимост.

ИЗЛОЖЕНИЕ

Оперативната съвместимост на инфраструктурната система (в частност железопътната) в рамките на Общността е способността на въпросната система да позволява безопасно и непрекъснато движение. Това зависи от всички регулаторни, технически и експлоатационни условия, които трябва да бъдат спазени, за да се спазят всички изисквания. Тези условия се отнасят до проектирането, конструирането, въвеждането в експлоатация, разширяването, обновяването и поддръжката на частите от системата. В Държавен вестник е обнародвана Директива 2008/57/ЕО относно оперативната съвместимост на железопътната система в рамките на Общността. Директивата има за цел да установи условията, които да бъдат изпълнени за постигане

на оперативна съвместимост в рамките на железопътната система на ЕС по начин, който да съответства на разпоредбите на Директива 2004/49/ЕО. Тези условия се отнасят до проектирането, конструирането, въвеждането в експлоатация, разширяването, обновяването, експлоатацията и поддръжката на частите от системата, а също и професионалната квалификация и условията за безопасност и опазване здравето на персонала, който допринася за експлоатацията и поддръжането ѝ.

Присъединяване на България към Европейския съюз и в частност на железопътната ни система към европейската поражда редица аспекти от техническо, организационно и друго естество. Такава е и влязлата вече в сила от 25 юни 2005 г. Наредба №57 - "За съществени изисквания към железопътната инфраструктура и подвижния състав за осигуряване на необходимите параметри на взаимодействие, оперативност и съвместимост с трансевропейската железопътна система". С нея следва да се запознаят и да я прилагат всички специалисти от различен ранг, включително и в сферата на българските железници.

В рамките на настоящата разработка ще бъдат отбелязани някои от най-важните и общи моменти от въпросната Наредба, позволяващи обобщение на модели за оценяване на съответствие за оперативна съвместимост.

В глава първа на наредбата – Общи разпоредби, се определят условията за постигане на взаимодействие, оперативност и съвместимост на националната с трансевропейската железопътна система, а също и ред други изисквания. Националната железопътна система, като част от трансевропейската, се разделя на подсистеми, които са структурни и функционални. За всяка от тях се определят специфични съществени изисквания.

Основните цели на глава втора – "Съществени изисквания" (последните са общи и специфични към подсистемите и съставните елементи на железопътната система) са, най-общо казано, съхраняване живота на хората и опазване на околната среда. Глава трета е посветена на т. нар. "Технически спецификации за оперативна съвместимост" (ТСОС). На ТСОС трябва да отговаря всяка подсистема като цяло, както и всяка част от нея, по време на експлоа-

тацията си, с цел постигане на оперативна съвместимост на националната железопътна система с европейската. В ТСОС могат да бъдат включени и специални условия – географски, топографски или касаещи инфраструктурата на урбанизираните територии.

Глава четвърта се отнася до "Съставните елементи на оперативната съвместимост. Оценяване и удостоверяване на съответствието и/или годността за употреба". В случая декларацията за съответствие се изготвя от лицето, което е подало заявката, включително и съответстващите елементи и подробности.

Глава пета е "Подсистеми, проверка и удостоверяване на съответствието". Това всъщност са частите, в които са развити и съответните изисквания, указания и процедури за подсистемите. Глава шеста – "Лица за оценяване", засяга подбора, пълномощията, отчетността и контрола на оценителите. Глава седма – "Регистри" води и ежегодно актуализира регистъра на подвижния състав и базата данни на инфраструктурата.

В приложенията към Наредбата за трансевропейската ж.п. система са посочени и включваните в нея подсистеми, които си взаимодействат. Инфраструктурата се разглежда като единна система, чиято цялост и съгласуваност подлежат на проверка по отношение на експлоатационните показатели:

- Основни параметри (ОП) – те са свързани, включително и със съответни величини и изисквания.

- Връзки на подсистемата "Инфраструктура" с други подсистеми от гледна точка на техническата съвместимост.

С решение на Комисията от 6 март 2008 г. относно техническа спецификация за оперативна съвместимост, свързана с подсистема "Енергия" на трансевропейската железопътна система за високоскоростни влакове (нотифицирано под номер С(2008) 807) КОМИСИЯТА НА ЕВРОПЕЙСКИТЕ ОБЩНОСТИ, като взе предвид Договора за създаването на Европейската общност и Директива 96/48/ЕО на Съвета от 23 юли 1996 г. относно оперативната съвместимост на трансевропейската железопътна система за високоскоростни влакове, с Решение 2002/733/ЕО на Комисията определя първата техническа спецификация за оперативна съвместимост (ТСОС) от

носно трансевропейската енергийна подсистема за високоскоростни влакове. Тази ТСОС позволява, за ограничен период от време, елементи на оперативната съвместимост да бъдат включени в подсистеми без сертифициране, ако са изпълнени определени условия.

Железопътното движение понастоящем се експлоатира съгласно действащите национални, двустранни, многонационални и международни договори. Важно е тези договори да не възпрепятстват настоящия и бъдещ напредък към оперативната съвместимост. За тази цел е необходимо Комисията да разгледа тези договори, с цел да определи дали ТСОС, представени в настоящото решение трябва да бъдат съответстващо ревизирани. ТСОС се основава на най-добрите налични експертни знания към момента на подготовка на съответния проект на ТСОС.

За да продължи да стимулира иновациите и за да вземе предвид натрупания опит, конкретните ТСОС следва да е предмет на периодично преразглеждане. ТСОС трябва да позволяват и иновационни решения. В случаите, когато са предложени такива, производителят или възложителят посочват отклонението от съответния раздел на ТСОС.

Съгласно член 5, параграф 3 на Директива 96/48/ЕО, изменена с Директива 2004/50/ЕО, определена ТСОС:

- а) посочва предвидения си обхват;
- б) полага съществени изисквания към конкретна подсистема и нейните интерфейси спрямо другите подсистеми;
- в) установява функционалните и технически спецификации, на които трябва да отговаря подсистемата и нейните интерфейси спрямо другите подсистеми;
- г) определя съставните елементи и интерфейси на оперативната съвместимост, които да са обхванати от европейските спецификации, включително европейските стандарти, необходими, за да се постигне оперативна съвместимост в рамките на трансевропейската железопътна система;
- д) указва, във всеки отделен случай, който се разглежда, кои процедури да се използват, за да бъде оценено съответствието или годността за употреба на съставните елементи на оперативната съвместимост или ЕО утвърждаването на подсистемите;

е) посочва стратегията за прилагане на конкретната ТСОС;

ж) посочва професионалните компетентности за съответния персонал, както и условията за здраве и безопасност на труда, които се изискват при експлоатацията и поддръжката на подсистемата, както и за прилагането на ТСОС.

