

Българско списание за **Инженерно ПРОЕКТИРАНЕ**

брой №27, октомври 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	В.Лepadatescu	Transilvania University of Brashov, Romania
М.З.Георгиев	ТУ-София, България	N.Zrnic	University of Belgrad, Serbia
Н.Л.Николов	ТУ-София, България	М.Јovanovic	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 №27, October 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 Univer- sity, Japan
Ch. Apostolopoulos	University of Patras, Greece	S.Emelianov	South West State University, Kursk, Russia
L.Cherviakov	South West State University, Kursk, Russia	V.Spassov	VTU „T.Kableshkov“, Sofia, Bulgaria
O.Lisovychenko	National technical universi- ty, Ukraine	V.Kirilovich	Zhytomyr state technologi- cal university, Ukraine

Editor

R.Mitrev, TU-Sofia, Bulgaria

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

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

СЪДЪРЖАНИЕ

Стенд за изпитване на сплави с памет на формата..... Я.Ралев, Т.Тодоров	5
Експериментално изследване на вибрационните параметри на конусна инерционна трощачка КИД-300..... С.Савов	11
Възможности за приложение на дисперсионния анализ при оценка на художествени произведения..... Б.Георгиева-Гущанова, Т.Пешева, Н.Ангелов	19
Методология за бърза 3D реализация на пилотна конструкция на шприцформа за леене под налягане на изделия от пластмаса посредством използване на високотехнологичен софтуер..... С.Стефанов, Л.Димитров, М.Раденков	23
Предимства и възможности с Autodesk Design Suite..... М.Янчева	27
Програмна система за обработка на цифрови изображения за получаване на полето на равнинни премествания..... Г.Тодорова	31
Изследване на енергийните характеристики на пиезоелектричен виброударен харвестер..... Г.Петков, М.Христов, Т.Тодоров	39
Якостни и динамични изследвания на лостово-верижен и лостов манипулационен механизъм на работи-екстрактори на отливки..... Я.Софронов	47
Autodesk Design Suit - възможности..... М.Янчева	57
Теоретично и експериментално изследване на пиезоелектричен виброударен енергиен харвестер..... Г.Петков, М.Христов, Т.Тодоров	61
Анализ на европейски изисквания за превенция на бедствия и аварии..... И.Николова, В.Пенчев, Н.Тодорова	71
Използване на генетично модифицирани организми (ГМО) в генетични алгоритми..... Д.Туджаров	75
Оптимизация енергозатрат в динамических объектах с последствием..... А.Стенин, О.Лисовиченко, В.Пасько, М.Солдатова	83

Формализация процесса автоматизированного синтеза роботизированных механосборочных технологий на известном техническом базисе гибких производственных ячеек.....	89
В.Кирилович	
Color characterization by means of genetic programming.....	97
О.Yakushev, A.Volokya	
Относно влиянието на коэффициента на вариация на постъпващия поток върху работата на разклонителен възел.....	105
Л.Лазов	

СТЕНД ЗА ИЗПИТВАНЕ НА СПЛАВИ С ПАМЕТ НА ФОРМАТА

Янко РАЛЕВ Тодор ТОДОРОВ

катедра „Теория на механизмите и машините“, Технически университет - София, България

e-mail: yrlev@tu-sofia.bg, tst@tu-sofia.bg

Резюме: В статията е описан стенд за изпитване на сплави с памет на формата. Устройство е предназначено за учебни и научно-изследователски цели. В конструкцията са заложени възможности за изследване на сплави с различни дължини и сечения. Конструкцията на стенда е базирана на винтова двойка, променяща работната част и универсално закрепване. Сплавите с памет на формата се активират при повишаване на температурата, което може да се постигне с помощта на електрическа енергия или друг вид температурно въздействие. С помощта на силов сензор и лостова система се регистрира силата, генерирана от сплавта, а термодвойка измерва моментната температура на обекта. Изпитваният образец се деформира чрез пружина и при активация възвръща първоначалната си дължина като така се реализира преместване, което се отчита от сензор за позиция. Чрез точен резистор се измерва тока във веригата. Отчита се и електрическото напрежение, като така се получават данни за електрическото съпротивление и входната мощност. Всички данни се записват едновременно в реално време от специализирана система на National Instruments® и се обработват от компютър чрез програма на LabVIEW.

Ключови думи: Сплави с памет на формата, фазова трансформация, ефект на памет на формата

1. УВОД

Сплавите с памет на формата (СПФ) се разглеждат като интелигентни, умни или функционални материали. Интелигентните материали по дефиниция трябва да могат да разпознаят външно въздействие, да обработят сигнала от това въздействие, да реагират по определен начин и по възможност да се самопазват енергийно. Пиезоелектричните полимери, керамики или кристали, магнетостриктивните материали магнето- и електрореологичните флуиди, електроактивните полимери и сплавите с памет на формата и магнитните сплави с памет на формата са примери за умни материали. При тях изходната величина е механично действие, възбудено от електрическо, магнитно поле или температура, внесена на входа.

Изследванията на сплави с памет на формата в днешно време са на сравнително високо ниво, но все още в каталозите на фирмите липсват някои важни данни за измененията на напреженията при аустенитна и мартензитна фаза, за стойностите на модула на Юнг и други по-специфични данни. Разработването на нови устройства изисква познаването на свойствата на материалите по-задълбочено от данните в каталозите. Изследванията на сплавите с памет на формата са по-добре развити по отношение на тяхното приложение като актуатори, но са на по-ниско ниво

по отношение сензорните им свойства. Един от възможните сензорни сигнали е изменението на тяхното електрическо съпротивление.

Поради тези причини, за да се получат необходимите данни за определен материал от сплави с памет на формата най-бързият и евтин подход се оказва тяхното непосредствено изпитване за целите, за които са предназначени.

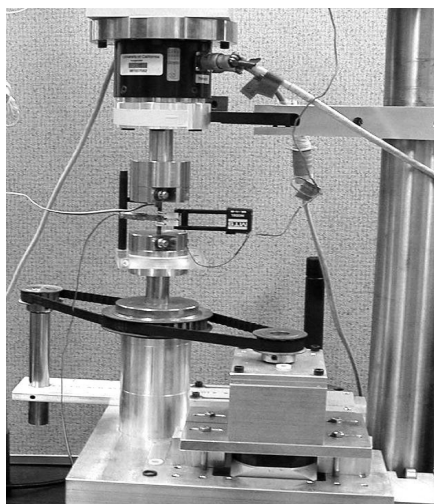
Литературното проучване показва, че все още има възможности за задълбочаване на изследванията при СПФ. Цел на настоящата статия е да се опише проектирането и изграждането на стенд за едновременно измерване на сила, (механично напрежение), преместване, температура, електрическо напрежение и ток като освен основните характеристики, косвено се изследва промяната на електрическото съпротивление и загубите в системата.

2. ПРОУЧВАНЕ НА ЕКСПЕРИМЕНТАЛНИ УСТАНОВКИ ЗА ИЗСЛЕДВАНЕ СПФ

За изследване на сплавите с памет на формата са разработени редица стендове и експериментални установки за различни цели.

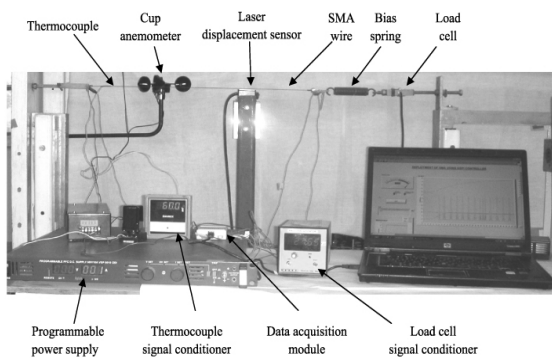
В катедрата по материалознание и инженерство, на Калифорнийския университет, Бъркли е създаден стенд за разглеждане на ефекта памет на формата (фиг.1) при двуосно натоварване на кухи

тънкостенни тръби, изработени от сплав с памет на формата [3].



фиг.1 Изпитване на супер еластичен ефект на нитинолова тръба при двусосен товар в Калифорнийския университет, Бъркли [3]

В Националната космическа лаборатория, Бангалор, Индия по експериментален път са определени основните характеристики на сплави с памет на формата. За целта е разработен специализиран стенд, показан на фиг. 2. Използвани са сензори за сила, позиция, температура и сензори за дебит на въздушното течение. Системата е опростена максимално като всяка една отчетена стойност от сензорите се регистрира от специализирани уреди и се записва в компютър [4].



фиг.2 Експериментална установка за изследване на задвижване чрез СПФ с адаптивен контрол на позицията, разработен в Националната космическа лаборатория, Бангалор, Индия [4]

В Световната Академия на науките, инженерството и технологиите (Китай) са разгледани фазовите трансформации при СПФ [5]. Използваният в този труд метод за определяне на фазови трансформации показва, че чрез универсална машина за опън-натиск може да постигат много добри резултати при изследване на СПФ (фиг.3).

При провеждане на експеримента е използван Flexinol тел с дължина 500 mm, който е опънат с постоянна сила и чрез електрическо напрежение е нагрян бавно и след това охладен при изключено напрежение. Максималната температура на нагряване достига 100 C°. Резултатите от експеримента ясно очертават начало (As, Ms) и край (Af, Mf) съответно на аустенитна и мартензитна фаза. Резултати от изследването са дадени в Таблица 1 [5]. Тук As, Ms са съответно началните температури на аустенитна и мартензитна фаза, а Af, Mf са крайните температури съответно за аустенитното и мартензитното фазово превръщане.



фиг.3 Стенд за изследване на фазови температурни трансформации при СПФ в Световна Академия на науките, инженерството и технологиите [5]

Изследвания на актуатори със СПФ за управление на клапани се провеждат в катедра „Теория на механизмите и машините“ в Техническият университет - София в продължение на около 10 години. Клапаните се управляват чрез

струна от СПФ, която позиционира изпълнителното звено на определено положение, след което се фиксира чрез специален еднопосочен съединител.

табл. 1. Данни от стенда на фиг. 3

Сила [N]	As [C°]	Af [C°]	Ms [C°]	Mf [C°]
0.0	54.75	62.83	48.08	40.20
5	51.89	58.58	46.79	24.91
10	56.12	69.90	52.65	46.33
15	62.64	76.24	66.09	58.17
20	60.76	71.05	68.00	57.14

Така след задаване на позицията захранването на сплавта се изключва и се пести енергия. Чрез разработения в катедрата стенд се изследват различни опитни образци на радиаторни клапани за отопление на сгради. Фотография на такъв стенд е показан на фиг. 4 [1]



фиг. 4 Стенд за изследване на радиаторни клапани управлявани чрез СПФ разработен в катедра ТММ, ТУ-София [1].

Стендът е проектиран за едновременно измерване на характеристиките температура, преместване и сила. Чрез елиминирание на времето се получават хистерезисни криви, чрез които се определя коефициентът на полезно действие. Особеност на системата е, че е пригодена само за определен тип устройства и при изследването им се отчита не само свойствата на СПФ, но и влиянието на допълнителни механични фактори като

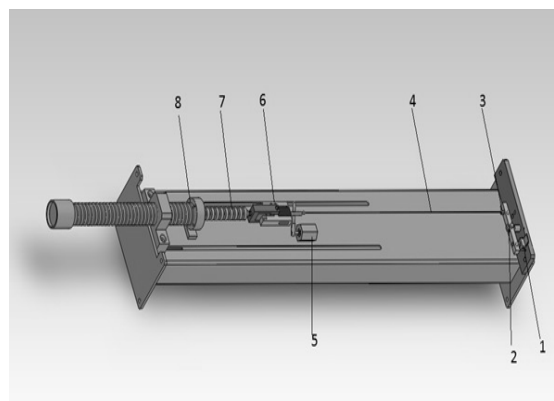
триенето в кинематичните двоици, загубите от вътрешното триене в клапана и актуатора.

3. МОДЕЛИРАНЕ НА СТЕНДА И ПРИНЦИП НА ДЕЙСТВИЕ

Стендът е проектиран да измерва във функция на времето следните основни характеристики: температура на СПФ; силата генерирана от изследваната струна; преместването; съпротивлението; токът; електрическото напрежение. Уредът разполага със съединител за мигновено разтоварване на изпитвания детайл и винтова двойка за промяна на дължината на монтираната струна.

Създаден е Solidworks 3D модел стенда показан на фиг.5.

Общият вид и устройството на стенда са изобразени на фиг. 6. Изпитваната сплав с памет на формата е закрепна между лост (2) и съединител (6). Сплавта е обтегната чрез

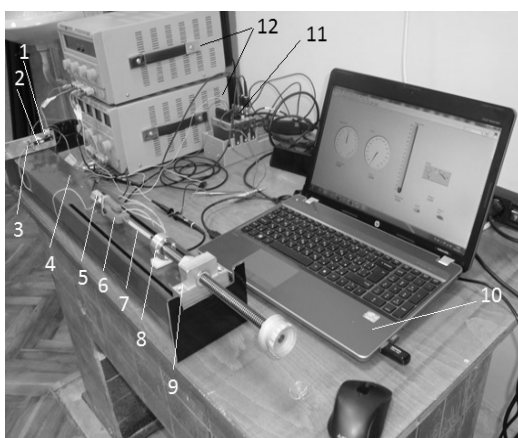


фиг. 5 3D модел на стенда за изпитване на СПФ: 1. Сензор за сила; 2. Лост; 3. Термодвойка; 4. Изпитвана СПФ; 5. Сензор за позиция; 6. Съединител; 7. Пружина; 8. Винтова двойка

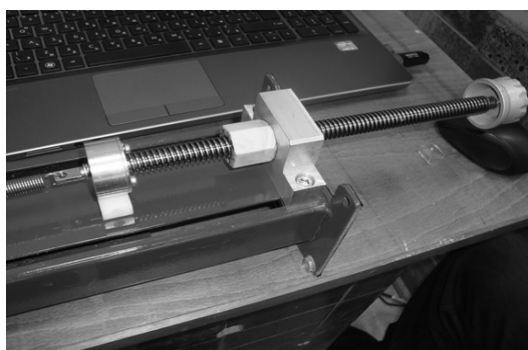
пружина (7) и винтова двойка (9). Благодарение на външното електрическо захранване (12) е активирана монтираната струна от СПФ (4), която променя дължината си и реализира натиск в сензор за сила (1). Сензор за позиция (5) отчита движението на свободния край на сплавта, а термодвойка (3) определя моментната температура. Аналоговият сигнал, генериран от измервателните сензори се преобразува в цифров чрез модули (11) NI9234 и NI9211 на фирма National instruments и система за събиране на данни NI

cDAQ 9174. За обработка на цифровия сигнал е използван лаптоп (10) с програма на LabVIEW, чрез която е създадено приложение за запис на данните на Excel. Получените резултати са обработени чрез числени методи и основните характеристики на изпитваната сплав с памет на формата са визуализирани графично.

Стендът е изработен след създаване на пълна техническа документация на SolidWorks. Основните детайли са изработени на универсални машини в работилниците на ТУ-София.



фиг. 6 Общ вид на стенда

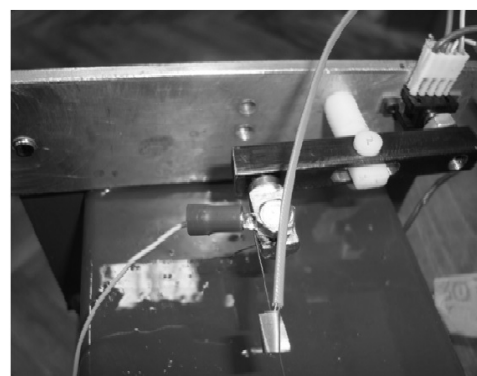


фиг.7 Система за регулиране на първоначалния опън (винт, гайка, стойка, ротационен съединител, пружина)

На фиг. 7 е показана системата за регулиране на струната от СПФ. Винтовата гайка има възможност да се позиционира в произволно положение в канали изработени в корпуса като по този начин се постига груба настройка. Финото регулиране на опъна се осъществява чрез винта, в

края, на който е разположен ротационен съединител, който ограничава въртеливото движение на гайката. Изходът на ротационния съединител е свързан с натоварващата пружина. Постигнато е регулиране на началната дължина на изследвания образец от 5 до 1000 mm.

На фиг. 8 е показана лостовата система на силивия сензор и термодвойката. Максимално допустимата сила на сензора е 50 N. Термодвойката е от J тип и измерва температура до 200 °C.



фиг. 8 Лостова система, сензор за сила и термодвойка

На фиг. 9 е показан сензорът за позиция. Той се захваща с магнити към стойката и може да се премества в зависимост от дължината и деформацията на струната. Линейният обхват на сензора е 20 mm.



фиг. 9 Сензор за позиция

В електрическата верига на стенда е включен точен резистор от 10 Ω, от пада, на който косвено се измерва токът като полученото напрежение се умножава по 10. По този начин е създадена въз-

можност да се използва стандартна сонда с коефициент на усилване 10 за директно измерване на тока.

4. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Проектиран и изработен е стенд за изпитване на сплави с памет на формата с възможност за изпитване на сплави с различна форма на сечението и дължина от 5 до 1000 mm.

Създадена е възможност за измерване на натоварвания до 50 N.

Чрез електрически ток изпитваните СПФ може да се загряват до 200 °С.

Чрез система за събиране на данни (DAQ) в реално време едновременно може да се записват данни от всички сензори и точното съпротивление. Получените данни се записват в текстови файлове, удобни за обработка от Excel, Matlab, Maple и други приложения.

Така конструиранят и изработеният стенд е функционален и предоставя широки възможности за изследване на СПФ.

Устройството предстои да бъде внедрено в учебната програма на ТУ-София и с него се цели да се провеждат лабораторни упражнения и на-

учни изследвания. Стендът може да бъде включен в научно-изследователски проекти, изследвания и опити, за да се придобият нови данни и знания за СПФ.

Благодарности

Изследванията са финансирани по дог. No 152ПД00012-05 на НИС към ТУ-София.

Литература

1. **Тодоров Г., Тодоров Т.**, Ръководство за лабораторни упражнения по технология, конструиране и приложение на МЕМС, ТУ-София, 2011, стр. 75-77.
2. **Logoudas D.**, Shape Memory Alloys Modeling and Engineering Applications, Springer Science+Business media, 2008
3. **McNaney J., Inbeni V., Jung Y.**, An experimental study of the superelastic effect in a shape-memory Nitinol alloy under biaxial loading, Mechanics of Materials Vol. 35, 2003, pp. 969-986
4. **Senthilkumar P., Dayananda G., Umopathy M., Shankar V.**, Experimental evaluation of a shape memory alloy wire actuator with a modulated adaptive controller for position control, Smart Materials and Structures, Vol. 21, (1) , 2012, 015015.
5. **Choon T., Salleh A., Jamian S., Ghazai M.**, Phase Transformation Temperatures for Shape Memory Alloy Wire, Enformatika, 2007, pp. 304-307.

EXPERIMENTAL SETUP FOR SHAPE MEMORY ALLOYS INVESTIGATIONS

Yanko RALEV Todor TODOROV

Theory of mechanisms and machines, Technical university-Sofia, Bulgaria

e-mail: yrlev@tu-sofia.bg, tst@tu-sofia.bg

Abstract: This paper describes an evaluation setup for testing of shape memory alloys (SMA). The device is intended for class learning research purposes. The design provides options to handle SMA of different lengths and sections owing to a screw couple with adjustable working part and general purpose fixture. Shape memory alloys are actuated by heating which is achievable by means of electrical energy or other type of temperature sources. Force generated by SMA is registered by a force sensor and lever system. The instantaneous temperature of the sample is measured by a thermocouple. A test wire is deformed by a spring and at actuation recovers its original length. This displacement is measured by a position sensor. A precise resistor is used to measure current in the circuit. Voltage is also measured and in this way data for electrical resistance and input power is obtained. All data is real-time recorded simultaneously by a National Instrument® specialized system and computer processed by LabVIEW software.

Keywords: shape memory alloys; phase transformation; effect of the shape memory

ЕКСПЕРИМЕНТАЛНО ИЗСЛЕДВАНЕ НА ВИБРАЦИОННИТЕ ПАРАМЕТРИ НА КОНУСНА ИНЕРЦИОННА ТРОШАЧКА ТИП КИД-300

Симеон САВОВ

катедра „Механизация на мините”, Минно-геоложки университет „Св. Иван Рилски” - София, България
e-mail: ss.ss@abv.bg

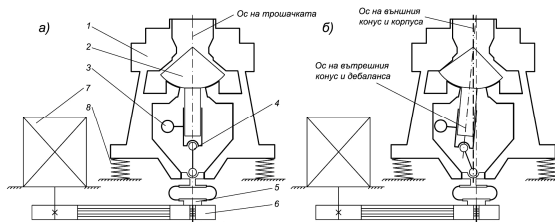
Резюме: В настоящата работа е представена разработена методика заедно със съответните технически средства за измерване на вибрационни параметри на конусна инерционна трошачка тип КИД-300. Създадената методика и алгоритъмът за обработка и анализ на резултатите се основават на съвременни софтуерни продукти. Компютърният анализ е базиран на Бързото Преобразуване на Фурие (БПФ, FFT). С помощта на създадената методика за експериментално измерване на вибрационни параметри са получени резултати за амплитудата на виброускоренията на корпуса на трошачката при различни работни режими и настройки на машината. Представени са резултати за амплитудните спектри на трансляционните и ротационните ускорения на корпуса на машината. Получени са резултати за дефазирането на трансляционните виброускорения на центъра на тежестта на КИД-300. Създаден е регресионен математичен модел, чрез който е направен анализ и са получени резултати относно изменението на обобщеното ускорение на центъра на тежестта на КИД-300 при различни настройки на машината. Определена е големината на силата предизвикваща вибропреместването на корпуса на машината в хоризонталната равнина. Получените резултати ще послужат за оптимизация на работните режими и параметри на трошачката.

Ключови думи: вибрационни параметри, Бързо Преобразуване на Фурие, математично моделиране, обобщено ускорение, КИД-300

1. УВОД

Трошачките тип КИД са конусни трошачки от инерционен тип, при които няма твърда кинематична връзка между задвижването на машината и вътрешния трошач конус. Именно тази липса на твърда кинематична връзка осигурява защитата на задвижването на трошачката от повреди при попадане на нетрошим предмет в трошачната камера [2].

На фигура 1 е представена кинематичната схема на КИД-300, като на фиг.1а) трошачката е в статично положение, а на фиг.1б) е в динамично (работно) състояние. Задвижването на вътрешния конус (поз.2) става посредством електродвигател (поз.7), клиноремъчна предавка (поз.6), еластичен гумен съединител (поз.5), карданен вал (поз.4) и регулируем дебалансен вибратор (поз.3). Външният конус е монтиран неподвижно в корпуса на машината (поз.1), който е поставен върху четири гумени тампона (поз.8). В статично състояние на машината осите на симетрия на трошачката, на външния конус и корпуса и на вътрешния конус и дебаланса съвпадат, докато в работен режим това не е така [3].



фиг.1 Кинематична схема на КИД-300

При въртене на дебалансния вибратор възниква кръгова центробежна сила въртяща се около оста на вътрешния конус, която сила принуждава вътрешният конус да обикаля по вътрешната повърхност на външния конус. Притискайки се двата конуса един към друг разтрошават материала, намиращ се в трошачната камера. При попадане на нетрошим предмет в трошачната камера на машината вътрешният конус (извършващ колебателно (прецесионно) движение около сферична опора) заклинва, а дебалансния вибратор продължава да се върти около вала на вътрешния конус, което се осигурява от цилиндричен плъзгащ лагер. Инерционната сила на конуса заедно с инерционната сила на вибратора създават общата сила на тропене [7].

2. ТЕОРЕТИЧНО ОПРЕДЕЛЯНЕ НА СИЛАТА НА ТРОШЕНЕ В КИД-300

Съгласно представената в предишна раработка [7] методика за теоретично определяне на силата на трошене в конусна инерционна трошачка, общата сила на трошене създавана в КИД-300 може да бъде определена от следната формула:

$$F_{mp} = \frac{(v_o \cdot m_o \cdot e \cdot l + v_k \cdot m_k \cdot e_1 \cdot l_3 \cdot k_n^{-2}) \omega_o^2}{l_1 \cdot \cos \gamma + l_2 \cdot \sin \gamma}, \quad N \quad (1)$$

където:

v_o – коефициент отчитащ загубата на сила на дебалансния вибратор;

v_k – коефициент отчитащ загубата на сила на вътрешния конус;

k_n – коефициент на пропорционалност;

l, m – разстояние от центъра на сферичния лагер до равнината на въртене на центъра на тежестта на дебалансния вибратор по вертикалната ос на машината;

l_1, m – разстояние от приложната точка на силата на трошене до центъра на сферичния лагер по хоризонталната ос на машината;

l_2, m – разстояние от приложната точка на силата на трошене до центъра на сферичния лагер по вертикалната ос на машината;

l_3, m – разстояние от приложната точка на силата създавана от вътрешния конус до центъра на сферичния лагер по вертикалната ос на машината;

e, m – разстояние от центъра на тежестта на дебалансния вибратор до оста на вътрешния конус;

e_1, m – амплитуда на центъра на тежестта на вътрешния конус;

γ, deg – ъгъл при основата на вътрешния конус;

m_o, kg – маса на дебалансния вибратор;

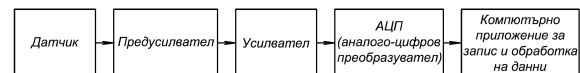
m_k, kg – маса на вътрешния конус;

ω_o, s^{-1} – ъглова скорост на въртене на дебалансния вибратор.

3. ПОСТАНОВКА НА ЕКСПЕРИМЕНТАЛНОТО ИЗСЛЕДВАНЕ

Измервателната система за вибросигнали [1,2,4] използвана при изследването на вибрационните параметри на КИД-300 е

изградена от едноосови пиезо-електрични преобразуватели (датчици) KD35, предусилватели (в конкретния случай заряден усилвател Charge Amp) и усилвателно стъпало от инструментални усилватели Inst Amp. Тази постановка може да се определи, като класическа схема [5,6] за измерване на вибрационни параметри, чрез едни от най-разпространените датчици за измерване на виброускорения, а именно пиезоелектричните акселерометри. Собствената им честота е в порядъка на $5 \div 20 \text{ kHz}$, което ги прави подходящи за измерването на вибрации с честоти в границите на $5 \div 5000 \text{ Hz}$. За целите на настоящото изследване е използвана многоканална измервателна система, блок схемата, на която е показана на фиг.2.

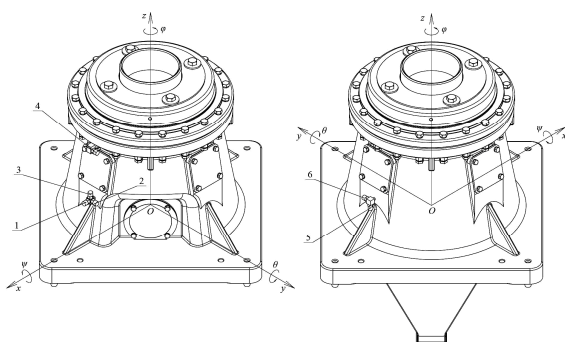


фиг.2 Блок схема на свързване на измервателна система към компютър за запис и обработка на данните

Пространствените вибрационни параметри на КИД-300 се представят чрез разделяне на движението на съставните му компоненти – съответно три трансляционни премествания x, y, z по съответните три оси на Декартовата координатна система $Oxuz$ и съответстващите им три завъртания спрямо осите $Ox \rightarrow \psi, Oy \rightarrow \theta, Oz \rightarrow \phi$. Ъгловите координати са приети като „Фиксирани ъгли” на завъртане на Декартовата координатна система спрямо трите оси. Това представяне е идеологически най-близко до реалната работа на КИД-300. Схемата на разположение на датчиците върху КИД-300 е представена на фиг.3а) и фиг.3б).

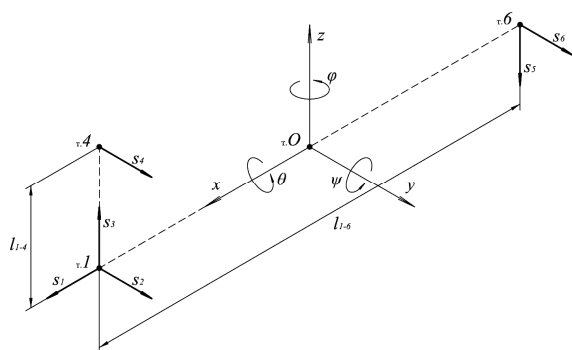


фиг.3а) Разположение на акселерометрите върху КИД-300 при измерване на принудени трептения



фиг.36) Схематично разположение на акселерометрите върху пространствения модел на КИД-300 при измерване на принудени трептения

За изследването на вибрационните параметри на КИД-300 е необходимо да се изпълни многоточкова измервателна система, като броят на измервателните канали трябва да бъде равен на броя на измервателните точки, които са изпълнени съгласно фиг.3а) и фиг.3б). Вибрационните параметри на КИД-300 са изследвани по шест точкова измервателна система (фиг.3а) и фиг.3б)), при която има шест измервателни канала, съответно с шест датчика.



фиг.4 Направления на вибросигналите

За определянето на вибрационните параметри на КИД-300 са използвани следните зависимости:

$$\ddot{x} = s_1, \quad m/s^2 \quad \text{и} \quad \ddot{\psi} = \frac{s_2 - s_4}{l_{1-4}}, \quad rad/s^2 \quad (2)$$

$$\ddot{y} = \frac{s_2 + s_6}{2}, \quad m/s^2 \quad \text{и} \quad \ddot{\theta} = \frac{s_3 + s_5}{l_{1-6}}, \quad rad/s^2 \quad (3)$$

$$\ddot{z} = \frac{s_3 - s_5}{2}, \quad m/s^2 \quad \text{и} \quad \ddot{\phi} = \frac{s_2 - s_6}{l_{1-6}}, \quad rad/s^2 \quad (4)$$

където:

s_1, s_2, s_3, s_4, s_5 и $s_6, m/s^2$ – сигнали от датчик №1, №2, №3, №4, №5 и №6 (фиг.3б) и фиг.4);

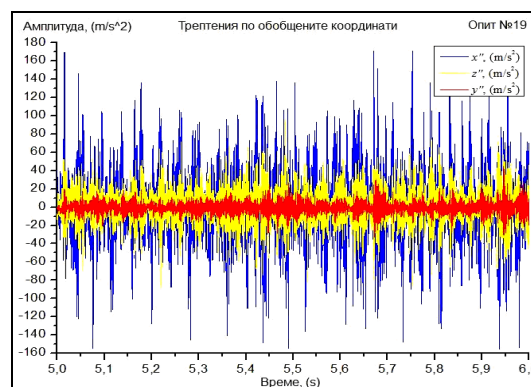
$l_{1-4}=0,212$ m и $l_{1-6}=0,615$ m – разстояния между точките на монтиране на групите датчици (фиг.4).

Условието, при което тези зависимости се приемат за верни е, когато ъгловите завъртания са в границите до 5 deg.

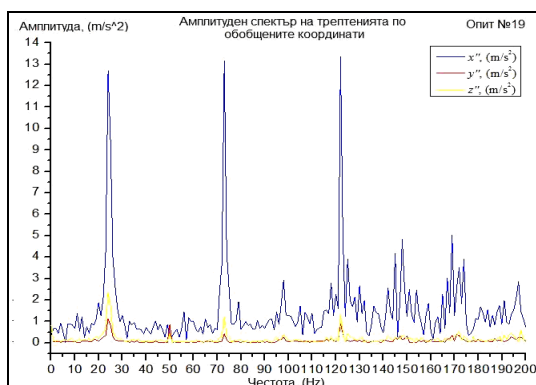
4. ЕКСПЕРИМЕНТАЛНИ РЕЗУЛТАТИ

Съгласно изложената постановка за измерване на принудени трептения са направени серия от експериментални изследвания на вибрационните параметри на КИД-300 при различни настройки на машината. Параметрите, които са променяни по време на експеримента оказващи пряко влияние върху вибрационните параметри на машината са: честотата на въртене на дебалансния вибратор (f , Hz), масов статичен момент на дебалансния вибратор (S_0 , kg.m) и широчина на статичния разтоварен отвор на трошачката (b , mm). Направени са общо 40 броя опита при различни настройки на трошачката, като тук са представени в графичен вид само някои от получените резултати.

Компютърно записаният сигнал се нуждае от обработка за извличане на необходимата информация. В случая е използван програмния продукт OriginPro 8.5. На фигури 5 и 6 са представени амплитудата и амплитудния спектър на транслационните ускорения на корпуса на машината, съответно при $f=23,997$ Hz, $S_0=1,295$ kg.m и $b=6$ mm.

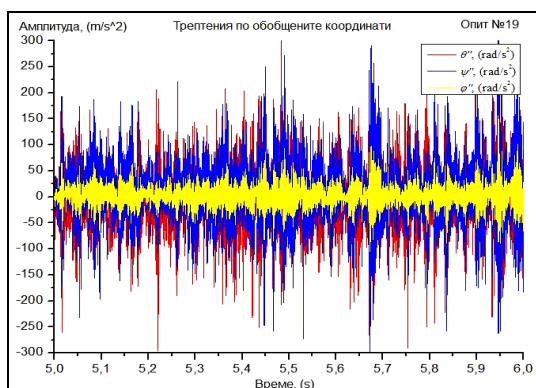


фиг.5 Амплитуда на транслационните ускорения на машината при опит №19

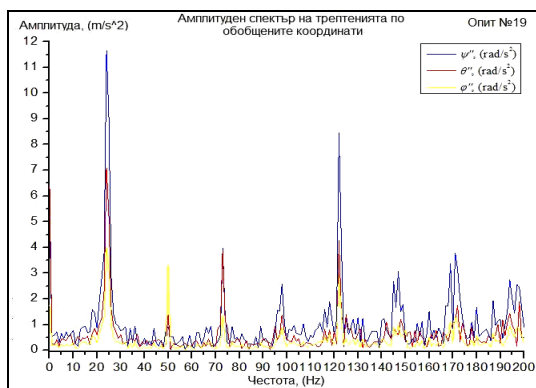


фиг.6 Амплитуден спектър на транслационните ускорения на машината при опит №19

На фигури 7 и 8 са представени амплитудата и амплитудния спектър на ротационните ускорения на корпуса на машината при същите настройки на трошачката.



фиг.7 Амплитуда на ротационните ускорения на машината при опит №19



фиг.8 Амплитуден спектър на ротационните ускорения на машината при опит №19

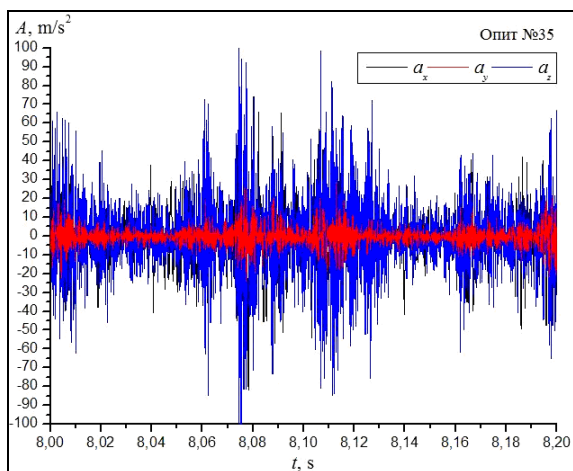
Амплитудният спектър (фигури 6 и 8) е получен чрез използване на Бързото Преобразуване на Фурие (БПФ, FFT) за записаните сигнали. Спектърът на виброускоренията е показан до честота 200 Hz поради факта, че трептенията с по-високи честоти са с много малки амплитуди на вибропреместването.

В таблица 1 са систематизирани и представени получените експериментални резултати за транслационните виброускорения (a_x , a_y , a_z) на центъра на тежестта на КИД-300 по осите x , y и z .

табл.1 Експериментални резултати за транслационните виброускорения

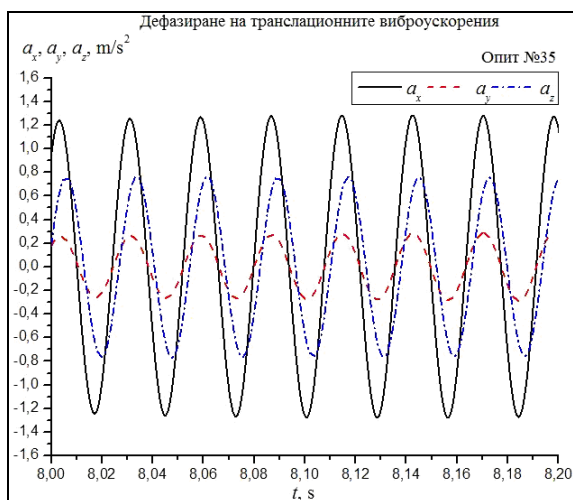
№	f , Hz	a_x , m/s^2	a_y , m/s^2	a_z , m/s^2	\bar{a}_C , m/s^2
1	17,998	4,407	0,547	0,954	4,542
2	17,998	4,222	0,525	0,985	4,367
3	17,998	4,528	0,610	1,070	4,692
4	17,998	3,226	0,415	0,693	3,325
5	17,998	3,947	0,662	1,072	4,143
6	17,998	0,372	0,104	0,131	0,408
7	17,998	0,390	0,085	0,089	0,409
11	24,997	6,955	0,697	1,426	7,134
15	24,997	7,672	3,117	4,370	9,364
16	24,997	0,516	0,170	0,221	0,587
17	24,997	0,698	0,151	0,237	0,752
18	24,997	0,311	0,247	0,313	0,506
19	23,997	8,984	0,882	1,650	9,177
20	23,997	11,024	0,866	1,697	11,187
21	24,997	9,206	0,847	1,643	9,390
24	30,996	1,393	0,083	0,011	1,396
25	30,996	0,646	0,081	0,002	0,651
26	30,996	11,556	0,834	0,002	11,586
27	29,996	13,740	0,987	0,003	13,776
28	29,996	21,305	1,164	0,008	21,337
29	29,996	19,699	1,530	0,007	19,758
30	29,996	23,702	1,773	0,006	23,768
31	29,996	23,577	1,515	0,008	23,626
32	29,996	22,731	1,447	0,007	22,777
33	35,996	4,019	0,733	1,081	4,226
34	35,996	4,223	0,354	0,626	4,283
35	35,996	0,797	0,133	0,304	0,863
36	35,996	0,747	0,183	0,307	0,828
37	34,996	23,786	2,889	5,167	24,512
38	33,996	23,362	27,163	36,083	50,849
39	31,996	24,677	1,306	2,922	24,883
40	33,996	24,447	3,843	6,419	25,566

Получени са резултати в графичен вид за дефазирането на транслационните виброускорения по осите x , y и z . На фигура 9 е представен като пример един от направените и обработени записи на опит №35 ($f=35,996$ Hz, $S_0=0,095$ kg.m и $b=6$ mm.).



фиг.9 Запис на сигналите от опит №35

Полученият запис е филтриран, като е използван Band Pass FFT filter за честотен диапазон 35,8÷36 Hz. На фигура 10 е представен получения резултат от филтрирания запис за дефазирането на транслационните виброускорения по трите оси.



фиг.10 Филтриран запис на сигналите от опит №35

В таблица 2 са систематизирани и представени получените експериментални резултати относно дефазирането на транслационните виброускорения (a_x , a_y , a_z) на центъра на тежестта на КИД-300 по осите x , y и z .

табл.2 Експериментални резултати за дефазирането на транслационните виброускорения

№	f , Hz	a_x	a_y	a_z
1	17,998	$\sin(\omega_0.t)$	$\cos(\omega_0.t+0,506.\pi)$	$\sin(\omega_0.t+1,1466.\pi)$
2	17,998	$\sin(\omega_0.t)$	$\cos(\omega_0.t+0,585.\pi)$	$\sin(\omega_0.t+1,183.\pi)$
3	17,998	$\sin(\omega_0.t)$	$\cos(\omega_0.t+0,4045.\pi)$	$\sin(\omega_0.t+0,9881.\pi)$
4	17,998	$\sin(\omega_0.t)$	$\cos(\omega_0.t+0,5324.\pi)$	$\sin(\omega_0.t+1,133.\pi)$
5	17,998	$\sin(\omega_0.t)$	$\cos(\omega_0.t+0,4272.\pi)$	$\sin(\omega_0.t+1,107.\pi)$
6	17,998	$\sin(\omega_0.t)$	$\cos(\omega_0.t+0,466.\pi)$	$\sin(\omega_0.t+0,4077.\pi)$
7	17,998	$\sin(\omega_0.t)$	$\cos(\omega_0.t+0,4665.\pi)$	$\sin(\omega_0.t+1,0587.\pi)$
11	24,997	$\sin(\omega_0.t)$	$\cos(\omega_0.t+0,505.\pi)$	$\sin(\omega_0.t+1,072.\pi)$
15	24,997	$\sin(\omega_0.t)$	$\cos(\omega_0.t+0,5235.\pi)$	$\sin(\omega_0.t+1,06.\pi)$
16	24,997	$\sin(\omega_0.t)$	$\cos(\omega_0.t+0,377.\pi)$	$\sin(\omega_0.t+0,9195.\pi)$
17	24,997	$\sin(\omega_0.t)$	$\cos(\omega_0.t+1,1825.\pi)$	$\sin(\omega_0.t+1,829.\pi)$
18	24,997	$\sin(\omega_0.t)$	$\cos(\omega_0.t+0,377.\pi)$	$\sin(\omega_0.t+0,8955.\pi)$
19	23,997	$\sin(\omega_0.t)$	$\cos(\omega_0.t+0,5454.\pi)$	$\sin(\omega_0.t+1,1447.\pi)$
20	23,997	$\sin(\omega_0.t)$	$\cos(\omega_0.t+0,5742.\pi)$	$\sin(\omega_0.t+1,1797.\pi)$
21	24,997	$\sin(\omega_0.t)$	$\cos(\omega_0.t+0,542.\pi)$	$\sin(\omega_0.t+1,1335.\pi)$
24	30,996	$\sin(\omega_0.t)$	$\cos(\omega_0.t+1,4244.\pi)$	$\sin(\omega_0.t+0,8041.\pi)$
25	30,996	$\sin(\omega_0.t)$	$\cos(\omega_0.t+1,492.\pi)$	$\sin(\omega_0.t+1,939.\pi)$
26	30,996	$\sin(\omega_0.t)$	$\cos(\omega_0.t+0,4554.\pi)$	$\sin(\omega_0.t+0,2064.\pi)$
27	29,996	$\sin(\omega_0.t)$	$\cos(\omega_0.t+0,5042.\pi)$	$\sin(\omega_0.t+0,228.\pi)$
28	29,996	$\sin(\omega_0.t)$	$\cos(\omega_0.t+0,431.\pi)$	$\sin(\omega_0.t+1,7582.\pi)$
29	29,996	$\sin(\omega_0.t)$	$\cos(\omega_0.t+0,497.\pi)$	$\sin(\omega_0.t+1,0924.\pi)$
30	29,996	$\sin(\omega_0.t)$	$\cos(\omega_0.t+0,4676.\pi)$	$\sin(\omega_0.t+1,634.\pi)$
31	29,996	$\sin(\omega_0.t)$	$\cos(\omega_0.t+0,497.\pi)$	$\sin(\omega_0.t+0,2573.\pi)$
32	29,996	$\sin(\omega_0.t)$	$\cos(\omega_0.t+0,446.\pi)$	$\sin(\omega_0.t+1,8242.\pi)$
33	35,996	$\sin(\omega_0.t)$	$\cos(\omega_0.t+0,4978.\pi)$	$\sin(\omega_0.t+1,095.\pi)$
34	35,996	$\sin(\omega_0.t)$	$\cos(\omega_0.t+0,4806.\pi)$	$\sin(\omega_0.t+1,1217.\pi)$
35	35,996	$\sin(\omega_0.t)$	$\cos(\omega_0.t+1,4914.\pi)$	$\sin(\omega_0.t+1,8157.\pi)$
36	35,996	$\sin(\omega_0.t)$	$\cos(\omega_0.t+1,404.\pi)$	$\sin(\omega_0.t+1,728.\pi)$
37	34,996	$\sin(\omega_0.t)$	$\cos(\omega_0.t+0,5005.\pi)$	$\sin(\omega_0.t+1,112.\pi)$
38	33,996	$\sin(\omega_0.t)$	$\cos(\omega_0.t+0,5121.\pi)$	$\sin(\omega_0.t+1,1283.\pi)$
39	31,996	$\sin(\omega_0.t)$	$\cos(\omega_0.t+0,4928.\pi)$	$\sin(\omega_0.t+1,1803.\pi)$
40	33,996	$\sin(\omega_0.t)$	$\cos(\omega_0.t+0,513.\pi)$	$\sin(\omega_0.t+1,1202.\pi)$

5. ОБОБЩЕНО УСКОРЕНИЕ НА ЦЕНТЪРА НА ТЕЖЕСТТА НА МАШИНАТА

Поради големият брой параметри и невъзможността да се отделят значимите параметри е разгледан един обобщаващ параметър. Този параметър е обобщеното ускорение на центъра на тежестта на трошката. Дефинирането на този параметър е направено при следните условия:

- компоненти в обобщеното ускорение имат само транслационните ускорения;
- стойността на ротационните ускорения ще бъде нулева, тъй като точката, за която се определя обобщеното ускорение е център на тежестта на машината;
- определени са средноквадратичните стойности на така приетите компоненти на обобщеното ускорение в диапазона 1÷1000 Hz.

