

Българско списание за Инженерно ПРОЕКТИРАНЕ

брой №20, октомври 2013г.

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.Иванов	Одески национален политехнически университет, Украйна
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	M.Jovanovic	University of Nish, Serbia
М.Георгиев	МГТУ Станкин, Москва, Россия	D.Michalopoulos	University of Patras, Greece
В.Христов	ЮЗУ „Н.Рилски” Благоевград, България	N.Kubota	Tokyo Metropolitan University, Japan
Ch.Apostolopoulos	University of Patras, Greece	С.Емельянов	Юго-Западный гос. университет, Курск, Россия
Л.Червяков	Юго-Западный гос. университет, Курск, Россия		

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.
Списание то се индексира в Index Copernicus: www.indexcopernicus.com

Bulgarian journal for **Engineering Design**

issue №20, october 2013

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.Danchev	TU-Sofia, Bulgaria	V.Ivanov	Odessa national university, Ukraine
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		

Editor

R.Mitrev, TU-Sofia, Bulgaria

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

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

СЪДЪРЖАНИЕ

Адекватност на непрекъснат модел за изчисляване на времена на движение в дискретни задачи.....	7
Т.Тодоров	
По въпроса за геометричното проектиране на технически обекти.....	15
М.Лепаров	
Пространствени принудени трептения на двуосен автомобил с висока проходимост, породени от работата на двигателя с вътрешно горене.....	29
В.Бачев, В.Славов, В.Николов, Г.Душков	
Система за измерване на силите над и под виброизолаторите на дизелов генератор.....	35
В.Николов, К.Амбарев	
Метод отладки баз знаний, основанных на правилах, для экспертных систем.....	43
О.Долинина	
Механо-математично моделиране на кинематиката на мотокар с хидравличен манипулатор, изпълняващ две ротации и две трансляции.....	51
Д.Желев	
Механо-математичен модел на помпен агрегат със свободно-цилиндров стирлингов двигател.....	59
В.Николов	
Пространствени свободни затихващи трептения на мотокар с хидравличен манипулатор, извършващ две трансляции и две ротации.....	65
Д.Желев, В.Бачев, В.Славов	
Принудени пространствени трептения на мотокар с хидравличен манипулатор, извършващ две ротации и две трансляции.....	69
Д.Желев, В.Бачев, В.Славов, И.Ангелов	
Мультиагентная реализация выбора топологии нейросетей для моделирования прикладных задач.....	75
Л.Ямпольский, Е.Пуховский, О.Лисовиченко	
Новая классификация рабочего оборудования одноковшовых гидравлических экскаваторов.....	93
П.Побегайло	
Экспериментальные исследования работы человека-оператора одноковшового экскаватора.....	101
П.Побегайло, Р.Ковязин, А.Калянов, М.Абдулкаримов	
КПД на трансмисия съставена от фриксионен вариатор и диференциален зъбен механизъм.....	

зъм при различни кинематични схеми на трансмисията.....	113
К.Стоичков, Я.Софронов	
Исследования динамики одноковшовых гидравлических экскаваторов: современное состояние и некоторые перспективы.....	119
П.Побегайло	

CONTENTS

Feasibility of continuous model for calculation of travel times in discrete problems..... T.Todorov	7
About geometrical design of technical objects..... M.Leparov	15
Forced spatial oscillations of a two-axle offroad vehicle caused by the work of the internal combustion engine..... V.Bachev, V.Slavov, V.Nikolov, G.Dushkov	29
Measuring system of the forces over and under the vibration isolator of diesel generator..... V.Nikolov, K.Ambarev	35
Method of test generation for debugging of knowledge bases for artificial intelligence systems..... O.Dolinina	43
Mechanical mathematical modelling in the space of the kinematics of a forklift with a hydraulic manipulator performing two rotations and two translations..... D.Zhelev	51
Mechanical and mathematical model of pump unit with free-cylinder stirling engine..... V.Nikolov	59
Space free oscillation damping forklift with a hydraulic manipulator performing two rotations and two translations..... D.Zhelev, V.Bachev, V.Slavov	65
Forced oscillations of spatial forklift with hydraulic manipulators performing two rotations and two translations..... D.Zhelev, V.Bachev, V.Slavov, I.Angelov	69
The multiagent implementation of the neural networks topology choice for applied problems simulation..... L.Yampolsky, E.Pukhovsky, O.Lisovichenko	75
New classification of the hydraulic excavators working equipment..... P.Pobegailo	93
Experimental study of the work of the cable shovel operator..... P.Pobegailo, R.Koviazin, A.Kalyanov, M.Abdulkarimov	101
Mechanical efficiency of transmissions including CVT and differential tooth mechanism..... K.Stoichkov, Y.Sofronov	113
Researches of dynamics of hydraulic excavators:m current state and some prospects.....	119