ФУНКЦИОНАЛНИ И ТЕХНИЧЕСКИ СПЕЦИФИКАЦИИ НА ИНТЕРФЕЙСИТЕ

От гледна точка на техническата съвместимост интерфейсите на определена подсистема с другите подсистеми се описват чрез връзки с конкретните параграфи в конкретните нормативни актове:

Интерфейси с подсистемите P1, P2, Pn			
Интер-фейс	Препратка към ТСОСx	Препратка към ТСОСy	Препратка към ТСОСz
Подсистема P1	§ x. 1. 1. 1	§ y. 1. 2. 1	§ y. 1. 3. 1
Подсистема P2	§ x. 2. 1. 1	§ y. 2. 2. 1	§ y. 2. 3. 1
Подсистема Pn	§ x. 3. 1. 1	§ y. 3. 2. 1	§ y. 3. 3. 1

ОЦЕНКА НА СЪОТВЕТСТВИЕТО НА СЪСТАВНИ ЕЛЕМЕНТИ НА ОПЕРАТИВНАТА СЪВМЕСТИМОСТ И ПРОВЕРКА НА ЕО НА ПОДСИСТЕМИТЕ

Процедурата, използвана за оценка на съответствието на съставните елементи на оперативна съвместимост, трябва да бъде изпълнена чрез прилагане на съответните модули. Използват се следните модули за оценка на съответствието на съставните елементи на оперативната съвместимост:

- а) **СА** „Вътрешен контрол на продукта“;
- б) **СВ** „ЕО изследване на типа“;
- в) **СД** „Съответствие с типа въз основа на система за управление на качеството на производствения процес“;
- г) **СФ** „Съответствие с типа въз основа на проверка на продукта“;
- д) **СН** „Съответствие въз основа на пълна система за управление на качеството“.

Модули за оценка на съвместимостта за прилагане към съставните елементи на оперативна съвместимост			
Процедури Пуснати на пазара на ЕС	Про-д укт X	Свър-з ан про- дукт Xi	Свър-за н про- дукт Xj
- преди влизането в сила на оп- ределена ТСОС	СА или СН	СА или СН	
- след вли- зането в сила на оп- ределена ТСОС	СВ+С D или СВ+С F или СН		

В случай на продукти, предложени на пазара преди публикуването на настоящата ТСОС, типът се счита за одобрен, поради което не е необходимо ЕО изследване на типа (модул СВ), при условие че производителят демонстрира, че изпитанията и проверката на съставните елементи на оперативна съвместимост са счестени за успешни при предходни приложения при сходни условия и са съвместими с изискванията на конкретна ТСОС. Ако е невъзможно да се демонстрира, че решението е преминало с успех проверка в миналото, се прилага процедура за съставни елементи на оперативна съвместимост, пуснати на пазара на ЕС след публикуването на конкретна ТСОС.

Оценката за съвместимост на съставните елементи на оперативна съвместимост трябва да обхваща всички фази и характеристики.

СЪСТАВНИ ЕЛЕМЕНТИ НА ОПЕРАТИВНА СЪВМЕСТИМОСТ, ОБЕКТ НА ДРУГИ ДИРЕКТИВИ НА ОБЩНОСТТА

Член 13, параграф 3 от Директива 2008/57/ЕО гласи „Когато съставните елементи на оперативната съвместимост са предмет на други директиви на Общността, обхващащи други аспекти, декларацията на ЕО за съответствие или годност за употреба посочва в такива случаи, че съставният елемент на оперативната съвместимост от-

говаря също и на изискванията на тези други директиви.“

ОЦЕНКА НА СЪСТАВНИТЕ ЕЛЕМЕНТИ НА ОПЕРАТИВНАТА СЪВМЕСТИМОСТ ЗА ДЕКЛАРАЦИЯТА НА ЕО ЗА СЪОТВЕТСТВИЕ

Техническите данни на съставните елементи на оперативната съвместимост, които трябва да се оценят от уведомления орган или от производителя в съответствие с избрания модул, на различните етапи от проектирането, развитието и производството, се отбелязват с “X”. Случаите, при които не се изисква оценка, в таблицата са маркирани с „не се прилага“.

Оценка на съставните елементи на оперативната съвместимост за декларацията на ЕО за съответствие				
Характеристики подлежащи на оценка	Оценка в следната фаза			
	Фаза на проектиране и разработка			Производствена фаза
	Преглед при проектирането	Преглед на производствения процес	Типово изпитване	Качество на продукта (серия)
Нп	- X - не се прилага	- X - не се прилага	- X - не се прилага	- X - не се прилага

ДОКУМЕНТАЦИЯ

Сертификатът за проведена проверка на подсистемата съгласно изискванията на ЕО трябва ясно да посочва кои съставни елементи на оперативната съвместимост са били оценени от уведомления орган като част от проверката на подсистемата.

Декларацията на ЕО за проверка на подсистемата трябва ясно да посочва:

а) кои съставни елементи на оперативната съвместимост са били оценявани като части от подсистемата;

б) потвърждение, че подсистемата съдържа съставни елементи на оперативната съвместимост, еднакви с проверяваните като част от подсистемата;

в) за тези съставни елементи на оперативна съвместимост причината(ите), поради която(които) производителят не е осигурил декларация на ЕО за съответствие и/или годност за употреба преди вграждането в подсистемата, включително прилагането на националните разпоредби, нотифицирани по член 17 от Директива 2008/57/ЕО.

гана, който отговаря за поддръжката. Във всички случаи отговорният за поддръжката орган трябва да гарантира, че компонентите за смени, свързани с поддръжката, се използват по предназначение, използват се в тяхната област на приложение и позволяват да се постигне оперативна съвместимост на железопътната система и в същото време изпълняват съществени изисквания. Такива компоненти трябва да могат да бъдат проследявани и сертифицирани в съответствие с някое национално или международно правило или някой кодекс на добрите практики, който е широко възприет в съответния сектор. (Докладвана ОТСК 2010 г.)

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

По време на преходните периоди, както и след тях, докато подсистемата бъде модернизирана или обновена (като се взема под внимание решението на държавите-членки за прилагане на ТСОС), съставни елементи на оперативната съвместимост, които не притежават декларация на ЕО за съответствие и/или годност за употреба и са от същия тип, могат да бъдат използвани като свързани с поддръжката заместители (резервни части) за подсистемата – на отговорност на ор-

Литература

1. CENELEC, EN 50126: Railway applications – The specification and demonstration of Reliability, Availability, Maintainability and Safety (RAMS). 1998.

2. Директива 2008/57/ЕО.

3. Наредба №57 - "За съществени изисквания към железопътната инфраструктура и подвижния състав за осигуряване на необходимите параметри на взаимодействие, оперативност и съвместимост с трансевропейската железопътна система"

CONFORMITY ASSESSMENT IN RESPECT OF THE EUROPEAN TECHNICAL LEGISLATION REGARDING RELIABILITY, AVAILABILITY, MAINTAINABILITY AND SAFETY (RAMS) IN EU PROJECTS

Galya RADEVA Milcho GEORGIEV

Fundamentals of design department, Technical University-Sofia, Bulgaria

galya.radeva@gmail.com, mtge@tu-sofia.bg

Abstract: As far as the systems, products and relationships between the sectors cultivate more and more and become more complex, the RAMS standards form a necessity, which could decrease the necessary resources. These standards are the best the economic standards, including contemporary high-tech goods/services like transport, space industry and others, where the safety and precise issue are of exclusive importance. The analyses is built on a real procedure of a real system in European project for high speed railway track Plovdiv – Svilengrad – Turkish/Greek border of the National Company Railway Infrastructure – Bulgaria. The quoted specific requirements are an integral part of the Total Quality Control and are incredibly complicated because of their innovative character and lack of essential information, so this development could be of considerable advantage for this area' specialists.

Key words: Availability, Maintainability, Reliability, RAMS

БЕЗКОНТАКТНИ АКУСТИЧНИ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛИ ТИП „ДЮЗА-ПРЕГРАДА“

Аспарух НИКОЛОВ

Катедра “Прецизна техника и уредостроене”, Технически университет – София, България
e-mail: asparuh@tu-sofia.bg

Резюме: Статията разглежда устройства за безконтактно измерване и контрол на геометрични величини, използващи акустични ефекти. Отбелязани са техните предимства и недостатъци. Измервателните преобразуватели са класифицирани и са сравнени някои от основните им характеристики като чувствителност и измервателен обхват.