При тези приемания е формулирана следната зависимост за обобщеното ускорение на центъра на тежестта на трошачката:

$$\tilde{a}_c = \tilde{a}_{cx} + \tilde{a}_{cy} + \tilde{a}_{cz}, \quad m/s^2 \quad (5)$$

или

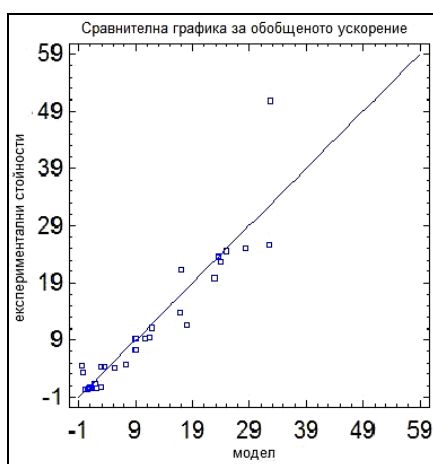
$$\tilde{a}_c = \sqrt{a_x^2 + a_y^2 + a_z^2}, \quad m/s^2 \quad (6)$$

където a_x , a_y и a_z са виброускоренията по направление на осите x , y и z . Резултатите за получените стойности на компонентите на обобщеното ускорение, както и на самото ускорение са представени в табл.1.

Въз основа на получените резултати е съставен регресионен изследователски модел (с съставен регресионен изследователски модел (с съставен регресионен изследователски модел (с съставен регресионен изследователски модел (с съставен регресионен изследователски модел (с продукт STATGRAPHICS Centurion XV). Моделът, който е представен в табл.3 и фиг.11 може да се приеме за адекватен с ниво на доверителна вероятност над 93 %.

табл.3 Параметри на модела за \tilde{a}_c

Параметри на модела					
Parameter	Estimate	Standard Error	T	P-Value	
X_2	-41,1467	8,95238	-4,59618	0,0001	
$X_1 \cdot X_2$	1,93541	0,284114	6,81209	0,0000	
$(X_2 \cdot X_3) / X_1^4$	157596,	72739,7	2,16658	0,0386	
Анализ на вероятностите					
Source	Sum of Squares	Df	Mean Square	F-Ratio	P-Value
Model	7300,58	3	2433,53	131,22	0,0000
Residual	537,799	29	18,5448		
Total	7838,38	32			
Статистика на модела					
	$R^2 =$	93,1389	%		
	R^2 (adjusted for d.f.) =	92,6657	%		
	Standard Error of Est. =	4,30637			
	Mean absolute error =	2,39232			
	Durbin-Watson statistic =	2,06455			
	Lag 1 residual autocorrelation =	-0,0985112			

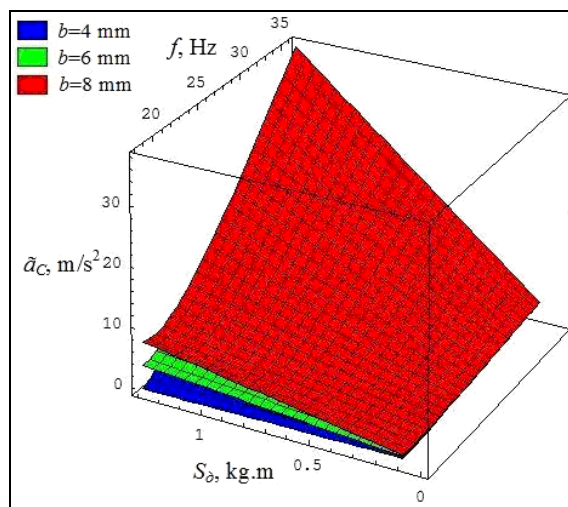


фиг.11 Сравнителна графика за \tilde{a}_c

Уравнението на модела за \tilde{a}_c в натурални променливи съгласно табл.3 е:

$$\tilde{a}_c = -41,1467 \cdot S_\delta + 1,93541 \cdot f \cdot S_\delta + 157596 \cdot \frac{S_\delta \cdot b}{f^4}, \quad m/s^2 \quad (7)$$

На фигура 12 е представен в графичен вид получения резултат.



фиг.12 Изменение на \tilde{a}_c в зависимост от f , S_δ и b

6. ОПРЕДЕЛЯНЕ НА СИЛАТА ПРЕДИЗВИКВАЩА ВИБРОПРЕМЕСТВАНЕ ПО ОС X

Трябва да се отбележи, че грешката при измерване на сигнала s_I е минимална в сравнение с грешките получени при отчитането на сигналите от останалите пет датчици. Това е така защото датчик №1 е насочен по ос x , която минава през масовия център на машината, като по този начин датчика отчита директно виброускорението по ос x (ур-е 2). Сигналят получен от датчик №1 дава информация за амплитудата на виброускорението на масовия център на машината по направление на оста x , съответно при различни работни режими на машината (табл.1). Въз основа на получените резултати за стойността на виброускорението по ос x може да се определи големината на силата, която предизвиква вибропреместване на машината по ос x :

$$F_x^v = m_{mp} \cdot a_x, \quad N \quad (8)$$

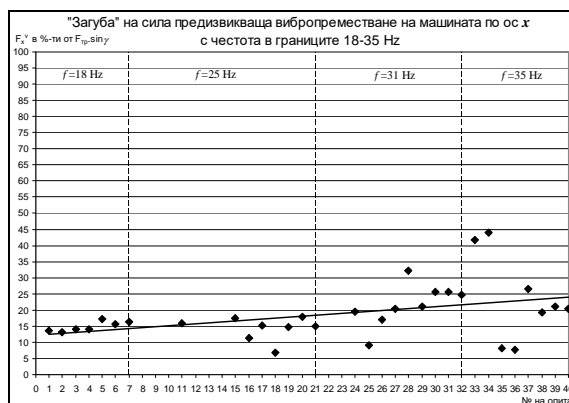
където $m_{mp}=838,6$ kg е масата на трошачката [3].

Получените стойности за активната сила предизвикваща вибропреместване на машината по ос x , при различна честота на вибровъздействие (честота на въртене на дебалансния вибратор) са представени в таблица 4. Силата предизвикваща вибропреместването на машината по ос x се явява част от хоризонталната компонента на активната сила на трошене (ур-е 1). Съпоставяйки стойностите на тези две сили може да се определи каква част (в %-ти) от хоризонталната съставляваща на силата на трошене, представлява така наречената „загуба“ на сила, която предизвиква вибропреместването на машината (със съответната честота) по ос x (табл.4).

табл.4 Теоретико-експериментални резултати за F_x^v

№	$f, \text{ Hz}$	$a_x, \text{ m/s}^2$	$F_x^v, \text{ N}$	$F_{mp} \cdot \sin \gamma, \text{ N}$	F_x^v в %-ти от $F_{mp} \cdot \sin \gamma$
1	17,998	4,407	3695,44	27190,66	13,59
2	17,998	4,222	3540,64	27088,10	13,07
3	17,998	4,528	3797,02	27037,68	14,04
4	17,998	3,226	2705,13	19314,00	14,01
5	17,998	3,947	3310,16	19314,25	17,14
6	17,998	0,372	312,32	1995,64	15,65
7	17,998	0,390	327,34	2004,84	16,33
11	24,997	6,955	5832,45	36776,84	15,86
15	24,997	7,672	6434,19	36876,91	17,45
16	24,997	0,516	432,49	3838,70	11,27
17	24,997	0,698	585,00	3854,23	15,18
18	24,997	0,311	261,10	3870,07	6,75
19	23,997	8,984	7534,53	51117,30	14,74
20	23,997	11,024	9244,62	51380,99	17,99
21	24,997	9,206	7720,66	51696,28	14,93
24	30,996	1,393	1168,29	6004,42	19,46
25	30,996	0,646	541,80	6022,61	9,00
26	30,996	11,556	9690,99	56644,42	17,11
27	29,996	13,740	11522,83	56421,65	20,42
28	29,996	21,305	17866,75	55399,29	32,25
29	29,996	19,699	16519,91	78209,58	21,12
30	29,996	23,702	19876,71	77637,36	25,60
31	29,996	23,577	19772,27	77207,35	25,61
32	29,996	22,731	19062,51	76897,38	24,79
33	35,996	4,019	3370,39	8062,27	41,80
34	35,996	4,223	3541,07	8039,83	44,04
35	35,996	0,797	667,98	8109,90	8,24
36	35,996	0,747	626,49	8158,34	7,68
37	34,996	23,786	19947,38	75386,69	26,46
38	33,996	23,362	19591,86	101487,30	19,30
39	31,996	24,677	20694,34	97769,74	21,17
40	33,996	24,447	20501,49	100719,28	20,36

На фигура 13 са представени в графичен вид получените резултати (от 40-те опита) за F_x^v (като част от хоризонталната съставляваща на силата на трошене $F_{mp} \cdot \sin \gamma$ [7]).



фиг.13 Силата F_x^v в %-ти от хоризонталната съставляваща на силата на трошене $F_{mp} \cdot \sin \gamma$

7. ИЗВОДИ

Експерименталните изследвания на вибрационните параметри на КИД-300 дават възможност да бъде направен анализ на ускоренията на машината в пространството при работа на трошачката с различни настройки (честота на въртене на дебалансния вибратор, масов статичен момент на дебалансния вибратор и широчина на статичния разтоварен отвор). На база направеното експериментално изследване на вибрационните параметри на КИД-300 могат да бъдат формулирани следните изводи:

- Разработена е методика за определяне на предаваното вибровъздействие от дебалансния вибратор през вътрешния конус и през разтрошавания материал до външния конус с корпуса и опорните му тампони, чрез използване на прецизна виброизмервателна апаратура.

- Разработена е методика за определяне на дефазирането на компонентите на силата на трошене, както и на силите предизвикващи вибропреместване на корпуса на машината с различна честота на вибровъздействие.

- Създаден е регресионен изследователски модел с помощта, на който може да се анализира изменението на обобщеното ускорение на центъра на тежестта на машината в зависимост от честотата на въртене на дебалансния вибратор,

масовия статичен момент на дебалансия вибратор и широчината на статичния разтоварен отвор на трошачката.

- Изведена е подходяща аналитична зависимост (ур-е 7) за изменението на обобщеното ускорение на центъра на тежестта на машината в диапазона на изменение на f , S_0 и b .

- „Загубата” на сила, която предизвиква високочестотното вибропреместване на корпуса на машината (по ос x) представлява средно $10 \div 25$ % от хоризонталната съставляваща на силата на трошене (фиг.13), съответно при изменение на честота на вибровъздействие (честотата на въртене на дебалансия вибратор) в границите $18 \div 35$ Hz.

Този методичен подход може да послужи като основа за определяне на силата (енергията) необходима за деформирането (трошенето) на материала в слой и съпоставяне на тази енергия с вложената в системата енергия с цел определяне на загубите на енергия за трошене и съответно за оптимизация на задвижващата система на трошачката.

Литература

1. **Недялков П.** Динамично моделиране и изследване на работния процес и параметри на вертикална

вибро-импулсна мелница. Дисертация, ТУ-София, 2009.

2. **Савов С.** Изследване на механични и технологични параметри на конусни инерционни трошачки тип КИД. Дисертация, МГУ-София, 2014.

3. **Савов С., П. Недялков.** Динамично моделиране и симулационно изследване на пространствени принудени трептения на конусна инерционна трошачка. Българско списание за инженерно проектиране, октомври 2014, брой 24, стр. 31÷38, ISSN 1313-7530.

4. **Савов С., П. Недялков.** Методика за експериментално измерване на вибрационните параметри на конусна инерционна трошачка тип КИД-300. Годишник на МГУ „Св. Иван Рилски”, Том 57, Св. III, София, 2014, стр. 15÷18.

5. **Craig J.** Introduction to robotics, mechanics and control. Addison-Wesley Longman, Boston, Second edition, USA 1989.

6. **De Silva C.** Vibration: fundamentals and practice. CRC Press Boca Raton, London New York Washington, USA 2000.

7. **Savov S., P. Nedyalkov, I. Minin.** Crushing force theoretical examination in one cone inertial crusher. Journal of Multidisciplinary Engineering Science and Technology, March 2015, Issue 3, Vol. 2, p. 430÷437, ISSN 3159-0040.

EXPERIMENTAL RESEARCH OF VIBRATIONAL PARAMETERS OF ONE CONE INERTIAL CRUSHER (KID-300)

Simeon SAVOV

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

Abstract: In this paper is presented the methodic and technical resources for measurement of vibrational parameters of one cone inertial crusher (KID-300). Methodic and algorithm for processing and analysis the data are based of modern software products – OriginPro. The computer analysis is based on Fast Fourier Transform (FFT). According to the methodic there are achieved result for amplitude of vibrational accelerations for crusher’s housing due to different parameters and adjustments of the crusher’s working regime. Results for the amplitude spectrums of translational and rotational accelerations of the crusher’s housing are presented. Results about phase shift of translational accelerations of mass center of KID-300 are available. Regression mathematical model is created by which is made analysis and results were obtained about the amendment of summarized acceleration of mass center of KID-300 at different settings of the machine. The magnitude of the force causing vibrational movement of the crusher’s housing in the horizontal plane is determined. Presented results will serve to optimize the working regimes and parameters of the machine.

Keywords: vibrational parameters, Fast Fourier Transform, mathematical modeling, summarized acceleration, KID-300

ВЪЗМОЖНОСТИ ЗА ПРИЛОЖЕНИЕ НА ДИСПЕРСИОННИЯ АНАЛИЗ ПРИ ОЦЕНКА НА ХУДОЖЕСТВЕНИ ПРОИЗВЕДЕНИЯ

Боряна ГЕОРГИЕВА-ГУЩАНОВА, Теодора ПЕШЕВА, Николай АНГЕЛОВ

катедра „Инженерен дизайн“, Технически университет - София, България

e-mails: info.bobbyhoby@gmail.com, teodora11art@gmail.com, n.angelov@tu-sofia.bg

Резюме: Статията е посветена на възможностите на дисперсионния анализ като подход при количествена статистическа оценка относно качеството на художествени произведения. Приведен е конкретен пример със съответните решения.

Ключови думи: художествени произведения, дисперсионен анализ.

1. ВЪВЕДЕНИЕ

Дисперсионният анализ [4] е разработен в началото на 20-ти век от английският математик и статистик Sir Ronald Aylmer Fisher (1890-1962). В основата на този статистически метод стои разбирането, че за даден обект може да се събере поредица от оценки (O_{ij}), които са повлияни от друга поредица от фактори (A_i , B_j и т.н.).

Например двуфакторният дисперсионен анализ може да се илюстрира с помощта на матрица [1], подобна на показаната по-долу в Таблица 1.

табл.1 Примерна матрица за дисперсионен анализ

B_j	B_1	B_2	...	O_{j0}
A_i				
A_1	O_{11}	O_{12}	...	O_{j1}
A_2	O_{21}	O_{22}	...	O_{j2}
...
O_{i0}	O_{i1}	O_{i2}	...	O_{cp}

Използваните в случая символи имат следният смисъл: A_i – равнища на първия фактор, където $i \in \{1 \div n\}$; B_j – равнища на втория фактор, където $j \in \{1 \div m\}$; O_{ij} – оценки, получени от оценители; O_{i1} , O_{i2} , ... – средни оценки по стълбове; O_{j1} , O_{j2} , ... – средни оценки по редове; O_{i0} – средна оценка по всички стълбове; O_{j0} – средна оценка по всички редове; O_{cp} – тотална средна оценка от всички стойности O_{ij} . За проверка важи равенството $O_{i0} = O_{j0}$.

Възможно е да бъдат пресметнати оценките за сумите от квадратите на отклоненията Q_A и Q_B , предизвикани от двата поотделно въздействащи

фактора A и B върху оценката (O_{ij}) на зрителите, както и сумата от квадратите Q_{AB} , предизвикана от смесеното въздействие ($A \cap B$) на двата фактора върху съответните оценки (O_{ij}) на зрителите, съответно:

$$Q_A = n \cdot \sum (O_{i0} - O_{cp})^2, \quad (1)$$

$$Q_B = m \cdot \sum (O_{j0} - O_{cp})^2 \text{ и} \quad (2)$$

$$Q_{AB} = \sum (O_i - O_j + O_{cp})^2. \quad (3)$$

2. СЪЩНОСТ НА ИЗСЛЕДВАНЕТО

През м.юни 2015 г. беше организирана и реализирана колективна изложба под наслов „Форми на цвета“ [2], в която участваха със свои творби авторите на настоящата разработка. На фиг. 1 са показани три техни творби от изложбата, изпълнени с различни техники (технологии) – акварел, акрил и масло.

В същата изложба беше показана с учебна и изследователска цел 16-клетъчна живописно-изследователска и експериментална матрица (Таблица 2), в която първият фактор „А“ включва 4 техники (технологии) на рисуване: акварел (A_1), маслен пастел (A_2), стабилизирани сух пастел (A_3) и масло (A_4), а вторият фактор „В“ варира с изменение на сюжетите: две ябълки (B_1), две круши (B_2), две дюли (B_3) и два нара (B_4). Дадена беше възможност на публиката да даде числови оценки („О“) за всяка една от 16-те рисунки по скалата, съответно: ниска оценка 1, средна - 2 и висока - 3.

В следващата Таблица 3 са отразени резултатите от проведената анкета сред посетители на изложбата. Анкетни карти попълниха 17 човека.



табл.2 16-клетъчна живописна матрица.



В резултат от направените пресмятания по формули (1, 2 и 3), които могат да бъдат проведени и с помощта на специализиран калкулатор, какъвто има в [3], бяха получени следните стой-

ности за съответните средни суми от квадратите на отклоненията в оценките на зрителите: $Q_A=1,6$, $Q_B=0,41$ и $Q_{AB}=0,25$.

табл.3 Резултати от експеримента

	B ₁	B ₂	B ₃	B ₄	O ₀ = 2,4375
A ₁	2,28	2,71	2,43	2,43	O ₁₁ =2,46
A ₂	2,43	2,71	2,28	2,57	O ₂₂ =2,50
A ₃	2,57	2,71	2,71	2,43	O ₃₃ =2,61
A ₄	2,43	2,14	2,14	2,00	O ₄₄ =2,18
O ₀ = 2,4375	O ₁₁ = 2,43	O ₂₂ = 2,57	O ₃₃ = 2,39	O ₄₄ = 2,36	O _{ср} =2,44

Предвид на това, че матрицата е предварително обмислена и създадена целенасочено като симетрична (4 x 4), от което следва, че $m=n$ и формули (1) не изискват преработване, могат да бъдат направени следните изводи:

- факторът A_i влияе най-съществено върху оценките O_{ij} на зрителите;
- факторът B_j влияе почти четири пъти по-слабо върху оценките O_{ij} в сравнение с фактора A_i ;
- смесеното въздействие на двата фактора ($A_i \cap B_j$) влияе в случая най-слабо върху оценките на зрителите O_{ij} .

В резултат от направеното изследване може да се направи следното обобщение: творбите на хората на изкуството - художници, скулптори, графичи, керамичи, дизайнери и др., могат да бъдат обект на достатъчно точни оценки, които биха били постигнати с помощта на подходящо подбрани статистически методи, стига те да бъдат проведени коректно.

В настоящия случай, характерен с неговите специфични условия, включително и с използването на субективните оценки на разнородната аудитория - масовият зрител, беше доказана възможността за получаването на прецизни изводи, които бяха получени в резултат от влиянието на два конкретни фактора върху качеството на постигнатите изображения.

3. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Експериментът показва като цяло, че дисперсионният анализ може да се използва за коли-

чествена класификация на картини, изпълнени със съответните сюжети и с помощта на съответната техника (технология). Например в случая зрителите са дали най-висока средна оценка ($O_{ijmax} = 2,71$) за клетките A_1B_2 , A_2B_2 , A_3B_2 и A_3B_3 от матрицата. По същия начин най-ниската средна оценка ($O_{ijmin} = 2,00$) е получило изображението от клетка A_4B_4 на матрицата. Разбираемо е, че при други условия на входните фактори в един подобен експеримент, може да се очаква, че ще бъдат получени различни оценки от настоящите. Използваният в настоящата работа подход е много подходящ при оценката на конкурсни работи по зададена тематика в областта на изкуството, както и при оценки върху работи от приемни изпити в училищата по изящни изкуства, при оценките на курсови задачи, проекти и др., защото използвайки подход, подобен на настоящия, са налице условия за елиминирането на субективизма в процеса на постигането на крайните оценки за отделните разработки. Освен това, оценените няма да имат сериозни основания за обструкции, поради използването на мощната от методическа гледна точка методика на дисперсионния анализ.

Литература

1. Ангелов, Н.П., Учебно помагало по обработване на материалите, Издание на ТУ - София, 2010.
2. Георгиева, Б.Г., Т.П.Пешева, С.Г.Пармаков, Н.П.Ангелов, Колективна изложба „Форми на цвета“, изложена зала на ТУ - София, 01.06 - 30.06.2015 г.
3. Интернет-страница с калкулатор за директни пресмятания на характеристиките в условията на двуфакторен дисперсионен анализ: <http://math.semestr.ru/group/two-factor.php> . Посетена на 10.07.2015 г.
4. Green, C.D., Statistical methods for research workers by Ronald Fisher, York University, Toronto, Ontario, ISSN 1492-3173, 2000. <http://psychclassics.yorku.ca/Fisher/Methods/chap8.htm> . Посетена на 10.07.2015 г.

OPPORTUNITIES FOR APPLICATION OF ANOVA ASSESSMENT OF ART WORKS

Boriana GEORGIEVA-GUSHTANOVA, Teodora PESHEVA, Nikolaj ANGUELOV

Design Engineer Department, Technical University-Sofia, Bulgaria

e-mails: info.bobbyhoby@gmail.com , teodora11art@gmail.com , n.angelov@tu-sofia.bg

Abstract: The article is devoted to the possibilities of ANOVA as an approach to quantitative statistical evaluation for the quality of artistic works. Submitted is a concrete example of the decisions and demonstrated that the ANOVA is the appropriate instrument for the occasion..

Keywords: artistic works, variance analysis

МЕТОДОЛОГИЯ ЗА БЪРЗА 3D РЕАЛИЗАЦИЯ НА ПИЛОТНА КОНСТРУКЦИЯ НА ШПРИЦФОРМА ЗА ЛЕЕНЕ ПОД НАЛЯГАНЕ НА ИЗДЕЛИЯ ОТ ПЛАСТМАСА ПОСРЕДСТВОМ ИЗПОЛЗВАНЕ НА ВИСОКОТЕХНОЛОГИЧЕН СОФТУЕР

Спас СТЕФАНОВ, Любомир ДИМИТРОВ, Мартин РАДЕНКОВ

“Машинни елементи и неметални конструкции”, Технически университет - София, България
e-mail: ssks@mail.bg e-mail: lubomir_dimitrov@tu-sofia.bg; radenkov@tu-sofia.bg

Резюме: Наред с научните си измерения компютърното моделиране изисква и технологична изкуственост. Ефективността му зависи не само от метода, но и от неговата творческа интерпретация в конкретни случаи. Моделирането е изява на ясна концепция, основана на задълбочени познания за системите и процесите, умело съчетаваща практическия опит с конструкторска изобретателност, тъй като трябва да се проектират не само изделията, но и шприцформите, които ще ги произвеждат.

Ключови думи: компютърни модели, пластмасови изделия, шприцформи, инструментална екипировка, леене под налягане.

Компютърното моделиране е процес на създаване на 3D модел на реален обект с цел определяне или изследване на поведението му, както и оценяване на различни стратегии, обезпечавачи функционирането на дадена система. Като цяло работата включва както конструиране на модели, така и тяхното използване за решаване на поставените задачи: анализ, изследване, оптимизация или проектиране на технологичния процес и оборудване. Всички тези мероприятия са комплексни, като включват почти безкраен брой елементи, променливи, параметри, ограничения и т.н. Опитвайки се да построим точен модел, се стараем да обхванем в него всички тези елементи (явления) и времето.

Основа на успешната методика трябва да бъде щателно изработен модел. Обикновено се започва с опростен вариант, който постепенно се усъвършенства, отразявайки сложните ситуации все по-точно. Чрез аналогия и асоциация по вид с добре изградена структура се определя отправната точка на този процес на усъвършенстване и обработка на детайлите. Постепенното усъвършенстване е свързано с отчитане на постоянното взаимодействие и обратна връзка между реалната ситуация (конструкция) и модела. Между модификацията на модела и обработката на данни, генерирани от реалния обект и производството, е задължително да има постоянна корелация. Из-

кусното моделиране се състои в способността за анализ на проблема, при което от него по пътя на абстракцията се открояват съществените черти, избират се и се модифицират предположения и идеи, характеризиращи системата. Впоследствие моделът се отработва и усъвършенства, докато не започне да дава полезни за практиката резултати.

Разработването и използването на компютърни модели е сложен процес с изразено творчески характер. Наред с технологичните достижения и стандартизирането на някои рутинни операции крайният успех се определя от правилния подход и прецизността по отношение на множество съществени, а често и уникални детайли. Това предполага способност за пространствено мислене, конструкторска изобретателност, основана на практически опит и задълбочени познания за и процесите и апаратите. Още повече, че задачата е комплексна: трябва да се моделират не само изделията, но и шприцформите, на които се отливат.

Първоначалният проект на формообразуващ инструмент предполага сериозна подготвителна работа дори още преди получаването на CAD данни за крайния продукт. Традиционно в практиката пилотният модел се създава с 2D CAD пакети. Обикновено се преставят комплект идейни схематични сборни чертежи, които пос-

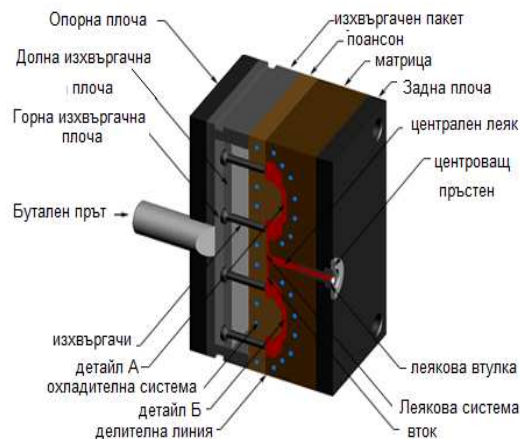
тавят началото на конкретизирането на конструкцията и уточняването на подробности, важни за функционирането на готовия инструмент. На техническите дискусии с производителите се изясняват материалите, които ще бъдат използвани. Отчитат се спецификите на поведението им при преработка. Планират се съществените технологични параметри, касаещи ефективността на прес-формата.

Информацията, използвана за първоначален проект, се основава на информацията от техническите дискусии, в които производителите често залагат и собствени полезни практики, отклоняващи се от стандартните подходи. Документът представя методиката на бързата реализация на пилотния 3D твърдотелен модел въз основа на плана.

Най-утвърденият метод за производство на пластмасови детайли в големи серии е леенето под налягане („шприцоване“) на пластмаса. Това е високоефективен, прецизен и качествено удовлетворителен метод на производство, който лесно може да се автоматизира. Все пак при него се използва скъпа инструментална екипировка и специално оборудване. Конструирването на подходяща шприцформа има решаващо значение, тъй като качеството на крайния пластмасов детайл силно зависи от нейния вид и възможности. Този вид конструирване изисква висока прецизност, защото се използва за серийно производство, където всеки дефект би се възпроизвеждал многократно. [1]

Типичен пример е показан на фиг. 1. Обичайно голяма част от изследователската работа, подпомагана от компютърни технологии, е осъществена въз основа на изучаването на набор специфични области на конструирването на шприцформи, а именно - изучаването на конструкцията като изцяло интегрирана система. На базата на научните познания за системи като Moldflow, NX и други са били разработени за конструирване на инжекционни шприцформи. Много търговски софтуерни пакети за конструирване на шприцформи (като например UG Mold Wizard, Solid edge, SolidWorks и др.) също са достъпни днес на пазара на подобни съоръжения. Програмните продукти допринасят за конструирването на инструментална екипировка, включително създаване на цялостния формооб-

разуващ инструмент - с охлаждаща и изхвъргачна система и всичко останало, нужно за реализирането му.



фиг. 1 Примерна конструкция на шприцформа за леене под налягане

До 2000^{-та} година не се обръща особено внимание на първоначалния дизайн на шприцформите за леене под налягане - поне като разработване на надежден алгоритъм за пилотните модели. Като правило се следва опростена схема: първо се определя делителната линия на пластмасовия детайл, следват изчисления на броя необходими кухини.

Оразмеряването на формувачите обема се осъществява въз основа на входящата информация за моделиране и разпределение на вътрешните кухини. Пилотните конструкции могат да се използват като инструментален модел при калкулиране на шприцформите.

Представените изследвания все пак може да не са приложими за редица случаи на индустриално леене под налягане на пластмаси. Броят необходими кухини се определя най-вече от клиентите, които осигуряват 3D и 2D CAD файловете на продукта. (Те рядко зависят от производителите на шприцформата, така че тази стъпка може да се пропусне за пестене на време). Ако са идентифицирани външни подрязвания в продукта (както в случая с използването на плъзгачи), изследването не ги разглежда като стандартни компоненти. То също така не се фокусира и върху евентуалните вътрешни подрязвания. Ня-

ма обаче гаранция, че разчетите биха отразявали правилно геометрията на шприцформата. Има риск те да се окажат подвеждащи и в икономически план, тъй като използването на нестандартни компоненти може да увеличи значително себестойността на производството на формовашите инструменти (в процентно изражение допълнителните разходи достигат 30 - 35%).

Методиките на авторите преди 2002 г. залагат на стандартизиране на разположението на кухините при инжекционни шприцформи за пластмаси (там, където се използват само стандартни кухни) [2]. Когато се използват само стандартно разположени кухни, е удобно техните конфигурации да се съхраняват в база данни за бързо и лесно изтегляне на по-късен етап или при проектирането на нов инструмент. Това ускорява реализацията на пилотните конструкции на шприцформи.

Необходимо е да се въведат по-бързи начини за конструиране на инструментална екипировка, за да може дори и по-неопитни конструктори да удовлетворят потребностите на днешния пазар за ускорено получаване на по-висококачествени

продукти. Това се постига чрез стандартизиране на конструирането на инструментална екипировка, тъй като конструкторските процеси са възпроизводими при повечето проекти. Това е същността на методологията за бърза реализация на пилотна конструкция на твърдотелен образец: в 3D модел вместо в 2D чертежи чрез стандартизираните методи. Първоначалната твърдотелна 3D конструкция се основава на общ стандартен шаблон. Всяка една съставна част - като например конструиране на разположението на кухините, конструиране на охладителната система и т.н. - имат свой собствен стандартен шаблон. Целта е да се постигне икономия на време, като крайните конструкции могат да бъдат получени директно само с няколкоминутни промени в първоначалната конструкция.

Литература

1. **Crompton, T. R.** Manual of Plastics Analysis. Kluwer. 1998
2. **Rosato, D. V.** "Injection Molding Process Control". SPEIMD Newsletter, No.41.1999

METHODOLOGY FOR FAST 3D IMPLEMENTATION OF PILOT PROJECTS FOR TOOLING FOR INJECTION MOLDING OF PLASTIC ARTICLES THROUGH THE USE OF HIGH TECHNOLOGY SOFTWARE

Spas STEFANOV, Lubomir DIMITROV, Martin RADENKOV

"Machine Elements and Non-metallic Constructions", Technical University-Sofia, Bulgaria
e-mail: ssks@mail.bg

Abstract: Development and use of computer models still largely is an art, not so much science. Therefore, as with other kinds of arts, success or failure is determined not so much by the method as how it is used. To master the art of modeling are necessary thinking, experience, creativity and resourcefulness, as well as extensive knowledge of systems and the physical phenomena such as should be modeled not only products, but also molds needed to produce them.

Keywords: computer-aided models, products, injection molds, tooling, processing machinery (processing equipment)

ПРЕДИМСТВА И ВЪЗМОЖНОСТИ С AUTODESK DESIGN SUITES

Марията ЯНЧЕВА

катедра „Основи и технически средства на конструирането”, Технически университет - София, България
e-mail: myancheva@tu-sofia.bg

Резюме: Работата представя систематизирана информацията относно предимствата при използването на комплектите на Autodesk и възможностите им в различни сфери на индустрията за цялостна визуализация и управление на процесите на проектиране. Разглежда се използването на множество обвързани програми в пакети за проектиране и презентирание на всички стъпки при изграждане на даден проект. Подобни пакети предоставят условия за по ясно възприемане и създаване на систематизирани знания за последователност на процесите и стратегическо виждане с цел повишаване качеството на обучение през различните негови етапи.

Ключови думи: Autodesk Design Suites

1. УВОД

Развитието на съвременните CAD продукти в последните години е насочено изцяло към предлагането на цялостни пакети обхващащи всички етапи на проектиране в дадена сфера. Вече не е достатъчно да се предлага конкретен продукт с който да се постигне отделен етап от проектирането, но да бъде обхванат целият процес. Концепцията за идеята не е нова, Microsoft Office е доказателство за това колко успешно е оперирането с подобни пакети. Когато използваме Word очакваме да имаме на разположение и Excel и PowerPoint, за оформяне и презентирание на нашите документи. По този начин се игнорира търсенето на съвместим продукт за финализиране на проекта.

Комплектите са удачен вариант при обучението на студенти от основен курс до студентите в горните курсове. Предоставят възможност за информираност и по ясна представа за цялостният процес при проектирането още в начален етап на обучение. Така разбирането за нуждата от различните курсове предоставящи знанията и умения е по-достъпна. Autodesk предоставя средство с помощта на което обучението е възможно да бъде целенасочено. Няма как да бъде завършен цялостен проект без нужните знания и умения от различните етапи на процеса на обучение.

Публикацията, се стреми да систематизира информацията относно предимствата и възможностите на колмпектите разработени за раз-

личните сфери на индустрията. На база информацията представена в [1] и [2] можем да обобщим следните основни комплекти предлагани до момента: Autodesk AutoCAD Design Suite, Autodesk Factory Design, Autodesk Product Design Suite, Autodesk Infrastructure Design Suite, Autodesk Building Design Suite, Autodesk Plant Design Suite, Autodesk Entertainment Creation Suite.

2. AUTODESK DESIGN SUITES

Представена с кратка систематизирана информация относно предимства и възможности според [1] и [2].

2.1. Autodesk AutoCAD Design Suite съчетава AutoCAD с други програмни продукти, за да помогне при създаване на проекти с максимална точност - от идеята до реализацията им. Силата на AutoCAD е допълнена с инструменти за скициране и фотореалистична визуализация на 3D CAD моделите.

2.2. Autodesk Factory Design Suite е съвкупност от 2D и 3D план на промишлено предприятие, което спомага за създаване на по-ефективно изделие, като се разработва цифров модел на предприятието. Решението включва AutoCAD и Autodesk Inventor софтуер с приложения, които подобряват точността и ефективността на дизайн, както и комуникацията. Създава модели на промишленото предприятие, което спомага бързото разработване на различни варианти, така че да се

определи най-правилното решение, преди дадено оборудване да е инсталирано. Използват се специфични инструменти за визуализация, оформени в 3D. Много лесно се работи с многослойни 2D чертежи.

Чрез Factory Design Suite се създава дизайн на разположението много по-бързо, отколкото при стандартно разполагане. Анализират се съществуващите 2D планове за по-ефективен поток на материалите. Извършват се инженерни прегледи и се предлага запознаване с плана на предприятието чрез интерактивни виртуални разходки. Тъй като Factory Design Suite работи с DWG файлов формат, може да продължите да използвате данни от AutoCAD и да ги подобрите без съществени промени.

2.3. Autodesk Product Design Suite е за инженери, които искат да добавят към двумерните си чертежи ефектни визуализации: Бързо и прецизно тримерно проектиране на машинни детайли и сглобки чрез Autodesk Inventor; Развитието на концептуалния модел и изработването на изключително красиви илюстрации е много лесно с инструментите за скициране, включени в SketchBook Designer; С AutoCAD Mechanical може да се съставят прецизни машинни чертежи и техническа документация, която отговаря на световните стандарти; След приключване на инженеринга може да се създадат множество снимки и клипове чрез Autodesk Showcase, за да се покажат най-добрите характеристики на проекта. Естетичния вид на модела, може да бъде съставен и демонстриран в Autodesk 3ds Max Design. Възможност за конструиране на тръбни системи, окабеляване и концептуален дизайн: Кинематични и динамични анализи, якостни и деформационни изчисления по метода на крайните елементи с Autodesk Inventor Professional.

2.4. Autodesk Infrastructure Design Suite добавя координираност на елементите в модела и възможност за създаване на календарни графици чрез Autodesk Navisworks Manage. Това е мощен инструмент за организация на процесите на строителството във времето с възможност за визуализация и анимация на процесите и анализ на евентуални проблеми в последователността им.

Добавя се и пълната функционалност на Autodesk Revit не само за конструкции, но и за архитектурно, ОВК и ВиК проектиране, което позволява осъществяването на цялостни сградни проектни модели като допълнение към инфраструктурния модел. Подпомага се анализа на строителните конструкции чрез водещия изчислителен софтуер Autodesk Robot Structural Analysis. Конструктивния модел и натоварванията могат да бъдат вмъкнати от Autodesk Revit Structure или да бъдат съставени в средата на Robot Structural Analysis в зависимост от предпочитенията на проектанта, след което да се изследват по метода на крайните елементи. Чрез Autodesk Robot Structural Analysis могат да се изследват редица показатели като еластично-пластични определяния на пръти (Material Nonlinearity), P-delta ефект (Large Displacement Theory), геометрична нелинейност (нарастваща - пълна и променена Newton Raphson, директна итерация, дължина на дъга) както и сеизмични, времеви и честотни функции на динамиката. Тази комплексност и многообразие на аналитичните функции позволяват на строителните инженери в инфраструктурното проектиране да оптимизират скъпоструващите конструктивни съоръжения и едновременно с това да осигурят безопасното им използване. Модула River and Flood Analysis се използва при изследване на речните корита и възможността от наводнения чрез поддръжка на HEC-RAS технологията в среда на AutoCAD Civil 3D. Чрез изследване на водосборната област, количествата валежи и зададено трасе на пътя, River and Flood Analysis позволява точно изчисляване на критичните хидравлични нива и спомага за оптимизирането на местата и геометрията на необходимите мостови съоръжения, водостоци, канавки и други инфраструктурни елементи. AutoCAD Civil 3D, спомага за изграждане на цялостен тримерен строително информационен модел. Всяка промяна в него се отразява динамично в план, профил, сечение или в спецификациите, което значително ускорява изработването на проектна документация като се избягват скъпоструващи грешки. AutoCAD Civil 3D лесно вмъква геодезически данни и създава повърхнини за изчисляване и оптимизиране на обемите на изкопно-насипните работи и изграждане на картограми. Програмата има голяма функционалност за

изграждане на оси и надлъжни профили с оптимизирани нивелетни решения на улици, пътища, проводи и други инфраструктурни обекти. AutoCAD Civil 3D съдържа библиотека с типови напречни профили, както и възможност за създаване на потребителски елементи чрез допълнителното приложение Subassembly Composer, което е част от пакета. Важна част са и динамично променящи се напречни сечения и количествени таблици, чрез които се оформя точна проектната документация, дори и при редакции направени в последния момент. Редица функции за създаване и редакция на тръбни трасета дават възможност на ВиК проектантите да проектират водопроводните и канализационни системи в план и профил. Изграденият в AutoCAD Civil 3D тримерен модел може да бъде изпратен към Autodesk 3ds Max Design за фотореалистични изображения и анимиране с добавени пътни знаци, мантинели, светофарни уредби, растителност и други елементи. Autodesk Revit Structure добавя възможност за създаване на конструктивни модели на мостове и добавяне на натоварване в среда на Revit платформа, а чрез допълнителното приложение Bridge Module може да се добавя и редактира тримерен мостови модел в среда на AutoCAD Civil 3D и да се изградят профили от конструкцията.

2.5. Autodesk Building Design Suite се използва от проектантите и чертожници за скициране на идейния проект, създаване на тримерни модели и генериране на документацията. SketchBook Designer се използва за векторно и растерно архитектурно скициране със свободна ръка в таблет или чрез мишка. Скиците се комбинират с растерни изображения за максимален ефект при представяне на концепцията. Наличието на пълната гама AutoCAD-базирани продукти (AutoCAD, AutoCAD Architecture, AutoCAD MEP и AutoCAD Structural Detailing) в Autodesk Building Design Suite позволява да се обменят безпроблемно 2D чертежи и 3D модели чрез разпространения DWG файлов формат. AutoCAD Architecture и AutoCAD MEP са предназначени за архитектурно, ВиК, ОБК и ел- проектиране чрез използване на параметрични тримерни обекти в среда на AutoCAD. Изградените 3D модели могат да бъдат котираны и специфицирани в план, раз-

рез и фасада, с което да се изготви необходимата проектна документация. AutoCAD Structural Detailing модулите за стоманени конструкции, кофражни и армировъчни планове помагат за изготвяне на цялостна конструктивна документация, като по този начин се завършва пълния проектен цикъл в AutoCAD среда. За представяне на създадените 3D модели в различни варианти се използва Autodesk Showcase, който помага на инвеститора да вникне в концепциите и да избере възможно най-доброто решение. Възможност за създаване на строителен информационен модел с Revit продукти. Той обединява 3D проектите на архитекта, строителния инженер и отделните специалности в една взаимосвързана среда за анализ, количествени сметки и чертожна документация. Тъй като всичко е интегрирано в строително информационния модел, всяка една промяна на някой от проектантите може да се отрази своевременно. Технология за координиране и изследване на строителния модел чрез зареждане в продукта Autodesk Navisworks. Той позволява на проектантите да симулират развитието на проекта, да предвидят и избегнат евентуални проблеми преди извършване на същинското строителство. Autodesk Navisworks съдържа редица инструменти за преглед и анализ на обединеният проект като измерване на разстояния, площи, обеми, възможност за включване на камера и разходка през модела. Програмата Robot Structural Analysis предлага интуитивен потребителски интерфейс и инструменти за бързо въвеждане, редактиране и анализ на изчислителния модел. Възможностите за анализ на Robot покриват широк диапазон – моделиране в 3D по МКЕ, линеен и нелинеен анализ, P-Delta ефект, Buckling анализ, модален и спектрален анализ, подвижни товари, линии и площи на влияние, обемни крайни елементи, пълно оразмеряване на стоманени, стоманобетонни и дървени конструкции.

2.6. Autodesk Plant Design Suite - Включва AutoCAD, AutoCAD P&ID, AutoCAD Plant 3D и Autodesk Navisworks едно решение за проектиране на химически промишлени предприятия, ускорявайки двумерното чертане, P&ID проектиране, тримерното моделиране, създаването на работна документация и визуализирането на

проекта. *Настройка на проекта* – Въвежда се необходимата информация, като проектни стандарти и норми, които ще бъдат използвани за създаване на тръбопроводи и компоненти.

Управление на данните - Сортира и организира проектните данни за по-лесно реферирание и показване на специфична информация от чертежа или проекта.

Доклади, търсене, и справки - Търси, извлича и обработва информация съдържаща се в чертежа. Създава спецификация на материалите и създава списък по определен критерии. Експортира информацията за тръбопроводите във формат (PCF) за обработка с други програми, като например якостен анализ.

Управление на проекта - Лесно се настройват проекти и преглеждат чертежи с опростена организация и управление на DWG™ файловете.

Работно пространство и потребителски интерфейс - Потребителският интерфейс включва голям чертожен прозорец с команди на екрана и достъп до специализирани команди за създаване проектиране на химически предприятия.

Облаци от точки - Вмъква сканирани 3D данни.

2.7. Autodesk Entertainment Creation Suite е включена към Suites категорията. Насочена към

разработването на игри и анимации. Разполага с инструменти използвани от художници, работещи с визуални ефекти, 3D игра, както и други 3D анимации с помощта на Autodesk Maya и MotionBuilder. Autodesk Maya е широко използвана в телевизията и кино индустрията. Autodesk MotionBuilder е решение за анимиране на 3D герои и същества в реално време за проекти в областта на компютърните игри, филмите и телевизията.

4. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Така наречените „комплекти” /Suites/ на Autodesk са изключително мощно средство за проектиране и визуализиране. Обхващат цялостните етапи на проектиране в конкретни сфери.

Използването им в процеса на обучение предоставят условия за по ясно възприемане и създаване на систематизирани знания при последователност на процесите и стратегическо виждане с цел повишаване качеството на обучение през различните негови етапи.

Литература

1. <http://www.autodesk.com> Посетен на 30.06.2015г
2. <http://www.cadpoints.com> Посетен на 30.06.2015г.

AUTODESK DESIGN SUITES

Marieta YANCHEVA

Fundamentals and Technical Means for Design department, Technical University-Sofia, Bulgaria
e-mail: myancheva@tu-sofia.bg

Abstract: The work presents systematic information on the advantages of using sets from Autodesk and opportunities in various areas of industry for complete visualization and control of the design process. Consider the use of multiple programs in packages bound for the design and presentation of all the steps in the construction of a project. Such packages provide the conditions for a clear perception and create a systematic knowledge of sequence of processes and strategic vision to improve the quality of education in various stages.