P.Pobegailo

АДЕКВАТНОСТ НА НЕПРЕКЪСНАТ МОДЕЛ ЗА ИЗЧИСЛЯВАНЕ НА ВРЕМЕНА НА ДВИЖЕНИЕ В ДИСКРЕТНИ ЗАДАЧИ

Тодор ТОДОРОВ

Генерална дирекция за иновации и техническо обслужване, Европейски парламент, Люксембург
e-mail: d_griffin@abv.bg

Резюме: Настоящата работа разглежда адекватността на непрекъснат математически модел за изчисляване на времена на движение в дискретни задачи типични за складовата логистика. Върху една и съща задача се съставят два математически модела - дискретен модел базиран на теория на вероятностите и непрекъснат модел базиран върху изчисления на изохроните. Дискретният модел е съставен за конкретната задача и дава точни стойности за времената на пътуване. Непрекъснатият модел има по-широко приложение, но дава приблизителни стойности, чиито отклонения зависят от дискретизацията на постановката. Резултатите изведени по двата метода се сравняват и анализират. Изведени са гранични условия, определящи приложимостта на непрекъснатия модел върху дискретни постановки.

Ключови думи: дискретна задача, непрекъснат модел, изохрони, адекватност, условия за приложимост

1. УВОД В ПРИЛОЖИМОСТТА НА НЕПРЕКЪСНАТИТЕ МОДЕЛИ

В складовата логистика за изчисляване на непрекъснати величини като път и време често се използват дискретни модели. Така в практиката възниква въпросът доколко подходящо е дискретното моделиране на процесите, или, доколко е адекватно решаването на дискретна задача чрез непрекъснат модел на изчисляване. Обикновено след сравнение на предимствата и недостатъците на двата подхода (непрекъснат и дискретен) се избира по-подходящия в зависимост от характера на съответната задача или инструментариума с който разполага изследователя.

Същият въпрос в научната литература подлежи на по-сериозен анализ, в който авторите търсят конкретни и количествени отговори – колко точно единият подход е по-добър от другия. Пример за това е [1] от 1984 г., където авторите сравняват предложения от тях метод с метод разработен от Material Handling Institute (МНИ), и с резултатите получени чрез дискретно решаване на еднаква задача – обслужване на стелажна стена от трансманипулатор, в два варианта – с 400 и 100 клетки на стелажната стена.

Въпросът отново е разглеждан през 1990 г. [2] при сравнение на дискретно решение с решение чрез непрекъснатото време вземащо предвид уско-ренията и закъсненията при движение на обслужващото устройство. Евристичния метод

предложен от [3] през 2005 г. и дискретен по същество, също се сравнява с резултати получени по непрекъснати модели.

В своята дисертация ([4] от 2007 г.) Шлойер прави още по-подробно сравнение между двата подхода - с непрекъснат или дискретен модел, като резултатите от това сравнение представляват ключов момент за целия му труд.

Във всеки от дадените по-горе примери¹ сравненията се правят с цел определяне адекватността на един или друг подход за решаването на конкретна задача. Дискретния подход за решаване се предпочита, тъй като дискретизацията на интервалите позволява решаване на функции с прекъсвания, без съществена загуба на точност [4]. От друга страна решенията с непрекъснати променливи дават резултати с по-широко приложение.