Ключови думи: безконтактни преобразуватели, акустични устройства

1. УВОД

Въпреки достиженията на съвременните електронни и компютърни средства за обработване на измервателна информация, метрологичните характеристики на системите за измерване и контрол се определят предимно от преобразувателите. Те пряко възприемат измерваната величина и я преобразуват във величина, подходяща за по-нататъшно обработване. Най-голямо приложение имат преобразувателите, които преобразуват информацията в електрически сигнал, с оглед удобството при нейното предаване, обработване и регистриране.

За безконтактен контрол на геометрични параметри на машинни детайли - линейни и ъглови размери, отклонения на формата и разположението и грапавостта на повърхнините често се използват пневматични методи и средства заради предимствата им, състоящи се в простата конструкция на първичните контролни органи, малките размери на преобразувателите, малкият измервателен натиск, стабилната работа в условия на вибрации и взривоопасна среда, високата надеждност и относително ниската себестойност. Измервателният им обхват е 40 - 160 μm , а относителната им основна грешка 2 - 2,5 % [1;8]. Основни техни недостатъци са необходимостта от захранване със сгъстен въздух и липсата на електрически изходен сигнал за връзка със системите за обработка на информация и управление на технологични процеси.

Алтернатива на пневматичните средства за безконтактен контрол на геометрични величини могат да бъдат такива устройства, при които в процеса на преобразуване на измерваната величина се използват акустични ефекти като носи-

тели на информация. Това би позволило отстраняване на посочените недостатъци.

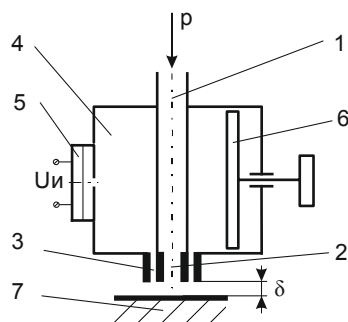
Преобразувателите от този тип могат да бъдат разделени на две групи:

- с изходен сигнал честота;
- с изходен сигнал амплитуда или фаза.

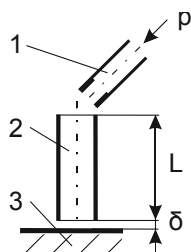
2. ПРИНЦИПНИ СХЕМИ

На фиг.1 е показана принципната схема на преобразувател [9], при който през тръбопровод 1 се подава въздух под налягане, изтичащ през хлабината δ , образувана между контролирания обект 7 и челата на концентрично разположените дюзи 2 и 3. При определена стойност на хлабината δ в глухата камера 4 възникват пулсации на налягането вследствие на ефекта на Коанда. Тези колебания се преобразуват в електрически сигнал от електромеханичен преобразувател (микрофон) 5. Честотата им зависи от хлабината δ и обема на камерата, който може да се регулира чрез преместване на буталото 6. Чувствителността на преобразувателя е над 100 $\text{Hz}/\mu\text{m}$ при обхват 30 μm . Основно предимство на такъв преобразувател е електрическият изходен сигнал. Недостатък е относително високото ниво на шум, което се генерира.

На фиг.2 е показан преобразувател [10] на базата на генератор на Хартман [7]. Изтичащата от дюзата 1 струя въздух попада под ъгъл в тръбата 2 като поражда в нея акустични трептения. Честотата на трептенията се определя от дължината на тръбата L и хлабината δ , между челото на тръбата и преградата 3. Чувствителността на преобразувателя е 4 $\text{Hz}/\mu\text{m}$ при обхват 120 μm .



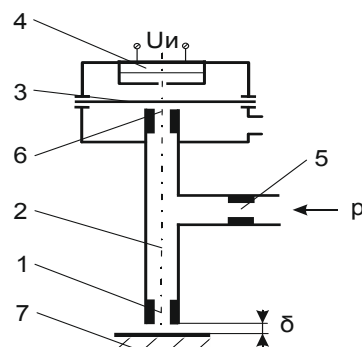
фиг.1 Пневмоакустичен преобразувател, използващ ефекта на Коанда



фиг.2 Пневмоакустичен преобразувател базиран на генератор на Хартман

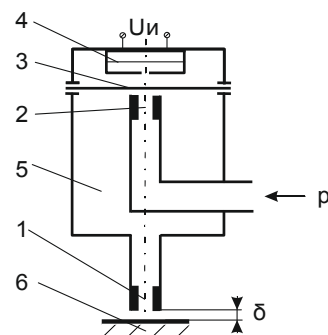
На фиг.3 е показана схема на преобразувател [4], състоящ се от измервателна дюза 1, измервателна камера 2, входна дюза 5, пневмоакустичен генератор и електромеханичен преобразувател 4. Въздух под налягане, преминава през входната дюза 5 в измервателна камера 2 и изтича през хлабината δ и през дюзата 6 на пневмоакустичния генератор. От изтичането на въздуха през хлабината между дюзата 6 и мембраната 3, последната започва да трепти. При съвпадане на собствената честота на мембраната с честотата на някой хармоник от пулсациите на потока въздух, тя изпада в резонанс и започва да трепти със значителна мощност. Електромеханичният преобразувател (микрофон) 4 преобразува акустичното излъчване в електрически честотен сигнал, чиято стойност зависи от налягането в измервателната камера 2, което е функция от хлабината δ . Чувствителността на преобразувателя е $3 \text{ Hz}/\mu\text{m}$ при обхват $60 \mu\text{m}$ и нелинейност 1%.

При преобразувателя, показан на фиг.4, входната дюза и тази на генератора са съвместени в една - дюза 2.



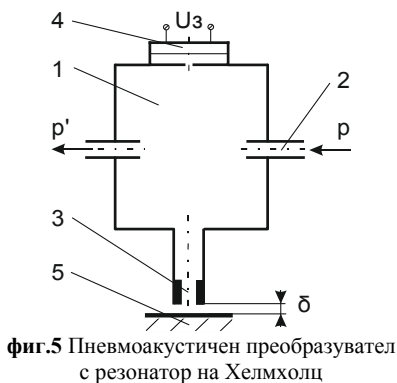
фиг.3 Резонансен пневмоакустичен преобразувател с електрически изходен сигнал

Изменението на хлабината δ между измервателната дюза и преградата води до промяна на налягането в камерата 5. Честотата на трептене на мембраната 3, респективно честотата на изходния сигнал от микрофона 4 зависи от налягането в камерата 5, т.е. честотата е функция на хлабината δ . При такава схема се постига по-висока чувствителност в сравнение с тази от фиг.3. Техен недостатък е високото ниво на шум, което се генерира.



фиг.4 Резонансен пневмоакустичен преобразувател с повишена чувствителност

На фиг.5 е показан пневмоакустичен преобразувател [3;6], състоящ се от резонатор на Хелмхолц 1, струен елемент 2 и източник на звук 4, настроен на резонансната честота на резонатора 1.



фиг.5 Пневмоакустичен преобразувател с резонатор на Хелмхолц

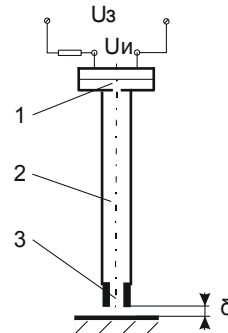
При промяна на хлабината δ между дюзата 3 и преградата 5 се променя нивото на звуковото налягане в резонатора и изходното налягане в струйния елемент. Диапазонът на промяна на δ , в който преобразувателят има висока чувствителност е около 60 - 80 μm . Недостатък на схемата е отсъствието на електрически изходен сигнал.