Keywords: Autodesk Design Suites

ПРОГРАМНА СИСТЕМА ЗА ОБРАБОТКА НА ЦИФРОВИ ИЗОБРАЖЕНИЯ ЗА ПОЛУЧАВАНЕ НА ПОЛЕТО НА ПОЛЕТО НА РАВНИННО ПРЕМЕСТВАНЕ

Галина ТОДОРОВА

катедра „Съпротивление на материалите”, Технически университет - София, България
e-mail: gtodor@tu-sofia.bg

Резюме: Представени са структурата и алгоритмите за реализация на програмна система за обработка на цифрови изображения, разработена от автора с цел измерване на дискретни стойности от полето на преместване в равнинна област от пробно тяло. Описан е алгоритъмът за оценка на неопределеността на дискретните стойности.

Ключови думи: програмна система, алгоритми, цифрова обработка на изображения, мрежов метод, експериментално определяне на поле на преместване

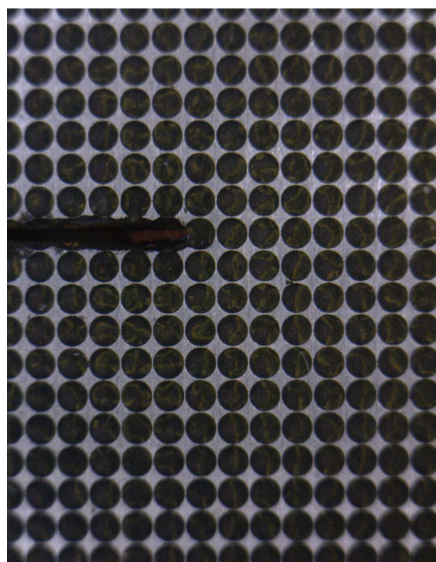
1. ВЪВЕДЕНИЕ

Методите за регистриране на полето на преместване и/или деформация в равнинна област посредством използване на мрежи са създадени след началото на 20 век [1]. При тях върху повърхността на изследваното тяло се нанася мрежа с избрана геометрия [1,2,3,8]. Измерванията са били реализирани с наличните към момента средства като шаблони и микроскопи. Така става възможно да се реализира дискретизация в наблюдаваната област и във времето и съответно да се проследят промените на полетата на преместване и деформация под въздействие на външно натоварване.

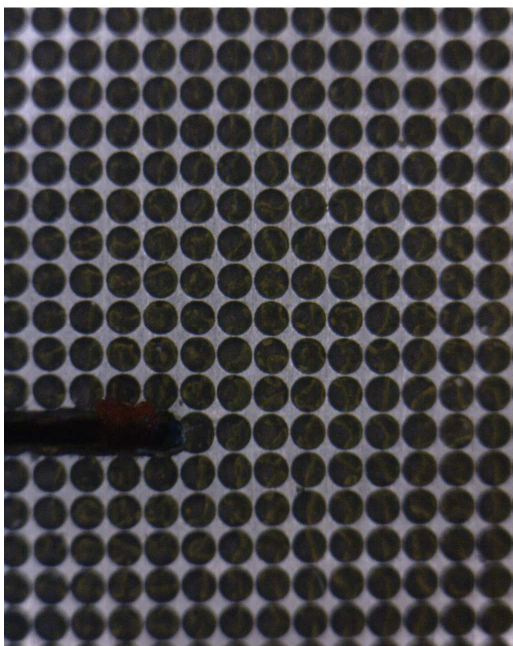
Съвременната цифрова техника, както и алгоритмите за цифрова обработка на изображения разкриват нови и по-добри възможности за усъвършенстване на експерименталните техники – в това число и метода на координатните мрежи. Изображението на мрежата се регистрира веднъж преди прилагане на натоварването върху обекта (фиг.1), а след това през определени интервали от време в процеса на неговото деформиране (фиг.2). Възможност за осъвременяване на метода на мрежите е изменението, които настъпват в равнинната област от пробно тяло, върху която е нанесена мрежата, да се регистрират в дискретен режим. Дискретният режим се осъществява чрез заснемане с цифров микроскоп с фиксирано положение и запис на компютър (фиг.3). Възможност за автоматизация на този метод е прилагането на цифрова обработка на подходящо избрани изображения измежду регистрираните, ко-

ято ще позволи да се даде качествена и количествена оценка за полето на преместване на наблюдаваната област от пробното тяло. Пресмятането на тези премествания без изчислителна техника и съответно програмно осигуряване е бавен и трудоемък процес, криещ в себе си възможност за допускане на грешки.

Ето защо цел на настоящата статия е разработването на алгоритъм и реализиране на програмна система от автора, която автоматизира обработката на заснетите по време на деформиране изображения.



фиг.1 Изображение на част от плоско пробно тяло с нанесена мрежа в недеформирано (начално) състояние



фиг.2 Изображение на част от пробно тяло с нанесена мрежа в деформирано състояние

2. НЕОБХОДИМА ФУНКЦИОНАЛНОСТ НА ПРОГРАМНАТА СИСТЕМА

Програмната система за обработка на цифрови изображения, получени по метода на мрежите, е необходимо да притежава следната функционалност:

I – Модул за обработка на цифрови изображения;
 II – Модул за изчисляване на координатите – X_{ci} , Y_{ci} на обектите от мрежата;

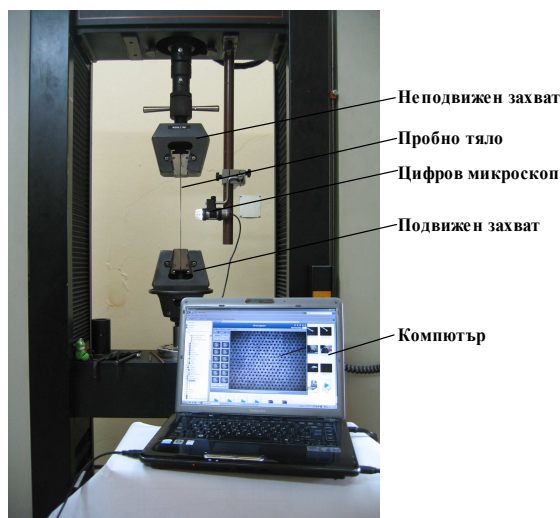
III – Модул за изчисляване на дискретните стойности от полето на преместване и тяхната максимална и минимална неопределеност;

Обобщената блок-схема на програмната система е показана на фиг.4.

3. ЗАВИСИМОСТИ ПРИ ПРОГРАМНАТА РЕАЛИЗАЦИЯ

3.1. Трансформиране на цветно в полутоново изображение [4-6]

Цветното цифрово изображение се характеризира с цвят. При 24 битовия Bitmap се използват се 3 цветови канала (син-B, зелен-G и червен-R), всеки от които се определя от 8 бита.



фиг.3 Експериментална екипировка

За трансформиране на цвета на пиксел от цветно цифрово изображение с цел получаване на интензитета - I на пиксел от полутоново изображение е избран метод **Average**, който се определя от [4-6]:

$$I = \frac{R + G + B}{3} \quad (1)$$

По този начин анализът на цветни изображения се свежда до анализ на полутонови.

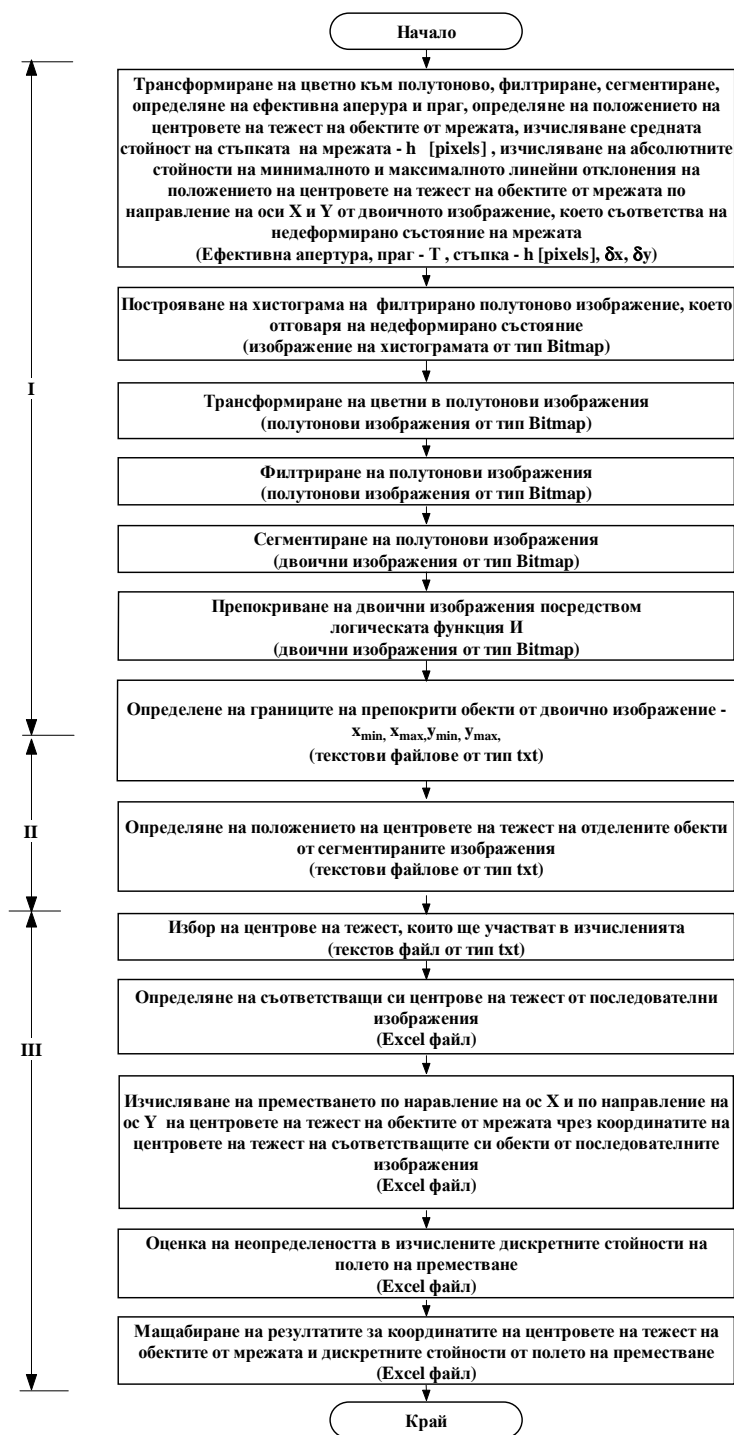
3.2. Филтриране на полутоново цифрово изображение [4-6]

Избрана за реализация е медианната филтрация, която е подходяща при наличие на импулсен шум в изображенията. При нея стойността на интензитета I на всеки елемент (пиксел) от входното полутоново изображение се замества с медианата (средната по положение) на подредените стойности на интензитетите в рамките на избраната апертура и се присвоява на съответния елемент от изходното изображение;

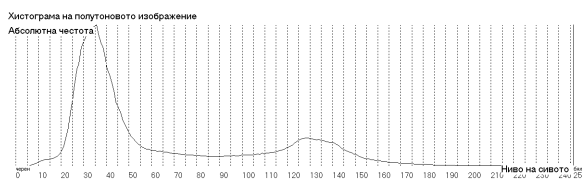
3.3 Сегментиране на полутоново изображение [4-6]

Съществуват различни възможности, като най-уместно е използването на прагова операция.

На фиг.5 е показана хистограмата на полутоново изображение, която има два изразени върха, между които трябва да се попадне прагът за сегментиране – T.

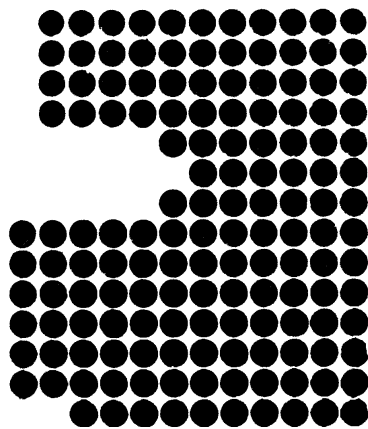


фиг.4 Обобщена блок-схема на програмната система



фиг.5 Хистограма на полутоново изображение, което съответства на недеформирано състояние на мрежата

Прагът за сегментиране се определя от адаптивен алгоритъм и за полутоновото изображение, чиято хистограма е показаната на фиг.5, е $T=86$. След сегментиране на полутоновото изображение с този праг е получено бинарното сегментирано изображение от фиг.6.

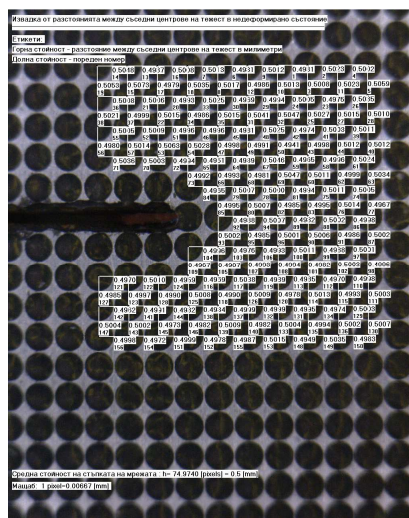


фиг.6 Бинарно сегментирано изображение

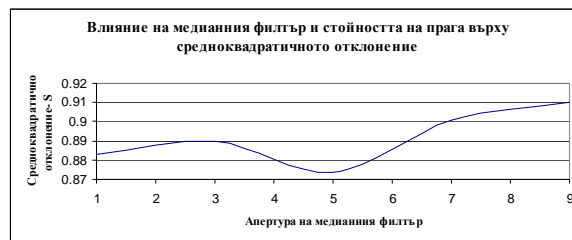
3.4 Определяне на ефективна апертюра за филтриране

При филтрирането могат да се използват различни по размерност апертюри.

Като средство, което дава ефективна стойност на размерността на апертурата се използва средноквадратичното отклонение - S на извадката, формирана от разстоянията между съседните центрове на тежест в началното изображение, отговарящо на недеформирано състояние на мрежата (фиг.7).



фиг.7 Разстояния между съседни центрове на тежест на маркерите на мрежата



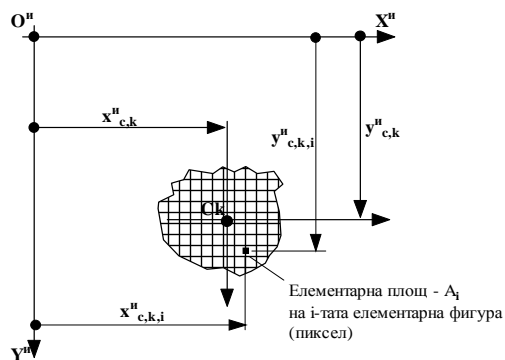
фиг.8 Влияние на апертурата на медианния филтър върху средноквадратичното отклонение

На фиг.8 е показано влиянието на размерността на апертурата върху средноквадратичното отклонение - S . Ефективна стойност на размерността на апертурата е 5 при използвания праг $T=86$.

3.5 Определяне на положението на центрите на тежест на обектите от мрежата

От сегментираните изображения се отделят свързаните пиксели на обектите от мрежата в списъци посредством алгоритъм за идентифициране. За всеки отделен списък се изчисляват координатите - $x_{c,k}^n$ и $y_{c,k}^n$ на центъра на центъра на тежест - C на k -тия обект от мрежата спрямо координатна система на пикселите на изображението - $X^n O^n Y^n$ посредством координатите на центрете на тежест на \mathbf{r} на брой пиксели (фиг.9), попадащи в него чрез (2). Изчислените

координати на центровете на тежест на маркерите на мрежата се записват в текстов файл.



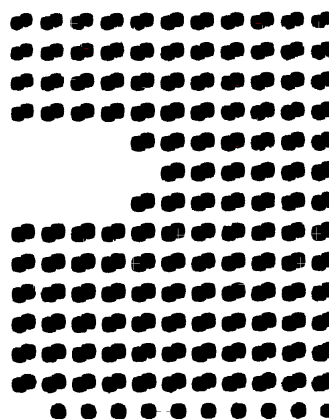
фиг.9 Обект от мрежата, съставен от r на брой пиксели с координати на центъра му на тежест ($x''_{c,k}$ и $y''_{c,k}$) и елементарна фигура (пиксел) с номер i с координати ($x''_{c,k,i}$ и $y''_{c,k,i}$) спрямо координатната система на изображението - $X''O''Y''$

$$x''_{c,k} = \frac{\sum_{i=1}^r x''_{c,k,i} A_{k,i}}{\sum_{i=1}^r A_{k,i}}; \quad y''_{c,k} = \frac{\sum_{i=1}^r y''_{c,k,i} A_{k,i}}{\sum_{i=1}^r A_{k,i}} \quad (2)$$

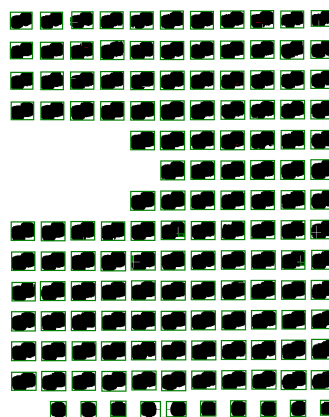
3.6 Препокриване на бинарни изображения и определяне на границите на препокритите обекти

Целта на препокриването на две последователни бинарни изображения е установяване на еднозначно съответствие между два маркера от две последователни изображения.

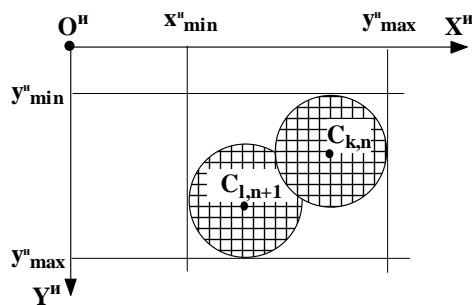
За препокриване се прилага логическата функция **И** (конюнкция) върху две последователни сегментирани изображения с номера n и $n+1$. Едно резултатно изображение е показано на фиг.10. В него се търсят границите на описаните правоъгълници около препокритите обекти на мрежата в координатната система на изображението - $X''O''Y''$ (фиг.11 и фиг.12): $x''_{min}, y''_{min}, x''_{max}, y''_{max}$, които се записват в текстов файл.



фиг.10 Изображение, което е резултат от препокриване на две последователни бинарни изображения



фиг.11 Граници на препокрити обекти от две последователни бинарни изображения



фиг.12 Граници на два препокрити обекта - $x''_{min}, y''_{min}, x''_{max}, y''_{max}$

3.7 Определяне на съответстващи си центрове на тежест от две последователни изображения

Условието два обекта от две последователни изображения да си съответстват е:

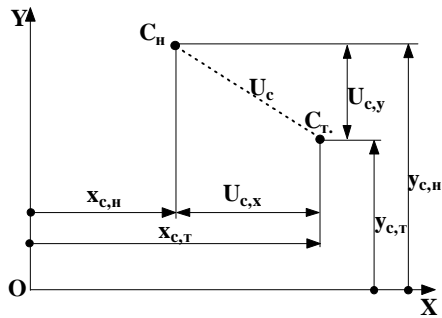
$$\text{Ако } \begin{cases} x_{\min}^n < x_{C_{k,n}}^n, x_{C_{l,n+1}}^n < x_{\max}^n \\ y_{\min}^n < y_{C_{k,n}}^n, y_{C_{l,n+1}}^n < y_{\max}^n \end{cases}, \text{ то} \quad (3)$$

к-ят обект (маркер) на мрежата от изображение с номер **n** съответства на **l**-я обект от изображения с номер **n+1** (фиг.12). Координатите в пиксели на съответстващите си центрове на тежест на маркерите от последователните изображения се записват в Excel - таблица.

Впоследствие координатите на центровете на тежест и границите на прекроитите обекти от мрежата се трансформират от координатната система на изображението в нова координатна система – XOY (фиг.13) с начало центъра на избран пиксел от началното изображение.

3.8 Изчисляване на дискретни стойности от полетата на проектираните премествания по направление на ос X - $U_{c,x}$, по направление на ос Y - $U_{c,y}$ на отделните обекти [7]

Проектираните премествания- $U_{c,x}$ и $U_{c,y}$ по направление на осите X и Y на даден център на тежест C се изчисляват посредством координатите на центровете на тежест на обектите от последователните изображения (фиг.13).



фиг.13 Начални ($x_{c,n}, y_{c,n}$) и текущи ($x_{c,t}, y_{c,t}$) координати на центъра на тежест на обект, за който се изчисляват проектираните му премествания - $U_{c,x}$ и

$$U_{c,y}$$

Проектираното преместване по направление на ос X – $U_{c,x}$ се определя от [7]:

$$U_{c,x} = x_{c,t} - x_{c,n} \quad (4)$$

Проектираното преместване по направление на ос Y – $U_{c,y}$ се определя от [7]:

$$U_{c,y} = y_{c,t} - y_{c,n} \quad (5)$$

Пълното преместване – U се определя от:

$$U_c = \sqrt{U_{c,x}^2 + U_{c,y}^2} \quad (6)$$

където:

- $x_{c,t}$ - координата по ос X на центъра на тежест C от текущото изображение
- $y_{c,t}$ - координата по ос Y на центъра на тежест C от текущото изображение
- $x_{c,n}$ - координата по ос X на центъра на тежест C от началното изображение
- $y_{c,n}$ - координата по ос Y на центъра на тежест C от началното изображение

Изчислените дискретни стойности от полетата на преместване се записват в Excel файл.

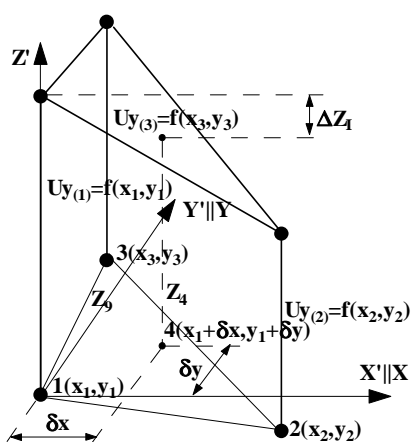
3.9 Оценка на неопределеността в изчислените дискретни стойности на преместването

За оценка на неопределеността в изчислените дискретни стойности се използва способ, основан на предположението, че експерименталните стойности се отличават от точните със сумата от случайните и систематичните грешки. Грешката за всяка дискретна стойност се приема равна на линейния член от разлагането на функцията на преместването $U = f(x, y)$ в ред на Тейлор [8].

За функция на две променливи редът на Тейлор има вида:

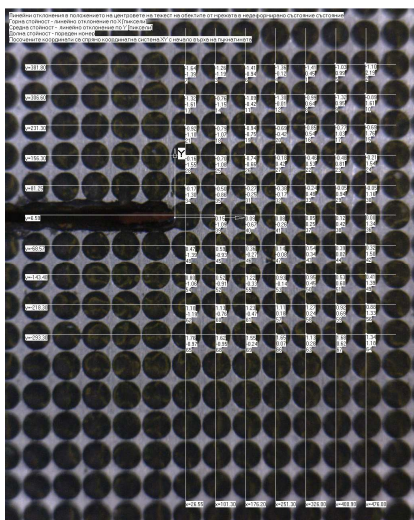
$$f(x + \Delta x, y + \Delta y) = f(x, y) + \frac{1}{1!} \left(\frac{\partial}{\partial x} \Delta x + \frac{\partial}{\partial y} \Delta y \right) f(x, y) + \dots + R_n, \quad (7)$$

където R_n е остатъчен член



Фиг.14 Обекти от мрежата, които се използват при изчисляването на неопределеността на пресметнатите дискретни стойности на преместването \$Uy\$ за първи квадрант на в координатна система \$1X' Y'\$

За изчисляване на неопределеността на дискретните стойности на преместванията е необходимо да се използват най-големите линейни отклонения - \$\delta x\$ и \$\delta y\$ в положението на центровете на тежест на обектите от мрежата по ос \$X\$ и по ос \$Y\$ (фиг.15) от началното изображение, което съответства на недеформирано състояние на мрежата.



Фиг.15 Средни стойности на координатите на центровете на тежест на обектите на мрежата по редове и колони и линейни отклонения в положението им в недеформирано състояние на мрежата

Функцията \$f\$ от реда на Тейлор, която зависи от координатите \$x\$ и \$y\$ представя стойностите на преместването по направление на ос \$Y\$ - \$U_{y,k}\$ (\$k=1..n\$).

За изчисляване на неопределеността на преместването \$U_{y,1}\$ в точка 1 за квадрант I (фиг.14) от дадено начално изображение е необходимо да се:

-изчислят координатите на точка 4:

$$\begin{aligned} x_4 &= x_1 + \delta_x \\ y_4 &= y_1 + \delta_y \end{aligned} \quad (7)$$

- След това се изчислява стойността на преместването в точка 4 - \$z_4 = Uy(4)\$ посредством:

$$z_4 = a_1 z_1 + a_2 z_2 + a_3 z_3, \quad (8)$$

където \$a_1, a_2\$ и \$a_3\$ са теглови коефициенти, които се определят от линейната система уравнения:

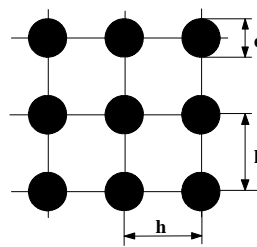
$$\begin{cases} a_1 x_1 + a_2 x_2 + a_3 x_3 = x_4 \\ a_1 y_1 + a_2 y_2 + a_3 y_3 = y_4 \\ a_1 + a_2 + a_3 = 1 \end{cases} \quad (9)$$

-След това се изчислява нарастването на разглежданата функция-преместване, което изразява неопределеността на изчислената дискретна стойност \$z_1 = Uy(1)\$ в I-ви квадрант:

$$\Delta z_I = z_4 - z_1, \quad (9)$$

Аналогично се получават стойностите на \$\Delta z_{II}\$, \$\Delta z_{III}\$ и \$\Delta z_{IV}\$ за другите три квадранта. След това се избират максималната и минималната измежду четирите стойности и се записват в Excel-файла.

3.10 Мащабиране на преместванията



Фиг.16 Недеформирана квадратна мрежа

За изчисляване на мащаба се съпоставят средната стойност на броя на пикселите в една

стъпка на мрежата – h [pixels] и метричната стойност на стъпката на мрежата – h [m] (фиг.16) за всички центрове на тежест на маркерите на мрежата от началното изображение, които участват в определянето на дискретните стойности от полето на преместване.

Посредством изчисления мащаб резултатите за координатите и преместванията в пиксели на центрите на тежест на обектите от мрежата се трансформират към метри и се записват в Excel файл.

4. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Разработен е алгоритъм и е реализирана програмна система от автора, която автоматизира обработката на заснети цифрови изображения с цел измерване на дискретни стойности от полето на преместване в равнинна област.

2. Представени са основните зависимости за обработка на цифрови изображения, посредством които е реализирана програмната система.

3. Така предложената програмна система ускорява получаването на резултати за полето на преместване на центрите на тежест на обектите

от мрежата и даването на оценка на неопределеността им.

Литература:

1. **Parks V.J.**, The grid method, *Experimental Mechanics*, v.9, p.27-33, 1969
2. **Матвиенко Ю. Г.**, Модели и критерии механики разрушения, 2006
3. **Vavrik D., J. Zemankova**, Crack instability in ductile materials analyzed by the method of interpolated ellipses, *Experimental Mechanics*, Volume 44, Number 4, p.327-335
4. **Лазарова М., Ангелова М.**, Ръководство за лабораторни упражнения по компютърно зрение и разпознаване на образи, ТУ-София, 2007
5. **Гочев Г.**, Компютърно зрение, Технически Университет - София, 2008
6. **Gonzales.R., R Woods**, *Digital Image Processing*, 2002, University of Tennessee
7. **Върбанов Х., Тепавичаров А., Ганев Т.**, Приложна теория на еластичността и пластичността, Техника, 1992
8. **Дель Г.Д., Новиков Н.А.**, Метод делительных сеток, Москва, Машиностроение, 1979

A SOFTWARE SYSTEM FOR DIGITAL IMAGE PROCESSING FOR OBTAINING OF A PLANE DISPLACEMENT FIELD

Galina TODOROVA

Department of strength of materials, Technical University-Sofia, Bulgaria

e-mail: gtodor@tu-sofia.bg

Abstract: The structure and the algorithms for implementation of a program system developed by the author for measurement of discrete values of displacement field in a flat area of the test piece by digital image processing are presented. The algorithm of evaluation of uncertainty of the discrete values is described.

Keywords: program system, algorithms, digital image processing, grid method, experimental determination of displacements

ИЗСЛЕДВАНЕ НА ЕНЕРГИЙНИТЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ НА ПИЕЗОЕЛЕКТРИЧЕН ВИБРОУДАРЕН ХАРВЕСТИЕР

¹Георги ПЕТКОВ, ²Марин ХРИСТОВ, ³Тодор ТОДОРОВ

¹катедра „Теория на механизмите и машините“, Технически университет, София, България

²катедра „Микроелектроника“, Технически университет, София, България

³катедра „Теория на механизмите и машините“, Технически университет, София, България

georgil.petkov@mail.bg, mhristov@ecad.tu-sofia.bg, tst@tu-sofia.bg

Резюме: В статията е разгледано влиянието на коефициента на възстановяване и броят на ударите за секунда върху извлечената енергия от виброударен енергиен преобразувател, наречен харвестер. Той е съставен от конзола със сферична маса в свободния край. Диапазонът на преместване на масата е ограничен чрез механични прегради, в които се удря сферата. Механичните прегради представляват две метални мембрани, на които е нанесен двустранно пиезоелектричен слой. Трептенията на конзолата също генерират електричество чрез двустранни пиезоелектрични слоеве, разположени близо до мястото на окачване. На базата на динамичен модел на харвестера и експерименти са проведени изследвания за влиянието на честотата на ударите и коефициента на възстановяване върху изходящата енергия на харвестера.

Ключови думи: виброударен харвестер, МЕМС, пиезоелектричен харвестер, вибрационен харвестер, кинетичен харвестер, енергиен преобразувател, ударен коефициент

1. ВЪВЕДЕНИЕ

Виброударните енергийни харвестери са макро или микро електромеханични устройства (МЕМС), които преобразуват частично енергията на механични трептения и удари на обкръжаващата среда в електрическа енергия. В зависимост от вида на обкръжаващата среда, от която се черпи енергия (машина, превозно средство, битов уред, живо същество) трептенията може да бъдат с периодичен непрекъснат, или произволно прекъснат стохастичен характер. Характерна черта за харвестерите е, че добиваната от тях електрическа енергия е от порядъка на няколко стотин nW до около $10 mV$. Напоследък се забелязва тенденция за намаляване на долната граница на мощността на тези устройства, поради все по-ниската консумация на съвременните микроелектронни и МЕМС устройства.

За да се извлече максимална енергия, активният елемент на харвестера трябва да трепти в резонанс с честотата на възбуждащите го трептения. Подари различната природа на външните вибрации, тяхната амплитуда и честота се изменя в широки граници. Това води до необходимостта от активно или пасивно настройване на собстве-

ната честота на харвестера с цел по-голяма ефективност на добитата електрическа енергия [3, 4]. Един от възможните начини за настройване на собствената честота е чрез промяна на дължината на конзолата [5], но това е трудно постижимо практически и изисква намеса и спиране на харвестера по време на работа [6].

Друг начин за настройване на честотата е чрез промяна на коефициента на еластичност. Това може да се постигне чрез допълнителни пиезоелектрични слоеве на конзолата, който чрез обратния пиезоелектричен ефект оказват влияние върху твърдостта ѝ [7, 8].

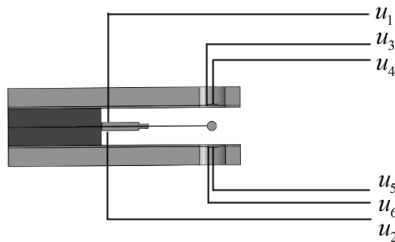
Известни са подходи за разширяване на резонансния диапазон на харвестера, базирани на внасянето на нелинейност в движението на вибриращия елемент, вследствие на което се „изкривява“ амплитудно честотната характеристика. Разгледаният тук харвестер притежава този ефект, защото ударите променят началните условия и това води до създаване на неизохронна система [1]. За преобразуватели на енергия при виброударните харвестери се използват постоянно трептящи еластични греди и ударно натоварени мембрани. За да се изследват ударните процеси тук е въведен терминът ударен коефициент,

чрез който се дефинира броят на ударите за секунда.

В статията се разглежда влиянието на ударния коефициент и коефициента на възстановяване върху изходната мощност на виброударен харвестер.

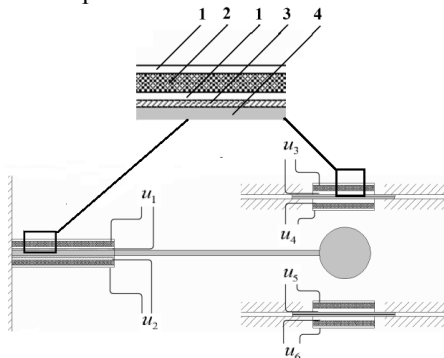
1. ОПИСАНИЕ НА ХАРВЕТЕРА

Опростена схема на виброударния харвестер е показана на фиг. 1.



фиг.1 Опростена схема на харвестера и изходни напрежения

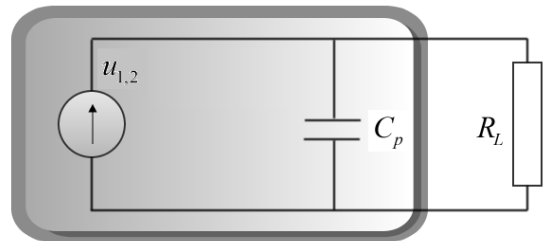
Конзолата е монтирана в корпус между сменяеми подложки, които служат за промяна на разстоянието между сферата и ограничаващите я неподвижни мембрани. Тъй като има два пиезоелектрични слоя върху конзолата и по два такива слоя на мембраните са изведени общо 6 електрически изводи. Пиезоелектричните слоеве на конзолата са подложени на непрекъснати натоварвания на опън и натиск, докато пиезоелектричните слоеве на мембраните изпитват спорадични ударни натоварвания. На фиг. 2 са показани структурите на конзолата и мембраните и тяхното взаимно разположение.



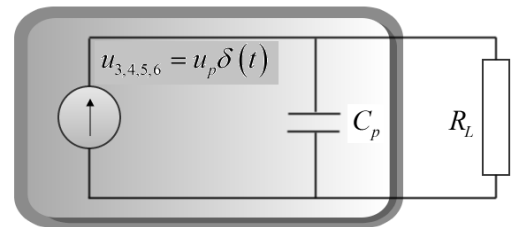
фиг. 2. Структура на конзолата и мембраните: 1. Тънък сребърен слой, нанесен върху пиезоелектрика; 2.

Пиезоелектрик PZT-5Н; 3. Изолационен, адхезивен слой; 4. Еластична основа на конзолата (мембраната).

Еквивалентните електрически схеми за напреженията u_1 и u_2 са показани на фиг. 3. На фиг. 4 са илюстрирани еквивалентните схеми за напреженията u_3, u_4, u_5, u_6 . Разликата между фиг. 3 и фиг. 4 е във формата на генерираното напрежение. Напреженията u_3, u_4, u_5 и u_6 са изходящите напрежения на мембраните, които са подложени на удар. Тези напрежения притежават импулсна форма поради наличието на удар, който се извършва за кратък период от време.



фиг. 3. Еквивалентна електрическа верига за напреженията u_1 и u_2 .

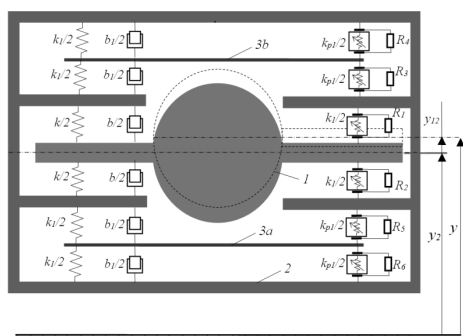


фиг. 4. Еквивалентна електрическа схема за напреженията u_3, u_4, u_5 и u_6 .

2. ОПИСАНИЕ НА СИСТЕМАТА И СИМУЛАЦИИ

Поведение на подобни системи с конзола под влияние на външни вибрации са изследвани подробно [3,10,11,12, 13,14].

Използваният модел е показан на фиг. 5 [1]. Релативното преместване на конзолата y_{12} и електрическото напрежение са описани със системата диференциални уравнения, изведени по метода на Лагранж-Максуел



фиг. 5. Динамичен модел на виброударния харвестер.

$$\begin{cases} (m - 2\alpha^2) \ddot{y}_{12} + (b_m + b_e) \dot{y}_{12} + 2[k - 2k_p u^2] y_{12} + mg = A\omega^2 \sin \omega t \\ 4i \left(k_p y_{12}^2 + \frac{\alpha^2}{R_L} \right) + u(8k_p y_{12} \dot{y}_{12} - 2C - 1) = 0, \end{cases} \quad (1)$$

където m е масата на сферата, α е обобщения коефициент на механичната пиезоелектрична връзка, b_m и b_e са съответно обобщени демпфиращи коефициенти на механична и електрична пиезоелектрична връзка, k е приведен еластичен коефициент на конзолата, k_p е променлив пиезоелектричен коефициент на еластичност, A и ω са амплитудата и ъгловата честота на външните трептения, C е капацитет на мембраните, g е земното ускорение и R_L е електрическото съпротивление на товара [1].

Уравнение (1) описва системата без наличие на удар, тоест в интервала

$$|y_{12}| \leq g_0 - r \quad (2)$$

където g_0 е разстоянието между нулевата линия и стената при ненатоварена конзола, а r е радиусът на сферата.

При удар, или когато

$$|y_{12}| > g_0 - r \quad (3)$$

се променят началните условия

$$y_{12} = \begin{cases} g_0 + r & \text{за } y_{12} > g_0 + r \\ g_0 - r & \text{за } y_{12} < g_0 - r \end{cases} \quad (4)$$

и

$$\dot{y}_{12} = -e_{impact} \dot{y}_{12} \quad (5)$$

Тук с e_{impact} е означен коефициентът на възстановяване при удар между сферата и мембраните.

Ударните явления превръщат системата (1) в силно нелинейна. Поради сложния ѝ свързан характер тя се решава с помощта на числени методи от висок ред.

Мембраните, както вече беше споменато, са подложени на удар и дават импулсно изходящо напрежение. На фиг. 6 са показани два измерени импулса от генерираното напрежение при удари.

Различната форма на изходящите напрежения в конзолните пластини и мембраните налага използването на различни електронни схеми за обработка и съхранение на електрическата енергия. За симулиране на енергията, извлечена от удар се използва следното приближение [16]

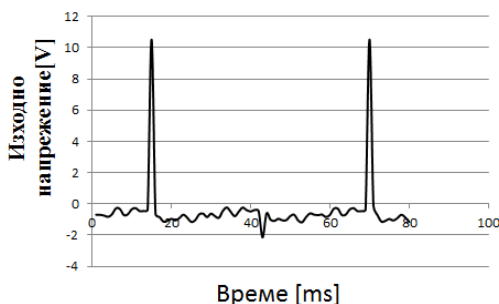
$$E_{impact} = \frac{(1 - e_{impact})^2 v_{sph}^2 m_{reduced}}{2} \quad (6)$$

Където e_{impact} е коефициента на възстановяване при удар, v_{sph} е скоростта на сферата преди удара,

$$m_{reduced} = m_{сфера} + 0.24m_{конзола} \quad (7)$$

е приравнената маса на конзолата и сферата [17].

От уравнение (6) може да се заключи,



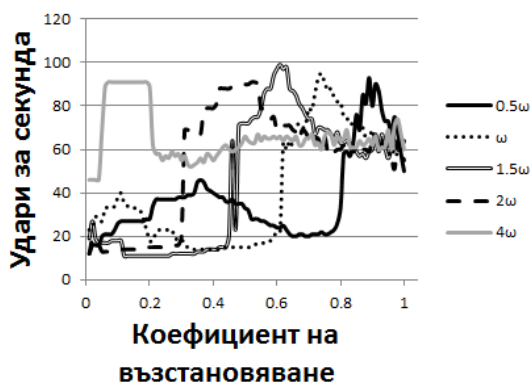
фиг. 6. Изходящо напрежение на една от мембраните, подложени на удар при честота 60 Hz без електрически товар.

че най-важният параметър, от който зависи енергията при удар е коефициентът на възстановяване e_{impact} , тъй като той определя каква част от енергията се предава на мембраната. Стойностите, които може да има коефициентът са в диапазона [0,1].

Графиката на фиг. 7 показва симулирани зависимости между брой удари за секунда за раз-

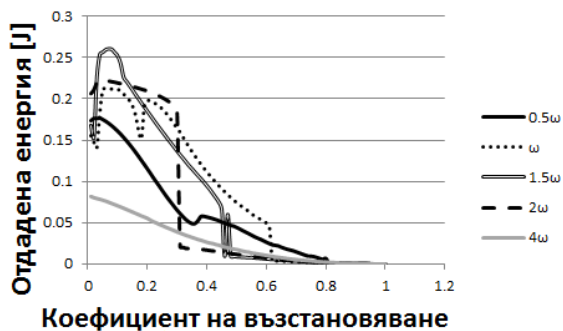
лични честоти, спрямо коефициента на възстановяване при вариране на честотата на преносните трептениякратно на резонансната.

На фиг. 8 са показани графики на енергията, във функция на коефициента на възстановяване за данните от фиг. 7.



фиг. 7. Симулирани удари за секунда при честоти кратни на собствената честота и коефициент на възстановяване в диапазона [0,1].

От фиг. 7 е видно, че пикът за брой удари се измества към по-ниски стойности на коефициента на възстановяване при увеличаване на честотата. Също така, при високи честоти графиката започва да се изглажда, което води до заключението, че коефициентът на възстановяване играе по-малка роля при ударите за секунда при увеличаване на честотата.



фиг. 8. Енергия, отдадена на пиезоелектричните елементи при честоти кратни на собствената честота и коефициент на възстановяване в диапазона [0,1].

От фиг. 8 може да се заключи, че отдадената енергия върху мембраните намалява с увелича-

ване на коефициента на възстановяване, което е и очаквано, тъй като идеалните еластични удари не отдават енергия върху мембраните, обаче отдадената енергия като цяло намалява с увеличаване на външната честота, защото системата излиза от резонанс и се намалява времето за промяна на посоката на скоростта на конзолата [18].

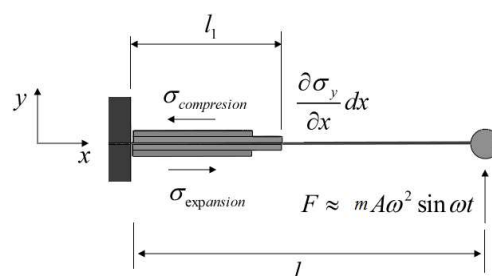
Енергията, извлечена от харвестера е сбор от изходящата енергия на всичките пиезоелектрични елементи

$$E_{total} = \sum_{i=1}^6 E_i . \quad (8)$$

Прикрепените към конзолата пластини са подложени на опън и натиск, като когато едната пластина е подложена на опън, другата е подложена на натиск със същата големина. От това следва, че техните изходящи напрежения са противофазни.

На фиг. 9 е показана схемата на натоварване на конзолата.

Напрежението в произволна координата по дължината на гредата е



фиг. 9 Огъване на конзолните пиезоелектрични пластини.

$$\sigma_y = \frac{F(l-x)}{W_y} , \quad (9)$$

където M_y е огъващият момент, а

$$W_y = \frac{bh^2}{6} \quad (10)$$

е съпротивителен момент на сечението при огъване, b и h са съответно енергийно еквивалентната височина и дебелината на конзолата за участъка с пиезоелектричните слоеве.

Връзката между механичното напрежение и изходящото електрическо напрежение u_{11} в произволна координата x е

$$u_{11}(x) = t_p g_{11} \sigma_y(x), \quad (11)$$

където t_p е дебелината на пиезоелектричния слой, а g_{31} е волтажният пиезоелектричен коефициент.

Заместването на уравнение (9) в уравнение (11) в води до

$$u_{11}(x) = t_p g_{11} \frac{6F(l-x)}{bh^2} \quad (12)$$

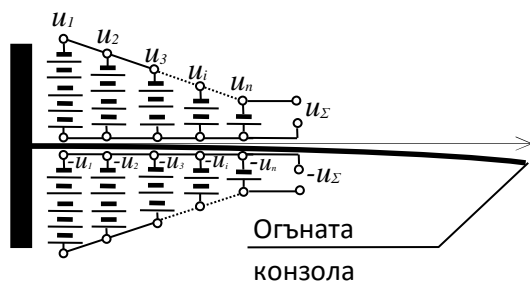
При сплетени електроди елементарните напрежения на две съседни стъпки са свързани последователно. В този случай електрическото напрежение по цялата дължина на пиезоелектричния слой се определя след интегриране на уравнение (12)

$$u_{11\Sigma} = t_p g_{11} \frac{6F}{bh^2} \int_0^l (l-x) dx, \quad (13)$$

от където

$$u_{11\Sigma} = t_p g_{11} \frac{6F}{bh^2} (l^2 - 2ll_1). \quad (14)$$

За разглеждания случай електродите са непрекъснати по цялата дължина на пиезоелектрика и еквивалентната схема на свързване е паралелна (фиг. 10).



фиг. 10. Разпределение на пиезоелектричните напрежения при огъната греда и двустранни непрекъснати електроди.

Елементарното напрежение в точка x по дължината на гредата се изразява чрез формула (12).