Недостатък на решението с непрекъснати променливи е, че при дискретни модели с малък брой самостоятелни обекти (стелажни клетки, асансьорни спирки и пр.) пътуванията на обслужващото устройство са съсредоточени в няколко точки, което води до ръст на отклоненията на статистическите променливи изчислени с непрекъснат подход. Целта на настоящия материал е да посочи границата на приложимост на непрекъснатите модели върху дискретна дву-

¹ Посочените примери не изчерпват случаите в които се налага това сравнение.

мерна постановка типична за складовата логистика.

За постигане на тази цел е дефинирана двумерна задача, която се решава посредством непрекъснат и дискретен подход за различни вариации на дискретните параметри. Получените решения се сравняват, за да се намерят конкретните стойности на параметрите, които определят практическа граница на адекватност.

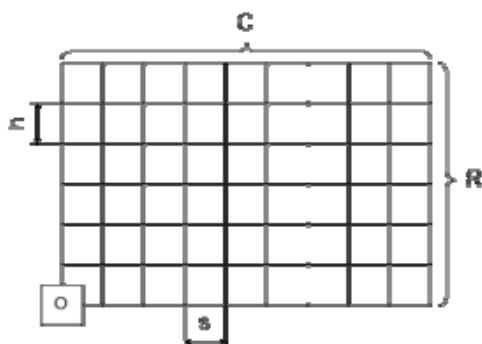
2. ПОСТАНОВКА НА ЗАДАЧАТА

Разглежда се стелажна стена с R реда и C колони. Всяка клетка е с еднакви размери – ширина s и височина h . Зоната се обслужва от устройство работещо в чебишева метрика, чиито скорости са v_x и v_y съответно по хоризонтала и вертикала. Товаро-разтоварната станция (точка O) се намира на нивото на най-долния ред, непосредствено до първата колона. Постановката е показана схематично на фиг.1. Дефинират се следните задачи:

1) Да се определят средното време, средноквадратичното време, дисперсията и коефициентът на вариация за пътуване от Т-Р станцията до случайна клетка чрез дискретен и непрекъснат подход.

2) Да се изчисли отклонението на непрекъснатия подход спрямо дискретния, в зависимост от фактора на формата на стелажната стена и броя клетки в нея.

3) Да се даде гранично условие за приложението на непрекъснатия подход, което ограничава отклоненията на вероятностните характеристики до 2%, спрямо резултатите от дискретния подход.



фиг.1 Постановка на дискретната задача

Общият брой на клетките е $N=R \cdot C$. Времето за движение между два реда е $t_r=h/v_y$, а между две колони $t_c=s/v_x$. Всяка стелажна клетка се разглежда като точка. Времето t_i за пътуване от ТР станцията до клетка на ред r и колона c е равно на по-голямата от двете стойности – t_r или t_c , които представляват времето за пътуване до съответните ред и колона.

Очакваното време за пътуване е равно на сумата от времената за пътуване до всяка клетка, отнесена към общия брой на клетките:

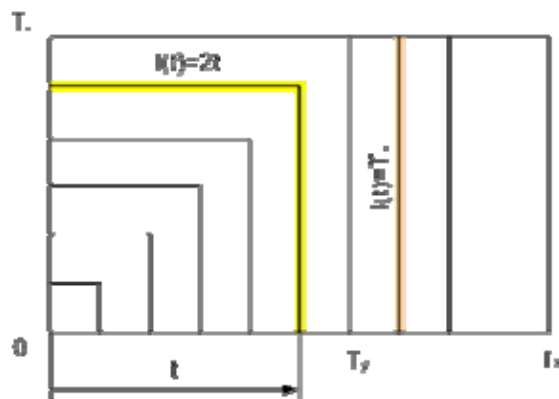
$$E_d(\tau) = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N t_i \quad (1)$$

За очакваното средно квадратично време се получава:

$$E_d(\tau^2) = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N t_i^2 \quad (2)$$

Дисперсията и коефициента на вариация се изчисляват по познатите формули, използвайки резултатите от уравнения (1) и (2). С това необходимите вероятностни характеристики са изразени чрез дискретен подход.

За изчисление на характеристиките в непрекъснатото време е използван изохронния метод представен в [5]. Уравненията от посочената статия се разписват с максимално време за движение по хоризонтала $T_x=C \cdot t_c$, и по вертикала $T_y=R \cdot t_r$. Разглежда се случая $T_y < T_x$ който е обичаен за практиката (фиг.2), при което уравнението добива вида (3).