На фиг.6 е показана принципната схема на акустичен преобразувател [2], който се състои от канал (тръба) 2, в единият край на който е разположен източник на акустични трептения (електромеханичен преобразувател двигателен тип) 1, а на другият и край е монтирана измервателна дюза 3. Към електроакустичния преобразувател 1, който може да бъде микрофон, работещ в двигателен режим, се подава променливо напрежение с постоянна честота по схема на делител чрез резистор R. Трептенията на мембраната на микрофона възбуждат акустични вълни в канала 2 и променливо напрежение от индукция в бобината на използвания електромагнитен микрофон, което е аналогично на допълнително съпротивление във веригата.

Пълното комплексно съпротивление на веригата е $Z = R + Z_0 + Z_1$, където Z_0 е комплексното съпротивление на бобината при неподвижна мембрана, а Z_1 - комплексното съпротивление от електродвижещо напрежение на индукция. Отразената от контролирания обект (преграда, разположена пред дюзата) вълна въздейства върху мембраната и изменя амплитудата на нейните трептения.

Това води до промяна на Z_1 , т.е. на пада на напрежението в бобината и на изходното напрежение

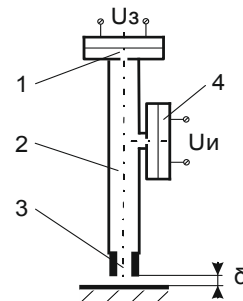
U_i , стойността на което се явява информативен параметър.



фиг.6 Електроакустичен акустичен преобразувател

При промяна на хлабината δ между дюзата и преградата се променя пада на напрежението в бобината на електроакустичния преобразувател. Чувствителността на този тип преобразуватели е 10 mV/ μm . [2]

На фиг.7 е показана принципната схема на акустичен преобразувател [5], който се състои от електроакустичен преобразувател двигателен тип (акустичен излъчвател) 1 и електроакустичен преобразувател генераторен тип (акустичен приемник) 4, свързани чрез комуникационен канал с измервателна дюза 3.



фиг.7 Електроакустичен акустичен преобразувател тип "излъчвател-приемник"

Към електроакустичния излъчвател се подава променливо напрежение U_z с постоянна честота f . Възбудените от него пулсации на въздуха се разпространяват като акустични вълни в канала 2. Част от тях се излъчват в атмосферата през хлабината между дюзата 3 и преградата, а друга част се отразява. При затворена от преградата дюза в

канала 2 възникват стоящи вълни. Ако акустичният приемник 4 се съедини с канала 2 в сечение, където се образува възел на налягането, на изхода на 4 ще се получи изходен сигнал близък до нула. При увеличаване на хлабината δ между дюзата и преградата се променя амплитудата на отразената вълна и изходния сигнал от акустичния приемник 4. Чувствителността на преобразувателя е $10 \text{ mV}/\mu\text{m}$, а грешката му $1 \mu\text{m}$. Дадени са статични характеристики [5], които са нелинейни с линеен участък. Ако се съди от статичните характеристики, обхватът е $20 \mu\text{m}$ при средна хлабина $40 \mu\text{m}$.

Преобразувателите от фиг.7 и фиг.8 имат съществено предимство пред останалите, защото не изискват захранване със сгъстен въздух, имат електрически изходен сигнал, както възможност за използване на стандартни микрофони в качеството на електроакустични преобразуватели. Поради това те могат да бъдат подробно изследвани с цел подобряване на метрологичните им показатели и определяне на областите на тяхното евентуално приложение в измервателната техника. Проведените в [2] частични изследвания могат да бъдат критично използвани. Те са недостатъчни, както за изясняване на физичния принцип на преобразуване, така и за практическо приложение, особено от метрологична гледна точка.

Акустичните преобразуватели, използващи елементи "дюза-преграда" и "дюза-дюза" намират приложение в дискретните устройства на автоматиката [2;7] - микроизключватели, броячи, блокиращи устройства и др. В измервателната техника са намерили приложение в кодовите преобразуватели (линейно или ъглово преместване - цифров код) [5]. Използването им като аналогови преобразуватели на малки премествания е ограничено, тъй като не са достатъчно изследвани.

3. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. В зависимост от това дали в процеса на преобразуване се използва сгъстен въздух или не, преобразувателите на геометрични величини,

използващи акустични ефекти, могат да се класифицират на пневмоакустични и акустични.

2. В зависимост от вида на захранването са разделени на преобразуватели, изискващи захранване със сгъстен въздух и на преобразуватели, изискващи електрическо захранване, а в зависимост от вида на изходния сигнал - на преобразуватели с пневматичен изходен сигнал и на преобразуватели с електрически изходен сигнал.

3. Акустичните преобразуватели имат предимството пред пневмоакустичните, защото не изискват захранване със сгъстен въздух, имат електрически изходен сигнал, удобен за предаване, обработване и регистриране. Освен това те имат проста конструкция, което е предпоставка за висока надеждност и ниска себестойност.

Благодарности

Изследванията са финансирани по научно-изследователски проект в помощ на докторанти N152ПД0034-06, 2015г.

Литература

1. Бахвалов Н., Нелинейна теория звуковых пучков, 1982
2. Бриллиант М.Д., Елимелех И.М., Куссуль Г.М., Наумова А.Б., Высокочастотные устройства пневмоавтоматики, Л, Машиностроение, 1985
3. Дмитриев В.Н., Сажин С.Г., Пневмоакустические измерения технологических параметров, Приборы и системы управления, N2, 1974
4. Дюкенджиев Г.К., Семерджиев А.Х., Пневмочастотни преобразуватели на линейни премествания, "Стандарти и качество" N3, 1987
5. Елимелех И.М., Кузмин Н.А., Кусуль Г.М., Конструктивные особенности пневмоакустического преобразувателя угол-код, Технология судостроения, N7, 1975.
6. Коган И.Ш., Котряхов Н.В., Акустико-пневматический измеритель зазора, АС N1224577, кл. G01B 17/02, 1986
7. Коган И.Ш., Сажин С.Г., Конструирование и наладка пневмоакустических измерительных устройств, М, Машиностроение, 1980
8. Кутай А.К., Сорочкина Б.М., Точность и производственный контроль в машиностроении, Справочник, Л., Машиностроение, 1983
9. Радев Х.К., Пневматичен честотен метод и устройство за контрол на линейни премествания №15 840 МПК G 01 b 13/02, кл. 42b, 26/03
10. Firdaus A., Method and system for sensing an indentifying means, USA Pat. 3 962 903, 1976

CONTACTLESS ACOUSTIC DEVICES FOR MEASUREMENT AND CONTROL OF GEOMETRICAL QUANTITIES

Asparuh NIKOLOV

Department of Precision engineering and measurement instruments, Technical University – Sofia, Bulgaria
[e-mail:asparuh@tu-sofia.bg](mailto:asparuh@tu-sofia.bg)

Abstract: The article examines devices for contactless measurement of geometric dimensions using acoustic effects. Marked are their advantages and disadvantages. Measuring transducers are classified and compared some of their key features such as sensitivity and measurement range.