Поради паралелната схема на свързване и линейната зависимост от координатата x изходното напрежение е

$$u_{\Sigma} = \frac{u_{\max} - u_{\min}}{2}, \quad (15)$$

от където

$$u_{\Sigma} = t_p g_{11} \frac{6Fl_1}{2bh^2}. \quad (16)$$

От уравнения (14) и (16) е очевидно, че напрежението от пиезоелектричните пластини е пропорционално на инерционната сила, следователно формата на изходящото електрическо напрежение ще следва отклонението на гредата спрямо равновесното положение.

Използвайки уравнение (16) на фиг. 11 е симулирана извлечената енергия от пиезоелектричните пластини на конзолата за различни честоти и коефициенти на възстановяване. Видно е, че също както и броят удари за секунда, с увеличаване на честотата максимална енергия се получава при по-ниски ударни коефициенти.

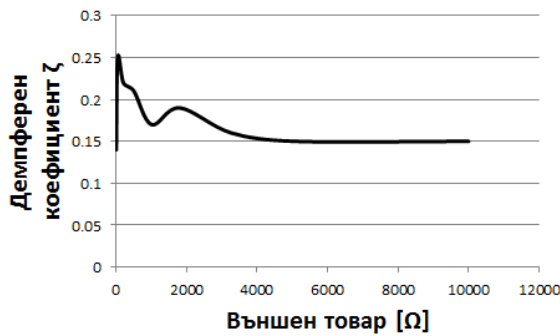


фиг. 11 Симулирана отдадена енергия от конзолните пиезоелектрични пластини.

3. ЕКСПЕРИМЕНРАЛНИ РЕЗУЛТАТИ

За провеждане на експериментите е използвана експерименталната установка описана в [1]. Измерени са изходните параметри за честоти от 30 Hz до 65 Hz през стъпка от 5 Hz при различни товарни съпротивления. За симулации е използван коефициент на демпфиране, който е изведен експериментално чрез логаритмичния декремент (фиг. 12).

От фиг. 12 следва, че коефициентът на демпфиране намалява с увеличаване на товара. Това е очаквано поведение, тъй като по-малък товар води до по-големи загуби от харвестера.



Фиг. 12. Демпферен коефициент за различни товари

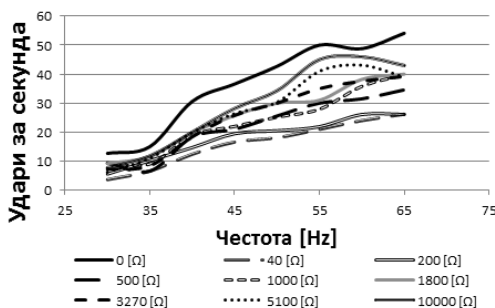
Коефициентът на демпфериране може да се изрази чрез

$$\xi_{tot} = \xi_m + \xi_e, \quad (17)$$

където ξ_{tot} е пълният коефициент на демпфериране на системата, ξ_m е коефициентът на демпфериране при отворена електрическа верига, ξ_e е коефициентът на демпфериране при късо съединение на електрическата верига.

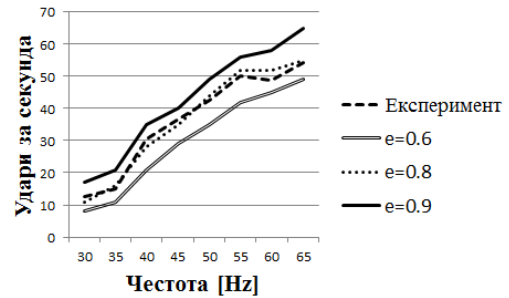
На фиг. 13 са показани графики на брой удари за секунда (ударния коефициент) за различни честоти и външните товари. Видно е че ударният коефициент се увеличава с увеличаване на външната честота. Намаляването на товара води до увеличаване на загубите на системата, което е причина за понижаване на скоростта на сферата и увеличаване на времето за преход от едната до другата преграда.

На фиг. 14 са сравнени графики на брой удари за секунда при отворена верига за симулирани с различни стойности на коефициента на възстановяване и експерименталните стойности



Фиг. 13 Сравнение на средния брой удари за секунда във функция на честотата при различни електрически товари

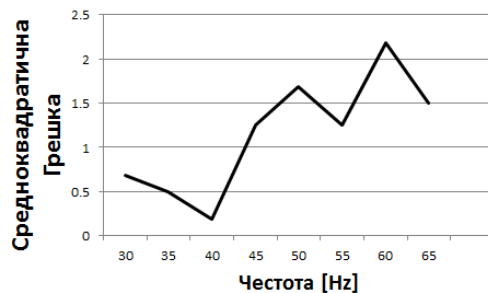
От графиките е установено, че симулацията с коефициент на възстановяване от 0,8 съвпада най-близко до експерименталните стойности.



Фиг. 14 Симулирани удари за секунда при отворена електрическа верига и различен коефициент на възстановяване.

На фиг. 15 е дадена средно квадратичната грешка за среден брой удари от фиг. 14.

На фиг. 16 е показана графика със средна стойност на ускорението по време на удар. Може да се види, че има ясно изразен връх при 60 Hz след което се наблюдава спад в ускорението.



Фиг. 15 Средно квадратична грешка на среден брой удари от фиг. 14.

Този ефект може да се обясни с отместване от собствената честота от 40 Hz, резонансната честота. Поради разликата в честотите това води до дефазироване от

$$R_{fr} = \frac{\omega_{ex} - \omega_n}{\omega_n} \pi \quad (18)$$

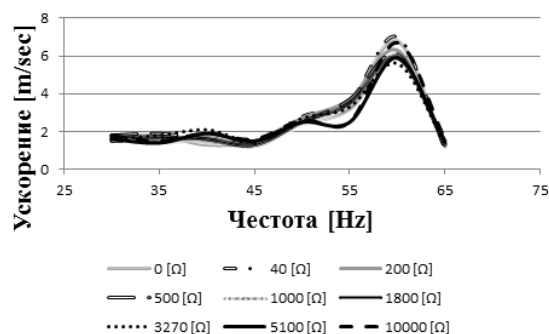
Собствената честота на конзолата е намерена експериментално и е приблизително 40 Hz за конзолата по време на експериментите. Използвайки уравнение (18) за собствената честота и

честотата на изразеният връх в ускорението, фиг. 14, е намерено дефазирани от

$$R_{fr} = \frac{\omega_{ex} - \omega_n}{\omega_n} \pi = \frac{60 - 40}{40} \pi = 0,5\pi \quad (19)$$

Дефазирани от $0,5\pi$ означава, че повечето удари между корпуса и сферата се извършват, когато скоростта на корпуса е с максимална стойност. Максималната сила при дефазирани от

$$0,5\pi \text{ е } F = mA\omega^2 \sin\left(\frac{\pi}{2}\right) = mA\omega^2.$$



фиг. 16 Измерено средно ускорение на корпуса по време на удар.

4. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Анализирана е изходящата мощност на харвестера за изследвания диапазон от честоти.

Изведени са теоретични зависимости за изходящата енергия при различни коефициенти на възстановяване на ударните мембрани.

Чрез числени методи са извършени симулации за различни честоти и коефициенти на възстановяване. Чрез числените симулации е установено, че броят удари за секунда клони към по-ниски стойности на коефициента на възстановяване при увеличаване на честотата на вибрациите. По-ниски стойности на коефициента на възстановяване водят до по-голяма отдадена енергия върху мембраните и подобряват изходните му параметри. Този ефект не е линеен, защото след многократно увеличаване на външната честота спрямо собствената честота отдадената енергия върху мембраните намалява значително. Това е логичен резултат, тъй като честотната характеристика за конзолата се влошава въпреки нели-

нейностите, въведени от механичните прегради и съпровождащите ги удари.

От фиг. 10 може да се заключи, че харвестера може да оперира в интервала $[\omega_n, 2\omega_n]$ при запазени изходни параметри и промяна на коефициента на възстановяване в отворения интервал от 0,5 до 1.

Чрез емпирични данни беше установено, че пиковото ускорение по време на удар е наблюдавано при дефазирани от $R \approx 0,5\pi$.

Дефазирани зависимост е открита и за виброударен харвестер без конзола, при което активната маса представлява само сферичната маса [14, 2]. При стационарен режим на виброударен харвестър максималната извлечена енергия се получава при дефазирани от 0,5, което съвпада с измерената стойност $R \approx 0,5\pi$ от [2].

Установи се, че ниски товари влошават изходните параметри на харвестера тъй като увеличават енергийните загуби (фиг. 14). За практически цели се препоръчва използването на товари от десетки kΩ до MΩ.

Следните недостатъци са наблюдавани при използването на удари за енергиен преобразувател:

- Силите които възникват по време на удар върху ударните мембрани са значително по високи спрямо силите на опън и натиск за прикрепените към конзолата мембрани. Тази зависимост може да доведе до намаляване периода на експлоатация на харвестера.
- Необходимо е наличието на две различни електронни схеми за обработка и складирането на изходящите напрежения от двата вида източника – ударните мембрани и прикрепените към конзолата мембрани.

Въвеждането на механични ограничители има положителен ефект, изразяващ се в разширяване на честотния обхват на харвестера.

Литература

1. Петков Г., Христов М., Тодоров Т., Теоретично и експериментално изследване на пиезоелектричен харвестер, Българско списание за инженерно проектиране, 2015, (под печат).
2. Петков Г., Тодоров Т., Условия за съществуване на стационарен режим при микро виброударни генератори на енергия, Механика на машините, бр. 99, 2012, стр. 96-99.

3. Kaźmierski, T. J., Beeby, S., Energy Harvesting Systems: Principles, Modeling and Applications, Springer, 2011, pp. 23-77.
4. Shu, Y.C.; Lien, I.C., Efficiency of energy conversion for a piezoelectric power harvesting system, J. Micro-mech. Microeng, 16, 2006, pp. 2429–2438.
5. Kubba A. E., Jiang K., "Efficiency Enhancement of a Cantilever-Based Vibration Energy Harvester", Sensors, Volume 14, 2014, pp. 188-211.
6. Ottman G.K., Hofmann H.F., Bhatt A.C., Lesieutre G.A., Adaptive Piezoelectric Energy Harvesting Circuit for Wireless Remote Power Supply", IEEE Transactions on power electronics, Vol. 17, No. 5, 2002 pp 669- 676.
7. Yang Ge, Yukan Zhang, Qinru Qiu, "Improving energy efficiency for energy harvesting embedded systems", , Design Automation Conference (ASP-DAC), 2013 18th Asia and South Pacific, 2013, pp.497 - 502
8. Yingmei Zheng¹, Xuan Wu¹, Mitesh Parmar¹, Leel Dong-weon, High-efficiency energy harvester using double-clamped piezoelectric beams, Rev. Sci. Instrum., 85, 026101, 2014.
9. Renaud M. R Elfrink, M Jambunathan, C de Nooijer, Z Wang, M Rovers, R Vullers, R van Schaijk J. Optimum power and efficiency of piezoelectric vibration energy harvesters with sinusoidal and random vibrations, Micromech. Microeng., Volume 22, (10). 2012.
10. Beeby S.P., Tudor M.J., White N.M., "Energy harvesting vibration sources for microsystems applications", Meas. Sci. Technol. 2006.
11. Sodano Henry A., Inman Daniel J., "Comparison of Piezoelectric Energy Harvesting Devices for Recharging Batteries" Journal of Intelligent Material Systems and Structures, 16(10), 2005, pp. 799-807.
12. Vullers R.J.M., van Schaijk R., Doms I., Van Hoof C., Mertens R., Micropower energy harvesting Solid-State Electronics 53, 2009, pp. 684–693
13. Ling Bing Kong Tao Li ,Huey Hoon Hng ,Freddy Boey, Tianshu Zhang Sean Li, Waste Energy Harvesting, Springer 2014.
14. Vocca H.,Cottone F. Kinetic Energy Harvesting, ICT - Energy - Concepts Towards Zero - Power Information and Communication Technology, 2014.
15. Petkov G., Todorov T, Nikolov R. Investigation of Piezoelectric Vibro Impact Energy System, International Journal of Emerging Engineering Research and Technology Vol. 2, (7), 2014, PP 199-210.
16. Brach Raymond M., "Mechanical Impact Dynamics: Rigid Body Collisions", , Brach Engineering, LLC, Granger, IN, 2007, p. 26.
17. Blevins R D., Formulas for natural frequency and mode shape, Krieger, New York, 2001.
18. Thomsen, JJ , "Effective properties of mechanical systems under high-frequency excitation at multiple frequencies". Journal of Sound and Vibration, Vol. 311, No. 3-5, 2008, p. 1249-1270.

INVESTIGATION OF ENERGY CHARACTERISTICS OF A PIEZOELECTRIC VIBROIMPACT ENERGY HARVESTER

Georgi PETKOV¹ Marin HRISTOV² Todor TODOROV³

¹department "Theory of Mechanisms and Machines", Technical university of Sofia, Sofia Bulgaria

²department „Microelectronics”, Technical university of Sofia, Sofia Bulgaria

³ department "Theory of Mechanisms and Machines", Technical university of Sofia, Sofia Bulgaria

Email: georgil.petkov@mail.bg, mhristov@ecad.tu-sofia.bg, tst@tu-sofia.bg

Abstract: The influences of the coefficient of restitution and the number of the impacts per second (called impact coefficient) at the output energy of a vibroimpact energy harvester are considered in the paper. The energy harvester consists of a cantilever with a spherical mass attached at the free end. The motion of the sphere is limited by mechanical stops at which the sphere impacts. The mechanical stops are made of two metal membranes with deposited piezoelectric layers on both sides. The vibration of the cantilever also generates electric power by doubly sided deposited piezoelectric layers near the clamping. At the base of dynamic model of the energy harvester and data obtained by experiments an investigations of the output energy are made.

Keywords: vibroimpact energy harvester, MEMS, piezoelectric energy harvester, vibrational energy harvester, kinetic energy harvester.

ЯКОСТНИ И ДИНАМИЧНИ ИЗСЛЕДВАНИЯ НА ЛОСТОВО-ВЕРИЖЕН И ЛОСТОВ МАНИПУЛАЦИОНЕН МЕХАНИЗЪМ НА РОБОТИ-ЕКСТРАКТОРИ НА ОТЛИВКИ

Явор СОФРОНОВ

катедра „Теория на механизмите и машините”, Технически университет - София, България

e-mail: ysofronov@tu-sofia.bg

Резюме: В настоящата работа са изследвани якостно-деформационните и динамичните характеристики на нови конструкции на лостов и лостово-верижен манипулационен механизъм на роботи екстрактори на отливки. Проведените анализи показват липсата на недопустимо високи напрежения и деформации.

Ключови думи: манипулационен механизъм, екстрактор.

1.УВОД

Интензивното развитие на компютърната технология доведе до разширяване на възможностите на инженерните анализи по посока на точност и комплексност на изследваните физични задачи както по отношение на геометричната сложност и брой на елементите, така и по отношение моделирането на мултифизични взаимосвързани проблеми.

Инженерните анализи са основен елемент от създаването на виртуалния прототип и имат следните основни цели:

- Да пресъздадат поведението на разработвания обект в работни условия на възможно най-ранен етап;
- Да намалят времето за разработка на изделия, като спестят изготвянето на физични прототипи;
- Да оценят конкретни физични величини (често пъти тези величини трудно могат да бъдат пряко определени въз основа на физическо моделиране);
- Да позволят развитието на нови, подобрени варианти въз основа на изходната конструкция (оптимизация).

Създаденият и все по-широко използван CAD/CAE инструментариум се основава на т.нар. „виртуално прототипиране”, което се състои в използването на компютърен тримерен модел с ниво на функционален реализъм, близко до това на физическия модел. “Дигиталната структура” на виртуалния модел съставлява едно от важните

му предимства. Това е качество, което в комбинация със съвременната компютърна техника, позволява ревизиране, валидиране и оптимизация на продукта по един много бърз, икономичен и ефективен начин [1, 2].

Методът на крайните елементи е апроксимационен компютърно ориентиран метод, намиращ широко приложение в анализа на непрекъснати среди. Основна презумпция в метода е, че се съди за поведението на една конструкция или детайл въз основа на преместванията на определен краен брой точки, наречени възли, получени при дискретизацията на изследваната конструкция на елементи. Броят на елементите се определя от два фактора: необходимата точност при изследванията и възможностите на използваната компютърна система. Броят на възлите или елементите може да бъде 1000, 10 000 или повече в зависимост от естеството на задачата. Естествено е да се очаква, че колкото по-голям е броят на точките, които се използват при апроксимацията, толкова по-висока ще е точността на моделирането. Преместването, респективно напрегнатото състояние, в която и да е друга точка от конструкцията, се определя с използването на така наречените функции на формата. Тези функции са апроксимационни полиноми, чиито тип зависи от вида на използваните елементи. Силата на метода се крие в това, че се получават точни решения на преместванията, респективно напреженията в разглежданите възли, а апроксимацията е само в рамките на отделния елемент. Оптималното решение на задачата по моделиране на изследва-

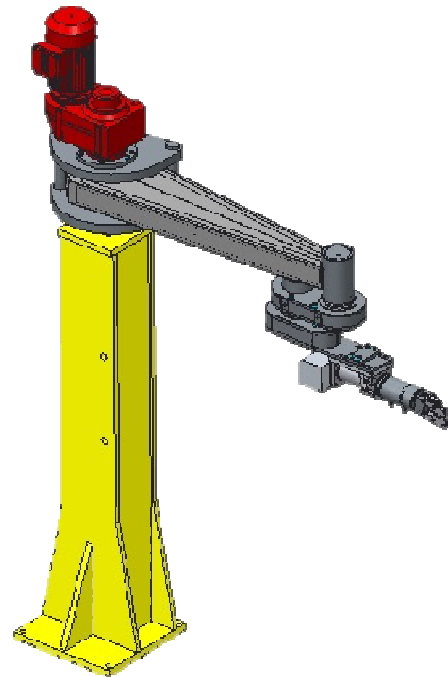
ните обекти изисква дизайнерският процес да се раздели на три етапа:

- **Дефиниране на проблема.** Определянето на проблема е ключов момент в началото на процеса. Въпреки огромните възможности, които представя методът на крайните елементи, трябва да се има предвид, че той е само един инструмент, макар и много мощен, който изисква предварително планиране;
 - **Същинското моделиране.** Този етап-процес определя доколко инженерът познава проблема. Моделът трябва вярно да представя машинната част, подложена на моделиране;
- Анализ на получените решения.** Решението на проблема ще бъде във всички случаи една голяма таблица от числа. Възприемането на такава голяма информация изисква данните да бъдат представени в концентриран вид, най-често като графика, във вид на контурни криви или изолинии. По този начин отчетливо могат да се идентифицират опасните места, концентраторите на напрежения и т.н.

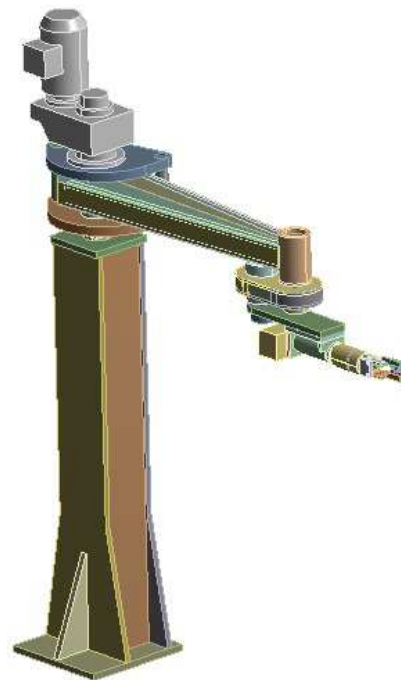
2. МОДЕЛИРАНЕ НА ЕКСТРАКТОР С ЛОСТОВО-ВЕРИЖЕН МЕХАНИЗЪМ.

При изследването на якостно – деформационното поведение на екстрактор с лостово-верижен механизъм е използван методът на крайните елементи (МКЕ).

От разработеният тримерен модел на екстрактора с лостово-верижен механизъм (фиг.2) е създаден модел за числена симулация по метода на крайните елементи (фиг.3). Разликата между двата модела е, че конструктивната геометрия се подлага на опростяване и от нея се премахват малки елементи, като отвори, закръгления, фаски, центровачи стъпала и др., които не биха повлияли на поведението на изследваната структура, но изискват множество елементи за описани на формата им. Направен е контактен анализ, като за постигане на адекватни резултати подвижните връзки са симулирани с контакти, позволяващи малки премествания, а за неподвижните са използвани тип „залепени“ (Bonded).



фиг.1 3D модел на екстрактора с лостово-верижен механизъм



фиг.2 Опростен модел на манипулатора с лостово-верижен механизъм

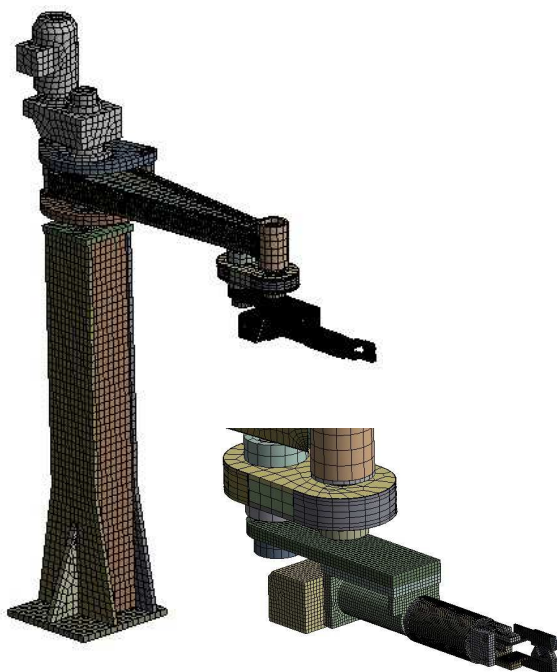
Използвани материали

Използваният материал в изследваната конструкция е конструкционна стомана, имаща следните механични характеристики:

- Модул на Юнг: $E = 210 \text{ GPa}$;
- Коефициент на Поасон: $\mu = 0.3$;
- Плътност: $\rho = 7850 \text{ kg/m}^3$.

Модел от крайни елементи

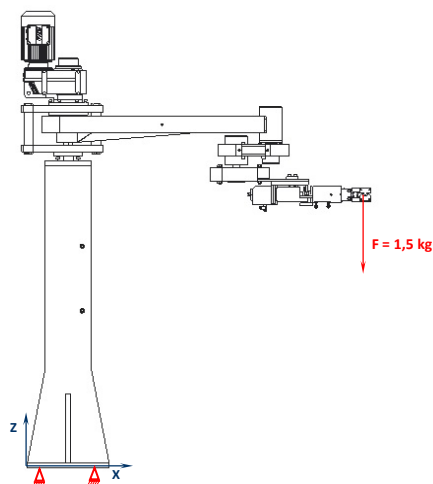
Създаден е модел от крайни елементи, състоящ се от 73653 елемента и 326077 възела. Структурните компоненти са съединени посредством контактни елементи, като всички заварени компоненти са симулирани чрез модел на контакт тип „bonded”, а всички оси от тип “frictionless”.



фиг.3 Генерирана мрежа от крайни елементи на манипулатора с лостово-верижен механизъм

Гранични условия

Граничните условия са показани на фиг.4. Основата е захваната неподвижно по начина, по който се захваща в реалния свят и към хващача е приложено теглото на манипулирания обект – отливката.



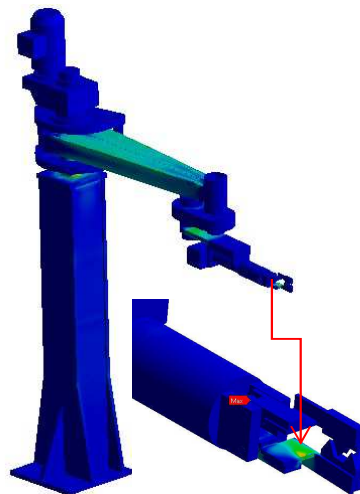
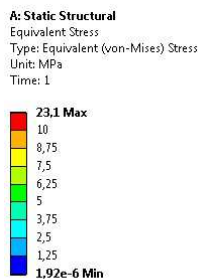
фиг.4 Зададени гранични условия на манипулатора с лостово-верижен механизъм

Резултати от инженерния анализ

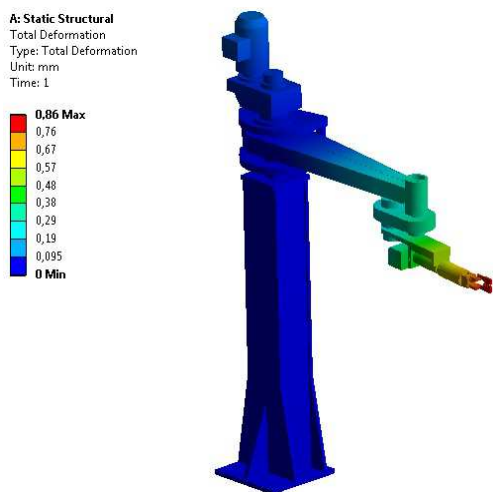
Резултатите от проведените анализи са показани последователно за структурния и модалния анализ.

Якостно-деформационен анализ

На фиг.5 и фиг.6 са показани респективно получените напрежения и деформации при изследването на манипулатора.

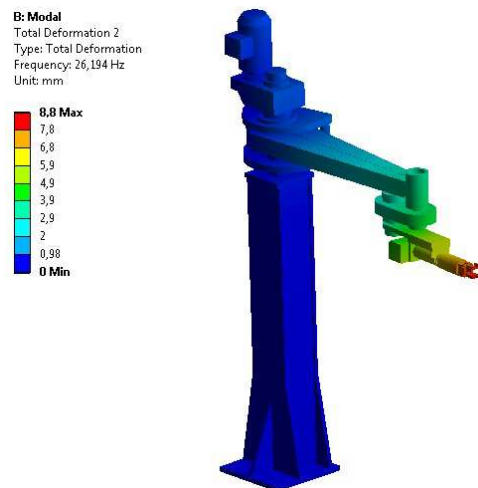


фиг.5 Напрежения в манипулатора с лостово-верижен механизъм



Фиг.6 Деформации в манипулатора с лосто-во-верижен механизъм

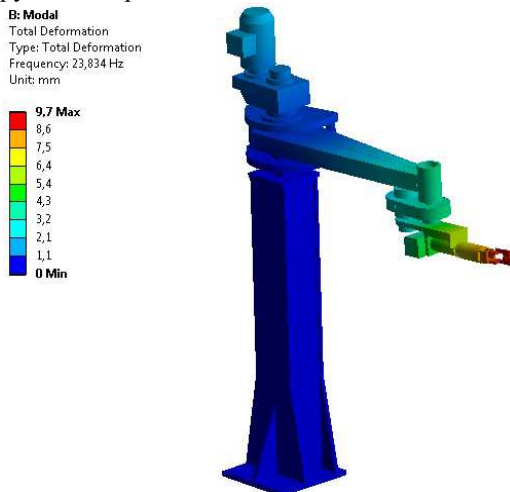
Както се очаква поради малката маса на отливките, получените напрежения и деформации са пренебрежимо малки. Максималните деформации са около 0.1 mm, а регистрираните максимално големи напрежения са под 24 МПа.



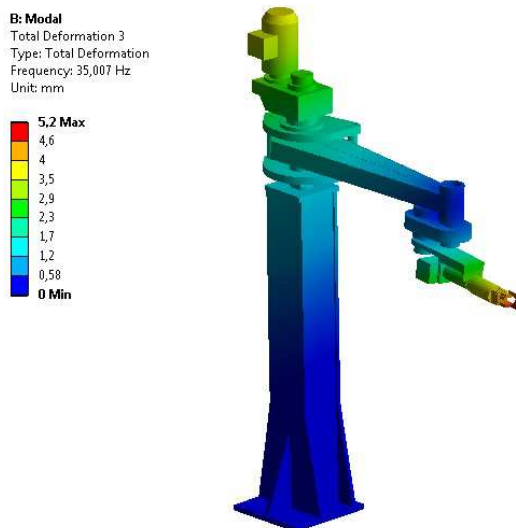
Фиг.8 Модален анализ на екстрактора с лосто-во-верижен механизъм – втора собствена честота

Модален анализ

На фиг.7 ÷ фиг.12 са показани първите шест собствени честоти и собствените форми на конструкцията при тях.

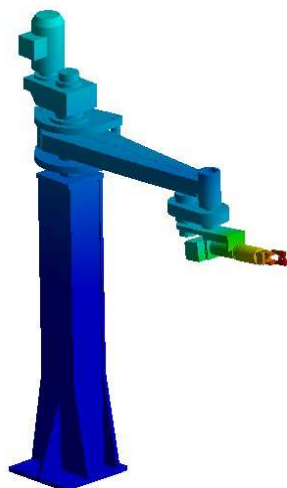
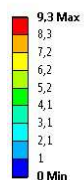


Фиг.7 Модален анализ на екстрактора с лосто-во-верижен механизъм – първа собствена честота



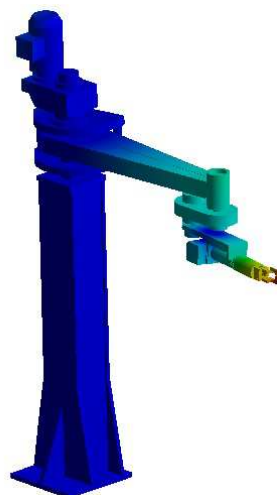
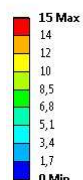
Фиг.9 Модален анализ на екстрактора с лосто-во-верижен механизъм – трета собствена честота

B: Modal
Total Deformation 4
Type: Total Deformation
Frequency: 35,31 Hz
Unit: mm



фиг.10 Модален анализ на екстрактора с лостово-верижен механизъм – четвърта собствена честота

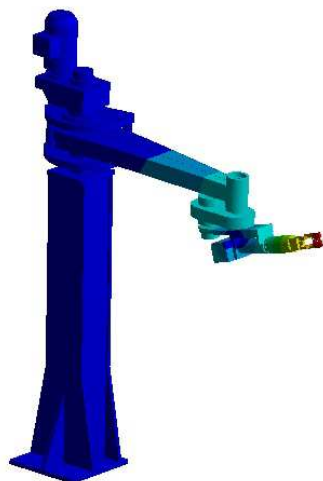
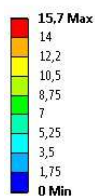
B: Modal
Total Deformation 6
Type: Total Deformation
Frequency: 74,112 Hz
Unit: mm



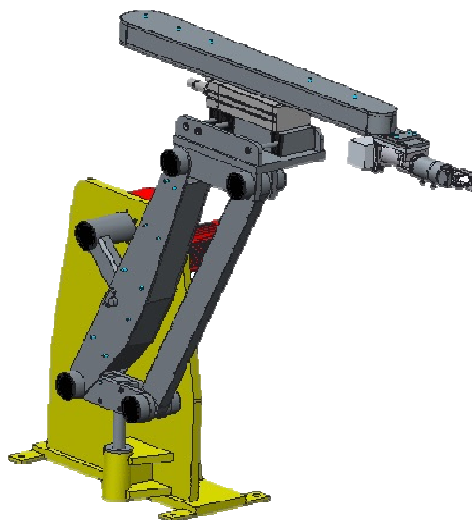
фиг.12 Модален анализ на екстрактора с лостово-верижен механизъм – шеста собствена честота

От проведеня анализ става ясно, че първите три честоти са сравнително ниски и не представляват сериозна опасност за работоспособността на конструкцията, от друга страна със съвременните управления е възможно да се настрои прескачане или бързо преминаване през честотите на опасните трептения.

B: Modal
Total Deformation 5
Type: Total Deformation
Frequency: 64,139 Hz
Unit: mm



фиг.11 Модален анализ на екстрактора с лостово-верижен механизъм – пета собствена честота



фиг.13 3D модел на манипулатора с лостов механизъм

За намаляване на изчислителното време е разработен и числен симулационен модел въз основа на вече изградения опростен геометричен виртуален модел на изделието. Извършените опростявания и корекции не оказват влияние на получените резултати от анализите, но съществено улесняват изчислителния модел. Използваната геометрия е показана на (фиг.14).



фиг.14 Опростен модел на манипулатора с лостов механизъм

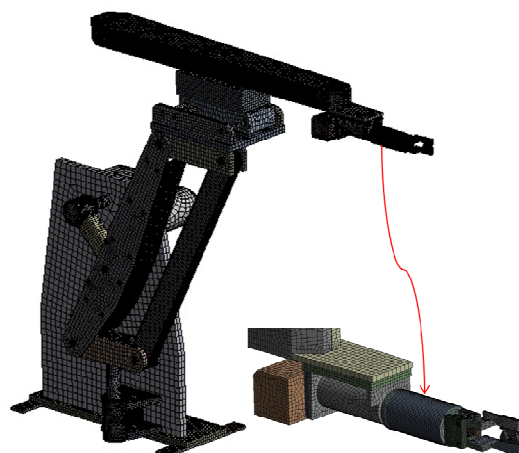
Използвани материали

Използваният материал в изследваната конструкция е конструкционна стомана, имаща следните механични характеристики:

- Модул на Юнг: $E = 210 \text{ GPa}$;
- Коефициент на Поасон: $\mu = 0.3$;
- Плътност: $\rho = 7850 \text{ kg/m}^3$.

Модел от крайни елементи

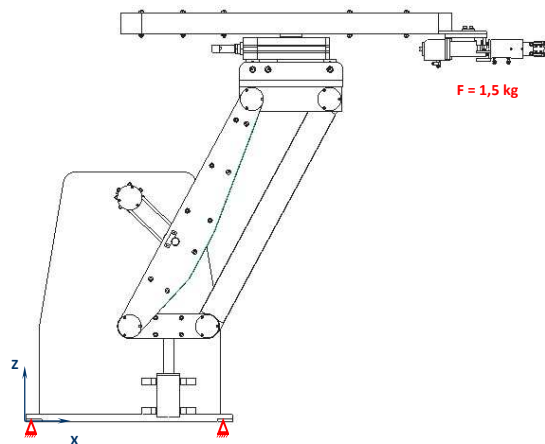
Генериран е модел от крайни елементи състоящ се от 187271 елемента и 833633 възела. Структурните компоненти са съединени посредством контактни елементи, като всички заварени компоненти са симулирани чрез модел на контакт тип „bonded”, а всички оси от тип “frictionless”.



фиг.15 Генерирана мрежа от крайни елементи на манипулатора с лостов механизъм

Гранични условия

Граничните условия са показани на фиг.16. Отнетите са всички степени на свобода в основата на конструкцията и е приложено теглото, което представлява работното натоварване.



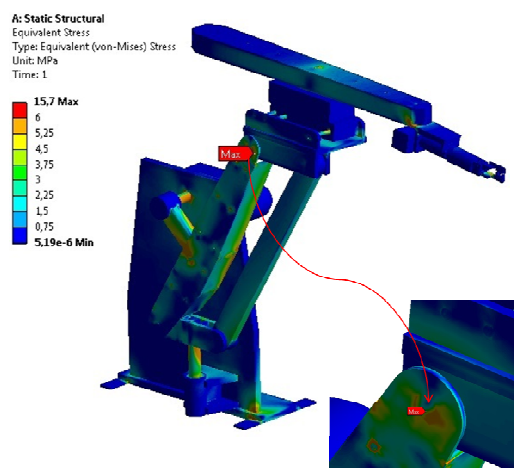
фиг.16 Зададени гранични условия на манипулатора с лостов механизъм

Резултати от инженерния анализ

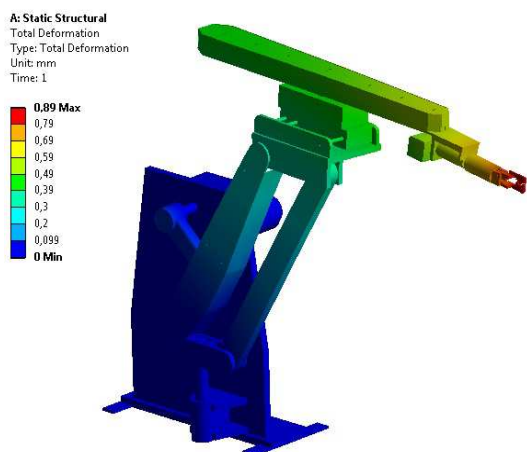
Резултатите от проведените анализи са показани последователно за структурния (якостно – деформационен) и модалния анализ.

Якостно-деформационен анализ

На фиг.17 и фиг.18 са показани респективно получените напрежения и деформации при изследването на манипулатора.



фиг.17 Напрежения в манипулатора с лостов механизъм

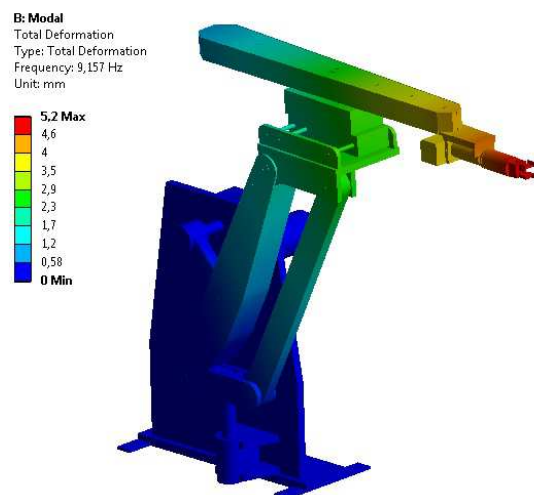


фиг.18 Деформации в манипулатора с лостов механизъм

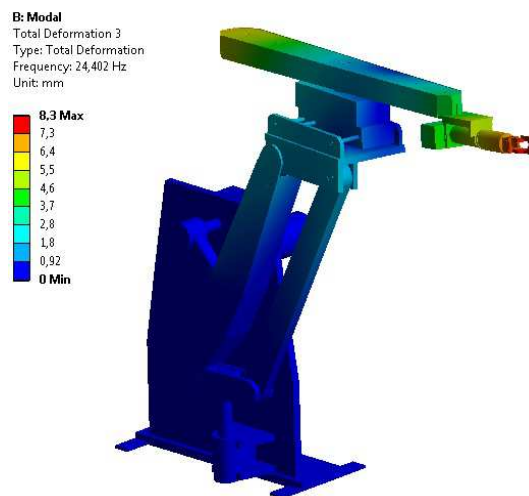
Както се очакваше, поради малката маса на отливките, получените напрежения и деформации са пренебрежимо малки. Максималните регистрираните деформации са около 0.1 mm , а получените максимално големи напрежения под 16 MPa .

Модален анализ

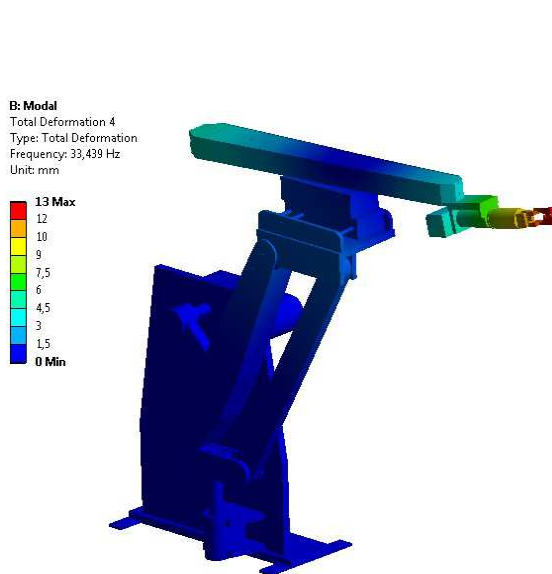
На фиг.19 ÷ фиг.20 са показани първите шест собствени честоти и деформациите на конструкцията при тях.



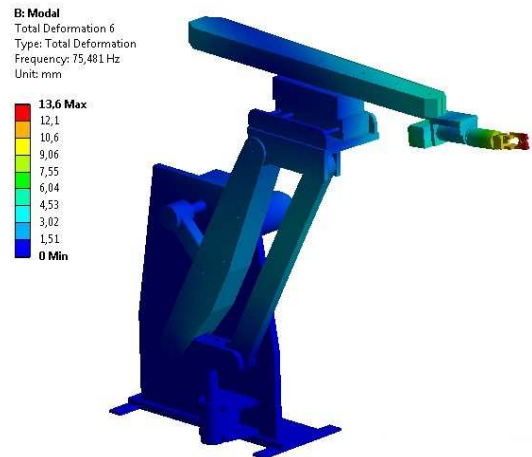
фиг.19 Модален анализ на екстрактора с лостов механизъм - първа собствена честота



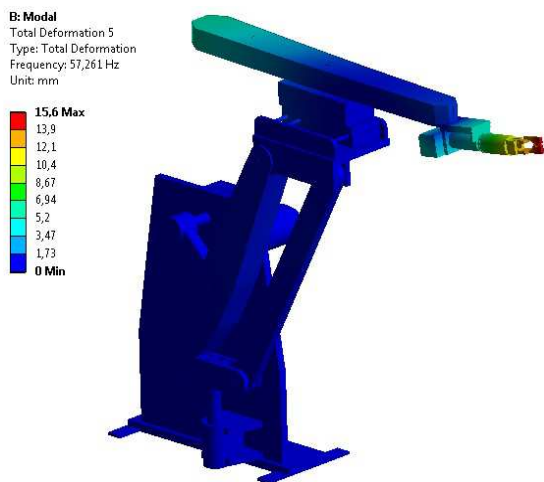
фиг.20 Модален анализ на екстрактора с лостов механизъм - трета собствена честота



фиг.21 Модален анализ на екстрактора с лостов механизъм - четвърта собствена честота



фиг.23 Модален анализ на екстрактора с лостов механизъм – шеста собствена честота



фиг.22 Модален анализ на екстрактора с лостов механизъм - пета собствена честота

Проведеният анализ показва, че собствените честоти не биха повлияли сериозно върху работоспособността на конструкцията, освен това съществува и възможността, чрез управлението да се осигури бързо преминаване през резонансните трептения.

4.ИЗВОДИ

Проектирани са оригинални и прогресивни конструкции на прототипи на екстрактори с лостово-верижен и лостов манипулационен механизъм в среда на CAD продукта ProEngineer. Симулирано е поведението на представената конструкция по метода на крайните елементи с помощта на програмния продукт Ansys Workbench. Проведените анализи показват липсата на напрежения над допустимите за материала, както и недопустимо високи деформации, което доказва работоспособността на конструкциите. Също така е забележим запаса от якост, характерен за този вид механизми, към които се предявени най-високите изисквания за надеждност и работоспособност. При тях всеки не планиран ремонт означава спиране на производствената линия от изключително скъпи и продуктивни машини, каквито са леярските, и след това дълъг процес по възстановяването ѝ.

Литература

1. Арнаудов К., Димитров И., Йорданов П., Лефтеров Л. Машинни елементи. София, Техника, 1980.
2. Law, A.M., Simulation Modeling and Analysis, 4th edition, McGraw-Hill, New York, 2007

2. Gay, D.; Gambelin, J., Modeling and Dimensioning of Structures, Wiley, Great Britain, 2008

STRENGTH AND DYNAMIC INVESTIGATION OF LINK-CHAIN LINKAGE MANIPULATION MECHANISMS OF ROBOT-DIE CAST EXTRACTOR

Yavor SOFRONOV

Theory of mechanisms and machines department, Technical University-Sofia, Bulgaria
e-mail: ysofronov@tu-sofia.bg

Abstract: In this work are examined strength, deformation and dynamic characteristics of new designs of linkage-chain and linkage manipulation mechanisms of robots die-cast extractors. The analyzes show the absence of unacceptably high stresses and deformations.

Keywords: manipulation mechanisms, die cast - extractor

AUTODESK FACTORY DESIGN SUITE- ВЪЗМОЖНОСТИ

Марията ЯНЧЕВА

катедра „Основи и технически средства на конструирането“, Технически Университет - София, България
e-mail: myancheva@tu-sofia.bg

Резюме: Работата цели да систематизира информацията относно възможностите на продукта Auto CAD Factory Design Suite 2016. Autodesk Factory Design Suite е съвкупност от програми, с цел създаване на тримерни модели на промишлени предприятия. Мощно средство за визуализиране, симулация и презентирание на крайният продукт. Изключително полезен при обучението на студенти, даващ възможност за по-лесно възприемане и разбиране както на отделните етапи от проектирането така и на крайният резултат.

Ключови думи: Autodesk Factory Design Suite

1.УВОД

Публикацията цели систематизиране на изключителното разнообразие от възможности при продукта Autodesk Factory Design Suite, който освен в помощ при проектиране на предприятия е и в помощ при обучението на студенти. Мощната визуализация при процеса на проектиране го прави изключително атрактивен при студенти в основен курс на обучение. Разбирането на идеята за крайният продукт, било това предприятие, складова база или фабрика е важен фактор при осъзнаване на стъпките които трябва да премине всеки студент за постигане на цялостен подобен проект. Голямата библиотека от символи на промишлени предприятия и интуитивната им употреба спомага за по-ясното възприемане на как би изглеждало дадено промишлено предприятие. Ето защо автора счита, че по-голямата информираност относно този продукт, би довело до по-честото му използване и подобряване процеса на обучение. Продуктът има безплатна учебна версия, която удовлетворява нуждите на студенти и академични организации. В случаят, ще се представят последните пакетни версии на програмата, за яснота относно възможностите на продукта.