Keywords: non-contact transducers, acoustic devices

ОПРЕДЕЛЯНЕ НА ПОЛЕТАТА НА ПРЕМЕСТВАНЕ ПОСРЕДСТВОМ АВТОМАТИЗИРАН МЕТОД НА КООРДИНАТНИТЕ МРЕЖИ

Галина ТОДОРОВА

катедра „Съпротивление на материалите”, Технически университет - София, България

e-mail: gtodor@tu-sofia.bg

Резюме: Разработена и приложена е експериментална методика с използване на метода на координатните мрежи за изследване на полето на преместване на плоско пробно тяло с концентратор на напрежения. Представени са експериментални резултати за полето на преместване, получени посредством разработена за целта програмна система от автора. Експерименталните резултати за преместванията са сравнени с резултати, получени по Метода на крайните елементи. Направена е оценка на неопределеността от измерването.

Ключови думи: мрежов метод, експериментално определяне на премествания, неопределеност

1. ВЪВЕДЕНИЕ

Методите за регистриране на премествания и деформации чрез използване на мрежи са създадени около средата на 20 век [8]. Те са били реализирани с наличните към момента средства и апаратура като шаблони и микроскопи. Тези методи дават възможност да се проследи развитието на полетата на преместване и деформация в изследваната област във времето под въздействие на приложено натоварване.

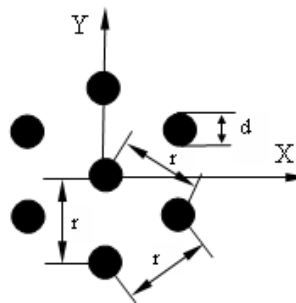
Съвременното развитие на цифровата техника разкрива нови и по-добри възможности за реализиране на експерименталните техники, основани на регистриране и обработка на изображения – в това число попада и метода на координатните мрежи. При този метод върху повърхността на изследвания обект се нанася мрежа с избрана геометрия [5,8,9]. Възможност за усъвършенстване и осъвременяване на този метод е изменението, които настъпват в равнинната област от пробно тяло, върху която е нанесена мрежа да се регистрират в дискретен режим чрез заснемане с цифров микроскоп и запис на компютър. Конфигурацията на мрежата се регистрира веднъж преди прилагане на натоварването върху обекта, а след това през определени интервали от време в процеса на неговото деформиране. Цифровата обработка на подходящо избрани изображения измежду регистрираните позволява автоматизация на обработката им с цел получаване на качествена и количествена оценка за полето на преместване и/или деформация в наблюдаваната област от пробното тяло. След

машабиране резултатите се представят в дискретен и/или интерполиран вид.

2. ПРИНЦИП НА МЕТОДА

Мрежа се нанася върху плоски пробни тела посредством подходяща технология – например с използване на фоторезисти за метали и сплави [8]. Мрежите, които са намерили приложение, са правоъгълни [5,8] или хексагонални [9]. Най-често те се отпечатват върху наблюдаваната повърхност посредством маркери с форма на кръгове, квадрати, къси отсечки или линии.

В настоящата работа е използвана хексагонална мрежа, която е нанесена чрез маркери с форма на кръг. Мрежата има два характерни параметъра – разстояние между центровете на тежест на два съседни маркера – r и диаметър на маркера – d (фиг.1). Параметрите на мрежата при това експериментално изследване са: $r=1\text{ mm}$ и $d\approx 0.25\text{ mm}$.



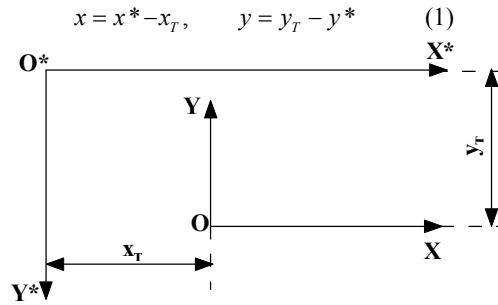
фиг.1 Недеформирана хексагонална мрежа

3.РЕАЛИЗАЦИЯ НА МЕТОДА

Методът на координатните мрежи е автоматизиран посредством разработена от автора методика, при която в паметта на компютър се регистрират изображения на недеформираната и деформираната мрежа (Bitmap формат) и програмна система, която обработва заснетите изображения. Всяка двойка последователни изображения се регистрират, така че да има частично прекриване на маркерите на мрежите им. Целите на обработката на изображенията са изчисляване положението на центровете на тежест на маркерите от мрежата и определяне векторите на преместване на тези центрове. В резултат от изчисленията на програмната система се получават векторните полета на преместване вследствие от деформациите на наблюдаваната повърхност.

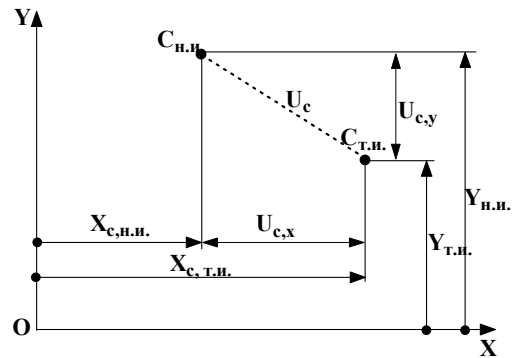
Разработената програмна система реализира следните основни операции:

- Трансформиране на цветни изображение към полутонови;
- Филтриране на полутонови изображението с цел повишаване на контраста между маркерите от мрежата и фона и елиминирание на импулсни шумове [4,7];
- Сегментиране на полутонови изображението с цел отделяне на маркерите на мрежата от фона. Получените бинарни изображения съдържат маркерите на мрежата;
- Премахване на маркерите, чиито контур пресича контура на анализирания област;
- Определяне на координатите на центровете на тежест на маркерите на мрежата от бинарните изображения спрямо координатната система на пикселите от изображението;
- Определяне на съответстващи си маркери от мрежата от две последователни изображения и съответно от начално (реперно) и текущото изображение;
- Трансформация на координатите на центровете на тежест на маркерите от координатната система на пикселите на изображението $-O^*X^*Y^*$ към координатна система OXY с начало център на избран пиксел (фиг.2). Трансформацията се извършва посредством (фиг.2):



Фиг.2 Трансформация на координатна система на изображението - $O^*X^*Y^*$ в OXY

- Изчисляване на преместванията по направление на ос $X - U_{c,x}$ и по направление на ос $Y - U_{c,y}$ на съответстващи си маркери от мрежата посредством координатите на техните центрове на тежест (фиг.3).



Фиг.3 Премествания $U_{c,x}$, $U_{c,y}$ и U_c

Преместването по направление на ос X на маркер с център на тежест $C - U_{c,x}$ се определя от [1]:

$$U_{c,x} = X_{c,т.и.} - X_{c,н.и.} \quad (2)$$

Преместването по направление на ос Y на маркер с център на тежест $C - U_{c,y}$ [1] се определя от:

$$U_{c,y} = Y_{c,т.и.} - Y_{c,н.и.} \quad (3)$$

където:

$X_{c,т.и.}$ - координата по ос X в OXY на център C от текущото изображение

$X_{c,н.и.}$ - координата по ос X в OXY на център C от началното изображение

$Y_{c,т.и.}$ - координата по ос Y в OXY на център С от текущото изображение

$Y_{c,н.и.}$ - координата по ос Y в OXY на център С от началното изображение.