Autodesk Factory Design Suite е част от семейството на Autodesk от 2010 година, от Suites раздела където до момента са обособени няколко основни комплекта от програми предназначени за различни отрасли: AutoCAD Design Suite, Building Design Suite, Entertainment Creation Suite, Factory Design Suite, Infrastructure Design Suite, Plant Design Suite, Product Design Suite.

Autodesk Factory Design Suite е съвкупност от 2D и 3D план на промишлено предприятие, което е в помощ при създаване на по-ефективно изделие, като се разработва цифров модел на предприятието. Решението включва AutoCAD и Autodesk Inventor с приложения, които подобряват точността и ефективността на дизайн, както и комуникацията. Създава модел на промишлено предприятие, което спомага разработването на различни варианти, така че да се определи най-правилното решение, преди дадено оборудване да бъде инсталирано [2].

Използват се специфични инструменти за визуализация оформени в 3D. Предоставя много лесно опериране с многослойни 2D чертежи. Чрез Factory Design Suite се създава дизайн на разположението много по-бързо, отколкото при стандартно разполагане. Дава възможност за анализиране на съществуващите 2D планове за по-ефективен поток на материалите. Осъществява извършване на инженерни прегледи и дава възможност запознаване с плана на предприятието чрез интерактивни виртуални разходки. Factory Design Suite работи с DWG файлов формат, което дава възможност за използване данни от AutoCAD [2].

2. ВЪЗМОЖНОСТИ И СЪДЪРЖАНИЕ НА ПРОДУКТА

Програмата обединява работата на всички продукти, които са включени. Като по този начин добавя различни инструменти към всеки продукт. Според [1] и [2] AutoCAD Design Suite дава

възможност за използване на три варианта, в зависимост от предложените в него програми.

2.1. Autodesk Factory Design Suite Standard 2016 включва: AutoCAD, AutoCAD Architecture, AutoCAD Mechanical, Autodesk Vault, Autodesk Showcase, Autodesk Factory, Autodesk Factory Design Suite Utilities, AutoCAD Raster Design, Autodesk ReCap.

Като дава възможност за:

- Проектиране на промишлени предприятия на платформа AutoCAD;
- За оформяне, дизайн и детайлиране, когато е необходимо ефективно проектиране, документиране и обмяна на чертежи на предприятие във файлов формат;
- Добавяне специфични функции на предприятия в AutoCAD;
- Създаване план на предприятието много по-бързо в сравнение с традиционните 2D-базирани продукти;
- Анализ на транспортните системи за по-добра ефективност;
- Голяма библиотека от символи за промишлени предприятия.

2.2. Autodesk Factory Design Suite Premium 2016 включва: Autodesk Inventor, Autodesk Navisworks Simulate, Autodesk 3ds Max, AutoCAD, AutoCAD Architecture, AutoCAD Mechanical, Autodesk Vault, Autodesk Showcase, Autodesk Factory Design Suite Utilities, AutoCAD Raster Design, Autodesk ReCap.

Като дава възможност за:

- 3D моделиране и визуализация на промишлени предприятия;
- проектиране на цифрови модели на предприятия подобряващи комуникацията и вземането на по-добри решения. Създаване на цифров модел на оборудването, преди да е инсталирано и пуснато в експлоатация;
- Преобразуване на 2D чертежите автоматично в 3D модели;
- Оптимизиране съществуващите AutoCAD и Inventor продукти с функции на промишлени предприятия;
- Цифровият модел дава възможност за създаване на различни варианти;

- Разглеждане на план на предприятието с интерактивна 3D виртуална разходка.

2.3. Autodesk Factory Design Ultimate 2016 включва: Autodesk Inventor Professional, Autodesk Navisworks Manage, Autodesk 3ds Max, AutoCAD, AutoCAD Architecture, AutoCAD Mechanical, AutoCAD MEP, Autodesk Vault, Autodesk Showcase, Autodesk Factory Design Suite Utilities, AutoCAD Raster Design, Autodesk ReCap.

Като дава възможност за:

- Проектиране на промишлени предприятия, съвършенствани инструменти, които могат да проектират, визуализират и симулират предприятия и производствено оборудване. Използване на дигитални модели за по-добро проектиране на фабрики за по-кратко време.
- Откриване на пространствени ограничения и колізии още при проектирането;
- Намаляване на грешките и спестяване на време с автоматизирано поставяне на тръбопроводи и електрически кабели;
- По-добра връзка с доставчици и производители.

В таблица 1 са представени програмите включени в конкретните пакети, с която се цели по-лесно ориентиране във възможностите на програмата в различните и варианти.

Таблица 1. Сравнителна таблица на използваните продукти в пакетите на Autodesk Factory Design Suite.

Продукти	Autodesk Factory Design Suite Standard 2016	Autodesk Factory Design Suite Premium 2016	Autodesk Factory Design Suite Ultimate 2016
AutoCAD	+	+	+
AutoCAD Architecture	+	+	+
AutoCAD Mechanical	+	+	+
Autodesk Showcase	+	+	+
Autodesk Vault	+	+	+
Autodesk Factory Design Utilities	+	+	+

AutoCAD Raster Design	+	+	+
Autodesk ReCap	-	+	+
Autodesk Inventor	-	+	+
Autodesk Navisworks Simulate	-	+	+
Autodesk 3ds Max	-	-	+
Autodesk Inventor Professional	-	-	+
Autodesk Navisworks Manage	-	-	+
AutoCAD MEP	-	-	+

3. ПРОДУКТИ ВКЛЮЧЕНИ В КОМПЛЕКТИТЕ И ТЯХНОТО ПРЕДНАЗНАЧЕНИЕ.

В много случаи дори многократно да сме използвали даден продукт едва ли можем да назовем всичките му компоненти и възможности. Дадени са основните продукти с кратко тяхно описание на техните възможности, като е използван източник [2] при тяхната формулировка.

AutoCAD - подпомага ускоряването на процеса на създаване на работни чертежи и строителни документи, които са в DWG формат

AutoCAD Architecture – предназначен за архитекти, като съчетава архитектурни чертожни инструменти базирани в AutoCAD работна среда.

Autodesk Inventor – с негова помощ се създават точни цифрови модели на промишлени предприятия и оборудването в тях, в параметрична работна среда, така че е възможно да се разположи по-точно оборудването преди да е монтирано.

Autodesk Inventor Professional– проектиране, визуализиране и симулиране на оборудването за предприятието в реални условия с усъвършенстван софтуер за 3D механичен дизайн, симулация на модели, проектиране на тръбопроводи, създаване на шприц и пресформи.

AutoCAD Mechanical -създава и преразглежда машинните чертежи бързо, като се използват всички функции на AutoCAD, както и пълен

набор от функции, предназначени да се повиши производителността на машинното проектиране.

Autodesk 3ds Max- създава фотореалистични графики и филмови 3D анимация с натискането на един бутон. Демонстрира работата на създадения проект в реалния свят.

Autodesk Showcase преобразува CAD данни в завладяващи изображения, филми и интерактивни презентации за подобряване на презентацията на проекта. Реалистична среда, осветление, материали и перспективен изглед на идеите преди те да се реализират.

Autodesk Navisworks преглед на проекти за интегриране на 3D модели и данни от различни формати, намалява строителните рискове, спомага за потвърждаване точността на дизайна, откриването на пространствените ограничения и колизии на оборудването още в процеса на проектиране

Autodesk Vault позволява управление на процеса на проектиране, оптимизиране на документите, и получаване на по-голям контрол над данните по проекта.

Autodesk Factory Design Suite Utilities – добавя специфичните функционалности на AutoCAD, Autodesk Inventor и Autodesk Navisworks за промишлени предприятия. Съчетава тези функционалности с мощен софтуер за визуализация - Autodesk 3ds Max Design и Autodesk Showcase, за да помогне за подобряване на иновациите, сътрудничеството и гъвкавостта и да отговори на променящите се изисквания на пазара.

Autodesk Factory Design Suite Utilities добавя следните функционалности към AutoCAD:

- Анализ и оптимизиране на материалните потоци в 2D изглед;
- Богата библиотека от Облачни и локални компоненти за предприятията;
- Синхронизира връзката между ACAD и Inventor;
- верижно поставяне на компоненти;

Autodesk Factory Design Suite Utilities добавя следните функции в Autodesk Inventor за създаване на предприятия:

- Автоматично превръщане 2D чертежи в 3D модели;
- синхронизиране връзката между Inventor и AutoCAD;

- Възможност за създаване на точни параметрични модели на фабрика използвайки подложка;
- Голяма библиотека от 3D параметрични компоненти за предприятия – локално и на Облак;
- Лесно изтегляне и поставяне на промишлени компоненти от библиотеката;
- Създава 3D параметрични модели, към които добавя интелигентни присъединителни точки на свързване и определя повърхността за поставяне на даден компонент;
- Създаване на под-обекти;

Navisworks /Autodesk Navisworks Manage и Autodesk Navisworks Simulat/ добавя следните функционалности за преглеждане и проверка в Autodesk Factory Design Suite:

- Въмъкване на различни CAD формати;
- Интерактивна 3D разходка;
- Въмъкване на 3D сканирани обекти;
- Проверка на конфликти и пресичания;
- Проверка за пресичане с 3D сканирани данни и данни от различни CAD формати;
- 4D симулиране построяване на фабрика и времеви графици.

AutoCAD MEP - проектиране на сградни инсталации. С AutoCAD MEP по-бързо и лесно се проектират ОВК, ВиК и Електроинсталации на сгради. AutoCAD MEP е базиран на AutoCAD, като всички негови команди са достъпни.

AutoCAD Raster Design- Интегрира карти, аерофото и сателитни снимки, по този начин от-

пада излишното пречертване. Анализира растерната информация по различни начини, за вземане на по-добри решения. С поддръжка на разнообразни формати AutoCAD Raster Design спомага извличане максимално от растерните данни без необходимост от допълнителни приложения.

4. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Така представената и синтезирана информация основана върху данни от [1] и [2] дава по-голяма яснота за възможностите на Autodesk Factory Design Suite. Относно продуктите, включени в конкретните пакети, които от своя страна представят различните инструменти добавени към всеки продукт. Autodesk Factory Design Suite е подходящ както при студенти основен курс на обучение позволявайки им запознаването с етапите на проектиране, така и при студенти горен курс на обучение при осъществяване на техните проекти.

Литература

- 1.<http://www.autodesk.com>Посетен на 30.06.2015г.
- 2.<http://www.cadpoints.com> Посетен на 30.06.2015г.

AUTODESK FACTORY DESIGN SUIT- OPTIONS

Marieta YANCHEVA

Fundamentals and Technical Means for Design department, Technical University-Sofia, Bulgaria
e-mail: myancheva@tu-sofia.bg

Abstract: The work aims to systematize information on the capabilities of the product Autodesk Factory Design Suit 2016. Autodesk Factory Design Suit is a set of programs with the objective of creating three-dimensional models of industrial enterprises. A powerful tool for visualization, simulation and presentation of the final product. Extremely useful in the training of students, allowing for easy perception and understanding at the various stages of the design and the final result.

Keywords: Autodesk Factory Design Suite

ТЕОРЕТИЧНО И ЕКСПЕРИМЕНТАЛНО ИЗСЛЕДВАНЕ НА ПИЕЗОЕЛЕКТРИЧЕН ВИБРОУДАРЕН ЕНЕРГИЕН ХАРВЕСТЕР

Георги ПЕТКОВ¹, Марин ХРИСТОВ², Тодоров ТОДОРОВ³

¹кафедра „Теория на механизмите и машините”, Технически университет, София, България

²кафедра „Микроелектроника”, Технически университет, София, България

³кафедра „Теория на механизмите и машините”, Технически университет, София, България

georgil.petkov@mail.bg, mhristov@ecad.tu-sofia.bg, tst@tu-sofia.bg

Резюме: В статията е разгледан пиезоелектричен виброударен енергиен преобразувател наречен харвестер, съставен от конзола към свободния край, на която е прикрепена сферична маса. Амплитудата на трептене на масата е ограничена от еластични мембрани, закрепени в корпуса. Върху конзолата и мембраните са нанесени двустранно пиезоелектрични слоеве, които при деформация генерират електрически заряди. Корпусът е подложен на хармонични вибрации, предизвикващи променливо огъване на конзолата и генериране на електричество. Когато амплитудата на свободния край нарасне достатъчно, следва удар на сферата в еластичната мембрана, която започва да генерира електричество с честота по-висока от тази на конзолата. При удара поради нелинейния характер на трептенията се увеличава и честотния диапазон. Цялата система образува виброударен харвестер с шест пиезоелектрични преобразуватели на енергия – два от пиезоелектричните слоеве на конзолата и четири от мембраните. Чрез експерименти са определени основните параметри на системата. Създаден е динамичен модел на харвестера и са проведени експериментални изследвания, чрез които са потвърдени теоретичните резултати и са посочени възможности за подобряване на енергийните характеристики на харвестера.

Ключови думи: Виброударен харвестер, МЕМС, пиезоелектричен харвестер, вибрационен харвестер, кинетичен харвестер, енергиен преобразувател

1. ВЪВЕДЕНИЕ

Виброударните енергийни харвестери са макро или микро електромеханични устройства (МЕМС), които преобразуват енергията на трептения и удари в електрическа енергия. Източникът на трептенията и ударите са паразитни, неоползотворени механични силови или кинематични смущения на обкръжаващата среда, които може да имат периодичен или произволен стохастичен характер.

Доказано е, че извлечената енергия от външните вибрации за пиезоелектричен енергиен преобразувател с токоизправителна електрическа верига е пропорционална за устройства с висока електромеханична свързаност и обратнопропорционална на загубите от демпфериране [4]. До по-малка степен е възможно увеличение на извлечената мощност на харвестера чрез промяна на формата на конзолата [5], чрез добавяне на специализирани електронни схеми за формата на електрическия сигнал [6], или чрез по-ефективна система за съхранение на енергията [7]. Висок коефициент на полезно действие (КПД) за харвестер е постигнато чрез прикрепване на пиезо-

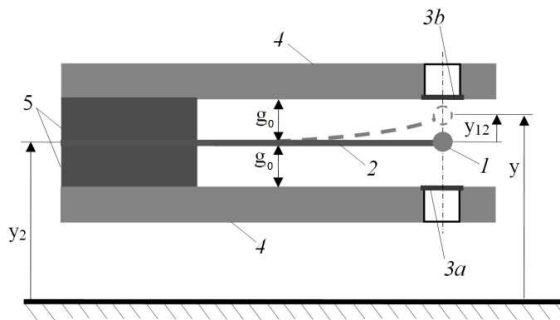
електрични слоеве от двете страни на конзола, подложена на напрежение по една ос [8]. Доказано е, че оптималният КПД за енергиен харвестер не винаги се постига при оптимални системни параметри [9]. В [7] е изследвана ефективността на различни кинетични енергийни харвестери чрез промяна на физически параметри и формата на конзолата.

Цел на настоящата статия е чрез динамично моделиране и експерименти да се изследва поведението на харвестера и да се анализират възможностите за подобряване на енергийните му характеристики.

2. ОПИСАНИЕ НА ХАРВЕТЕРА

Опростена схема на пиезоелектричния харвестер с разположението на координатна система е показана на фиг. 1.

Виброударният харвестер е със симетрична структура. Корпусът се състои от две твърди хоризонтални стени 4, между които е разположена конзолата 2.



фиг. 1. Схема на ударния харвестер:

1. Инерционна сферична маса; 2. Двуслойна пиезоелектрична конзола; 3а,б. Долна и горна двуслойни пиезоелектрични мембрани;
4. Твърди стени; 5. Сменяеми подложки.

В свободния край на конзолата е оформена бронзова сфера 1. Срещу тази сфера в твърдите стени на корпуса са закрепени мембрани 3а и 3б, представляващи еластични кръгли бронзови пластини с двустранно нанесени тънки пиезоелектрични слоеве от PZT. В ненатоварено състояние разстоянието между центъра на сферата и мембраните е g_0 . Това разстояние може да се променя чрез подложки 5.

Прието е, че корпусът на харвестера е подложен на хармонични вибрации спрямо неподвижната основа. Тези трептения дефинират преносното движение на корпуса y_2 . Масата в свободния край на конзолата извършва трептения, които са следствие на преобразуването на преносното движение чрез еластичната система и демпфирането. Преместването на масата спрямо корпуса има релативен характер и е обозначено с y_{12} . Сумата от преносното и релативното преместване y , дава абсолютното преместване на масата спрямо неподвижната координатна система, т.е.

$$y = y_2 + y_{12} \quad (1)$$

Когато релативната координата y_{12} по абсолютна стойност надвиши междината между сферата и мембраната, $g_0 - r$ или

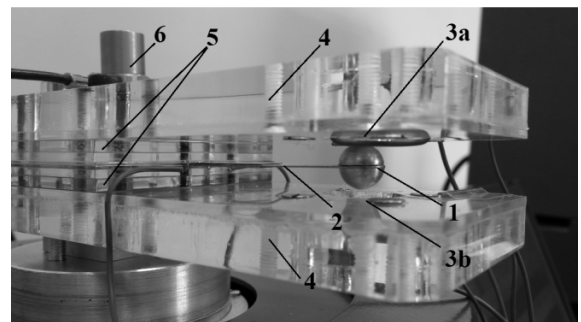
$$|y_{12}| > g_0 - r \quad (2)$$

следва, че масата е ударила една от пиезоелектричните мембрани и тя генерира електричен заряд. Тук е r радиусът на сферата. Близо до мястото на закрепване на конзолата от горната и долната ѝ страна са нанесени два пиезоелект-

рични слоя, които при трептене генерират електрически заряди. Количеството на генерираното електричество от пиезоелектричните слоеве на конзолата е в пряка зависимост от вида на трептенията ѝ. Освен това двата слоя на конзолата генерират непрекъснато, противофазно електричество, докато мембраните преобразуват ударната енергия на сферата в електрическа с прекъсвания, зависещи от честотата и силата на съприкосновенията.

На фиг. 2 е показана снимка на енергийния харвестер, на която се виждат описаните от фиг. 1 основни елементи и някои допълнителни конструктивни особености.

Преобразователят е монтиран към вибрационна система, състояща се от генератор на импулси усилвател и вибрационна маса, която има възможност да генерира вибрации с различни честоти и форма. Към горната стена на харвестера е монтиран пиезоелектричен акселерометър, който дава обратна връзка за формата и параметрите на генерираните трептения. Сигналят от този акселерометър е сравнен по форма със втората производна на сигнала на функционалния генератор. Това дава възможност за избор на амплитудата на генерираното напрежение от функционалния генератор и степента на усиляването му от усилвателя, така че механичните трептения на вибриращата маса да бъдат максимално близки до теоретичните.



фиг. 2. Снимка на виброударния харвестер:

1. Сферична маса; 2. Двуслойна пиезоелектрична конзола; 3а,б. Долна и горна двуслойни пиезоелектрични мембрани; 4. Твърди стени; 5. Комплект подложки с различни дебелини;
6. Акселерометър.

3. МОДЕЛИРАНЕ НА ХАРВЕТЕРА

За изследване харвестера е съставен опростен динамичен модел с концентрирани параметри (фиг. 3).

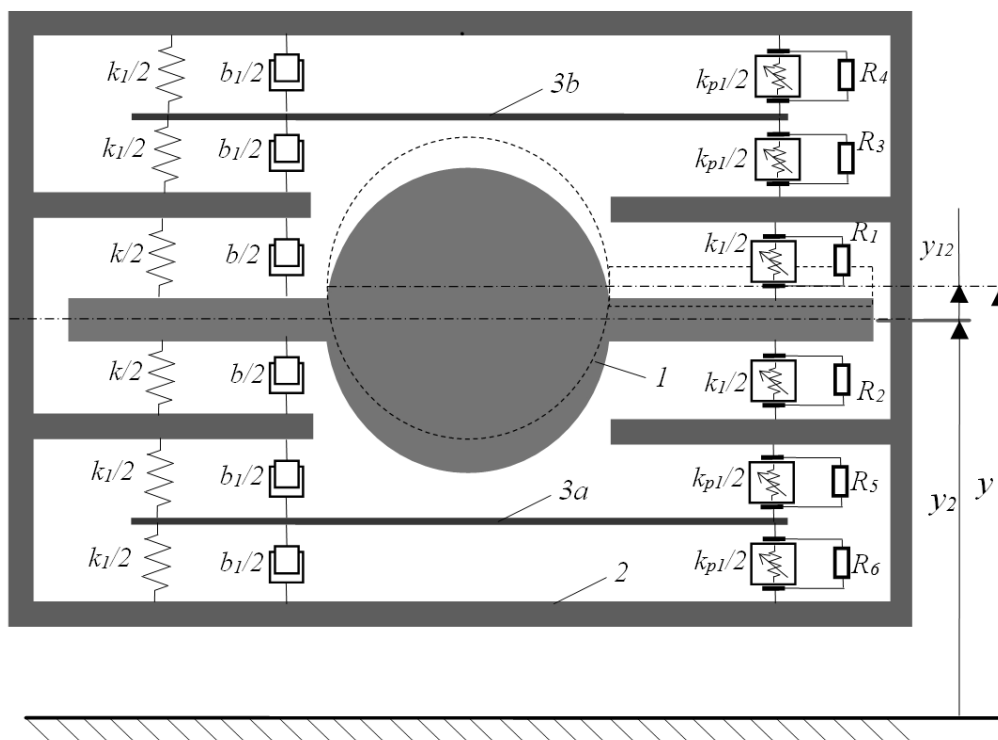
При съставяне на уравнения за движение преди удара е прието, че сферата се е отместила

на разстояние y_{12} в следствие на външното движение на корпуса, което се извършва по закона

$$y_2 = A \sin(\omega t) \quad (3)$$

където A е амплитудата, ω е кръговата честота и t е времето.

Кинетичната енергия на сферата в този случай е



фиг. 3. Динамичен модел на виброударния харвестер

$$E_k = \frac{1}{2} m \left(\frac{dy}{dt} \right)^2 \quad (4)$$

или като се вземе предвид изразът (1) следва

$$E_k = \frac{1}{2} m (v_2^2 + 2v_2 v_{12} + v_{12}^2) \quad (5)$$

където m е масата на сферата

$$v_2 = \frac{dy_2}{dt} = A \omega \cos \omega t \quad (6)$$

е преносната скорост, а

$$v_{12} = \frac{dy_{12}}{dt} \quad (7)$$

е относителната скорост на сферата спрямо корпуса. Потенциалната енергия на системата е изведена като е допуснато, че вследствие на обратния пиезоелектричен ефект се променя еластичната константа на гредата и следва втвърдяване на гредата [15]. Освен това е добавена и електростатичната енергия на двата кондензатора. Вследствие на тези допускания е получено

$$E_p = \frac{1}{2} [k + k_p(u_1) + k_p(u_2)] y_{12}^2 + mgy_{12} + \frac{C}{2} u_1^2 + \frac{C}{2} u_2^2 \quad (8)$$

където

$$k = \frac{3EI}{l^3} \quad (9)$$

е приведен еластичен коефициент на конзолата, $k_1(u)$ е коефициент на еластичност на пиезоелектричните слоеве 1 и 2 приведени към свободния край на сферата, g - земното ускорение, E - модул на е Young,

$$I = \frac{bh_r^3}{12} \quad (10)$$

приведен инерционен момент на сечението, b е ширина и h_r - приведена дебелина на конзолата. Функцията $k_p(u)$ е променлив пиезоелектричен коефициент на еластичност, определена експериментално от вида

$$k_p(u) = k_1 u^2 \quad (11)$$

Тъй като напреженията на пиезоелектричните слоеве са противофазни т.е.

$$u_1(t) = -u_2(t) \quad (12)$$

и поради симетрията, формула (8) може да се преобразува в

$$E_p = \frac{1}{2}(k + 2k_1 u_1^2) y_{12}^2 + mgy_{12} + Cu_1^2 \quad (13)$$

Електрическата пиезоелектрична енергия е

$$E_{PE} = \alpha_M^2 E_K = \frac{m\alpha_M^2}{2}(v_2^2 + 2v_2 v_{12} + v_{12}^2), \quad (14)$$

а механичната пиезоелектрична енергия е

$$E_{PM} = \alpha_E^2 (u_1 i + u_2 i) = \frac{\alpha_E^2}{R}(u_1^2 + u_2^2), \quad (15)$$

където α_M , α_E са съответно обобщени коефициенти на механична и електрична пиезоелектрична връзка [10], R е съпротивлението. От противофазността на пиезоелектричните напрежения и съгласно израз (12). формула (15) придобива вида

$$E_{PM} = \alpha_E^2 (u_1 i + u_2 i) = \frac{2\alpha_E^2 u_1^2}{R} \quad (16)$$

Обобщените механични и електрически сили съгласно [14, 15] за конкретния модел са:

$$Q_m = (b_m + b_e) \frac{dy_{12}}{dt} = (b_m + b_e) v_{12}; \quad (17)$$

$$Q_{e1} = Ri_1 = u_1; \quad (18)$$

$$Q_{e2} = Ri_2 = u_2. \quad (19)$$

Пълната енергия или Лагранжианът на системата

$$\tilde{\lambda} = E_K - E_p + E_{PM} + E_{PE}, \quad (20)$$

приема вида

$$\begin{aligned} \tilde{\lambda} = & \frac{1}{2}m(v_2^2 + 2v_2 v_{12} + v_{12}^2) - \frac{1}{2}(k + 2k_p u_1^2) y_{12}^2 - \\ & - mgy_{12} - Cu_1^2 + \frac{2\alpha_E^2 u_1^2}{R} + \\ & + \frac{m\alpha_M^2}{2}(v_2^2 + 2v_2 v_{12} + v_{12}^2), \end{aligned} \quad (21)$$

от която след опростявания е получено

$$\begin{aligned} \tilde{\lambda} = & \left(\frac{1}{2}m + \alpha_M^2\right)(v_2^2 + 2v_2 v_{12} + v_{12}^2) - \\ & - \frac{1}{2}(k + 2k_p u_1^2) y_{12}^2 - mgy_{12} - Cu_1^2 + \frac{2\alpha_E^2 u_1^2}{R}. \end{aligned} \quad (22)$$

Електромеханичната система съдържа механична част с една обобщена механична координата y_{12} и две симетрични електрически вериги с

обобщени електрически координати $\lambda_1 = \int u_1 dt$

или $\dot{\lambda}_1 = \frac{d\lambda_1}{dt} = u_1$) и $\lambda_2 = \int u_2 dt$ равнотилно на

$\dot{\lambda}_2 = \frac{d\lambda_2}{dt} = u_2$ [11]. От симетрията и противо-

фазността, следва $\lambda_1 = -\lambda_2$, което показва, че може да се изследва само едната електрическа координата, а другата да се приеме противоположна на намерената.

За съставяне на динамичния модел са приложени уравненията на Лагранж-Максуел, във формата

$$\begin{aligned} \frac{d}{dt} \left(\frac{\partial \tilde{\lambda}}{\partial \dot{y}_k} \right) - \frac{\partial \tilde{\lambda}}{\partial y_k} &= Q_k \quad k=1, \dots, n \\ \frac{d}{dt} \left(\frac{\partial \tilde{\lambda}}{\partial \dot{\lambda}_m} \right) - \frac{\partial \tilde{\lambda}}{\partial \lambda_m} &= I_m \quad m=1, \dots, p \end{aligned} \quad (23)$$

където $n=1$, $p=1$ са съответно броят на обобщените механични и електрически координати, Q_k, I_k са съответно обобщените механични и електрически сили [11].

След прилагане на операциите от уравненията (23) върху лагранжианът (22) е получена нелинейната свързана система от обикновени диференциални уравнения

$$\begin{cases} (m-2\alpha^2)\left(\frac{d^2y_2}{dt^2} + \frac{d^2y_{12}}{dt^2}\right) + 2\left[k - 2k_p\left(\frac{d\lambda}{dt}\right)^2\right. \\ \left. + mg = -(b_m + b_e)\frac{dy_{12}}{dt} \right. \\ \left. 4\frac{d^2\lambda}{dt^2}\left(k_p y_{12}^2 + \frac{\alpha^2}{R}\right) + \frac{d\lambda}{dt}\left(8k_p y_{12}\frac{dy_{12}}{dt} - 2C - 1\right) \right] \end{cases} \quad (24)$$

където $\frac{d^2y_2}{dt^2} = \ddot{y}_2 = -\omega^2 A \sin(\omega t)$.

Системата (24) може да се разпише по-опростено във вида

$$\begin{cases} (m-2\alpha^2)\ddot{y}_{12} + (b_m + b_e)\dot{y}_{12} + 2\left[k - 2k_p u^2\right]y_{12} \\ + mg = A\omega^2 \sin \omega t \\ 4\dot{u}\left(k_p y_{12}^2 + \frac{\alpha^2}{R}\right) + u\left(8k_p y_{12}\dot{y}_{12} - 2C - 1\right) = 0. \end{cases} \quad (25)$$

Динамичният модел, описан чрез системата (25) е валиден за случаите, в които не настъпва удар, т.е. при

$$|y_{12}| \leq g_0 - r \quad (26)$$

В случай, че е в сила неравенството (2), следва промяна в началните условия на системата (25), които съгласно елементарната теория на удара са

$$y_{12} = \begin{cases} g_0 + r & \text{за } y_{12} > g_0 + r \\ g_0 - r & \text{за } y_{12} < g_0 - r \end{cases} \quad (27)$$

и

$$\dot{y}_{12} = -e_{\text{impact}} \dot{y}_{12} \quad (28)$$

където e_{impact} е коефициент на възстановяване на системата сфера-пиезоелектричен диск, който е определен експериментално. Понеже нелинейната трептяща система (25) не е изохронна и собствената честота зависи от началните условия, промяната на началните условия при удар води до разширяване на честотния диапазон [1], което е полезно свойство на системата. Освен това в зависимост от параметрите на системата и зададените начални условия може да се получат бифуркации в решенията, което ги прави приложими за различни по природа движения [2].

4. ОПРЕДЕЛЯНЕ НА ПАРАМЕТРИТЕ НА МОДЕЛА

Параметрите на конзолната греда са определени чрез класическия експеримент за декремент на затихване на свободно трептяща система в среда с вискозно съпротивление [13].

От изходния сигнал, илюстриран на фиг. 2 може да се определи периода, коефициента на демпфериране и Q-фактора на системата.

Амплитудата на свободните принудени трептения се описва с израза

$$A_t = A_0 e^{-\frac{b}{2m}t}, \quad (29)$$

където A_0 е първоначалната амплитуда а A_t е амплитудата след време t (фиг. 4) [13]. От съотношението на две съседни амплитуди A_0/A_t е пресметнат коефициента на вискозитет по формулата

$$\delta = \ln \frac{A_i}{A_{i+1}} \quad (30)$$

За по-висока точност е намерен средно аритметичният декремент

$$\delta = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \delta_i \quad (31)$$

Демпферният коефициент η е изчислен чрез формулата

$$\eta = \frac{b}{2m}. \quad (32)$$

Собствената честота на системата е изведена чрез периода на трептенията (фиг. 4)

$$\tau' = \sqrt{\omega^2 - \eta^2} \quad (33)$$

от където за малко демпфериране е прието

$$\omega_r = \frac{2\pi}{\tau} \quad (34)$$

След намирането на собствената честота е определен коефициента на еластичност на системата. Тъй като харвестерът е система от конзола и вибрираща маса, то за определяне на коефициента на еластичност е използвано следното приближение

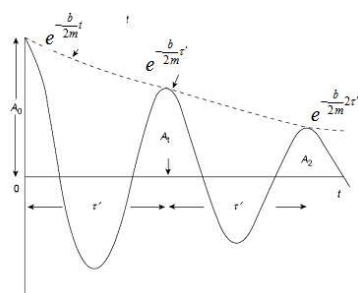
$$k = \omega_r^2 (m + 0.24m_c), \quad (35)$$

където m_c е масата на конзолата [12].

Качественият фактор (Q-факторът) на системата приблизително може да се определи чрез една от формулите

$$Q = \frac{1}{2\zeta_T} = \frac{\omega_r}{2\eta} = \frac{\omega_r}{2b} = \frac{\omega_r m}{b} = \frac{m\sqrt{k}}{b} = \frac{\sqrt{km}}{b}, \quad (36)$$

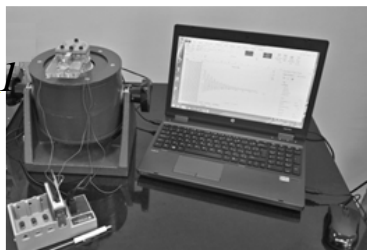
където $\zeta_T = \frac{\eta}{\omega_r}$ се нарича демпфериращ фактор [14,15].



фиг. 4. Теоретичен изходен сигнал на свободни затихващи вибрации [13]

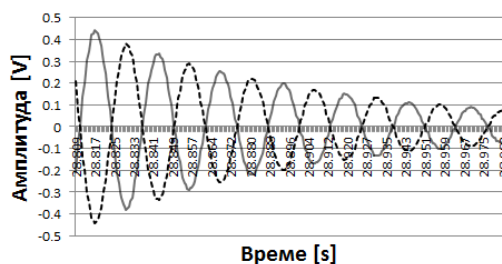
Проведени са серия експерименти при отворена електрическа верига и верига на късо. Гредата е отклонена в свободния край с произволна амплитуда и е отпусната да трепти със собствената си честота. Чрез пиезоелектричните слоеве са записани електрически напрежения, които са пропорционални на амплитудата на свободния край. Фотография на опитната постановка е показана на фиг. 5. Напрежението от пиезоелектричните слоеве е регистрирано чрез система за събиране на данни (DAQ), обработено от програма на LabVIEW и е записано в файл на Excel.

Измерен експериментален сигнал, показан на фиг. 6.



фиг. 5. Експериментална постановка за определяна на параметрите на системата:

1. Конзола; 2. Система за събиране на данни;
3. Лаптоп.



фиг. 6. Измерен изходен сигнал от харвестера при свободни затихващи трептения

Чрез измерване на отношението на амплитудите е получен логаритмичния декремент на системата. Времето между две идентични точки в графиката на сигнала дефинира периода на трептенията в секунди. Чрез тези два параметъра при известни маса на сферата и конзолата са определени останалите параметри на системата, съгласно описаната по-горе методика. Данните от изчисленията са поместени в таблица 1.

табл. 1 Параметри на харвестера

Параметър	Отворена верига	Късо съединени изводи
Маса сфера	4 гр.	4 гр.
Маса конзола	3 гр.	3 гр.
Декремент на затихване δ	$\delta_m = 0.26$	$\delta_e = 0.28$
Коефициент на вискозност b	$b_m = 0.0832$	$b_e = 0.0896$
Демпфериращ коефициент η	$\eta_m = 10.4$	$\eta_e = 11.2$
Собствена честота ω_r	$\omega_r = 251.2 \text{ s}^{-1}$	$\omega_r = 251.2 \text{ s}^{-1}$
Коефициент на еластичност	$k_m = 297839 \text{ N/m}$	$k_e = 297839 \text{ N/m}$
Качествен фактор Q	12.07	11,21

Сумарният демпферен коефициент е намерен чрез

$$\eta_{total} = \eta_m + \eta_e = 10.4 + 11.2 = 21.6 \quad (37)$$

5. СИМУЛАЦИИ НА МОДЕЛА

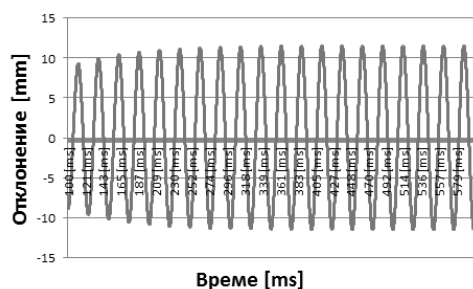
Редът на системата уравнения (25) е понижен чрез полагането

$$\dot{y}_{12} = v_{12} \quad (37)$$

Това води до преобразуване на динамичния модел в система от три уравнения от първи ред както следва

$$\begin{cases} \dot{y}_{12} = v_{12} \\ \dot{v}_{12} = -\frac{1}{m-2\alpha^2} [(b_m + b_e)v_{12} + 2(k-2k_p u^2)y_{12} + mg = A\omega^2 \sin \omega t] \\ \dot{u} = \frac{u(8k_p y_{12} v_{12} - 2C - 1)}{4(k_p y_{12}^2 + \frac{\alpha^2}{R})} \end{cases} \quad (38)$$

Така преобразуваната система е решена числено чрез неявен метод на Ойлер. Едно решение за горния слой на гредата за продължителност от 0.5 ms е показано на фиг. 7.



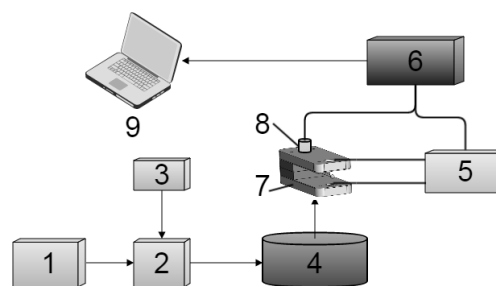
фиг. 7. Числено решение на системата (37) с параметрите от Таблица 1 за време от 0.5 s.

Решенията са получени чрез съставяне на сорс код на Java. Изследвани са теоретични сигнали за различна честота на релативното движение, което може да се зададе чрез вибрационната маса и функционалния генератор. Търсени са такива поведения на харвестера, при които се постига максимални енергии от конзолата и ударните мембрани.

6. ЕКСПЕРИМЕНТАЛНИ РЕЗУЛТАТИ

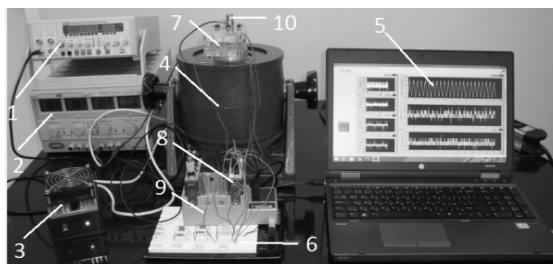
На фиг. 8 е дадена блок схемата на експерименталната установка. Стабилизирани токоизправител 1 е използван за захранване на усилвателя 2, който осигурява необходимата мощност на сигнала на функционален генератор 3, реали-

зиращ изходен сигнал с желаната форма и честотата на вибрациите. Вибрационната маса 4 генерира механични вибрации със същата форма и честота като тези функционалния генератор, усилени до необходимата амплитуда. Виброударният харвестер 7 е монтиран върху вибрационната маса. Изходните напрежения от мембраните са свързани успоредно през външен товар и системата за събиране на данни DAQ. Върху харвестера е закрепен референтен акселерометър, чиито сигнал също се постъпва в DAQ системата. Всички сигнали се обработват чрез програма на LabVIEW и резултатите се визуализират върху дисплея на лаптоп и записват във текстови файлове тип TDMS. Тези файлове осигуряват са най-малък обем на данните и възможности за обработка от други програми като Matlab, Maple, Mathematica и Excel.



фиг. 8. Блок диаграма на експериментална установка: 1. Захранване; 2. Усилвател; 3. Функционален генератор; 4. Вибрираща маса; 5. Товарни резистори; 6. Система за запис на данни DAQ (NI cDAQ-9174); 7- Харвестер, 8. Акселерометър, 9. Лаптоп

На фиг. 9 е показана фотография на описаната експериментална установка. Цифровите означения от фиг. 9 не съвпадат с тези от фиг. 8.



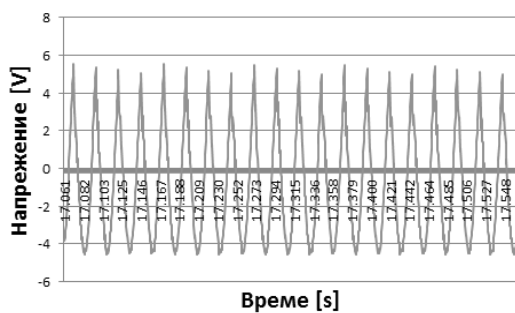
фиг. 9. Експериментална установка:

1. Функционален генератор; 2. Външно захранване; 3. Усилвател; 4. Вибрираща маса; 5. Лаптоп; 6. Платка с резистори; 7. Виброударен харвестер; 8. Аналогов модул NI9239; 9. Система за записване на данни NI cDAQ-9174; 10. Референтен акселерометър.

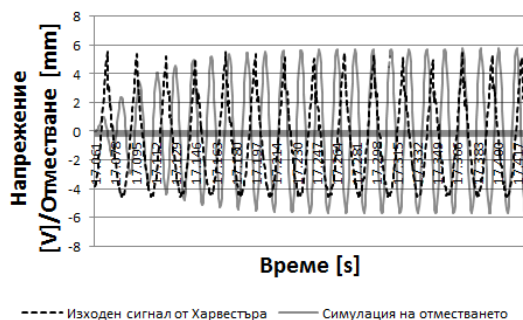
На фиг. 10 е показан измерен сигнал от харвестера за време от 500 ms.

На фиг. 11 са сравнени графиките от фиг. 7 и фиг. 10. В началото има разминаване тъй като симулацията започва от статично положение, т.е при нулеви начални условия.

От фиг. 11 е видно, че след няколко цикъла симулираната графика се изравнява с експерименталната като формите са почти идентични.

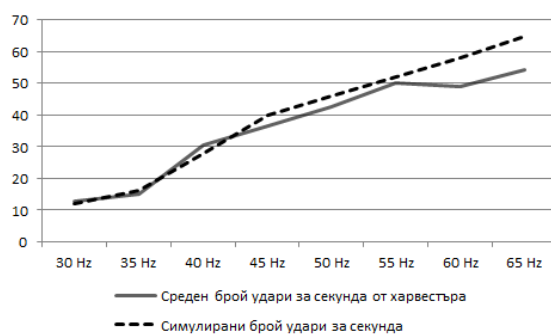


фиг.10 Изходен сигнал от конзолен пиезоелектричен слой за време 500 ms при отворена верига



фиг. 11. Сравнение на теоретичните резултати с измерения сигнал.

На фиг. 12 са сравнени броят удари за секунда, измерени от пиезоелектричните мембрани прикрепени към корпуса на харвестера и симулирани чрез програмата на Java.



фиг. 12. Сравнение на броят удари за секунда от изходния сигнал на харвестера и получените чрез симулацията

Задълбочен анализ на резултатите, който не е изложен тук, показва, че експериментите потвърждават теоретичните резултати по отношение на параметрите на вибрациите средно до 8% и по отношение на броят удари за секунда до 5%. Поради твърдия характер на решаваната система диференциални уравнения, точността на теоретичните резултати е силно зависима от избрания метод на интегриране и стъпката по времето.

7. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Разгледан е ударен харвестер с маса прикрепена към конзола. Създаден е динамичен модел на системата и са изведени основните зависимости за описване на движението под външни синусоидални вибрации.

Динамичният модел за движението на конзолата е решен чрез неявен числен метод на Ойлер.

Получено е задоволително експериментално потвърждение на теоретичните резултати по отношение на основните характеристики амплитуда и честота на трептенията и брой удари за секунда.

Чрез числени методи са извършени симулации за различни честоти и коефициенти на възстановяване. На базата на резултатите от тези симулации е установено, че броят удари за секунда клони към по-ниски стойности на коефициента на възстановяване с увеличаване на честотата на вибрациите. По-ниските стойности на коефициента на възстановяване води до по-голяма отдадена енергия върху пиезоелектричните мембрани и следователно до подобря-

ване на изходните параметри на харвестера. Този ефект не е линеен, след многократно увеличаване на външната честота спрямо собствената честота отдадената енергия върху мембраните намалява значително, което се наблюдава и експериментално. Това е очакван резултат, тъй като честотната характеристика за конзолата се влошава въпреки нелинейностите, въведени от механичните прегради и съпровождащите ги удари.

По отношение на избрания числен метод може да се заключи, че за ударен харвестер, описан чрез този динамичен модел с увеличаване на разликата между собствената честота и външната честота, расте и грешката на неявния метод на Ойлер.

Литература

1. Писарев А. М., Механични трептения, ДИ „Техника“, София, 1985, стр. 51-82.
2. Бутенин Н. В., Неймарк Ю. И., Фуфаев Н. А., Введение в теорию нелинейных колебаний, М.: Наука, 1987 стр. 5-51.
3. Kazmierski T. J., Beeby S., Energy Harvesting Systems, Springer 2011 ISBN 978-1-4419-7565-2. pp. 14-81.
4. Shu, Y.C.; Lien, I.C. Efficiency of energy conversion for a piezoelectric power harvesting system. J. Micromech. Microeng. 2006, 16, pp.2429–2438.
5. Ali E. Kubba, and Kyle Jiang, "Efficiency Enhancement of a Cantilever-Based Vibration Energy Harvester", Sensors 2014, Volume 14, pp. 188-211.
6. Jeffrey K. Ottman M., IEEE, Heath F. Hofmann, Member, IEEE, Archin C. Bhatt, and George A. Lesieutre, "Adaptive Piezoelectric Energy Harvesting Circuit for Wireless Remote Power Supply", IEEE Transactions on power electronics, Vol. 17, (5), 2002, pp. 669.
7. Yang Ge, Yukan Zhang, Qinru Qiu, "Improving energy efficiency for energy harvesting embedded systems", 978-1-4673-3029-9, pp.497 – 502.
8. Zhengl Y., Wu1 X., Mitesh Parmar M., Lee1 D-W, High-efficiency energy harvester using double-clamped piezoelectric beams, Rev. Sci. Instrum, 85, 2014, 026101.
9. Renaud M. et al, "Optimum power and efficiency of piezoelectric vibration energy harvesters with sinusoidal and random vibrations", Journal of Micromechanics and Microengineering, Volume 22, (10), 2012.
10. Renaud M., Karakaya K., Sterken T., Fiorini P., Van Hoof, Puers C., R., Fabrication, modelling and characterization of MEMS piezoelectric vibration harvesters. Sens. Actuators A: Phys. 145, 2008, pp.380–386.
11. Preumont A. Mechatronics Dynamics of Electromechanical and Piezoelectric Systems, Springer, 2006 pp. 21-96,
12. Blevins R D., Formulas for natural frequency and mode shape. Krieger, New York, 2001.
13. Lalanne C., Mechanical Vibration & Shock, Hermes Science Publications, 1999, pp.49-50.
14. de Silva C. W., Vibration Damping, Control and Design, CRC Press, 2007, pp. 1-25.
15. Rao. S., S., Mechanical vibrations, SE, Addison-Wisley Publising company, 2000, pp. 85-86..

THEORETICAL AND EXPERIMENTAL INVESTIGATION OF PIEZOELECTRIC VIBROIMPACT ENERGY HARVESTER

GEORGI PETKOV¹, MARIN HRISTOV², TODOR TODOROV³

¹MSc, PhD Student, Department "Theory of Mechanisms and Machines", Technical university of Sofia, Sofia, Bulgaria

²Professor Dr, Department „Microelectronics“, Faculty of Electronic Engineering and Technology, Technical university of Sofia, Sofia, Bulgaria

³Professor Dr, Department "Theory of Mechanisms and Machines", Faculty of Industrial Technology, Technical university of Sofia, Sofia, Bulgaria

Email: georgil.petkov@mail.bg, mhristov@ecad.tu-sofia.bg, tst@tu-sofia.bg

Abstract: In the article a piezoelectric vibroimpact energy harvester is evaluated. The harvester consists of cantilever with a spherical mass attached at the free end. The vibrational amplitude of spherical mass is limited by a pair of elastic membranes built into the housing. On both sides of the cantilever and membranes a thin piezoelectric substrate is deposited which generates electrical charges when deformed. The housing is subjected to harmonic oscillations which cause the cantilever to bent and thus to generate electricity. When the amplitude is sufficiently large, the spherical mass impacts the elastic membranes generating additional electricity with frequency higher than that of the cantilever. Due to the nonlinear

arities of the impact process, the harvester`s bandwidth is increased. The whole system is a vibroimpact harvester with six energy converters - two at the cantilever and four at the membranes. The system parameters are determined by experiments. A dynamical model representing the harvester is created providing experimental investigations which confirms the theoretical results. Improvements of the harvester energy parameters are also discussed in the paper.

¶
Keywords: Vibroimpact harvester, MEMS, Piezoelectric harvester, Vibrational harvester, Kinetic harvester, Energy conversion

АНАЛИЗ НА ЕВРОПЕЙСКИ ИЗИСКВАНИЯ ЗА ПРЕВЕНЦИЯ НА БЕДСТВИЯ И АВАРИИ

Ирена НИКОЛОВА¹ Васил ПЕНЧЕВ² Надя ТОДОРОВА³

¹катедра „Основи и технически средства за конструиране”, Технически университет - София, България
e-mail: inikolova@tu-sofia.bg

²катедра „Основи и технически средства за конструиране”, Технически университет - София, България
e-mail: vasil_penchev@tu-sofia.bg

³катедра „Основи и технически средства за конструиране”, Технически университет - София, България
e-mail: nadia_max@abv.bg

Резюме: От голямо значение за осигуряване на едно от основните направления на регулираната зона на обществените интереси на територията на Европейския съюз е защитата на европейските критични инфраструктури, тъй като разрушаването им може да доведе до значителни последици, засягащи територии на няколко държави-членки на съюза. В настоящата работа е направен анализ на европейски изисквания, отнасящи се до превенцията на бедствия и аварии с оглед намаляване последиците от тези събития. Представени са предложения за включване на нови сектори за регулиране в областта на критичните инфраструктури, както мерки и мероприятия за гарантиране на защита на елементи от европейските критични инфраструктури, и допълнения към операторския план за сигурност.

Ключови думи: бедствия, аварии, европейски изисквания, европейски критични инфраструктури

1. УВОД

Едно от основните направления на регулираната зона на обществените интереси в Европейския съюз е защита на обществения ред и сигурност. На територията на Европейския съюз има определен брой критични инфраструктури и тяхната защита е от изключителна важност. Нарушаването или унищожаването им би довело до значителни трансгранични последици.

За да отговорят законодателно на заплахите от бедствия и аварии в тази област, европейските институции реагират на съвременните заплахи, свързани със защита на критични инфраструктури като:

- Европейският съвет изисква изготвяне на цялостна стратегия;
- Комисията на Европейския съюз приема Съобщение за защита на критични инфраструктури и Зелена книга относно Европейска програма за защита на критични инфраструктури;
- Съветът по правосъдие и вътрешни работи изисква да се изготви Европейска програма за защита на критични инфраструктури и в последствие приема заключения относно тази програма.

Резултатът от усилията на институциите на Европейския съюз е Директива 2008/114/ЕО от-

носно установяването и означаването на европейски критични инфраструктури и оценката на необходимостта от подобряване на тяхната защита. Тази директива е началото на поетапен подход в съответната област и тя допълва секторните мерки на общностно равнище и в отделните държави-членки, които действат. Тя предлага процедура за установяването и означаването на европейски критични инфраструктури и общ подход за оценка на необходимостта от подобряване на защитата им, за да се осигури защита на населението.

2. ОСНОВНИ ПОЛОЖЕНИЯ ОТНОСНО ЕВРОПЕЙСКИТЕ КРИТИЧНИ ИНФРАСТРУКТУРИ

За нуждите на разглежданията в [1] са дефинирани две основни понятия:

- критична инфраструктура - „елемент, система или части от нея, намиращи се в държавите-членки, които са от основно значение за поддържането на жизнено важни обществени функции, здравето, безопасността, сигурността, икономическото или социалното благосъстояние на населението и чието нарушаване или унищожаване би имало значителни последици в дадената

държава-членка в резултат на невъзможността да се запазят тези функции”;

- европейски критични инфраструктури - „критични инфраструктури, намиращи се в държавите-членки, чието нарушаване или унищожаване би имало значителни последици за две или повече държави-членки. Значимостта на последиците се оценява в зависимост от междусекторните критерии. Те включват и последиците от междусекторните зависимости върху други видове инфраструктури”.

Като начало Директива 2008/114/ЕО обхваща секторите на енергетиката и транспорта. Подсекторите на сектор енергетика са електроенергия, нефт и газ, а подсекторите на сектор транспорт – автомобилен транспорт, железопътен транспорт, въздушен транспорт, транспорт по вътрешните водни пътища, презокеански превоз и морски превоз на къси разстояния.

Междусекторните критерии обхващат: критерий на пострадалите, критерий на икономическите последици, критерий на обществените последици. Праговете на междусекторните критерии се базират на сериозността от нарушаването или унищожаването на определена инфраструктура. Точните прагове се определят за всеки конкретен случай от заинтересованите държави-членки. Секторните критерии се основават на характеристиките на отделните сектори с европейски критични инфраструктури.

Информацията, свързана с означаването на европейска критична инфраструктура е със съответно ниво на класификация. Операторският план за сигурност определя елементите на европейските критични инфраструктури и мерките за сигурност относно тяхната защита. Служителят за връзка по сигурността служи за контакт между собственика/оператора на европейската критична инфраструктура и компетентния орган на държавата-членка.

3. ОТГОВОРНОСТИ НА ДЪРЖАВИТЕ – ЧЛЕНКИ

Всяка една държава-членка е задължена да установи потенциални европейски критични инфраструктури, които изпълняват междусекторните и секторните критерии и отговарят на определенията за критични инфраструктури и

европейски критични инфраструктури. Ежегодно Комисията трябва да бъде информирана от държавите-членки за броя на инфраструктурите по сектори, които са били обсъждани във връзка с праговете на междусекторните критерии. Всяка държава-членка също е длъжна да информира държави-членки, които могат значително да бъдат засегнати от потенциална европейска критична инфраструктура, за нейната идентичност и за основанията за означаването ѝ като такава. Изисква се също да се провеждат двустранни/многостранни обсъждания относно потенциална европейска критична инфраструктура.

Една потенциална европейска критична инфраструктура се означава като европейска критична инфраструктура от държавата-членка, на чиято територия се намира, след постигане на споразумение с тези държави-членки, които могат да са значително засегнати. Комисията ежегодно се информира от държавите-членки за броя на означените европейски критични инфраструктури по сектори и за броя на държавите-членки, които са зависими от всяка означена европейска критична инфраструктура, като единствено държавите-членки, които могат да са засегнати от нея, знаят идентичността ѝ.

Държавите-членки са задължени да информират собственика/оператора на всяка инфраструктура на тяхната територия, когато е означена като европейска критична инфраструктура.

Всяка държава-членка трябва да прецени, разполага ли всяка означена европейска критична инфраструктура на нейната територия с операторски план за сигурност или еквивалентни мерки за разглеждане на въпросите от Процедурата за изготвяне на операторски план за сигурност. Ако се установи, че няма операторски план за сигурност или еквивалентни мерки, държавата-членка трябва да гарантира по подходящ начин изготвянето на операторски план за сигурност или на негов еквивалент, както и тяхното редовно преразглеждане в срок от една година след означаването на критичната инфраструктура като европейска критична инфраструктура.

Държавата-членка също е отговорна да прецени дали всяка означена европейска критична инфраструктура на нейната територия разполага със служител за връзка по сигурността или сходна длъжност. Ако не е налице подобен служител тя

трябва да се гарантира с всички подходящи мерки определянето му, както и да прилага механизъм за комуникация между нейния компетентен орган и служителя за връзка по сигурността за обмен на информация относно рисковете и заплахите, установени по отношение на съответната европейска критична инфраструктура.

Изисква се от държавите-членки да оценяват заплахите във връзка с подсекторите с европейски критични инфраструктури в срок от една година след означаването на дадена европейска критична инфраструктура. Всяка държава-членка е длъжна да представи на Комисията на всеки две години обобщени данни за видовете уязвими места, заплахи и рискове, които са открити за секторите с европейски критични инфраструктури.

4. ОТГОВОРНОСТИ НА КОМИСИЯТА

При установяване на потенциални европейски критични инфраструктури Комисията може да оказва съдействие на държавите-членки по тяхно искане, както и да им обърне внимание към наличието на потенциални критични инфраструктури. Възможно е Комисията да участва в двустранни/многостранни обсъждания на държавите-членки относно потенциални европейски критични инфраструктури, но не трябва да има достъп до информация, която да позволи идентифицирането на дадената инфраструктура. Когато държава-членка желае да участва в двустранни/многостранни обсъждания Комисията незабавно трябва да уведоми държавата-членка, на чиято територия се намира потенциалната европейска критична инфраструктура, и да окаже съдействие с цел постигане на споразумение между заинтересованите страни.

Комисията е задължена да подкрепя собствениците/операторите на означени европейски критични инфраструктури посредством компетентния орган на държавата-членка чрез достъп до наличните най-добри практики и методологии, както и съдействие за обучението и обмяна на информация за новите технологични разработки за защита на критични инфраструктури.

5. ОТГОВОРНОСТИ НА ДЪРЖАВИТЕ – ЧЛЕНКИ И КОМИСИЯТА

Процесът на установяване на потенциални европейски критични инфраструктури се осъществява без прекъсване от държавите-членки и Комисията.

Разработването на насоки за прилагане на междусекторните и секторните критерии, както и приблизителни прагове за използване при установяване на европейски критични инфраструктури е задължение на държавите-членки и Комисията. Държавите-членки могат да използват тези насоки по желание.

Комисията и държавите-членки могат да разработят общ модел за докладите с обобщените данни относно видовете уязвими места, заплахи и рискове, които са открити за секторите с европейски критични инфраструктури. На базата на докладите се прави оценка по сектори от Комисията и държавите-членки относно допълнителни мерки на общностно равнище за защита на европейски критични инфраструктури. Те също могат да разработят общи методологични насоки за анализи на риска по отношение на европейски критични инфраструктури.

6. ТЕНДЕНЦИИ ЗА РАЗВИТИЕ

След оценяване на въздействието на обхвата на разгледаната нормативна уредба би било осъществително да бъдат включени и други сектори като информационните и комуникационните технологии, химическата промишленост и др.

В областта на сектор енергетика основни елементи на европейските критични инфраструктури са електрическите мрежи и електрическите уредби. В [2] са представени мерки и мероприятия за гарантиране на защита на тези елементи, които ефективно могат да се прилагат и в условията на бедствия и аварии.

Също така би било полезно да се включат към представения по-горе операторски план за сигурност и изисквания към техническите средства, както и приложение на методи за изпитване и контрол [3] с цел осигуряването на сигурността на елементи на европейските критични инфраструктури.

7. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Както е известно бедствията и аварията са събития, които съпътстват нашето ежедневие. Затова в европейски мащаб е необходимо да се предприемат адекватни мерки, с цел предотвратяването на последиците от тези събития, които следва и регулярно да се осъвременяват, съгласно тенденциите на развитието на техниката и технологиите и заплахите, свързани с тях.

Литература

1. **Директива 2008/114/ЕО** относно установяването и означаването на европейски критични инфраструктури и оценката на необходимостта от подобряване на тяхната защита.
2. **Тодорова К.** Основни положения за безопасност при работа в електрически уредби и по електрически мрежи, БСИП, бр. 2/2009, стр. 146-150.
3. **Сандалски Б., М.Сандалски, М. Вичева, И. Буров, Р. Митева,** Свободно движение и техническа конкурентноспособност на продуктите в Европейския съюз, Софттрейд, 2011, София.

ANALYSIS OF EUROPEAN REQUIREMENTS FOR PREVENTION OF DISASTERS AND ACCIDENTS

Irena NIKOLOVA¹ Vasil PENCHEV² Nadia TODOROVA³

¹ Fundamentals of design department, Technical University-Sofia, Bulgaria
e-mail: inikolova@tu-sofia.bg

² Fundamentals of design department, Technical University-Sofia, Bulgaria
e-mail: vasil_penchev@tu-sofia.bg

³ Fundamentals of design department, Technical University-Sofia, Bulgaria
e-mail: nadia_max@abv.bg

Abstract: A great importance for providing of one of the main directions of the regulated area of the public interests in the European Union is the protection of European critical infrastructures, because their destruction could lead to significant consequences, affecting the territories of several Members of the EU. In the present work an analysis of European requirements relating to the prevention of disasters and accidents in order to reduce the impact is made. Proposals for inclusion of new sectors for regulation in the field of critical infrastructure, measures and actions to ensuring protection of elements of European critical infrastructures and additions to the operator security plan are described.

Keywords: disasters, accidents, European requirements, European critical infrastructures

ИЗПОЛЗВАНЕ НА ГЕНЕТИЧНО МОДИФИЦИРАНИ ОРГАНИЗМИ (ГМО) В ГЕНЕТИЧНИТЕ АЛГОРИТМИ

Димитър ТУДЖАРОВ

катедра „Инженерна логистика, подемно-транспортна и строителна техника”, Технически университет - София,
България
e-mail: dtudjarov@tu-sofia.bg

Резюме: Решаването на оптимизационни задачи чрез използване на генетичните алгоритми (ГА) е част от бързо разрастващата се област на изкуствения интелект, наречена еволюционно програмиране. В работата се предлага в ГА да се добави използването на т.нар. генетично модифицирани организми (ГМО, Genetically Modified Organism - GMO). Докато в ГА промените настъпват при естествени условия (към такива промени водят естествените процеси: кръстосване и мутация), то ГМО е подложен изкуствено на генетична промяна организъм, чийто гени са умишлено променени от човека с помощта на генното инженерство. Основна информация за същността на ГА и предложената нова ГМО стъпка в алгоритъма е дадена и е представено разработеното експериментално Web-базирано приложение. Публикувани са резултати от решения на оптимизационни задачи, дискутирано е приложението на ГМО в ГА и е направен извода, че предложените, в зависимост от вида на конкретната решавана задача, ГМО добавки повишават ефективността на действие на ГА.

Ключови думи: генетични алгоритми, генетично модифицирани организми, оптимизация, Web технологии

1. ВЪВЕДЕНИЕ

Един от методите на изкуствения интелект [2] намерил широко приложение в практиката е генетичният алгоритъм – в литературата се среща често в множество число, като: генетични алгоритми (ГА) [4]. ГА се основават на принципите на естествената еволюция: генетично унаследяване от родителите, мутация по време на самостоятелния живот и оцеляване на по-силния организъм. С годините ГА се доказаха като едно ефективно средство за решаване на оптимизационни задачи в различни сфери на инженерната дейност.

Цел на настоящата работа е да комбинира възможностите на метода на ГА със съзнателната генно-инженерна намеса (ГМО) и съвременните Web технологии за бързо и качествено достигане на желаните резултати. Представена е идеята за вграждане на ГМО в ГА и разработено експериментално Web-базирано приложение - калкулатор на ГА с ГМО. Дадено е кратко описание на възможностите и работата с приложението (представени са работни екрани и са решени задачи за намиране на минимум на функция на две променливи и задачата за търговския пътник).

2. ГА С ГМО

По принцип, решаването на всяка задача може да се разглежда като процес на търсене на подходящо решение в пространството на възможните стойности на променливите величини. Представяйки отделните решения като „хромозоми“ (набори от гени) и интересувайки се от „добри“ (най-добри) решения, можем да представим ГА като процес на еволюция (оптимизация), който протича по следния начин (виж фиг.1):

1) Генерира се начална случайна популация от n хромозоми (решения на проблема);

2) Изчислява се „жизнеспособността“ $f(x)$ на всеки хромозом n в популацията (съгласно определената целева функция – наричана „фитнес функция“);

3) Извършва се подреждане на хромозомите по резултатите от изчислената жизнеспособност;

4) Запазват се първите хромозоми („най-жизнеспособните“), които се използват за създаване на следващата популация (m на брой, $m < n$) и се премахват останалите $n-m$ хромозоми;

5) Започва процеса на допълване на популацията с нови индивиди, като броячът на новосъздадените индивиди се нулира $i=0$;

6) Добавя се нов индивид в популацията, който получава своя пореден номер $i=i+1$;

7) Избират се два родителски хромозома от запазените жизнеспособни m хромозоми;

8) Кръстосват се родителските хромозоми и се създава новия i индивид;

9) Новосъздадения i индивид мутира по време на самостоятелното си съществуване;

10) Прави се проверка дали популацията е допълнена с нови индивиди (хромозоми) и ако не е, алгоритъмът се връща в 6) за добавяне на нова хромозома, а в случай че популацията е пълна се преминава към следващата стъпка;

11) Проверяваме дали условието за спиране на алгоритъма е изпълнено (най-често то е достигнат брой генерации – брой последващи популации) и ако „не“ ГА се връща в 2) и започва създаване на следващата популация, в случай на „да“ ГА преминава на последната стъпка;

12) ГА извежда решение и спира.

Докато в природата има естествени механизми, които са насочени и без преценка относно очаквания краен резултат, действащи изцяло случайно, то при ГМО с промяната се цели да се подобрят съществуващи или да се създадат нови качества на организма, които са полезни при използването му от хората. При ГА насочеността изкуствено се залага във фитнес функцията, която определя жизнеспособността и от там оцеляването на индивидите в следващата популация и така процеса на търсене се свързва с оцеляването на жизнеспособните.

В настоящата работа се предлага механизъм за вграждане на изчислителен модул с повишена (свързана с вида на решаваната задача) насоченост. Както се вижда от фиг. 1 (дясната колона) след т.4 запазване на m от най-добрите хромозоми се добавя нов етап в алгоритъма т.5, като останалите етапи се запазват същите и само се преномерират. При новия етап се извършва аналогична на съзнателната генно-инженерна намеса (ГМО), изразена в модифициране на гените по избран за конкретната задача метод. По този начин е определено място в алгоритъма за включване на различни изчислителни модули за генна модификация и се реализира пилотна система, която в момента на публикуване използва два метода на търсене, условно наречени: „случайно търсене в намален

диапазон“ и „генериране на ГМО без повторения в стойностите на гените“. Изчислителните модули са реализирани в отделна подпрограма, като в зависимост от избора от потребителя метод се стартират различни части от подпрограмата, съответстващи на избора на модул. По този начин се осигуряват възможности за разширяване на възможностите на реализирания Web базиран калкулатор с нови методи за търсене. Подробно възможностите и софтуерната реализация [5,6,7] на калкулатора са разгледани по-долу.

3. ЕКСПЕРИМЕНТАЛНО WEB ПРИЛОЖЕНИЕ

Описанието на модела за изчисляване чрез ГА с ГМО става чрез въвеждане на:

А) Описание на хромозома за моделиране на индивидите;

Б) Описание на общите параметри за пресмятане;

В) Описание на фитнес функцията;

Г) Наименование на използвания ГМО метод и брой на експериментите.

Изброените по-горе описания включват:

А) Описание на хромозомите - моделиране на индивидите (номериране и описание на диапозоните на зоните за търсене за всеки ген):

$MinG[i][j]$ (минимална стойност на диапазона на търсене) – за всеки ген j от хромозома i се задава минималната стойност на диапазона;

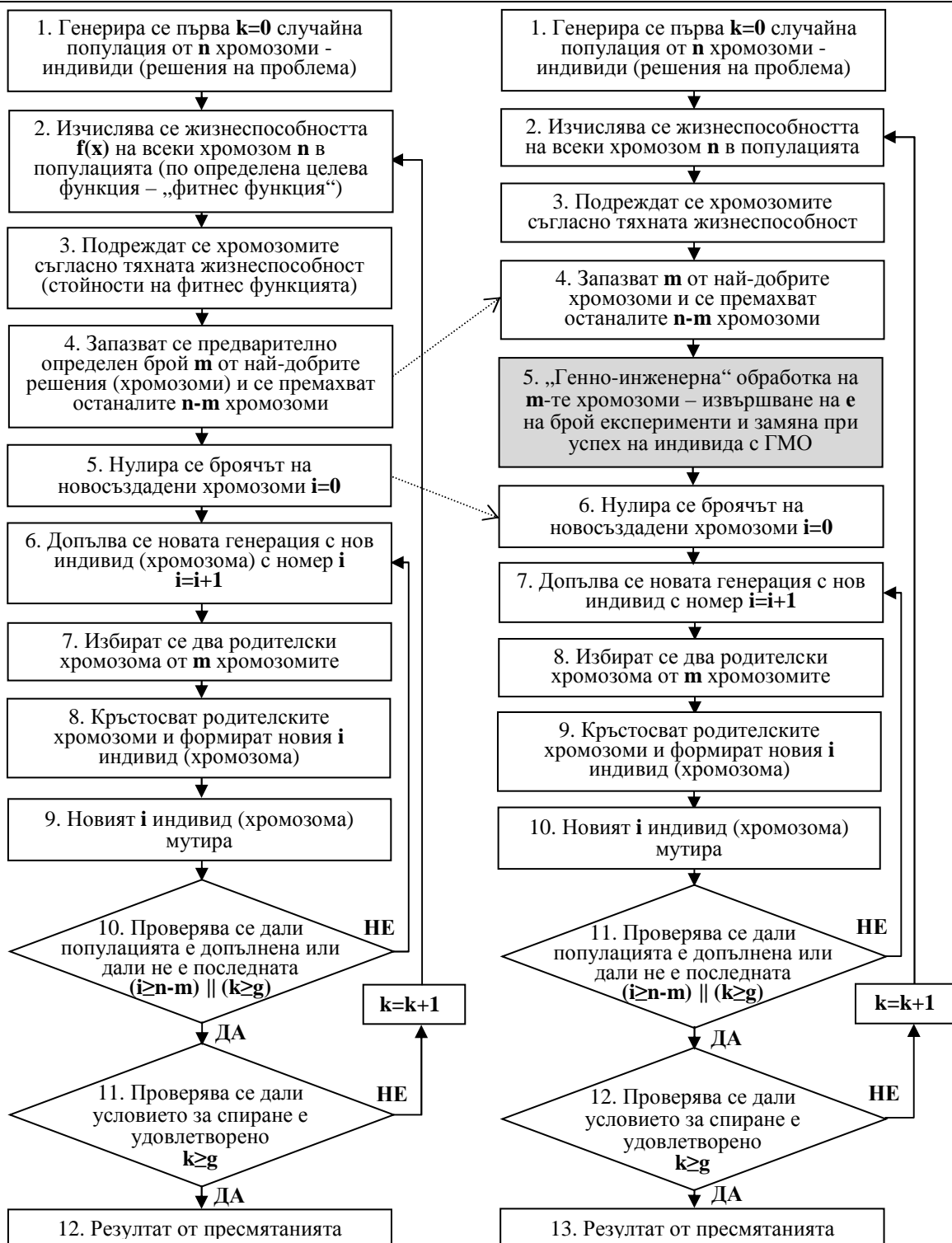
$MaxG[i][j]$ (максимална стойност на диапазона на търсене) – за всеки ген j от хромозома i се задава максималната стойност на диапазона на търсене.

Б) Описание на общите параметри на алгоритъма:

Population (население) - брой на индивидите n , където $i=1...n$;

Generations (поколения) – задават се определен брой поколения g , след които алгоритъмът да спира и да се предоставят резултатите от изчисленията;

Representative set/alive (представителна извадка/живи) – брой на хромозомите, които „остават живи“ (след пресмятане на фитнес функцията се запазва предварително зададен от потребителя брой m от най-добрите решения);



фиг.1 Блок схеми: ГА и ГА с ГМО

Crossover (кръстосване) – показва каква относителна част (стойност от 0 до 1) от гени в хромозомата ще унаследи гени на бащата, като останалия брой гени до попълването на общия им брой в хромозомата се унаследяват от майката;

Mutation (мутация) – отново чрез относителна стойност (от 0 до 1) определя броя гени, които да мутират след образуването на новата хромозома;

Accuracy (точност) - определя точността на пресмятане - броя на значещите цифри след десетичната запетая.

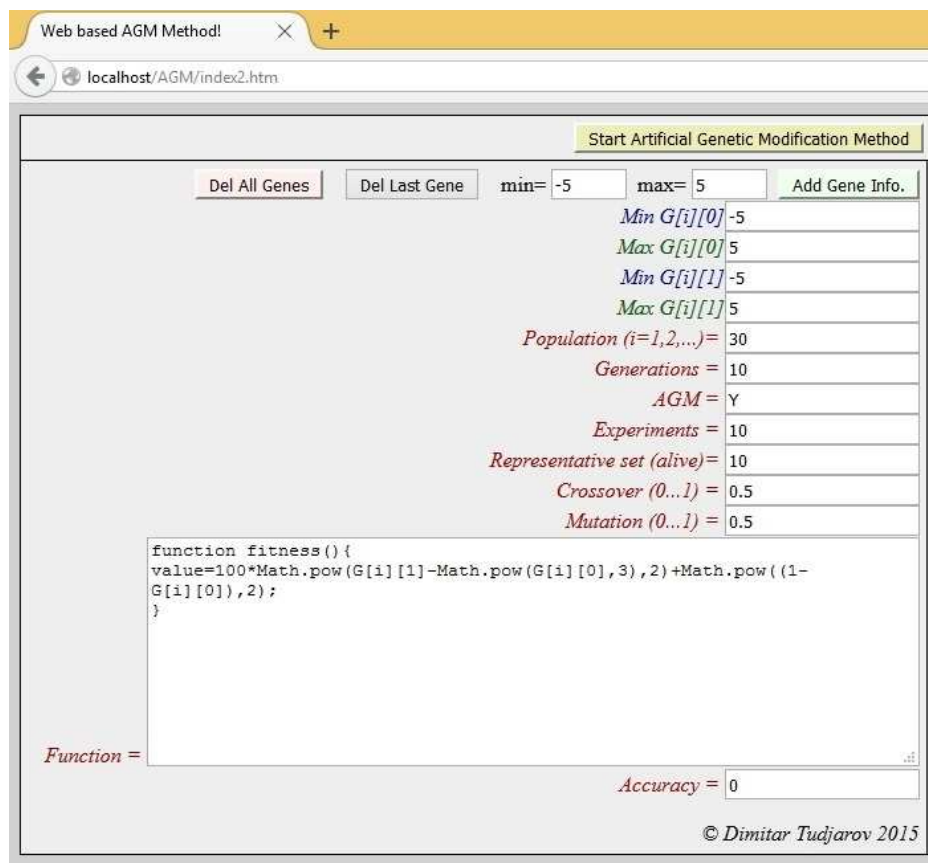
В) Описание на фитнес функцията – езикът, на който в експерименталното приложение се задава фитнес функцията е JavaScript [7], като за стойностите на гените се използват променливи от вида $G[i][j]$ - матрица с име G и размерност ixj , а за стойността на функцията – променлива с име $value$.

Г) Наименование на използвания ГМО метод и брой на експериментите:

AGM (*Artificial Genetic Modification*) изкуствена генетична модификация – избира се метод за генно-инженерна намеса (двата метода в експерименталната разработка са наименовани “Y” (случайно търсене в мален диапазон) и ”YI” (генериране на ГМО без повторения в стойностите на гените) – виж работните екрани приложени на фигури 2, 4 и 5);

Experiments (експерименти) – брой на експериментите, които се извършват с най-добрите m решения (хромозоми).

На фиг. 2 е представен работен екран от разработеното експериментално приложение – етап въвеждане на началната информация (модела за изчисляване чрез ГА с ГМО).



Фиг 2. Работен екран от разработения Web базиран калкулатор на ГА с ГМО

Освен полетата за въвеждане на началната информация на работния екран са разположени бутони за: добавяне на нов ген в описанието на хромозомата, изтриване на ген/гени и стартиране на изчисленията.

4. РЕШАВАНЕ НА ОПТИМИЗАЦИОННИ ЗАДАЧИ С РАЗРАБОТЕНИЯ ГА С ГМО КАЛКУЛАТОР

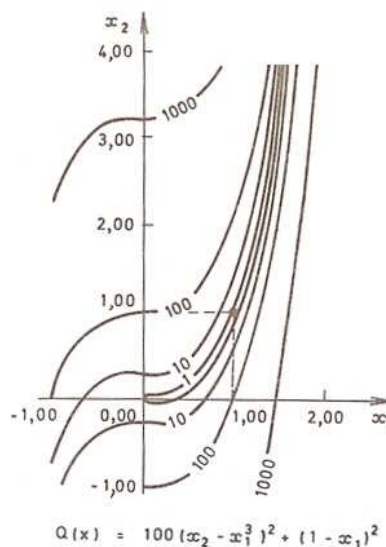
За да се илюстрира разликата между ГА и предложения тук ГА с ГМО метод са публикувани решенията на следните задачи:

А) Решаване на тестова функция – оврагов тип

В [3] са дадени тестови функции и задачата

$$Q(x) = 100(x_2 - x_1^3)^2 + (1 - x_1)^2 \rightarrow \min \quad (1)$$

от фиг. 3 е решена с калкулатора – виж фиг.4.



Фиг 3. Тестова функция

Generation=0			
No	Fit	G0	G1
1	101	0	1
2	101	0	-1
3	104	-1	-2
4	104	-1	-2
5	401	0	2
6	404	-1	-3
7	900	1	-2

Generation=10 AGM			
No	Fit	G0	G1
1	0	1	1
2	0	1	1
3	0	1	1

Generation=10 GA			
No	Fit	G0	G1
1	1	0	0
2	1	0	0
3	1	0	0
4	1	0	0

Фиг 4. Тестова функция – резултати ГА(GA) и ГА с ГМО(AGM)

Б) Решаване на задачата за търговския пътник
 В общия случай на задачата са дадени n населени места и разстоянията (и/или други описания на връзките) между тях. Търговски пътник, който тръгва от едно място, трябва да обиколи всички останали само по веднъж като измени разстоянието по най-краткия път.

Ако населените места са върхове на граф $G=(X,U)$, а разстоянията между i -тото и j -тото населено място означим с C_{ij} , задачата е: в пълния симетричен граф $G=(X,U)$, където всяка дъга (i,j) има известна дължина C_{ij} , да се намери контур с минимална дължина.

Математичният модел на тази задача е даден в [1]:

$$F(x) = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n c_{ij} x_{ij} \rightarrow \min \quad (2)$$

при ограничения:

$$\sum_{j=1}^n x_{ij} = 1, \quad i = \overline{1, n} \quad (3)$$

$$\sum_{i=1}^n x_{ij} = 1, \quad j = \overline{1, n} \quad (4)$$

$$x_{ij} \in \{0,1\}, \quad i, j = \overline{1, n} \quad (5)$$

$$\sum_{j=1}^n x_{ij} = 1, i = \overline{1, n} \quad (6)$$

При решаването на тази задача хромозомата има 10 гена, които са номерирани $G0$ – населено място №1, $G1$ – населено място №2 и т.н. до $G9$ – място №10 (т.е. населените места са маркирани с номерата от $G0$ до $G9$ и номерата от 0 до 9 се съхраняват в отделните гени).

Във фитнес функцията с матрица на съседството са представени връзките (в случая разстоянията между местата). Пресмята се дължината на случайния контур и в случай, че има повторение на място на променливата $value$ се присвоява неприемлива – голяма стойност (50000). В случай, че повторение няма, то пресметнатата стойност се присвоява на $value$. Разработеният по този начин калкулатор позволява писането на фитнес функцията като подпрограма и включване в нея на ограничителни

условия: както в случая неповторението на населено място.

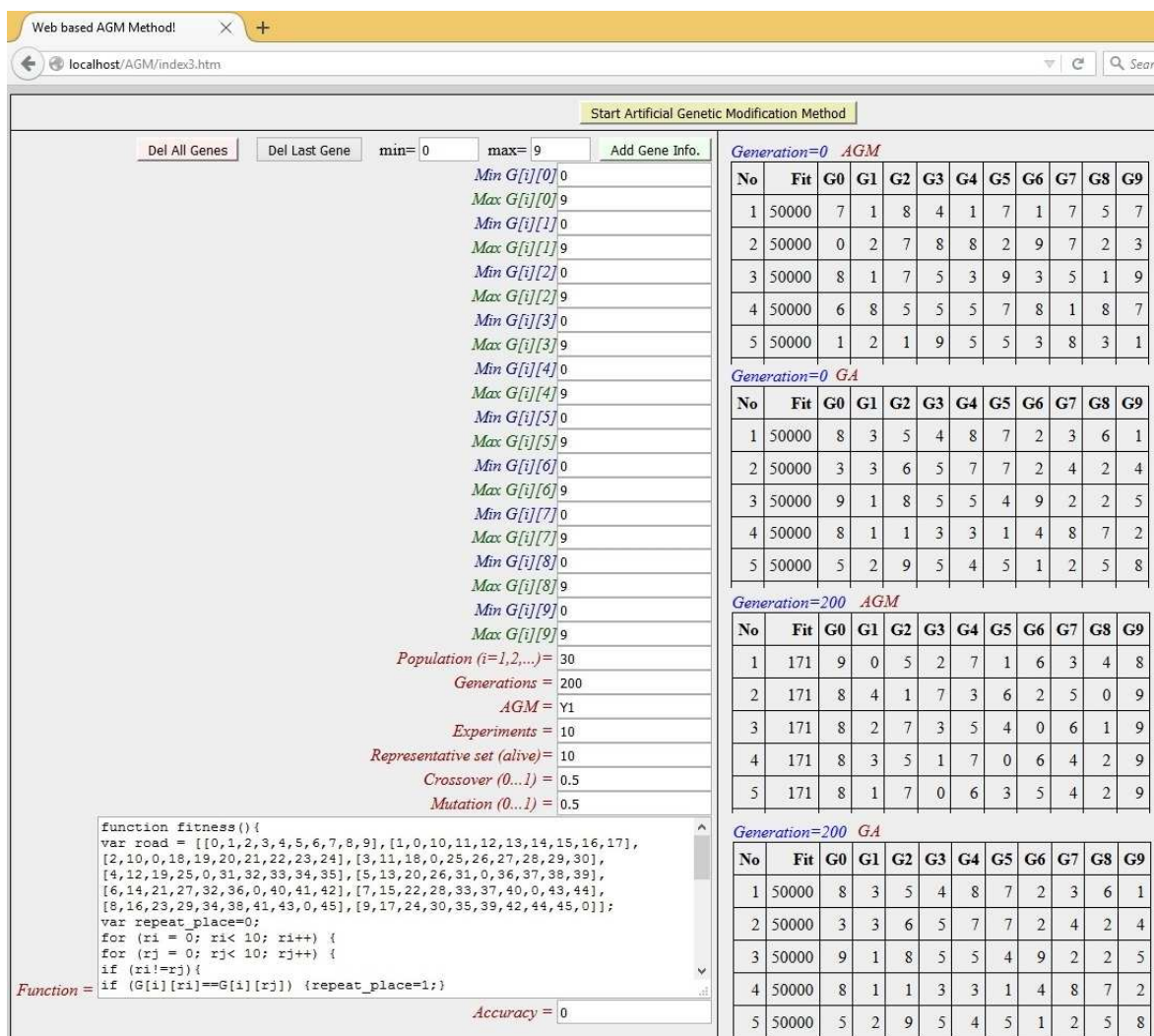
Фитнес функцията е:

```
function fitness(){
var road =
[[0,1,2,3,4,5,6,7,8,9],[1,0,10,11,12,13,14,15,16,17],
[2,10,0,18,19,20,21,22,23,24],[3,11,18,0,25,26,27,2
8,29,30],[4,12,19,25,0,31,32,33,34,35],[5,13,20,26,
31,0,36,37,38,39],[6,14,21,27,32,36,0,40,41,42],[7,
15,22,28,33,37,40,0,43,44],[8,16,23,29,34,38,41,43,
0,45],[9,17,24,30,35,39,42,44,45,0]];
var repeat_place=0;
for (ri = 0; ri < 10; ri++) {
for (rj = 0; rj < 10; rj++) {
if (ri!=rj){if (G[i][ri]==G[i][rj]) {repeat_place=1;}
}
}
}
if (repeat_place==0) {
value=0;
for (rj = 1; rj < 10; rj++) {
value=value+road[(G[i][rj-1])][G[i][rj]];
}
} else {value=50000;}
}
```

На фиг. 5 са показани резултатите от решението на задачата за търговския пътник с ГА (GA) и с ГА с ГМО (AGM).

Съпоставянето на резултатите показва, че идеята за реализиране на ГА с ГМО има по-добра ефективност от ГА за един и същ брой генерации. Ето защо авторът счита, че освен предложените тук два метода (за търсене в намален диапазон и генериране без повторение) може да се очаква и е необходимо в бъдеще да се разработят или взаимстват още и по-ефективни методи за генетична намеса.

След определяне на най-добрите хромозоми методът "Y" (случайно търсене в намален диапазон) извършва определен брой експерименти с всеки ген, като търси по-добра негова стойност в диапазоните ($Gmin$ -текуща стойност) и (текуща стойност- $Gmax$) а "Y1" (генериране на ГМО без повторения в стойностите на гените) се състои във включване в алгоритъма на механизъм за генериране и допълване на нови хромозоми без повторение в стойностите на гените.



фиг.5 Решение на задачата за търговския пътник с ГА и ГА с ГМО

5. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В заключение могат да се посочат следните по-важни резултати от работата:

1) Предложено е комбиниране на възможностите на ГА с тези на съзнателната генно-инженерна намеса (ГМО) и съвременните Web технологии;

2) Определено е подходящо място в ГА за включване на различни методи за генетично модифициране, реализирани като подпрограми;

3) Предложени са и използвани два начални метода за генно-инженерна модификация (създаване на ГМО) от най-добрите решения, като е посочена възможността за взаимстване или разработване на нови методи и включването им в приложението;

4) Разработен е експериментален ГА с ГМО Web базиран калкулатор с възможности за решаване на широк кръг оптимизационни задачи;

5) Представени са решени примери и са подчертани предимствата и възможностите за бъдещо развитие на реализирания софтуер.

Литература

1.Геров Г., Иванчев Д. Ръководство за упражнения по математични методи при комплексната автоматизация на дискретното производство. София, Печатна база при ВМЕИ “В. И. Ленин“, 1983, 109 с.
2.Попов Г. Приложение на методите на изкуствения интелект при проектиране, планиране, производство и управление. Машини, технологии, материали, No I-2007, София, р.23-29.

3.Стоянов С. Оптимизация на технологични процеси, Издателство Техника, ISBN 954-03-0256-0, 1993, 472 с.
4.<http://www.obitko.com> Посетен на 09.10.2015г.
5.<http://www.w3.org/html/> Посетен на 09.10.2015г.
6.<http://www.w3schools.com/html/> Посетен на 09.10.2015г.
7.<http://www.w3schools.com/js/> Посетен на 09.10.2015г.

USE OF GENETICALLY MODIFIED ORGANISMS (GMO) IN GENETIC ALGORITHMS

Dimitar TUDJAROV

Logistics engineering department, Technical University-Sofia, Bulgaria
e-mail: dtudjarov@tu-sofia.bg

Abstract: The solving of optimization problems by using genetic algorithms (GA) is a part of a rapidly growing area of artificial intelligence, called evolutionary programming. In the work it is proposed in GA to be added so-called genetically modified organisms (GMO). While in GA the changes occur under natural conditions (such processes, which lead to the natural changes are: crossover and mutation), GMO is based on artificially genetic modification of the organism, its genes have been intentionally modified by man by means of genetic engineering.

Information about the nature of GA and the proposed new GMO step in the algorithm is given and developed experimental Web-based application is presented.

Results of solutions of optimization problems are published, the application of GMO in GA is discussed and it is concluded that the proposed, depending on the specific type of problem, GMO supplements increase the efficiency of the action of GA.

Keywords: genetic algorithms, genetically modified organisms, optimization, Web technologies

ОПТИМИЗАЦИЯ ЭНЕРГОЗАТРАТ В ДИНАМИЧЕСКИХ ОБЪЕКТАХ С ПОСЛЕДЕЙСТВИЕМ

Александр СТЕНИН Олег ЛИСОВИЧЕНКО Виктор ПАСЬКО Мария СОЛДАТОВА

кафедра „Техническая кибернетика”, НТУУ «КПИ» - Киев, Украина

e-mail: olisov@tk.kpi.ua, alexander.stenin@yandex.ua

Резюме: Рассмотрена задача оптимизации энергозатрат в объектах, математическая модель которых может быть представлена системой дифференциальных уравнений с последействием. Предложен метод фиктивной переменной, позволяющий свести исходную систему с последействием к системе обыкновенных дифференциальных уравнений и уравнения переноса, для которых применимы известные методы оптимизации. Практическое использование метода фиктивной переменной показано на примере решения задачи оптимального управления автономной системой отопления частного дома. Метод обобщен на системы с нестационарным запаздыванием и системы с несколькими процессами, обладающими последействием.

Ключевые слова: динамический объект с последействием, метод фиктивной переменной, принцип максимума, минимизация энергозатрат.

1. ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время во многих странах мира, в том числе и на Украине, резко обострилась проблема энергосбережения в различных отраслях народного хозяйства и в частном секторе. Особое внимание в последнее время уделяется решению задач оптимального управления энергоресурсами в системах с последействием. Это обусловлено появлением большого количества технологических процессов и объектов, связанных с рециркуляцией материальных потоков, перемешиванием реагентов жидкой и газообразной среды и др., что характерно и для рассматриваемой в данной статье автономной системы отопления. Задачу оптимизации энергозатрат можно решить на основе классических методов оптимизации лишь для некоторых частных случаев систем с постоянным временем задержки, распространив их на системы дифференциально-разностных уравнений с отклоняющимся аргументом [1]. Примеры решения таких задач приведены в [2] и [3]. Однако, в общем случае, в частности, для систем более высокого порядка, синтез оптимального управления вызывает принципиальные трудности в получении точного или приближенного решения. Это приводит к необходимости перехода к системам, эквивалентным исходным системам с последействием. Ниже предлагается метод

фиктивной переменной, позволяющий осуществлять такой переход.

2. ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

Для системы, описываемой дифференциально-разностным уравнением вида

$$\frac{dx(t)}{dt} = f(x(t), x(t - \tau), u(t), t) \quad (1)$$

с начальным условием

$$x(t) = x_0(t), t \in [-\tau, 0], \quad (2)$$

где τ – чистое запаздывание, необходимо построить эквивалентную ей систему без запаздывания.

Метод фиктивной переменной

Перейдем от записи (1) и (2) к системе обыкновенных дифференциальных уравнений и уравнений в частных производных [4]:

$$\frac{dx(t)}{dt} = f(x(t), z(t), u(t), t) \quad (3)$$

$$\frac{dy(t, \theta)}{dt} + \frac{dy(t, \theta)}{d\theta} = 0. \quad (4)$$

с начальными и граничными условиями:

$$x(0) = x_0(0),$$

$$y(0, \theta) = y_0(\theta), \theta \in [0, \tau],$$

$$y(t, 0) = x(t), t \in [0, T], \quad (5)$$

$$\mathbf{z}(t) = \mathbf{y}(t, \tau), t \in [0, T],$$

где $y_0(\theta) = x_0(-\theta), T$ – время управления.