- Оценка на неопределеността на резултатите за преместванията

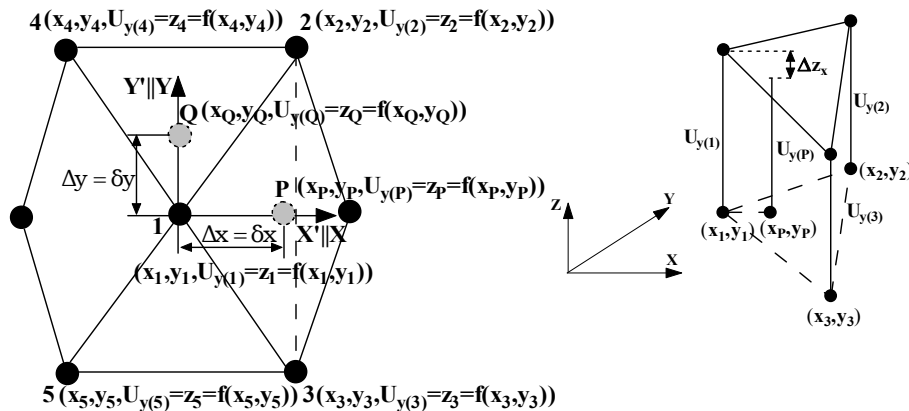
При изчисляване на неопределеността на векторите на преместванията се използва способ, основан на предположението, че експеримен-

талните стойности се отличават от точните със сумата от случайните и систематичните грешки. Неопределеността за всяка дискретна стойност се приема равна на линейния член от разлагането на функцията на преместването $U = f(x, y)$ в ред на Тейлор [2,6].

Редът на Тейлор за функция на две променливи има вида [3]:

$$f(x + \Delta x, y + \Delta y) = f(x, y) + \frac{1}{1!} \left(\frac{\partial}{\partial x} \Delta x + \frac{\partial}{\partial y} \Delta y \right) f(x, y) + \dots + R_n \quad (4)$$

където R_n е остатъчен член



Фиг.4 Маркери от мрежата, които се използват за оценка на неопределеността в пресметнатите дискретни стойности на преместването (а) Двумерно представяне (б) Тримерно представяне

За оценяване на неопределеността на дискретните стойности на преместванията е необходимо да се изчислят най-голямото линейно отклонение в положението на центровете на тежест на маркерите от мрежата по ос X- δx и по ос Y- δy от началното изображение, което съответства на недеформирано състояние.

Допуска се, че грешката при определянето на координатите на центровете на тежест в деформирано състояние не превишава максималните линейни отклонения в недеформирано състояние - δx и δy .

Маркери от мрежата, които участват при оценяване на неопределеността при $\delta x > 0$ и $\delta y > 0$ са посочени на фиг.4.

Функцията f от реда на Тейлор (4), която зависи от координатите x и y , представя преместването по направление на ос Y - U_y .

За оценяване на неопределеността на преместването U_y в точка с условен номер 1, която има четири съседни центъра на тежест (с условни номера 2, 3, 4 и 5) на разстояние приблизително равно на r (фиг.1), в които е изчислено преместването U_y , (фиг.4) е необходимо да се изчислят: -координатите на точки P и Q посредством:

$$\begin{aligned}x_P &= x_I + \delta_x \\y_P &= y_I \\x_Q &= x_I \\y_Q &= y_I + \delta_y;\end{aligned}$$

-стойността на преместването по ос Y в точка P -
 $z_P = U_y(P)$ посредством:

$$z_P = a_1 z_1 + a_2 z_2 + a_3 z_3 \quad (5)$$

където a_1, a_2 и a_3 са теглови коефициенти, които се определят от линейната система уравнения:

$$\begin{cases} a_1 x_1 + a_2 x_2 + a_3 x_3 = x_P \\ a_1 y_1 + a_2 y_2 + a_3 y_3 = y_P \\ a_1 + a_2 + a_3 = 1 \end{cases} \quad (6)$$

- нарастването по ос X на разглежданата стойност напреместването $U_x(1)$:

$$\Delta z_x = z_P - z_1 \quad (7)$$

Аналогично се подхожда за триъгълника, определен от точките с координати $(x_1, y_1), (x_2, y_2)$ и (x_4, y_4) , при което се изчислява нарастването по ос Y:

$$\Delta z_y = z_Q - z_1 \quad (8)$$

Изчислява се нарастването на изчислената дискретна стойност $z_1 = U_y(1)$ в квадрант I, определен от точките P, I и Q:

$$\Delta z = \Delta z_x + \Delta z_y \quad (9)$$

Нарастването, определено от линейния член на Тейлор, дава оценка на неопределеността на заглежданата дискретна стойност в квадрант I, определен от осите X' и Y'.

Аналогично се подхожда за другите три квадранта, определени от осите X' и Y', при което се избират максималната и минималната неопределеност на разглежданата дискретна стойност на преместването.

- Масштабиране на преместванията

Посредством координатите на центровете на тежест на маркерите от началното изображение се изчислява броят на пикселите, които съответстват на средната стойност на стъпката на мрежата (r от фиг.1). В изчислението се включват всички центрове на тежест, които участват в определянето на преместванията, като се има предвид, че нанесената за експеримента мрежа е хексагонална с $r=1\text{mm}$.

Програмната система е реализирана в среда за разработка Delphi.

4. ЕКСПЕРИМЕНТ

Пробните тела са изработени от листов нисковъглеродна стомана с дебелина 1,5mm и имат централен прорез с ширина 0,1 mm, ориентиран под прав ъгъл спрямо приложеното външно натоварване. Геометрията на пробното тяло и областта, подложена на анализ е показана на фиг.5а.

Използвана е машина за изпитване на материали Instron 1185 (фиг.5б). Машината се задвижва електромеханично, което я прави подходяща за изследвания посредством автоматизиран метод на координатните мрежи, тъй като при нейната работа няма вибрации, които са характерни за машините с хидравличното задвижване.

Пробното тяло се деформира чрез плавно натоварване на опън със скорост на подвижния захват на машината— 1,5mm/min. Проследява се деформирането на мрежата в областта около единия връх на предварително създадения прорез (фиг.5а).

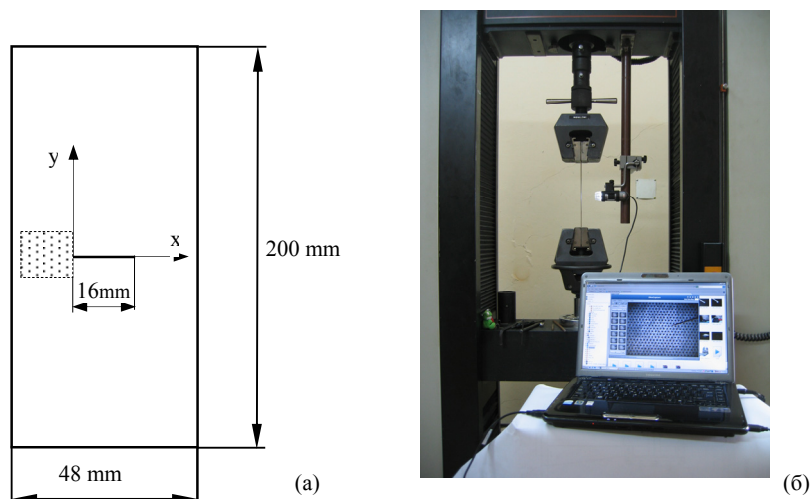
Промените, които настъпват в резултат от натоварването на тялото се регистрират през приблизително равни интервали от време с помощта на цифров микроскоп, състоящ се от микроскоп с вградена CMOS матрица и запис на компютър (фиг.5б). Разделителна способност на CMOS матрицата е 1280/1024 пиксела. Микроскопът е неподвижно закрепен към корпуса на машината. Неподвижното зрително поле на обектива на микроскопа осигурява неподвижна координатна система, спрямо която се изчисляват преместванията на центровете на тежест на маркерите от мрежата.