Подставляя решение $\mathbf{y}(t, \tau)$ уравнения (4) в соотношение (3), нетрудно убедиться в эквивалентности этих представлений. Переменная θ и вектор $\mathbf{y}(t, \theta)$ выполняют роль фиктивной переменной и вектора состояния для случая, когда в системе, определяемой уравнением (1), отсутствует чистое запаздывание. Преимущества такого определения очевидны, так как уравнение (4) можно применить для описания более общих процессов систем с отклоняющимися аргументами. Для этого достаточно ввести в это уравнение некоторый множитель $\mathbf{g}(t, \theta)$ и соответствующим образом изменить правую часть, чтобы получить уравнение вида:

$$\frac{d\mathbf{y}(t, \theta)}{dt} + \mathbf{g}(t, \theta) \frac{d\mathbf{y}(t, \theta)}{d\theta} = \dots \quad (6)$$

$$\dots \mathbf{h}(\mathbf{y}(t, \theta), \mathbf{w}(t, \theta), t, \theta),$$

$$t \in [0, T], \theta \in [0, \tau]$$

с теми же начальными и граничными условиями (5) и сохранить прежнюю систему обыкновенных дифференциальных уравнений (3). Уравнение (6) известно как линейное уравнение переноса [5]. Здесь $\mathbf{x}(t)$ – n -мерный вектор состояния системы с сосредоточенными параметрами, $\mathbf{y}(t, \theta)$ – n -мерный вектор состояния процесса с чистым запаздыванием, $\mathbf{z}(t) = \mathbf{y}(t, \tau) - n$ -мерный выход, который одновременно является входной переменной для системы (3), $\mathbf{u}(t)$ – r -мерный вектор управления системой с сосредоточенными параметрами и $\mathbf{w}(t, \theta)$ – s -мерный вектор управления чистым запаздыванием (рис.1).



рис.1 Схема системы с последствием

Предполагается, что функции $\mathbf{f}(\cdot)$ и $\mathbf{h}(\cdot)$ имеют непрерывные вторые производные по всем аргументам и удовлетворяют условиям Липшица. Функция $\mathbf{g}(t, \theta)$ непрерывна и, кроме того, $\mathbf{g}(t, 0) > 0, \mathbf{g}(t, \tau) > 0$. Производная вектор-функции $\mathbf{f}(\cdot)$ по векторной переменной $\mathbf{z}(t)$ не зависит явно от вектора управления $\mathbf{u}(t)$. Допустимые кусочно-непрерывные управления $\mathbf{u}(t)$ и $\mathbf{w}(t, \theta)$ принимают значения в заданных выпуклых областях $\mathbf{u} \in U, \mathbf{w} \in W$. Можно показать, что для заданных векторов допустимых управлений $\mathbf{u}(t)$ и $\mathbf{w}(t, \theta)$ траектории $\mathbf{x}(t)$ и $\mathbf{y}(t, \theta)$ однозначно определяются своими начальными и граничными условиями.

3. ОПТИМИЗАЦИЯ ЭНЕРГОЗАТРАТ АВТОНОМНОЙ СИСТЕМЫ ОТОПЛЕНИЯ

Практическое использование метода фиктивной переменной покажем на примере решения задачи оптимального управления автономной системой отопления частного дома с одновременной подачей горячей воды. Стандартная схема этой системы представлена на рис.2.

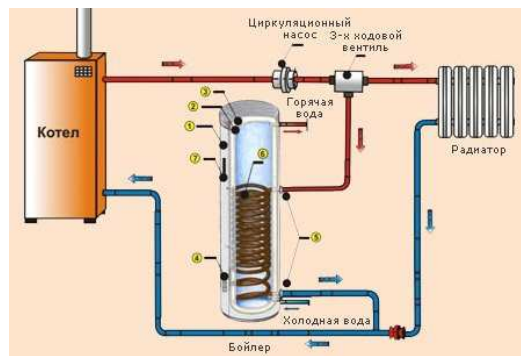


рис. 2 Схема отопления и подачи горячей воды в частном доме(1- внешний корпус;2 – стальной резервуар ;3 – теплоизоляционное покрытие;4 - отверстие для чистки ревизии;5 – патрубок для осуществления по контуру отопления;6 – медный теплообменник;7 – термометр).

Данную схему можно представить системой управления температурой с последствием (рис.3).

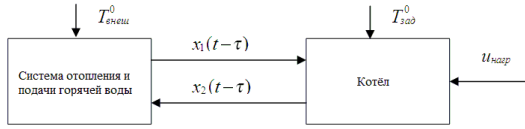


рис. 3 Система управления температурой с последствием

Отопительная система работает следующим образом. Температура в радиаторах отопления регулируется путем подогрева в газовом котле и циркуляции жидкости между радиаторами отопления и газовым котлом. Учитывая потери тепловой энергии в батареях отопления, а также ее потери в процессе теплоотдачи циркулирующей по трубам жидкости, можем записать следующую систему дифференциально-разностных уравнений с последствием:

$$\begin{aligned} \frac{dx_1(t)}{dt} &= k_1[x_1(t) - T_{внеш}^0] + k_2[x_2(t - \tau) - x_1(t)], \\ \frac{dx_2(t)}{dt} &= k_u u_{нагр} - k_3[x_2(t) - x_1(t - \tau)] \end{aligned} \quad (7)$$

при заданных граничных условиях:

$$\begin{aligned} x_1(0) &= x_2(0) = 0, \\ x_1(T) &= x_2(T) = T_{зад}^0. \end{aligned}$$

Цель оптимального управления состоит в том, чтобы в конечный момент времени $t=T$ при минимальных затратах вводимой тепловой энергии свести к минимуму отклонение температуры в батареях отопления от заданной температуры $T_{зад}^0$. Для такой постановки задачи функционал стоимости определяется выражением:

$$I = [x_1(T) - T_{зад}^0] + \int_0^T c u_{нагр}^2(t) dt. \quad (8)$$

Также будем считать, что температура в батареях отопления и в газовом котле на интервале времени $[-\tau, 0]$ равнялась нулю, что соответствует реальному состоянию отопительной системы до начала работы.

Перейдем от записи (7) к записи вида (3) - (4):

$$\begin{aligned} \frac{dx_1(t)}{dt} &= -k_1[x_1(t) - T_{внеш}^0] + k_2[z_2(t) - x_1(t)], \\ \frac{dx_2(t)}{dt} &= k_u u_{нагр} - k_3[x_2(t) - z_1(t)], \\ \frac{dy_1(t, \theta)}{dt} + k_4 \frac{dy_1(t, \theta)}{d\theta} &= -k_5[y_1(t, \theta) - T_{внеш}^0], \\ \frac{dy_2(t, \theta)}{dt} + k_4 \frac{dy_2(t, \theta)}{d\theta} &= -k_5[y_2(t, \theta) - T_{внеш}^0] \end{aligned} \quad (9)$$

при граничных условиях:

$$\begin{aligned} y_1(0, \theta) &= 0, \quad y_2(0, \theta) = 0, \\ y_1(t, 0) &= x_1(t), \quad y_2(t, 0) = x_2(t), \end{aligned} \quad (10)$$

где: $z_1(t) = y_1(t, \theta)$, $z_2(t) = y_2(t, \theta)$, $x_1(t), x_2(t)$ – температура соответственно в радиаторах отопления и в газовом котле; $y_1(t, \theta)$ и $y_2(t, \theta)$ – температура в трубопроводах; $u_{нагр}$ – вводимое тепло ($0 \leq u_{нагр} \leq u_{max}$); $T_{внеш}^0$ – внешняя температура; k_i – константы. В качестве метода оптимизации воспользуемся принципом максимума [5].

Для уравнений системы (9) и (10) составим гамильтонианы:

$$\begin{aligned} H_\psi &= \psi_0 c u^2(t) + \psi_1 [-k_1(x_1(t) - T_{внеш}^0) + \dots \\ &\dots k_2(y_2(t, \tau) - x_1(t))] + \psi_2 [k_u u_{нагр} - k_3(x_2(t) - y_1(t, \tau)), \end{aligned} \quad (11)$$

$$\begin{aligned} K_\varphi &= -\varphi_1 k_5 [y_1(t, \theta) - T_{внеш}^0] - \dots \\ &\dots - \varphi_2 k_5 [y_2(t, \tau) - T_{внеш}^0], \end{aligned} \quad (12)$$

где ψ_i и φ_j – вспомогательные переменные.

В этом случае система сопряженных уравнений и граничные условия имеют вид:

$$\begin{aligned} \frac{d\psi_0(t)}{dt} &= 0, \quad \frac{d\psi_1(t)}{dt} = (k_1 + k_2)\psi_1(t) - k_5\varphi_1(t, 0), \\ \frac{d\psi_2(t)}{dt} &= k_3\psi_2(t) - k_5\varphi_2(t, 0), \end{aligned} \quad (13)$$

$$\psi_0(T) = -c, \quad \psi_1(T) = -2(x_1(T) - T_{зад}^0), \quad \psi_2(T) = -0.$$

$$\begin{aligned} \frac{\partial \varphi_1}{\partial t} + k_4 \frac{\partial \varphi_1}{\partial \theta} &= k_5\varphi_1; \quad \frac{\partial \varphi_2}{\partial t} + k_4 \frac{\partial \varphi_2}{\partial \theta} = k_5\varphi_2, \\ \varphi_1(t, \tau) &= \frac{k_3}{k_4} \psi_2(t); \quad \varphi_2(t, \tau) = \frac{k_2}{k_u} \psi_1(t), \\ \varphi_1(T, \theta) &= 0; \quad \varphi_2(T, \theta) = 0; \quad t \in [0, T]; \quad \theta \in [0, \tau]. \end{aligned} \quad (14)$$

Так как оптимальное управление должно обеспечивать максимум гамильтониана, следовательно

$$u_{opt}(t) = \begin{cases} 0, & \text{когда } \frac{k_u}{2c} \psi_2 < 0 \\ \frac{k_u}{2c}, & \text{когда } 0 < \frac{k_u}{2c} \psi_2 < u_{\max} \\ u_{\max}, & \text{когда } \frac{k_u}{2c} \psi_2 > u_{\max} \end{cases} \quad (15)$$

Для определения траектории ψ_2 необходимо, используя формулу оптимального управления (15), решить совместно вспомогательные уравнения (13), (14) и уравнения (9), (10). Совместное решение указанных уравнений является решением краевой задачи. В общем случае решение таких задач требует применения методов вычислительной математики [5].

В данном случае можно предложить следующую итерационную процедуру:

Шаг 1. Задать некоторое начальное значение $x_1(T)$ и вычислить $\psi_1(T) = 2 - 2(x_1(T) - T_0^{зад})$.

Шаг 2. Проинтегрировать сопряженную систему уравнений (13) в обратном времени от $t=T$ до $t=0$ и определить $\psi_2(t)$ и $\psi_1(t)$.

Шаг 3. Из (15) определить $u^{nm}(t)$.

Шаг 4. Подставив найденное значение $u^{nm}(t)$ в (19) и проинтегрировав данную систему от $t=0$ до $t=T$, определить новое значение $x_1(T)$.

Шаг 5. Если найденное значение $x_1(T)$ отличается от заданного первоначально, переходим к шагу 1. Если же они близки (с заданной степенью точности), то найденное управление является оптимальным.

Используя метод фиктивной координаты, описанный выше, системы с нестационарным запаздыванием, заданные дифференциально-разностным уравнением

$$\begin{aligned} \frac{d\mathbf{x}(t)}{dt} &= \mathbf{f}(\mathbf{x}(t), \mathbf{x}(t - \tau_1(t)), \mathbf{x}(t - \tau_2(t)), \dots \\ &\dots, \mathbf{x}(t - \tau_m(t))\mathbf{u}(t)) \end{aligned} \quad (16)$$

можно также привести к виду

$$\begin{aligned} \frac{d\mathbf{x}(t)}{dt} &= \mathbf{f}(\mathbf{x}(t), \mathbf{z}_1(t), \mathbf{z}_2(t), \dots, \mathbf{z}_m(t), \mathbf{u}(t), t), \\ \frac{d\mathbf{y}_j(t, \theta_j)}{dt} + g_j(t, \theta_j) \frac{d\mathbf{y}_j(t, \theta_j)}{d\theta_j} &= h_j(\mathbf{y}_j(t, \theta_j), \mathbf{w}_j(t, \theta_j), t, \theta_j) \end{aligned} \quad (17)$$

при $j = 1, m; t \in [0, T]; \theta_j \in [0, \tau_j]$ и начальными и граничными условиями

$$\begin{aligned} \mathbf{x}(0) &= \mathbf{x}_0(0), \\ \mathbf{y}_j(0, \theta_j) &= \mathbf{y}_{j0}(\theta_j) \text{ при } \theta_j \in [0, \tau_j], \\ \mathbf{y}_j(t, 0) &= \mathbf{x}(t) \text{ при } t \in [0, T], \end{aligned} \quad (18)$$

выбрав соответствующим образом функции $g_j(t, \theta)$ и $h_j(t, \theta)$

$$\begin{aligned} g_j(t, \theta_j(t)) &= \frac{\tau_j(t) - \theta_j(t) \frac{d\tau_j(t)}{dt}}{\tau_j(t)}, \\ h_j(t, \theta_j(t)) &= 0. \end{aligned} \quad (19)$$

Эквивалентность соотношений (16), (17) и (18), (19) следует из условий

$$\mathbf{y}_j(t, \theta_j) = \mathbf{x}(t - \theta_j \tau_j(t)), j = 1, m.$$

4. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Рассмотрена задача оптимизации энергозатрат объектов с последствием, математическая модель которых может быть представлена системой дифференциальных уравнений с запаздывающим аргументом (последствием). Предложенный в статье метод фиктивной переменной позволяет применить стандартный аппарат методов оптимизации к данной системе с последствием, заменив последнюю эквивалентной системой обыкновенных дифференциальных уравнений и уравнения в частных производных, в которых отсутствует чистое запаздывание. Практическое использование метода фиктивной переменной показано на примере решения задачи оптимизации энергозатрат автономной системы отопления, для которой синтезирован оптимальный алгоритм управления. Метод обобщен на системы с нестационарным

запаздыванием и системы с несколькими процессами, обладающими последействием.

Литература

1. Эльсгольц Л.Э. Дифференциальные уравнения и вариационное исчисление. М.: Наука, 1969. – 732с.
2. Kostyuk V.I., Stenin A.A., Ignatenko V.N.. Fuel optimal control of systems with delay . «System Science», Poland, v.3, №2, 1977, p.159 -169.
3. Стенин А.А. Оптимальное по расходу топлива управление системами второго порядка с

последействием при фиксированном времени перехода. Сб. Вестник КПИ, серия «Техническая кибернетика». Вып.1, 1977, с. 11-13.

4. Чаки Ф. Современная теория управления. М.: Мир, 1975.– 820 с.

5. Фельдман Л.П., Петренко А.І., Дмитрієва О.А. Чисельні методи в інформатиці. К.: Видавнича група ВНУ, 2006. – 480 с.

6. Атанс М., Фалб П. Оптимальное управление. М.: Машиностроение, 1968. - 764 с.

ENERGY OPTIMIZATION IN DYNAMIC OBJECTS WITH DELAY

Alexandr STENIN Oleg LISOVYCHENKO Victor PASKO Maria SOLDATOVA

Department of Technical Cybernetics NTU "KPI" - Kiev, Ukraine

e-mail: olisov@tk.kpi.ua, alexander.stenin@yandex.ua

Abstract: The problem of optimizing energy consumption in objects, mathematical model which can be represented by a system of differential equations with aftereffect. The method dummy variable that allows to reduce the initial system with aftereffect to the system of ordinary differential equations and the transfer equation, which applies well-known optimization methods. The practical use of the dummy variable method shown in the example of solving the optimal control problem of an autonomous heating system of a private house. The method is generalized to systems with time-varying delay and system with multiple processes with aftereffect.

Keywords: dynamic object with delay, method dummy variable, the maximum principle, minimization of energy consumption.

ФОРМАЛИЗАЦИЯ ПРОЦЕССА АВТОМАТИЗИРОВАННОГО СИНТЕЗА РОБОТИЗИРОВАННЫХ МЕХАНОСБОРОЧНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ НА ИЗВЕСТНОМ ТЕХНИЧЕСКОМ БАЗИСЕ ГИБКИХ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ЯЧЕЕК

Валерий КИРИЛОВИЧ

кафедра “Автоматизированное управление технологическими процессами и компьютерных технологий”,
Житомирский государственный технологический университет – Житомир, Украина
e-mail: kiril_va@yahoo.com

Аннотация. Процесс автоматизированного синтеза роботизированных механосборочных технологий (АС РМСТ) представлен как реализация трехуровневой стратегии принятия системных технологических решений с декомпозицией общей задачи синтеза на составляющие. Раскрытие сущности решаемых на функциональном, параметрическом и критериальном уровнях задач стратегии позволило формально их описать и сделать пригодными для автоматизированной реализации. Основой вычислительных процедур является функция АС (ФАС), которая воспроизводит процесс АС РМСТ и используется при решении конечного множества содержательных задач каждого из уровней предложенной стратегии АС, создает основу для единого представления и реализации вычислительных процедур впервые предложенного формализованного описания синтеза РМСТ как системного научно и методически обоснованного процесса с использованием соответствующих критериев и ограничений на каждом уровне.

Ключевые слова: формализация, автоматизированный синтез, процедура, стратегия, роботизированная механосборочная технология

1. ВВЕДЕНИЕ

Современное автоматизированное машино- и приборостроительное производство характеризуется широким использованием промышленных роботов (ПР), обеспечивающих прежде всего его (производства) гибкость. Современные требования рынка требуют именно такого подхода к выпуску объектов производства в условиях частой смены заказов, величин партий выпускаемых изделий и быстрой переналаживаемости производственных мощностей. Указанными возможностями обладают ПР Международная федерация робототехники анонсирует о постоянном ежегодном увеличении выпуска и внедрения ПР в различных сферах производств [19].

Проблема современного серийного производства изделий машино- и приборостроения состоит в том, что, как показывает практика [1, 2, 3, 4, 5, 8, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 20, 21], единого научного подхода к проектированию гибких производственных ячеек (ГПЯ) как элементарных технологических структур гибких производственных систем и

синтеза роботизированных механосборочных технологий (РМСТ) на ГПЯ на сегодня не существует. Имеющиеся достаточно важные практические разработки и научные исследования отдельных составляющих синтеза РМСТ характеризуются неоднозначностью, альтернативностью, фрагментарностью в части их использования при комплексном подходе к изучению указанной проблемы как таковой.

Первым и необходимым этапом АС РМСТ есть формализация процесса АС, создающая основу для комплексного анализа структурных составляющих ГВЯ, их учет и взаимную интеграцию при реализации стратегии.

2. ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

Синтез РМСТ означает часть процесса проектирования ГПЯ при известном техническом базисе (ИТБ), когда известны, т.е. выбраны на предыдущих этапах проектирования ГПЯ единицы основного и вспомогательного технологического оборудования, выбрана технологическая оснастка и известен маршрут технологического воздействия на объекты

производства, какие для ПР есть объектами манипулирования (ОМ).

Ранее предложена трехуровневая стратегия АС РМСТ [11] предполагает решение конечного множества задач синтеза на каждом из трех уровней: функциональном (f -уровень), параметрическом (p -уровень) и критериальном (c -уровень). Содержательно данные задачи названы условиями функциональной, параметрической и критериальной реализуемости (соответственно УФР, УПР и УКР). Математически при изготовлении d -го изделия их g -ой группы все задачи решаются с использованием так называемой функции автоматизированного синтеза (ФАС) $lv\varphi^{dg}$

Первым и необходимым этапом АС РМСТ есть формализация процесса АС, создающая основу для комплексного анализа структурных составляющих ГВЯ, их учета и взаимную интеграцию при алгоритмической и программной реализации стратегии АС РМСТ.

3. ИЗЛОЖЕНИЕ ОСНОВНОГО МАТЕРИАЛА

С учетом принятой стратегии АС РМСТ и содержательной сущности решаемых при этом задач [7, 9, 10, 11] процесс АС РМСТ изготовления dg -го изделия можно представить как упорядоченное множество отдельных процедур АС lvP_s^{dg} , содержательно являющихся определением соответствующих условий решаемости, выполняемых на множестве соответствующих уровневых показателей lvP_t :

$$\begin{aligned} P_s^{dg} &= \left\langle lvP_t^{P_s} P_s^{dg} \mid lv = \{f, p, c\}; \right. \\ lvP_t &= \left(lvP_{i_{P_t}} \mid i_{P_t} = \overline{1, lv n_{P_t}} \right); \\ lv i_{P_s} &= \overline{1, lv n_{P_s}} = \\ &= \left({}^f P_s^{dg} \mid {}^f i_{P_s} = \overline{1, {}^f n_{P_s}} \right). \end{aligned} \quad (1)$$

Здесь и далее: $\{ \}$ – множество, из которого может быть выбран только один из присутствующих в данных скобках элементов; $=<$ – символ строгого следования (строгий порядок).

В этом случае процесс синтеза может быть представлен в виде упорядоченного множества задач, решаемых на соответствующем уровне. В общем случае действие решаемой процедуры

$lvDp^{dg}$ на определенном уровне lv означает превращение исходных данных рассматриваемого уровня $lvIn^{dg}$ в некоторое системное технологическое решение (СТР), т.е. $lvOu^{dg}$:

$$lvDp^{dg} : lvIn^{dg} \xrightarrow{\begin{matrix} \uparrow \\ \uparrow \\ \uparrow \\ \uparrow \\ \uparrow \end{matrix}} lvOu^{dg} \mid lv \in \{f, p, c\}$$

$\begin{matrix} \uparrow & \uparrow & \uparrow & \uparrow & \uparrow \\ lvL^{dg} & & lvZ^{dg} & & lvF^{dg} \\ \uparrow & \uparrow & \uparrow & \uparrow & \uparrow \\ lvM^{dg} & & & & lvV^{dg} \end{matrix}$

В развернутом виде с учетом выражения (2) выражение (1) можно представить следующим образом:

$$P_s^{dg} = \left\langle {}^{lv} P_s^{dg} \mid {}^{lv} i_{P_s} = \overline{1, {}^{lv} n_{P_s}}; \right. \\ lv \in \{f, p, c\}; {}^{lv} P_t = \left({}^{lv} P_{i_{P_t}} \mid i_{P_t} = \overline{1, {}^{lv} n_{P_t}} \right) \left. \right\rangle \Leftrightarrow \quad (3)$$

$$\Leftrightarrow \left\langle \left(\left(\left(\left(\left({}^f P_s^{dg} \mid {}^f i_{P_s} = \overline{1, {}^f n_{P_s}} \right) \right) \right) \right) \right) \right) \rightarrow {}^f P_t^{Ou^{dg}} \right\rangle = <$$

$$\left\langle \left(\left(\left(\left(\left({}^p P_s^{dg} \mid {}^p i_{P_s} = \overline{1, {}^p n_{P_s}} \right) \right) \right) \right) \right) \right) \rightarrow {}^p P_t^{Ou^{dg}} \right\rangle = <$$

$$\left\langle \left(\left(\left(\left(\left({}^c P_s^{dg} \mid {}^c i_{P_s} = \overline{1, {}^c n_{P_s}} \right) \right) \right) \right) \right) \right) \rightarrow {}^c P_t^{Ou^{dg}} \right\rangle.$$

Из выражения (3) следует, что исходной информацией для решения задач p -уровня есть непосредственно информация ${}^p In^{dg}$, другие составляющие p -уровня и СТР ${}^f P_t^{Ou^{dg}}$ предыдущего f -уровня, полученные по

показателям ${}_f P_i$, а исходными данными для решения задач c -уровня являются ${}_c In^{dg}$ и СТР ${}_{lv} P_i Ou^{dg}$ предыдущего p -уровня, полученные по показателям ${}_p P_i$ p -уровня.

Таким образом, каждая ${}_{lv} P_i$ -ая процедура синтеза lv -го уровня ${}_{lv} P_i S^{dg}$ формирует множество СТР соответствующего уровня ${}_{lv} P_i Ou^{dg}$, синтезированных по соответствующим показателям ${}_i P_i$ lv -го уровня. Во избежание рассмотрения невозможных вариантов реализации СТР на lv -уровне выполняются

соответствующие решаемые процедуры ${}_{lv} Dp^{dg}$, посредством которых с учетом ограничений ${}_{lv} L^{dg}$, ресурсов ${}_{lv} Z^{dg}$, целей ${}_{lv} V^{dg}$, моделей ${}_{lv} M^{dg}$ и критериев ${}_{lv} F^{dg}$ выполняется анализ и оцениваются соответствующие СТР.

С учетом рис. 1 и выражения (3) общую схему связей между уровневными процедурами синтеза ${}_{lv} P_i S^{dg}$ с соответствующими корректирующими воздействиями можно представить рис. 2.

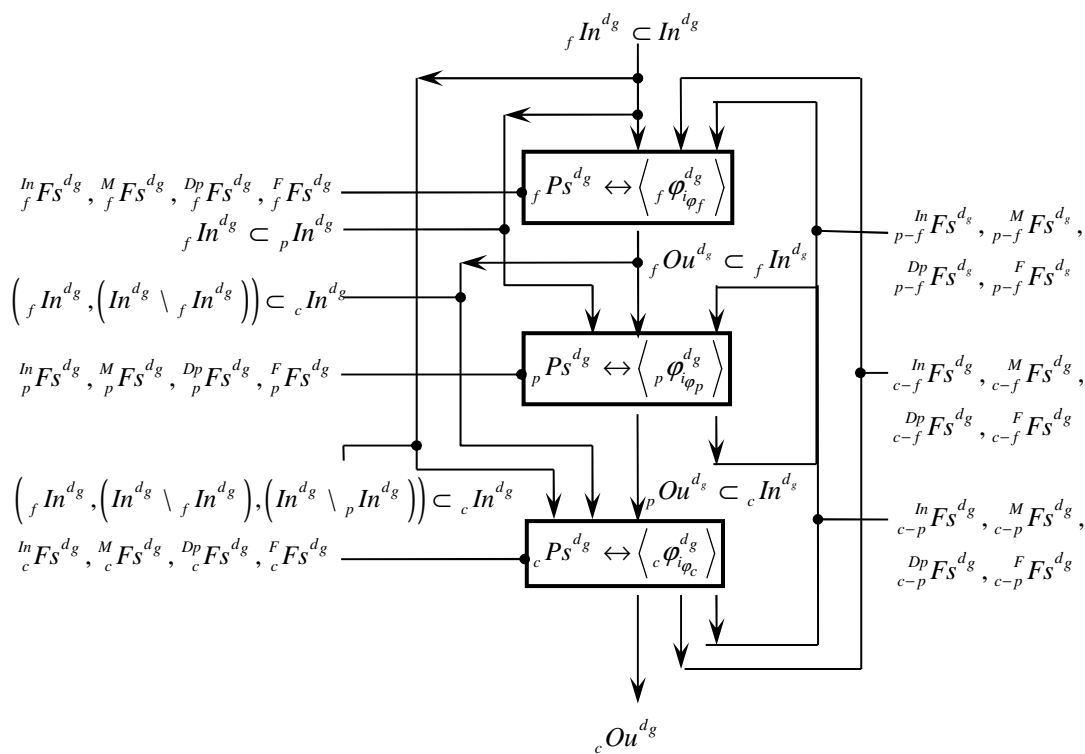


рис.1 Условное изображение корректирующих влияний FS^{dg} при АС РМСТ на уровнях f, p, c и между уровнями $(p - f), (c - f), (c - p)$

В свою очередь каждая уровневая процедура синтеза ${}_{lv} P_i S^{dg}$ состоит из конечного множества проектных процедур синтеза соответствующего уровня, каждая из которых

реализуется с учетом соответствующих уровневых показателей-составляющих синтезированных технологий $\left({}_{lv} P_i RMA_{lv}^{dg} \right)$.

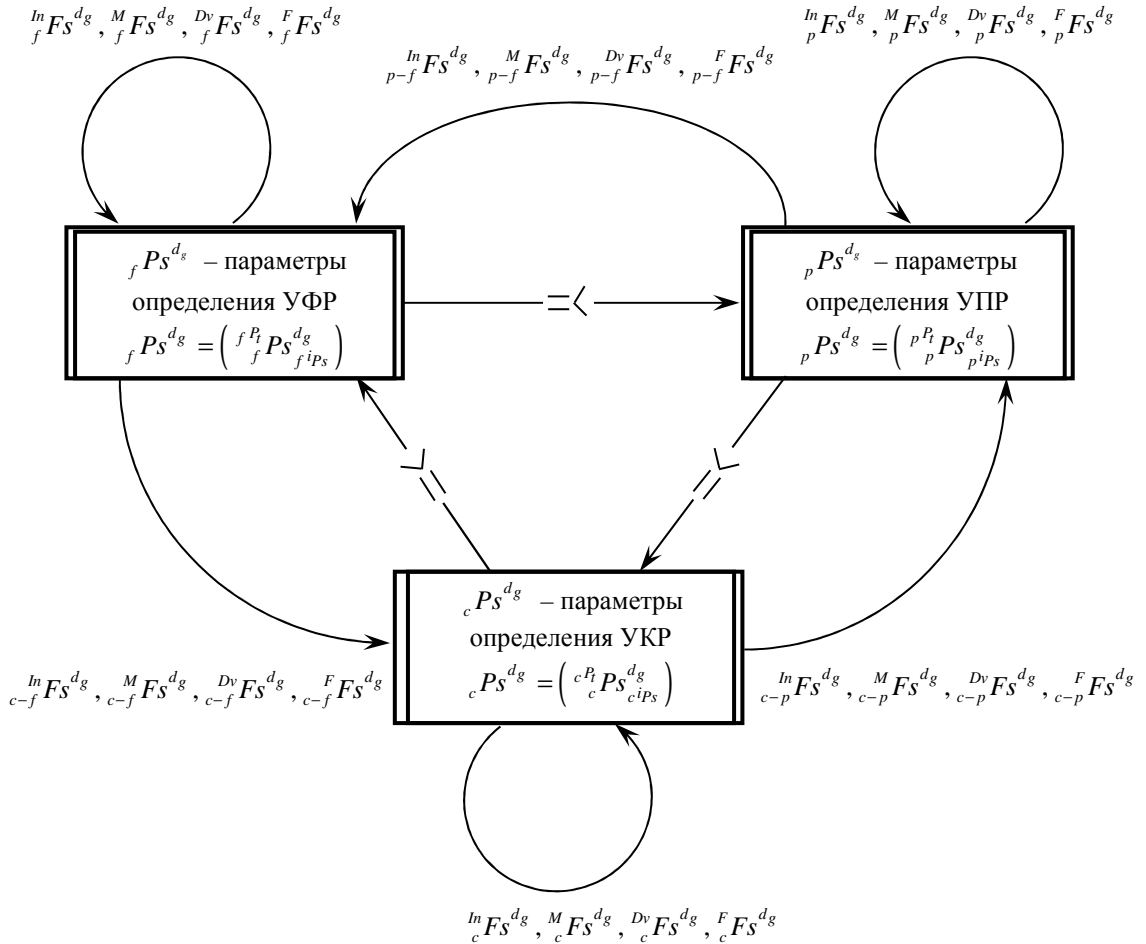


рис. 2 Общая схема связей между процедурами ${}_{lv}PS^{dg}$ разных уровней и корректирующих влияний FS^{dg}

По результатам выполнения процедур синтеза каждого уровня с учетом анализируемых на каждом уровне показателей РМСТ ${}_{lv}P_t$, $lv = \{f, p, c\}$, которые в дальнейшем определяют конечное множество синтезированных РМСТ, генерируются их (РМСТ) составляющие $\left({}_{lv}P_t^{dg} \right)$ соответствующих уровней:

$$\left. \begin{aligned} {}^f P_t O_u^{dg} &= \left({}^f P_t^{dg} \mid {}^f i_t = 1, {}^f n_t^{dg} \right) \\ {}^p P_t O_u^{dg} &= \left({}^p P_t^{dg} \mid {}^p i_t = 1, {}^p n_t^{dg} \right) \\ {}^c P_t O_u^{dg} &= \left({}^c P_t^{dg} \mid {}^c i_t = 1, {}^c n_t^{dg} \right) \end{aligned} \right\} \quad (4)$$

Их междууровневое согласование и объединение позволяет синтезировать конечное множество РМСТ $\left({}_{RMA} T_T^{dg} \mid i_T = 1, n_T \right)$, из которого

определенным параметрам соответствующие составляющие РМСТ, являющиеся основой сгенерированного множества РМСТ. Конечный выбор оптимальной РМСТ осуществляется по одному из локальных или глобальных критериев [6].

Литература

1. Гнучкі комп'ютерно-інтегровані системи: планування, моделювання, верифікація, керування / **Л.С. Ямпольський, П.П. Мельничук, К.Б. Остапченко, О.І. Лісовиченко.** – Житомир: ЖДТУ, 2010. – 786 с.
2. **Кирилович В.А.** Автоматизований синтез компонувальних структур механообробних гнучких виробничих комірок / В.А. Кирилович, О.В. Підтиченко, Б.Б.Самотокін// Науковий журнал “Технологічні комплекси”. – Луцьк: ЛНТУ, 2012. – №1,2(5,6). – С. 36–49.
3. **Кирилович В.А.** Аксиоматичний підхід до сутності роботизованих механоскладальних технологій та їх синтезу / Кирилович В.А // Сучасні технології в машинобудуванні. – НТУ “ХПІ”. – 2013. – Вип. 8. – С. 263 – 271.
4. **Кирилович В.А.** Геометричний аспект траєкторних задач роботизованих механоскладальних технологій / В.А. Кирилович, І.В. Сачук// Збірник наукових праць Кіровоградського державного технологічного університету / Техніка в сільськогосподарському виробництві, галузеве машинобудування, автоматизація. – Вип.12. – Кіровоград: КДТУ, 2003. – С. 210–214.
5. **Кирилович В.А.** Принципи автоматизованого синтезу роботизованих механоскладальних технологій на відомому технічному базисі гнучких виробничих комірок / В.А. Кирилович // Вісник Житомирського державного технологічного університету / Технічні науки. – 2011. – №3(58). – С. 33 – 47.
6. **Кирилович В.А.** Система техніко-економічних критеріїв як основа умов критеріальної реалізованості при автоматизованому синтезі роботизованих механоскладальних технологій / В.А. Кирилович // Науковий журнал “Енергетика і автоматика” / Технічні науки. – К.: НУБР і П України. – 2015. – №3(25). – С. 5 – 18.
7. **Кирилович В.А.** Системний підхід до роботизованих механоскладальних технологій як об'єкта синтезу / В.А. Кирилович // Сборник трудов XIX международной научно-технической конференции “Машиностроение и техносфера XXI века”. – 2012. – Донецк. – Т.2. – С. 38 – 39.
8. **Кирилович В.А.** Теоретико-множинна інтерпретація проектування роботизованих технологій в гнучких виробничих комірках // Вісник ЖДТУ. Технічні науки. – Житомир, 2010. – №2(53). – Т. 1. – С. 35 – 43.
9. **Кирилович В.А.** Умови параметричної реалізованості при автоматизованому синтезі роботизованих механоскладальних технологій / В.А. Кирилович // Науковий журнал “Енергетика і автоматика” / Технічні науки. – К.: НУБР і П України. – 2015. – №3(25). – С. 121 – 130.
10. **Кирилович В.А.** Умови функціональної реалізованості роботизованих механообробних технологій в гнучких виробничих комірках / В.А. Кирилович // Технологічні комплекси – Луцьк. – 2010. – № 1. – С. 136 – 145.
11. **Кирилович В.** Формальна стратегія автоматизованого синтезу роботизованих механоскладальних технологій // Технічні вісті. Науковий часопис – Львів – 2015 / 1(41), 2(42) –С. 98–100.
12. **Корендясев А.И.** Теоретические основы робототехники / Корендясев А.И., Саламандра Б.Л., Тывес С.М.; отв.ред. Каплунов С.М.; Ин-т машиноведения им. А.А. Благоднарова РАН. – М.: Наука, 2006 (В. 2-х кн.).
13. **Лищинский Л.Ю.** Структурный и параметрический синтез гибких производственных систем / Лищинский Л.Ю. – М.: Машиностроение, 1990. – 312 с.
14. **Пуховский Е.С.** Проектирование станочных систем многоименного производства / Пуховский Е.С., Кукарин А.Б. – К.: Тэхніка, 1997. – 221 с.
15. **Своятыцкий Д.А.** Моделирование процессов сборки в робототехнических комплексах / Своятыцкий Д. А. – Мн.: Наука и техника, 1983. – 93 с
16. **CaihuaXiong** Fundamentals of Robotic Grasping and Fixturing / CaihuaXiong, Ham Ding, YoulungXiong. – Word Scientific Publishing Co. Ptc. Ltd., 2007. – 218 p.
17. **Fahimi F.** Autonomous Robots: Modeling, Path Planning, and Control / Fahimi F. – New York: Springer, 2009. – 348 p/
18. **Gibilisco S.** Concise Encyclopedia of Robotics / Stan Gibilisco – McGraw-Hill, 2003. – 383 p.
19. **International Federation of Robotics** [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://www.ifr.org> [22.10.2015]
20. **Siciliano B.** Handbook of robotics. / B. Siciliano, O. Khatib. – Berlin: Springer-Verlag, 2008. – 1628 p.
21. **Siciliano B.** Robotics: Modelling, Planning and Control / B. Siciliano, L. Sciavicco, L. Villani, G. Oriolo. – London: Springer, 2009. – 632 p.

FORMALIZING OF THE PROCESS OF AUTOMATED SYNTHESIS OF ROBOTIC MECHANICAL ASSEMBLY TECHNOLOGIES ON KNOWN TECHNICAL BASIS OF FLEXIBLE MANUFACTURING CELLS

Valerii KYRYLOVYCH

Technological Processes Automated Control and Computer Technologies Department, Zhytomyr State Technological
University, Ukraine
e-mail: kiril_va@yahoo.com

Abstract: The process of the automated synthesis of the robotic mechanical assembly technologies (AS RMAT) is presented as the realization of the three-level system strategy of the decision-making process of decomposition of the synthesis general problem on the components. Disclosure of solved of the functional, parametric and criterion levels tasks of the strategy made it possible to formally describe them and made suitable for automated implementation. The basis of computational procedures is a function of the AS (FAS), which reproduces the process of the AS RMST and used for solving of the ultimate set meaningful objectives of each of the proposed AS strategy. This creates the basis for a single presentation and implementation of the computational procedures of the for first time proposed formalized description of the RMST synthesis as the system of scientifically and methodologically sound of the process using appropriate criteria and restrictions for each level.

Keywords: formalization, automated synthesis procedure, strategy, robot mechanical assembly technology

COLOR CHARACTERIZATION BY MEANS OF GENETIC PROGRAMMING

Oleksandr YAKUSHEV Artem VOLOKYTA

National technical university of Ukraine "Kyiv polytechnic institute", Ukraine, Kyiv
e-mail: artem.volokita@kpi.ua

Abstract: The paper describes the symbolic regression, performed by genetic programming, as a tool to build characterization models as functions on the input variables. Genetic programming has shown to be a success in solving complex topological problems in the past. So the point of the research is to determine if topologically complicated functions can be efficient in modeling printer behavior with respect to color reproduction.

Keywords: color characterization, genetic programming.

INTRODUCTION

Color characterization one of many important and non-trivial tasks posed to color management today. It is a multi-variable optimization problem which has no exact analytic method of solving. Many algorithms, simple and complex, exist that solve this problem to some extent, with a certain precision, such as linear regression. These methods offer a straightforward and computationally easy way to perform color characterization. Often the accuracy they provide is enough to build a sufficiently correct ICC profile for the given device.

PROBLEM OVERVIEW

Color is the visual perceptual property of light that is assigned by human into different categories, which has common names like *red*, *green*, *blue* and others. The set of these categories is continuous and is called the *visible spectrum*. In absolute values, visible spectrum ranges between 390 and 700 nanometers. All the waves of light, that has a wavelength inside this range, produce a different response in human brain. This response is what we usually call a "color" [1].

We also use the word *color* to describe the property of the surface that reflects only certain wavelengths when being lit with unpolarized light [2].

There are numerous factors that influence human's color perception. First of them are viewing conditions. The source of light plays a major role in final color recognition, as the natural sunlight contains an equal proportion of all wavelength, but artificial sources may be skewed towards some colors. Similarly, the viewing environment (background) is meaningful for color perception.

According to the viewing environment, visual system can treat and alter the image in different ways. Finally, when we talk about perceiving colors of the human produced images, the viewing surface affect the color recognition.

COLOR REPRODUCTION AND COLOR CHARACTERIZATION

By color reproduction we mean presenting the colors of the original (or an object) on paper, a display, a projector wall or any other media. There are two methods of assessing the fidelity of the reproduction: physical and psychological. Physical fidelity is evaluated by comparing the spectral characteristics of the reproduced color with the color of the original. Psychological fidelity is measured subjectively by human observes as a difference between sensations when examining the origin and the replicated image [3].

Since no direct unification is possible inside one type of media (let alone cross-media unification) indirect model was created. International Color Consortium (ICC) was formed in 1993, and its purpose was to establish an open, vendor-free system for color management, which would allow to consolidate all color devices into a single workflow [4]. This is achieved by using ICC profiles - special files that define a mapping between device's operating color space (also referred as gamut) and a unique reference color space called profile connection space. Thus, all the devices should have their own ICC profile to allow the transformation between its own space and PCS.

The purpose of color characterization is creating an ICC profile for the device which allows it to reproduce color with a certain fidelity. From mathematical standpoint, characterization is a

problem of multi-variable optimization. Input variables of the problem are the colors in reference color space (either RGB or CMYK) and the output variables are the color values measured on the actual reproduced image (in XYZ or LAB color space) [5].

METHODS OVERVIEW

Symbolic regression is an approach to function discovery which enables modeling and analyzing multi-variable data sets. Symbolic regression is similar to conventional regression algorithms; but its main difference is that it seeks to discover the symbolic expressions both quantitatively and topologically. Symbolic regression can be used when the domain knowledge of the sought-for model is limited. In conventional regression algorithms, it is the task of the researcher to guess the correct form of the model and organize the data accordingly. Symbolic regression's ability to search for model topology does it for the researcher [6]. There are a few methodologies through which the symbolic regression can be implemented, genetic programming being one of them.

Genetic programming (GP) is an evolutionary metaheuristic algorithm-based methodology to discover computer programs that perform user-defined tasks (and their output conforms to the predefined expectations). Genetic programming, same as other genetic algorithms, was inspired by biological evolution. It utilizes many of the terms related to evolution, such as generation, population, fitness, mutation, reproduction and some others.

Genetic programming relies on the principle of evolving programs until they are fit enough to cope with the task presented to them. Program is used here in a broad context, it doesn't have to be a computer program ready to be compiled, but rather some tree-like data structure that can be interpreted according to the domain.

When genetic programming is applied to solving the symbolic regression problems, symbolic expressions become the individuals in the population that genetically evolve, mutate and reproduce themselves to achieve the global maximum in the search space. Terminal symbols become input variables, terminal operators - functions that the researcher suspects might be present in the sought dependency. Fitness functions is usually computed as

a domain-specific difference between a reference value and the predicted value. System parameters are set to default as specified in [7], and the termination of experiment is performed manually.

EXPERIMENT

Primary tool for doing genetic algorithms and genetic programming was Java Evolutionary Computation Toolkit (ECJ). ECJ is research framework, written in Java, that supports a variety of evolutionary computation techniques, such as genetic algorithms, genetic programming, particle swarm optimization differential evolution and some others. ECJ is a free software, created by Sean Luke and licensed under the Academic Free License [8].

ECJ provided us with enough facilities to perform genetic programming experiments for our research problem. It has a very clean and extendable object-oriented infrastructure, which allows to modify behavior of every step of the evolutionary run, be it: individual constructors (breeders), evaluators (fitness assessors), mutators and recombinators, selection strategies etc. Also it has a good support for parallel execution of the run, which allows leveraging all available cores on the CPU. This fact saved a lot of time during the experiment, as GP scales really well on multiple cores, so it resulted in nearly four times increased speed on the single computer.

The usual method of dealing with overfitting (or rather discovering overfitting when it is present) is to use separate sets of data for training and assessment of algorithm efficiency. This is called cross-validation. In our experiment, we split the available (measured data) evenly into two subsets. Every odd entry in the dataset went to the training dataset, and even lines made up the test data. Next, only training data was used to actually perform GP run. After the result was obtained, it was test against the test dataset. The result was considered robust if the average error of the model on test data was not largely bigger than for the training data. Most of the time it was bigger anyway (because the algorithm never was the test data), but this surficial check allowed us to ensure that the model is not skewed too much towards the training dataset [9].

MEASUREMENTS

The data for the experiment was obtained from two measurements. We used X-Rite Eye-one iO automatic chart reading system to measure two color sample charts available to us. The first chart was printed on the uncoated wood-free paper (we will refer to measurements from it as *data 1*), and the second one was on processed wood paper (*data 2*).

DEVELOPMENT

We started with discovering a model for L variable for the data 1 set. All four variables were used, ephemeral random constants, as well as Add, Sub and Mul routines. To compare our results to some baseline, we performed a linear regression for the data with first-order variables as parameters.

$$L = 3.63712 + 76.2489 C - 0.335748 C^2 + 22.0462 K - 0.393011 C K - 0.0791679 K^2 + 33.6198 M - 0.516515 C M - 0.378932 K M + 115.109 Y - 0.301162 C Y - 0.597081 K Y - 0.264899 M Y + 0.041771 Y^2$$

After first few unsuccessful runs, we decided to change the strategy. The most obvious and the simplest change was to add an a constant to the result. Ephemeral random constants start at the range -1..+1, so it takes a long time for them to evolve into a large number by just applying operations. So the decision was made to calculate the average of all L values for that data set, and at it as a constant term to our model. The average of L equals 52.7, that was the value we added to the model during the second experiment.