На фиг.6 е показана кривата на деформиране на пробното тяло, с концентратор на напрежението. На всяка точка от кривата съответства заснето изображение.

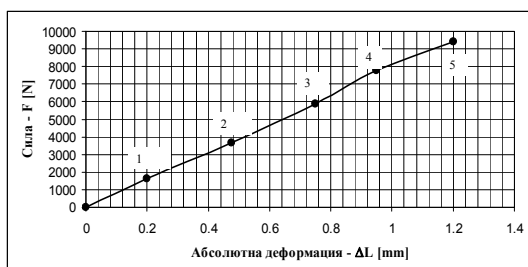
Две от изображенията, които са подложени на обработка с цел определяне на стойностите на преместванията на центровете на тежест на маркерите от мрежата са показани на фиг.7.

Компонентите на векторите на преместване по направление на двете оси се изчисляват само за маркерите от мрежата, които не напускат зри-

телното поле на обектива на микроскопа по време на процеса на деформиране.



фиг.5 (а) Геометрия на пробното тяло с концентратор на напреженията. Изследваната област е посочена с прекъсната линия; (б) Експериментална екипировка



фиг.6 Зависимост сила (F) - абсолютна деформация (ΔL) на пробното тяло с концентратор, показано на фиг.5а

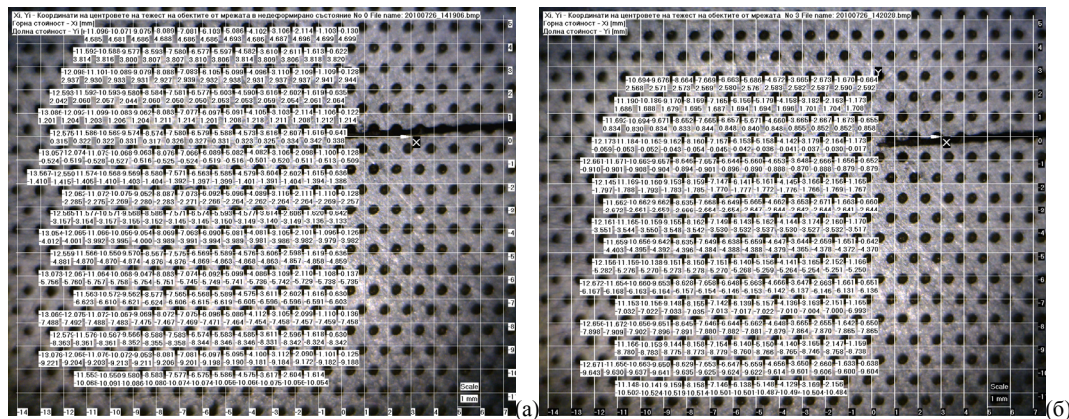
Впоследствие се избират само центровете на тежест на тези маркери от мрежата, които са разположени пред концентратора на напреженията (фиг.5а).

Етикетите в изображенията от фиг.7 съдържат координатите на центровете на тежест в милиметри на маркерите от мрежата спрямо неподвижна координатна система OXY с начало върха на концентратора в недеформирано състояние.

5.РЕЗУЛТАТИ

На фиг.9 и фиг.10а са показани експериментално получените разпределения на преместванията посредством автоматизирания метод на координатните мрежи по направление на ос Y за случай на концентратор, разположен под ъгъл 90° спрямо приложеното външно натоварване. Анализирания област има приблизителни размери 13mm/14mm.

Началото на координатната система е в левия край на концентратора на напреженията в недеформирано състояние (фиг.5). Полето на преместването е представено чрез дискретните стойности (фиг.9) и чрез области с приблизително еднакви премествания (фиг.10а). Последните създават нагледна представа и по-лесно могат да бъдат сравнени с числени резултати, получени по Метода на крайните елементи (МКЕ). На фиг.9 с по-малък шрифт е посочена оценката на неопределеността на съответната дискретна стойност на преместването U_{j3} , което отговаря на т.3 от фиг.6.



фиг.7 Координати на центровете на тежест на маркерите на мрежата спрямо координатна система XY с начало левия край на концентратора в недеформирано състояние
(а) преди натоварване – $\Delta L = 0$ [mm]; (б) при натоварване $\Delta L=0,75$ [mm];

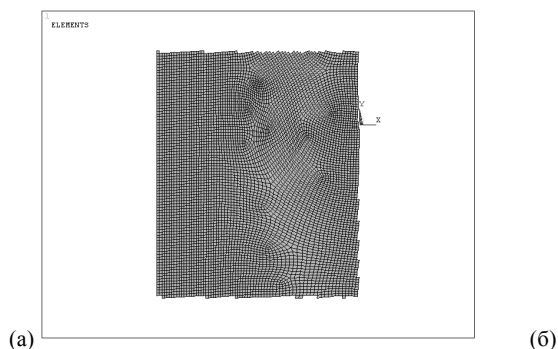
На фиг.10б е представено численото разпределение на преместването U_{y3} с цел сравнение с експерименталното. Числените разпределения са получени посредством програмен продукт Ansys, който работи по МКЕ.

Геометричният модел, изграден в Ansys отчита радиуса на закръгление при върховете на концентратора. Численият модел е реализиран посредством дискретизация с изопараметрични 8-възлови крайни елементи - plane 183 (фиг.8а). При дискретизацията на областта е зададена дължина на ръба на елемента 0,5 mm в цялата

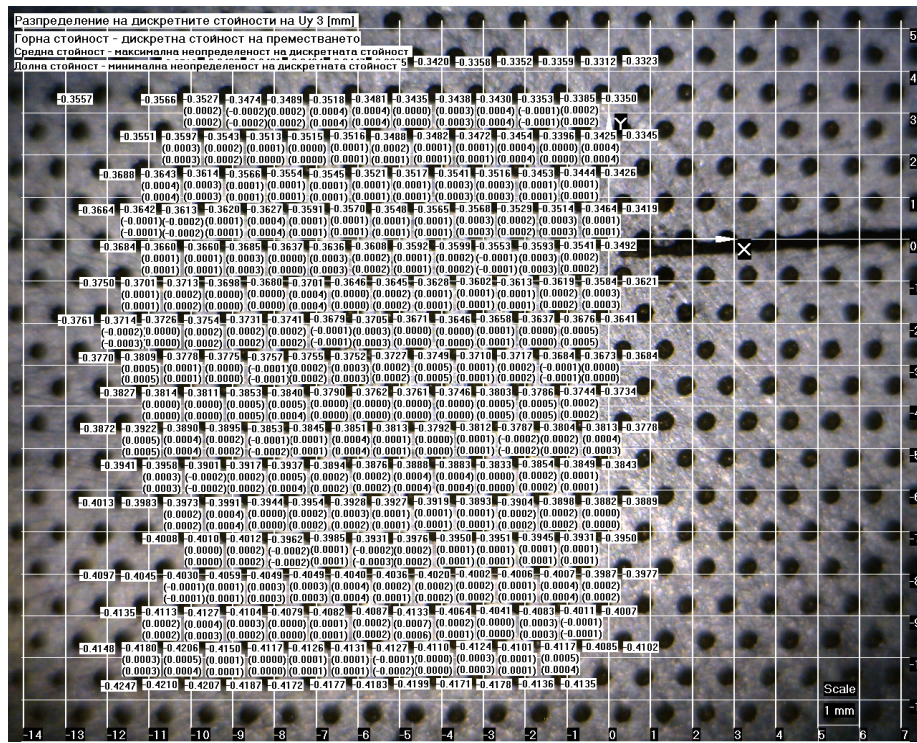
област на геометричния модел. Дължината на ръба на крайните елементи е намалена в анализираната област.