The second experiment was more successful in the relative terms. In 255th generation an individual was discovered who's absolute error was equal 8.9. Model managed to hit 162 times out of 468 (35%). This was still two times more than linear regression could provide, but at least we got some progress. The best individual had the following form:

$$L = 86.0083 - 3.57606 C - 0.000219863 C^2 - 4.5131 M + 0.0113022 C M + 0.00391592 M^2 + 0.000101162 C M^2 - 0.0000974074 M^3 - 0.845498 Y + 0.00423407 C Y + 0.00423407 M Y + 0.0000101162 M^2 Y$$

Even though this individual is not a good model for L value, we still can see the trend - individual first-order variables are what contributes to L value the most, while higher-order terms have very small

LibreOffice Calc was used as an instrument to execute the method of least squares, called LINEST in the program. It resulted in a regression model with average error equal to 4.82. This was set up as a minimal requirement for our experiment to be considered at least viable. If the run was not able to produce a model better than this, it was discarded.

After about an hour of the first run, it became clear that it is impossible to find a model just bruteforcing it with GP. The average difference floated around 21.5 which is much worse than the simplest regression model can offer. The number of hits was 70 out of 468 (15%), which is again a poor result for the model. The best individual at 436th individual looked like this:

coefficients. We also know this from theory, as L in CIELAB resembles the lightness of the image, so it should primarily depend on all of the values combined. This is the domain knowledge that we can pre-apply to our research in order to discover the correct model more quickly (or be able to discover it at all).

So we chose to set up another experiment, to perform simpler regression. We resolved to find a better linear model that least squares method can provide, and we opted to use evolutionary computation and ECJ. But this time we used conventional genetic algorithm which searches the value space for five floating point numbers as our model.

EXPERIMENT WITH GENETIC ALGORITHM

Genetic programming is a subset of genetic algorithms, so basic genetic algorithm has many common characteristics and procedures with GP. The main difference is that genetic algorithms perform a linear, non-topological search. The most common practice is to represent each individual as a set of bits (genes). As any digital bit, gene has two states - 0 and 1. The set of all genes is called a genome. Basically genome is defined as individual length. Genetic

operations (mutation and cross-over) are defined as bit-wise operations on the individuals. According to the algorithm application, discovered individuals may then be interpreted differently, as integer numbers, floating point numbers or sets of orthogonal characteristics [10].

To do a separate methodology run in ECJ we created a new experiment with new classes and a parameters file (included in the appendices). Most of the values in parameters file were defaulted to the basic $[\mu, \lambda]$ evolution strategy (a strategy when in every generation best μ individuals are retained and others are discarded. For the next generation every retained parent produces λ/μ children). We only had to provide our custom problem Java class, and individual's size.

In our case, we encoded an individual as a vector of five 32-bit floating point numbers. These numbers represent four linear coefficients and the constant term. The rest logic in the problem class is essentially identical to the problem file in GP experiment. Similarly, we apply the current individual to all training data and accumulate the absolute difference, finally average it and take as fitness.

Genetic algorithm run executes much faster, so we could afford to allow more generations before terminating the experiment. In the 14013rd population an individual was discovered whose fitness level was 4.54, with 291 hit (62%). This is better than the least squares regression for only first-order terms, which had error 4.82 and 242 hits (51%). Checked against the test data (that wasn't used in the regression), it showed the average error of 4.72 (against 4.92 for LINEST). So the conclusion is that the constructed model is better than LINEST for the same order of terms for both training dataset and test dataset. Here's the discovered individual:

$$L = 90.3679974 - 0.2968453319 C \\ - 0.3540313442 M \\ - 0.0522393889 Y \\ - 0.4123181729 K$$

Obtaining the linear model was a first step. We can now set it as a foundation for our final model to apply full genetic programming methodology. We will try to find if there are more higher-order terms, that can improve the model.

So, we again set up a GP experiment, but this time we used the previously found model as a starting one.

After a lengthy computation, in 6383rd generation ECJ discovered a peculiar term:

$$3.39597 * 10^{-9} C^3 K^2$$

Adding this term to our linear model was able to reduce the average error to 4.12 with 294 hits. When tested against the test dataset to exclude the probability of overfitting, the model showed 4.21 error, so the new term actually relatively improved the accuracy of the model even for the test data! So, after all these manipulations we decided to settle with this model of L value prediction:

$$L = 90.3679974 - 0.2968453319 C \\ - 0.3540313442 M \\ - 0.0522393889 Y \\ - 0.4123181729 K + 3.39597 \\ * 10^{-9} C^3 K^2$$

EXPERIMENT RESULTS

Following two sections provide the results of the experiment for two data sets, compared to the results of least squares approximation.

Variable	Genetic algorithms		Least squares	
	Mean error	Hits	Mean error	Hits
L (train)	4.12	294	4.82	242
A (train)	6.48	220	6.96	212
B (train)	5.83	253	6.92	208
L (test)	4.21	278	4.93	243
A (test)	6.45	225	6.63	215
B (test)	5.97	220	6.69	202

fig.1: Results for data 1

Data 1.

$$L = 90.3679974 - 0.2968453319 \cdot C \\ - 0.3540313442 \cdot M \\ - 0.0522393889 \cdot Y \\ - 0.4123181729 \cdot K + 3.39597 \\ * 10^{-9} * C^3 K^2$$

$$A = 19.078269 - 0.4359440448 \cdot C \\ + 0.5851798098 \cdot M \\ - 0.1550745984 \cdot Y \\ + 0.0114224273 \cdot K + 1.29179 \\ \cdot 10^{-15} * C^7 K$$

$$B = 2.53643252 - 0.3248256922 \cdot C \\ - 0.1519738857 \cdot M \\ + 0.5721418774 \cdot Y \\ - 0.0594179564 \cdot K - 3.72 \\ \cdot 10^{-13} * K^2 * Y^5$$

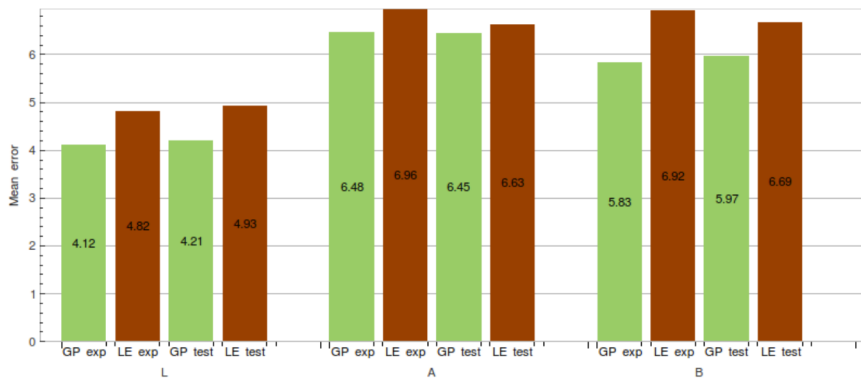


fig.2 Mean error values for data 1

From the table 1 and charts 2 and 3 we can see, that optimization of the model for A was rather insignificant, with regard to both average error and

hits. On the other hand, GP-obtained models for L and B show quite better results than least squares ones.

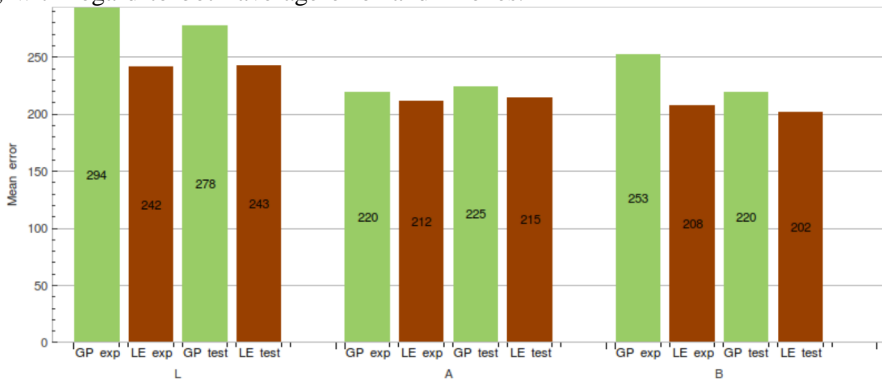


fig.3 Number of hits for data 1

Data 2.

$$\begin{aligned}
 L = & 72.62683101 - 0.1931065408 \cdot C - 0.2393567652 \cdot M - 0.020012318 \cdot Y - 0.2059277574 \cdot K \\
 & - 1.25295 \cdot C^2 - 0.26135 \cdot C^3 - 1.66731 \cdot C^2K - 0.791054 \cdot C^3K + 0.171815 \cdot C^4K \\
 & + 3.39964 \cdot C^2K^2 + 1.64422 \cdot C^3K^2 + 0.333381 \cdot C^4K^2 + 0.741734 \cdot C^2K^3 + 0.476992 \\
 & \cdot C^3K^3 + 0.221387 \cdot C^4K^3 + 0.00673755 \cdot C^5K^3 - 1.45292 \cdot C^2K^4 - 0.684686 \cdot C^3K^4 \\
 & - 0.430663 \cdot C^4K^4 - 0.151713 \cdot C^5K^4 + 0.189861 \cdot C^4K^5 + 0.412386 \cdot C^5K^5 \\
 & + 0.00521583 \cdot C^6K^5 - 0.299561 \cdot C^5K^6 - 0.109259 \cdot C^6K^6 + 0.147701 \cdot C^6K^7
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 A = & 2.074751235 - 0.3185463797 \cdot C \\
 & + 0.435172592 \cdot M \\
 & - 0.051696199 \cdot Y \\
 & - 0.007893883 \cdot K + 4.71 \cdot 10^{-12} \\
 & \cdot C^4 \cdot K^2
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 B = & 14.9156432 - 0.3182934693 \cdot C \\
 & - 0.1152118011 \cdot M \\
 & + 0.3288077414 \cdot Y \setminus \& \& \\
 & - 0.1020113764 \cdot K + 3.21 \\
 & \cdot 10^{-13} \cdot C^4 \cdot K^3
 \end{aligned}$$

Variable	Genetic algorithms		Least squares	
	Mean error	Hits	Mean error	Hits
L (train)	5.02	264	5.48	203
A (train)	5.30	249	5.49	243
B (train)	5.45	235	5.90	227
L (test)	5.22	257	5.90	193
A (test)	5.40	254	5.52	250
B (test)	5.39	240	5.61	222

fig.4. Results for data

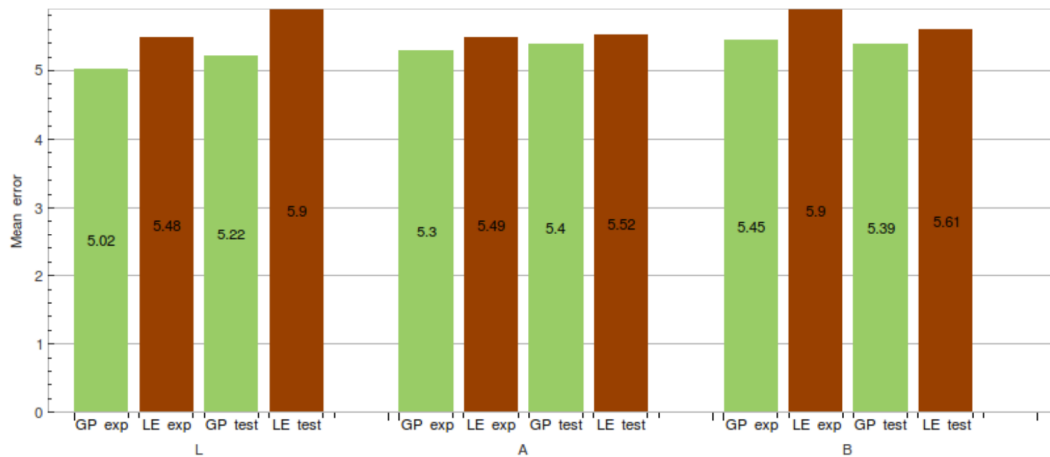


fig.5 Mean error values for data 2

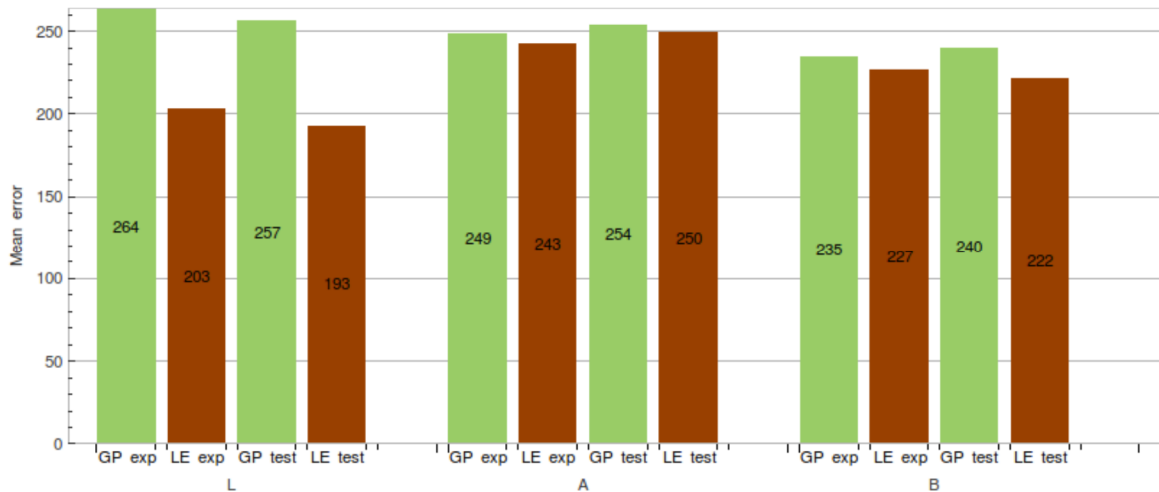


fig.6 Number of hits for data 2

Table 4 and charts 5 and 6 shows us that in data 2 the only significant improvement was achieved for L model, although the genetically discovered formula for it is quite complex. Models for A and B are not as effective, but still slightly better than their LINEST counterparts.

CONCLUSION

Despite the possible advantages in fidelity that evolutionary algorithms might offer, there are several downsides in using them for the given task. First of them is clearly the complexity of the setup. As compared to any office suite that can perform least

squares approximation, or any computing environment, the researcher who decides to use GP needs to have an evolutionary computing framework, a computer algebra system (CAS) that supports symbolic computations to simplify the discovered expressions and enough processor power to run genetic programming with acceptable performance.

The second downside is that evolutionary computing algorithms take significantly more time to execute. Whereas least square approximation happens almost instantly for large datasets on a modern computer, single GP run can take hours depending on the RNG seed. This is another problem because GP is hardly predictable: sometimes it can

discover viable individuals in the first few generations, and sometimes it takes a lot of time for occasional mutation to happen to skew the uniform local maximum generation into the right direction.

And the final problem with GP is that the discovered models can be redundantly complex, being optimized to the noise rather than real trends in data. We learned how to fight this by starting with a GA-obtained linear model and adding complex terms afterwards. But the model for L in data 2 shows that occasionally complex solutions arise.

References

1. **C. Starr, C. A. Evers, and L. Starr.** Biology: Concepts and Applications. Thomson Brooks/Cole, 2006.
2. **D. R. Hilbert.** Color and Color Perception. Center for the Study of Language and Inf, Stanford, CA, USA, 1987.
3. **L. F. Artiushin.** "Color Reproduction" in The Great Soviet Encyclopedia. Soviet Encyclopedia publishing, Moscow, USSR, 1979.
4. International Color Consortium - About ICC. <http://www.color.org/abouticc.xalter>, 2013.
5. **J.-P. Homann.** Digital Color Management - Principles and Strategies for the Standardized Print Production. Springer-Verlag New York Inc., 2008.
6. **K. Vladislavleva.** Symbolic Regression, Function Discovery & more. <http://www.symbolicregression.com>, 2011
7. **J. R. Koza.** Genetic Programming IV: Routine Human-Competitive Machine Intelligence. Springer, New York, NY, USA, 2005.
8. **S. Luke.** The ECJ Owners Manual. <http://cs.gmu.edu/~eclab/projects/ecj/docs/manual/manual.pdf>, 2013.
9. **J. R. Koza, F. H. Bennett, and D. Andre.** Genetic Programming III: Darwinian Invention and Problem Solving. MIT Press, Boston, MA, USA, 1999.
10. **D. B. Fogel.** Evolutionary Computation: Towards a New Philosophy of Machine Intelligence. IEEE Press, New York, NY, USA, 2000.

ОТНОСНО ВЛИЯНИЕТО НА КОЕФИЦИЕНТА НА ВАРИАЦИЯ НА ПОСТЪПВАЩИЯ ПОТОК ВЪРХУ РАБОТАТА НА РАЗКЛОНИТЕЛЕН ВЪЗЕЛ

Лъчезар ЛАЗОВ

катедра „Инженерна логистика“, Технически университет - София, България

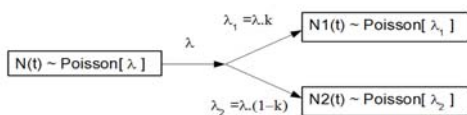
e-mail: llazov@tu-sofia.bg

Резюме: В настоящата работа се разглежда въпроса за влиянието на коефициента на вариация характеризиращ разпределението на входящия поток върху работата на несиметричен двупътен разклонителен възел с полупрекъснат режим на обслужване. Работните параметри на възела са строго детерминирани и парциалната гранична интензивност за отделните направления не зависи от конкретната му техническата реализация. Стохастичният характер на процеса на обслужване се обуславя единствено от входящия поток. За проверка на теоретичните изводи е създаден и симулационен модел на възела с програмата DOSIMIS-3. Чрез симулационно моделиране е определена и границата на приложимост на теорията за масовото обслужване при определяне на капацитета на необходимия буфер пред възела.

Ключови думи: разклонителен възел, коефициент на вариация, симулационно моделиране

1. АНАЛИЗ НА ПРОБЛЕМА И ТЕОРЕТИЧНИ ПРЕДПОСТАВКИ

Разклонителните възли /РВ/ служат за разделяне на един материален поток най-често на два отделни. Схема на разделянето на Пуасонов поток е дадена на фиг. 1. Обикновено валентността на възела е $\langle 1, 2 \rangle$, а заявките могат да бъдат два или повече типа като всеки тип заявки се насочват в определено направление. В случай на обслужване на еднотипни заявки критерия за избор на направление не зависи от входящия поток, а от състоянието на системата след възела, поради което няма да бъде предмет на настоящата работа.



фиг.1. Разделяне на Пуасонов поток.

Общото условие за ергодичност на възел с прекъснат или полупрекъснат режим на обслужване е [Arnold 2007]:

$$\frac{\lambda_1}{\gamma_1} + \frac{\lambda_2}{\gamma_2} \leq 1 \quad (1)$$

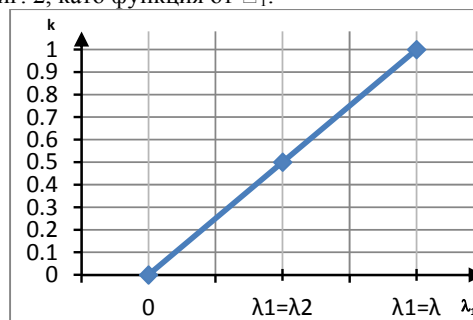
където \square_1 и \square_2 са парциалните гранични интензивности за отделните направления на

разклонителния възел, а \square_s са загубите от превключването на възела в различните направления. Входящият поток с интензивност \square се разделя на два потока с интензивности \square_1 и \square_2 по показаната на фиг. 1 схема.

Ако вероятността за изпълнение на заявка от тип 1, която трябва да бъде насочена към направление 1 е k то вероятността за изпълнение на заявка от тип 2 за второто направление е $1-k$ където:

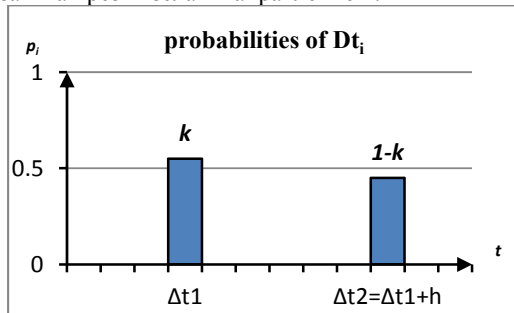
$$k = \frac{\lambda_1}{\lambda} \quad (2)$$

Параметърът на входящия поток k влияе и върху процеса на обслужване на заявки от възела, тъй като той изразява в неявен вид и загубите за превключване обослужени от характера на входящия поток. Той е представен графично на фиг. 2, като функция от \square_1 .



фиг. 2. Графика на параметъра на възела k .

Друг параметър допринасящ за стохастичния характер на обслужването е асиметрията във времето за обслужване на различните направления h , този параметър представлява допълнителното време за обслужване на заявка във второто направление и изразява загубите за превключване, които са обусловени от конкретната техническа реализация. Параметъра на асиметрия h е вътрешен параметър за възела, докато параметъра k е външен параметър за възела. Трябва да се има в предвид, че ако параметъра $k=0$ или $k=1$, то разклонителния възел вече не работи като такъв, а става част от транспортната система. Ако h има нулева стойност процеса на обслужване би трябвало да се разглежда като тактов, тъй като за работата на възела направлението, в което трябва да се насочи заявката не е от значение. Във всички други случаи процеса на обслужване не е тактов и разпределението на времето за обслужване в зависимост от k и h може да се представи с графиката на фиг. 3, където $\square t_1$ и $\square t_2 = \square t_1 + h$ са съответно времето за преминаване на заявка през възела в направление 1 и време за преминаване на заявка през възела в направление 2.



Фиг.3. Хистограма на процеса на обслужване

От фиг. 3 се вижда, че реалният процес на обслужване на асиметричен разклонителен възел не е тактов /D/, а е с общо разпределение /G/. Това показва, че при разглеждането на разклонителния възел от гледна точка на теорията за масово обслужване /ТМО/, изразен чрез нотацията на Кендал използвана за класифициране на системите за масово обслужване, той трябва да се пресмята M/G/1 вместо M/D/1.

Целта на настоящата работа е да провери верността на това предположение и областта, за която то е валидно, тъй като работните параметри на възела $\square t_1$ и $\square t_2$ са константни, зависят изцяло

от техническата реализация на възела, което предполага тактов работен цикъл, за който може да бъде построена конкретна скоростна ($v-t$) диаграма.

Математическо очакване на времето за обслужване на така зададения разклонителен възел може да бъде изчислено по:

$$\bar{t}_b = E(t_b) = \sum_i \Delta t_i \cdot p_i \quad (3)$$

което след преобразуване добива вида:

$$\bar{t}_b = \Delta t_1 + h \cdot (1 - k) \quad (4)$$

За дисперсията на времето на обслужване се получава:

$$D(t_b) = \sum_i (\Delta t_i - E(t_b))^2 \cdot p_i \quad (5)$$

което след преобразуване добива вида:

$$D(t_b) = h^2 \cdot (k - k^2) \quad (6)$$

Следователно коефициентът на вариация добива следният вид:

$$c^2 = \frac{D}{E^2} = \frac{h^2 \cdot (k - k^2)}{(\Delta t_1 + h \cdot (1 - k))^2} \quad (7)$$

За намиране на стойностите на k и h за които дисперсията на времето за обслужване би имала минимална стойност или разкриването на функционална връзка за пример $h(k)$ е необходимо за начало да се използват средствата на математическия анализ и да се търсят частните производни на дисперсията на времето за обслужване спрямо k и h .

$$\frac{dD}{dk} = \frac{d(h^2 \cdot (k - k^2))}{dk} = h^2 - 2 \cdot h^2 \cdot k = 0 \quad (8)$$

$$k_{opt} = 0,5$$

$$\frac{dD}{dh} = \frac{d(h^2 \cdot (k - k^2))}{dh} = 2 \cdot h \cdot (k - k^2) = 0 \quad (9)$$

$$h_{opt} = 0$$

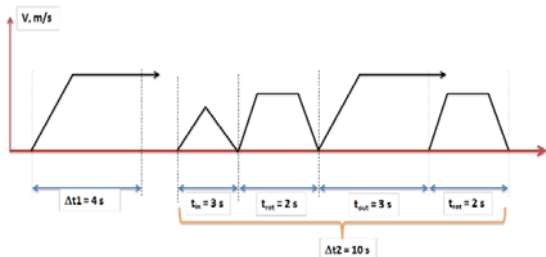
Анализът на уравнение 9 показва, че минимална дисперсия на процеса на обслужване се наблюдава при симетричен разклонителен възел, когато процесът на обслужване е тактов, а дисперсията и коефициента на вариация са нулеви. Трябва да се отбележи, че симетричен разклонителен възел с полупрекъснат режим на обслужване не би могъл да получи смислена техническа реализация, поради което няма да бъде разглеждан. От уравнение 8 се вижда, че

дисперсията има оптимум в $k=0,5$, но втората производна на дисперсията спрямо k е отрицателна, което показва, че това е най-неблагоприятното съчетание на заявките от двата потока понеже дисперсията има максимум.

От уравнения 8 и 9 следва, че математичният анализ не предоставя достатъчно средства и информация за анализ на поведението на разклонителния възел, поради което се налага по-нататъшно изследване със средствата на симулационното моделиране.

2. ПРЕДПОСТАВКИ ПРИ СЪЗДАВАНЕТО НА СИМУЛАЦИОННИЯ МОДЕЛ НА РАЗКЛОНИТЕЛЕН ВЪЗЕЛ

За целите на симулационното изследване се разглежда несиметричен двупътен разклонителен възел с полупрекъснат режим на обслужване. Характерното за възела е, че в непрекъснатото направление товарите преминават през възела, без да спират върху разклонителния елемент, а в прекъснатото направление товарите спират върху възела и се придвижват до съответното направление заедно с разклонителния елемент. Именно от тук произтича асиметрията в работния цикъл на РВ. Времето за връщане на разклонителния елемент до изходна позиция се отчита в работния цикъл на прекъснатото направление, като по този начин загубите за превключване участват в неявен вид в условието за ергодичност изразено с ур. 1. Конкретния работен цикъл на изследвания двупътен асиметричен РВ с полупрекъснат режим на работа е представен на фигура 4.



фиг.4 Скоростна диаграма за работния цикъл на изследвания разклонителния възел

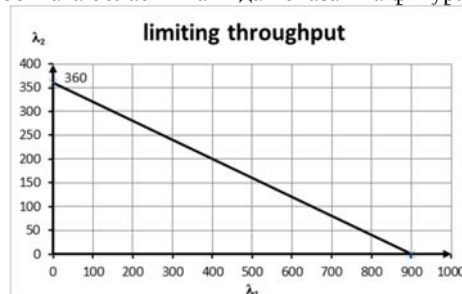
При така зададени работни цикли, ако приемем, че обслужването е тактово, т.е. няма

опашка и времето за чакане е нула, то парциалните гранични интензивности са:

$$\gamma_1 = \frac{1}{\Delta t_1} = \frac{3600}{4} = 900 \text{ [TE/h]}$$

$$\gamma_2 = \frac{1}{\Delta t_2} = \frac{3600}{10} = 360 \text{ [TE/h]}$$

А диаграмата на граничната линия показваща работната област има вида показан на фигура 5.



фиг.5 Диаграма на граничната интензивност

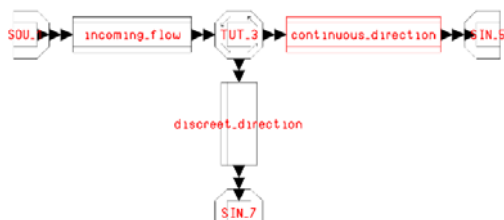
За съставянето на симулационен модел на РВ в средата на симулатора DOSIMIS-3 реализиращ показания на фигура 4 работен цикъл са използвани следните елементи.

За моделиране на входа на системата е използван елемента Source генериращ обекти тип 1 за непрекъснатото направление и обекти тип 2 за прекъснатото направление в произволна последователност. Другите два основни параметъра на елемента Source, а именно абсолютна честота на генерираните типове обекти и средно време за генериране на обект се задават във фазата на планирането на симулационния експеримент, като разпределението на времето за генериране на обект е експоненциално в единия случай или тактово във втория.

Транспортните елементи са от тип Accumulation Conveyor, като за избягване изкривяването на резултатите поради тяхното влияние върху работата на възела те са моделирани с достатъчно висока скорост и брой места за чакане. По същата причина изходите от системата, моделирани с елемента Sink са с малка стойност на времето за обработка.

Същественият елемент за симулационния модел на разклонителния възел е разпределителния елемент. За конкретния модел

е избран елемента Turning table (въртяща се маса), тъй като той има възможност, чрез подходящо параметризиране да пресъздаде работния цикъл на възела представен на фигура 4 с най-висока точност. Параметрите на разпределителния елемент са показани на фигура 6. На фигура 5 е показан симулационния модел на асиметричен разклонителен възел с полупрекъснат режим на обслужване изграден със средствата на симулатора Dosimis-3.



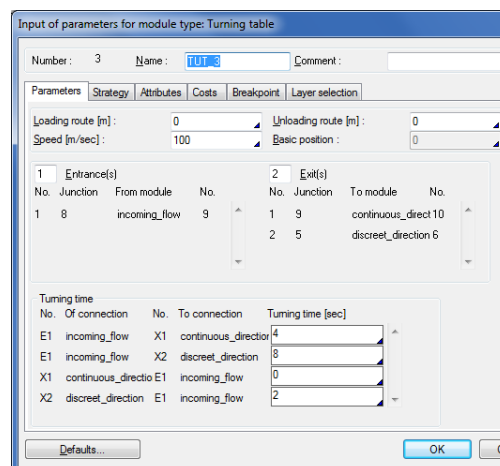
фиг.6 Симулационен модел на разклонителен възел с полупрекъснат режим на обслужване изграден в средата на Dosimis-3

При задаване на времената за работа на разпределителния елемент трябва да се вземат в предвид следните предпоставки. Тъй като в непрекъснатото направление разклонителния елемент не се движи, то времето за връщане (връзката continuous direction – incoming flow) е нулево. Цялото време за преминаване от 4 s на обекти тип 1 се задава за направлението incoming flow – continuous direction. работата на възела в прекъснатото направление трябва да включва и загубите от превключване, които в дадения случай са 2 s за направление discrete direction – incoming flow. Чистото време за преминаване на обекти тип 2 през възел по направление incoming flow – discrete direction е 8 s и включва времето за постъпване на обекта върху разпределителния елемент, времето за придвижване с елемента и времето за напускане на елемента.

3. ПЛАНИРАНЕ НА ЕКСПЕРИМЕНТА И РЕЗУЛТАТИ ОТ СИМУЛАЦИОННОТО ИЗСЛЕДВАНЕ

Както бе отбелязано в точка 1 от настоящата работа двата основни параметъра, които влияят върху стохастичния характер на работа на РВ са параметъра на входящия поток k и параметъра на

асиметрия h . тъй като параметъра на асиметрия е вътрешен за възела и обичайно той не се променя по време на работа, при това изследване той ще остане с фиксирана стойност, т.е. параметризирането на възела показано на фигура 6 няма да се променя.



фиг.7 Параметризиране на разклонителния възел

За целите на настоящето изследване ще се променя единствено параметъра на входящия поток k , както и типа на входящия поток.

Параметъра на входящия поток ще се променя на три нива, така че да осигури пълно обхващане на работната област от диаграмата на граничната интензивност (фигура 6). Тези точки се подбират в близост до граничната линия. По този начин възела работи в зона близка до критичната. Това както и факта, че възела е асиметричен води до промяна на интензивността на входящия поток за различните стойности на k , поради което е подходящо стойностите на k да са равномерно разпределени. За конкретното изследване са приети следните стойности за k :

$$k = 0,85 \quad \text{при} \quad \lambda = 600 [1/h]$$

$$k = 0,61 \quad \text{при} \quad \lambda = 460 [1/h]$$

$$k = 0,284 \quad \text{при} \quad \lambda = 352 [1/h]$$

Промяната на този параметър се извършва чрез елемента за моделиране на входа на системата, а именно елемента Source. Параметъра k се задава чрез подходяща хистограма на

абсолютната честота, изразяваща конкретното съотношение между генерирането на обекти тип 1 и тип 2, а интензивността се задава чрез промяна на средното време за генериране на обект.

За придобиване на представа относно влиянието на коефициента на вариация на входящия поток са проведени симулации при две характерни стойности на коефициента му на вариация, а именно:

$$c_a^I = 1 ; c_a^II = 0$$

Това се постига, чрез промяна на разпределението на времето за генериране. В първия случай то е експоненциално разпределено, т.е. процес на Марков, а във втория то е фиксирано, т.е. процеса е тактов.

Тези входни фактори осигуряват шест различни точки във факторното пространство, което налага изграждането на шест различни модела чрез които се извършват симулационни изследвания. Характерното за тези модели са теоретично очакваните резултати. Съответно за трите стойности на k от ур. 3 може да се намери средното очаквано време за обслужване на заявка от разпределителния елемент.

$$t_b = k \cdot 4 + (1 - k) \cdot 10$$

$$\text{при } k = 0,85 \Rightarrow \bar{t}_b = 4,9 [s]$$

$$\text{при } k = 0,61 \Rightarrow \bar{t}_b = 6,34 [s]$$

$$\text{при } k = 0,284 \Rightarrow \bar{t}_b = 8,296 [s]$$

От уравнения 5 и 7 можем лесно да изчислим дисперсията и коефициента на вариация за трите характерни точки.

$$D(t_b) = (4 - \bar{t}_b)^2 \cdot k + (10 - \bar{t}_b)^2 \cdot (1 - k)$$

$$\text{при } k = 0,85 \Rightarrow D(t_b) = 4,59 [s], c_b^2 = 0,191$$

$$\text{при } k = 0,61 \Rightarrow D(t_b) = 8,56 [s], c_b^2 = 0,213$$

$$\text{при } k = 0,284 \Rightarrow D(t_b) = 7,32 [s], c_b^2 = 0,106$$

За подобряване на точността на резултатите началната фаза за запълване на модела се изважда от резултатите от симулацията, а времето за една симулация при еднакви симулационни параметри и еднаква изкуствена история на събитията е 5 h. За рандомизиране на опитите са генерирани шестдесет случайни числа, които да послужат за входни параметри на генератора за псевдослучайни числа на симулатора Dosimis-3. Всяко от тези числа осигурява еднаква изкуствена

история, като по този начин резултатите от всичките шест различни модела се получават при еднакви външни условия, и получаваните разлики ще се дължат единствено на промяната на нивата на входните фактори.

За определяне на необходимия брой опити се използва зависимостта:

$$\Delta N_w = \frac{t_{\alpha, n-1} \cdot s_{N_w}}{\sqrt{n}}, \quad \Delta_{N_w} = \frac{\Delta N_w}{N_w},$$

където $t_{\alpha, v-1}$ е коефициента на Стюdent за ниво на значимост 0,05 и степен на свобода зависеща от броя на опитите n до текущия момент, $s_{N_w}^2$ е текущата дисперсията на броя заявки N_w чакащи в опашката, $\Delta_{N_w} \leq 5\%$ е критерия за прекратяване на по нататъшни опити поради достигане на желаната точност за N_w .

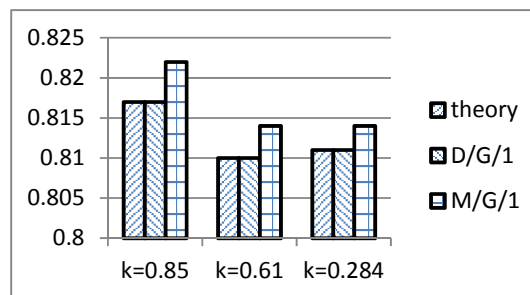
Другият критерий за прекратяване на опитите е:

$$\Delta \rho = \frac{t_{\alpha, n-1} \cdot s_\rho}{\sqrt{n}}, \quad \Delta_\rho = \frac{\Delta \rho}{\rho},$$

където s_ρ^2 е дисперсията на коефициента на натоварване, а $\Delta_\rho \leq 0,5\%$ е критерия за прекратяване на опитите поради достигане на желаната точност за коефициента на натоварване \square . \square и N_w са текущите средни стойности на коефициента на натоварване и броя на заявките в буфера преди разпределителния елемент. Техните стойности се изчисляват след обработка на съответните графики от текущите симулации и се записват във файл за допълнителна обработка, която се извършва след всяка една симулация. Симулациите за дадена точка от факторното пространство се спират след достигане на един от двата или и двата критерия за прекратяване. Разклонителния възел за двата типа входни потока може да се опише с чрез следната нотация на Кендал: за $c_a=1$, нотацията на Кендал е M/G/1, а за $c_a=0$, възела може да се представи като система от тип D/G/1. Получените резултати от симулациите за разпределителния възел разгледан като два характерни типа системи за масово обслужване, изследван в трите характерни точки, са обобщени и дадени в табличен вид.

За система M/G/1:

Работна точка 1 (k=0,85)	Работна точка 2 (k=0,61)	Работна точка 3(k=0,284)			
n	36	n	42	n	60
p	0.050	p	0.050	p	0.050
$t_{(\alpha,n-1)}$	2.030	$t_{(\alpha,n-1)}$	2.020	$t_{(\alpha,n-1)}$	2.001
Nw	2.256	Nw	2.133	Nw	1.973
ρ	0.822	ρ	0.814	ρ	0.814
S_{Nw}	0.333	S_{Nw}	0.340	S_{Nw}	0.380
S_p	0.017	S_p	0.017	S_p	0.017
ΔNw	0.113	ΔNw	0.106	ΔNw	0.098
Δp	0.006	Δp	0.005	Δp	0.004
Δ_{Nw}	5.00%	Δ_{Nw}	4.96%	Δ_{Nw}	4.98%
Δ_p	0.69%	Δ_p	0.66%	Δ_p	0.53%
Nw^T	2.176	Nw^T	2.096	Nw^T	1,928



фиг. 8. Коэффициенти на натоварване

С увеличаване на коефициента на вариация на входящия поток се наблюдава и увеличаване на стойността на коефициента на натоварване на възела, както е показано на фигура 8.

При изследване на влиянието на c_a^2 върху броя на чакащите в буфера заявки се забелязва още по-голяма разлика. При $c_a^2 = 0$ и $c_a^2 = 1$:

За система D/G/1:

Работна точка 1 (k=0,85)	Работна точка 2 (k=0,61)	Работна точка 3(k=0,284)			
n	22	n	18	n	12
p	0.050	p	0.050	p	0.050
$t_{(\alpha,n-1)}$	2.080	$t_{(\alpha,n-1)}$	2.110	$t_{(\alpha,n-1)}$	2.201
Nw	0.314	Nw	0.300	Nw	0.000
ρ	0.817	ρ	0.810	ρ	0.811
S_{Nw}	0.035	S_{Nw}	0.000	S_{Nw}	0.000
S_p	0.005	S_p	0.007	S_p	0.005
ΔNw	0.016	ΔNw	0.000	ΔNw	0.000
Δp	0.002	Δp	0.003	Δp	0.003
Δ_{Nw}	4.97%	Δ_{Nw}	0.00%	Δ_{Nw}	#DIV/0!
Δ_p	0.28%	Δ_p	0.40%	Δ_p	0.40%
Nw^T	0.348	Nw^T	0.368	Nw^T	0.185

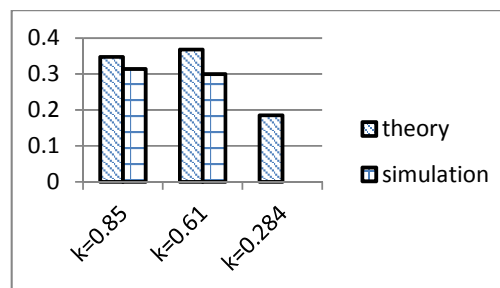
Един основен недостатък на посочения метод за определяне на необходимия брой опити е необходимостта след всеки опит да се преизчисляват дисперсията и коефициента на Студент, но използването му гарантира сходимост на резултатите.

4. АНАЛИЗ НА РЕЗУЛТАТИТЕ И ЗАКЛЮЧЕНИЕ

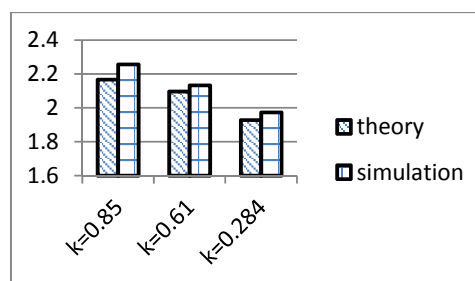
Проверката за чувствителност на симулационния модел изисква получените резултати от симулационното моделиране да се сравнят с теоретични очаквани резултати. За проверка на теоретичния коефициент на натоварване се използва уравнение 1, така за теоретичния коефициент на натоварване:

$$\rho_I = 0,817; \quad \rho_{II} = 0,81; \quad \rho_{III} = 0,811;$$

Получените резултати показват пълно съвпадение на резултатите за коефициента на натоварване на симулационния модел със теоретично очаквания резултат при коефициента на вариация на входния поток е $c_a^2 = 0$.



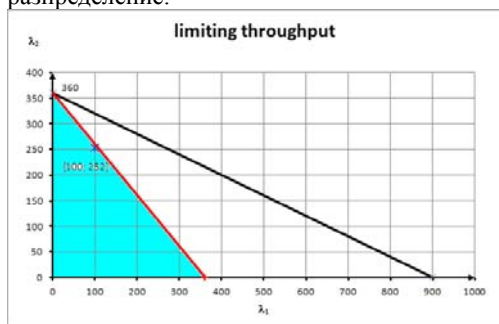
фиг. 9. Nw за PB с $c_a=0$ (система D/G/1)



фиг. 10. Nw за PB с $c_a=1$ (система D/G/1).

От резултатите показани на фиг. 10 се вижда увеличение на броя на чакащите заявки при увеличаване на коефициента на вариация, докато фигура 9 показва, че при $c_a=0$ реалния брой на

чакащите заявки са по-малък от теоретично изчисления. Интерес представлява третата работна точка с $k=0,284$. В този случай чакащи заявки в симулационния модел няма. Това се дължи на спецификата на несиметричния възел, при който са се разграничили две зони в работната област, които притежават различни характеристики. В първата зона показана на фиг. 11 разклонителният възел работи като система D/D/1, вместо като D/G/1. Тази зона може да се нарече зона на симетрия. Във втората зона от работната област, която може да бъде наречена зона на асиметрия, процеса на обслужване винаги трябва да се разглежда като процес с общо разпределение.



фиг. 11. Зони на валидност на ТМО.

Направените симулационни изследвания показват, че един асиметричен разклонителен възел с полупрекъснат режим на обслужване

може да се пресмята със средствата на ТМО само при определени условия. Тогава е целесъобразно във времето за обслужване на възела освен времето за обслужване от разпределителния елемент да се включи и времето за чакане, което в определени случаи може да е значително по-голямо и реалното да превърне некритичен възел в критична точка при промяна на коефициента на вариация на входящия поток, без реално да се увеличи интензивността на потока.

Когато работната точка на възела попада в зоната на симетрия, процеса на обслужване може да се разглежда като тактов.

Литература

1. **Георгиев М.**, Общо условие за ергодичност на различни типове логистични възли, „Българско списание за инженерно проектиране”, бр. 6, декември, 2010 г., 5-10 с.
2. **Петков Г.**, Подемно-транспортни процеси и системи в промишлеността, ТЕХНИКА, София, 1987.
3. **Цимс Д.** и др. Симулация на материални потоци с DOSIMIS-3, IFSL Магдебург, 1993.
4. **Arnold D., K. Furmans**, Materialfluss in Logistiksystemen, Springer-Verlag Berlin Heidelberg, ISBN-13 978-3-540-45659-9, 2005, 2007.
5. DOSIMIS-3 Tutorial, Simulations Dienstleistungs Zentrum GmbH, Dortmund, 2013.
6. DOSIMIS-3 User Manual, Simulations Dienstleistungs Zentrum GmbH, Dortmund, 2013.
7. **Hompel M. T. Schmidt, L. Nagel**, Materialflusssysteme, Springer-Verlag Berlin Heidelberg, ISBN 978-3-540-73235-8, 2007.

ABOUT THE INFLUENCE OF THE INCOMING FLOW CHAOS COEFFICIENT OVER BRANCHING ELEMENTS SERVICE RATE

Lachezar LAZOV

e-mail: llazov@tu-sofia.bg

Logistics engineering department, Technical University-Sofia, Sofia 1000, Bulgaria

Abstract: This paper concern question about the influence of the chaos coefficient, which characterized the arrival flow's distribution, over the operation conditions of unsymmetrical partially continuous branching element. The parameters of the operation are fixed and the partial limiting throughputs for particular directions are not related with specific technical realization of the element. The service process stochastic character is only conditioned from the incoming flow. The theoretical conclusions are checked with DOSIMIS-3 simulation model created for this purpose. The limit of applying the queueing theory for calculating the capacity of the required buffer is determined through simulation modelling.

Keywords: branching element, chaos coefficient, simulation modeling