Числените резултати се отнасят само за експериментално изследваната област. Мрежата от крайни елементи в тази област е показана на фиг.8б.

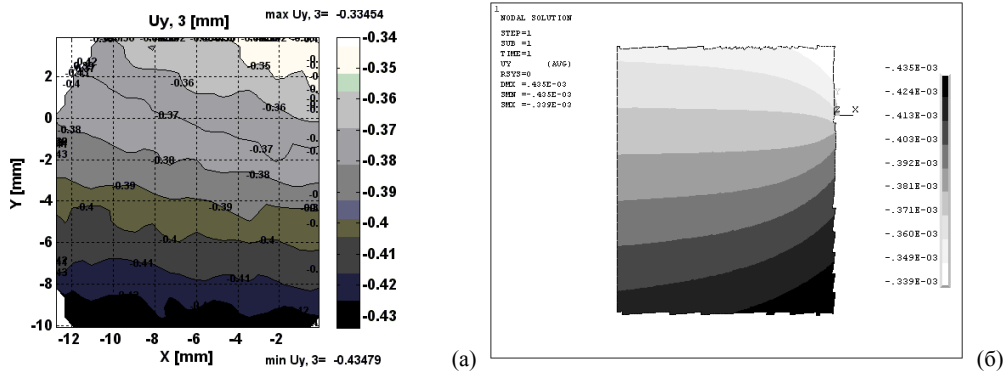
Използваният материален модел е линеен изотропен, определен от модул на еластичност $E=2,06 \cdot 10^{11}$ [Pa] и коефициент на Поасон $\mu=0,28$.



фиг.8 (а) Изопараметричен краен елемент - plane 183; (б) Мрежа от крайни елементи в изследваната област;



фиг.9 Дискретни стойности на преместването U_{y3} [mm] при $\Delta L=0,75$ [mm] и съответстващите им максимална и минимална неопределеност



фиг.10 (а) Разпределение на експерименталните стойности на U_{y3} [mm] след линейна интерполация (б) Числено разпределение на U_{y3} [mm], получено по МКЕ при $\Delta L=0,75$ [mm]

Относителна разлика между числените и експерименталните стойности на преместването

U_{y3} по правата, определена от положението на концентратора се определя като:

$$\Delta U_{y3,\min} = \left| \frac{U_{y3,\text{числ.см.}} - \min U_{y3,\text{експ.см.}}}{U_{y3,\text{числ.см.}}} \right| =$$

$$= \left| \frac{-0.377 - (-0.3749)}{-0.377} \right| \cdot 100 = 0.5\%$$

$$\Delta U_{y3,\max} = \left| \frac{U_{y3,\text{числ.см.}} - \max U_{y3,\text{експ.см.}}}{U_{y3,\text{числ.см.}}} \right| =$$

$$= \left| \frac{-0.377 - (-0.3581)}{-0.377} \right| \cdot 100 = 5\%$$

При проследяването на измененията на експерименталните и числени разпределения на преместването U_y могат да се направят следните заключения:

Експерименталните и числените разпределения на преместването по направление на ос Y са близки по форма на изолиниите и по стойности.

Неравномерността в разпределенията на преместванията вероятно се дължи на неравномерността в структурата на нисковъглеродната стомана, от която са изработени пробните тела. Първоначално процесът на деформиране протича в по-податливите области на материала. Основание за това предположение дава изглаждането на изолиниите с увеличаване на натоварването.

6. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Разработена е методика, по която са направени серия експерименти с използване на метода на координатните мрежи.

Методът на координатните мрежи е автоматизиран чрез разработена от автора програмна система, която извършва обработка на заснетите по време на експеримент изображения и определя на положението на центровете на тежест на маркерите от мрежата

Разработената програмна система изчислява дискретни стойности от полетата на преместванията и дава оценка на съответстващата им неопределеност.

Представените експериментални резултати, получени по автоматизирания метод на координатните мрежи, са сравнени с числени резултати, получени по МКЕ. Относителната разлика между експерименталните и числените стойности на

преместванията е приемлива по отношение на инженерни пресмятания.

Експерименталните резултати показват, че използването на цифров микроскоп с CMOS сензор с резолюция 1280x1024 пиксела при оптично увеличение около 30X е подходящ при изследвания посредством автоматизирания метод на координатните мрежи при статично натоварване.

Методът на координатните мрежи има добър потенциал за решаване на равнинни задачи от Линейната механика на разрушението като определяне коефициентите на интензивност на напреженията на плоски тела с концентратори на напреженията - пукнатини или прорези, намиращи се в условията на равнинно напрегнато или равнинно деформирано състояние.

Благодарности

Авторът изказва благодарност на доц. д-р инж. В. Диков за оказаното съдействие при провеждането на серията експерименти, дискутирани в тази статия.

Литература

1. **Върбанов Х., Тепавичаров А., Ганев Т.** Приложна теория на еластичността и пластичността, 1992, Техника, ISBN 954-03-0043-6, София, стр. 23.
2. **Дель Г.Д., Новиков Н.А.**, Метод делительных сеток, 1979, Москва, Машиностроение, стр. 8.
3. **Димова-Нанчева В. и др.** Методическо ръководство за решаване на задачи по висша математика – част 1, 1975, Техника, София, стр. 231.
4. **Лазарова М., Ангелова М.**, Ръководство за лабораторни упражнения по компютърно зрение и разпознаване на образи, 2007, ТУ-София, ISBN 978-954-438-675-7, стр. 12
5. **Матвиенко Ю.Г.**, Модели и критерии механики разрушения, 2006, Физматлит, ISBN 2-9221-0669-4, Russia, стр. 197
6. **Радев Х.**, Метрология и измервателна техника книга-справочник, том 1, ISBN: 978 -954 -334 -077-4, Софтрейд, София, стр. 168
7. **Bovik, A.** The essential guide to image processing, Elsevier, 2009, ISBN: 978-0-12-374457-9, p. 42
8. **Parks V.J.** The grid method, Experimental Mechanics, 1969, Vol. 9, No. 7, (July), p. 27N-33N, ISSN 0014-4851
9. **Vavrik D., Zemankova J.** Crack instability in ductile materials analyzed by the method of interpolated ellipses, Experimental Mechanics, 2004, Vol. 44, No. 4, (August), p. 327-335, ISSN 0014-4851

DETERMINATION OF THE DISPLACEMENT FIELDS BY AUTOMATED GRID METHOD

Galina Todorova

Department of strength of materials, Technical University-Sofia, Bulgaria

e-mail: gtodor@tu-sofia.bg

Abstract: A methodology for automated implementation of an experiment using the coordinate-grid method is developed and applied to flat sample with stress concentrator. The experimentally obtained displacement field by means of a specially designed program system by the author is presented. The experimental results are compared with those, derived by FEM analyses. The uncertainty of the experimental results is evaluated too.

Keywords: coordinate-grid method, experimental determination of displacement field, uncertainty