фиг.2 Решаване на задачата с непрекъснат модел

3. ВЕРОЯТНОСТНИ ХАРАКТЕРИСТИКИ

$$f(t) = \frac{ds(t)}{S \cdot dt} = \frac{l(t)}{S} = \begin{cases} \frac{2t}{T_x T_y} & 0 \leq t \leq T_y \\ \frac{1}{T_x} & T_y < t \leq T_x \end{cases} \quad (3)$$

Разполагайки с израза за вероятностната плътност на времето за движение от Т-Р станция до случайна точка в зоната, за вероятностните характеристики се записват изразите (4) и (5):

$$E(\tau) = \int_0^{T_y} \frac{2t^2}{T_x T_y} dt + \int_{T_y}^{T_x} \frac{t}{T_x} dt = \frac{1}{6} \frac{T_y^2 + 3T_x^2}{T_x} \quad (4)$$

$$E(\tau^2) = \int_0^{T_y} t^2 f(t) dt = \frac{1}{6} \frac{T_y^3 + 2T_x^3}{T_x} \quad (5)$$

$$\Delta X = \frac{X_d - X}{X_d} \quad (6)$$

Отклонението ΔX , на всяка величина X изчислена по непрекъснатия модел от съответната X_d изчислена дискретно, се изчислява по уравнение (6). С това подготовката за изчисляване и сравнение е приключена.

4. ИЗЧИСЛЯВАНЕ И СРАВНЯВАНЕ НА РЕЗУЛТАТИТЕ

Характеристиките по двата подхода и отклоненията между тях се изчисляват чрез компютърна програма, с вариране на параметрите R и C в определени граници. Комбинациите на брой редовете R и брой колони C са реализирани в три серии:

1) В първа серия R и C варират от 1 до 10 във всички комбинации. Тази серия посочва отклоненията при минимален брой складови клетки, където се очакват най-сериозни отклонения в непрекъснатия модел.

2) Във втора серия $R=1$, и C варира от 1 до 100. Тази серия дава изчислява отклоненията при монотонно намаляващ фактор на формата. Серията е характерна и за задача в едномерен случай.

3) В трета серия факторът на формата $b=1$, като едната променлива варира от 1 до 20, а другата се изчислява чрез отношението t_r/t_c . Тази серия изчислява отклоненията в квадратна във времето зона, което е най-неблагоприятния случай за адекватност на непрекъснатия модел.

За целите на изследването всички изчисления се правят в два варианта двойки скорости в хоризонтално и вертикално направление на обслужващото устройство – вариант I - при еднакви скорости (отношение 1:1), и вариант II, при скорости в отношение 4:1. За размери на складовите клетки в настоящото изследване са приети стойностите използвани в [1], за да е възможно директно сравнение на резултатите. Така ширината s и височината h са равни на $4 ft$, скоростите за вариант I са $v_x=v_y=400 fpm$, а за вариант II $v_x=400 fpm$, $v_y=100 fpm$.

С тези параметри се изчисляват търсените характеристики. Стойностите се подреждат в табличен вид и се изследва промяната на отклоненията. За представяне на направените наблюдения в табл.1 е показана извадка на стойностите изчислени за еднакви скорости. При различни скорости описаните наблюдения са още по-ясно изразени.

Всеки ред от таблицата представлява една комбинация на R и C за която са направени изчисления. В първите четири колони са посочени стойностите на променливите – брой редове, брой колони, брой клетки N и фактор на формата b . От пета до осма колона са посочени съответните отклонения на характеристиките на времето за пътуване: средно време, средно квадратично време, вариация и вариационен коефициент. Резултатите са сортирани по нарастване на броя на стелажните клетки N , като при еднакъв брой клетки подредбата е по намаляване на абсолютната стойност на отклонението на средното време $E(t)$.

В стойностите на отклоненията се наблюдават следните тенденции, видими и от данните в таблицата:

- С нарастване броя на клетките отклоненията намаляват, но не монотонно. Всяка от характеристиките има пикови отклонения, дори при $N>50$.

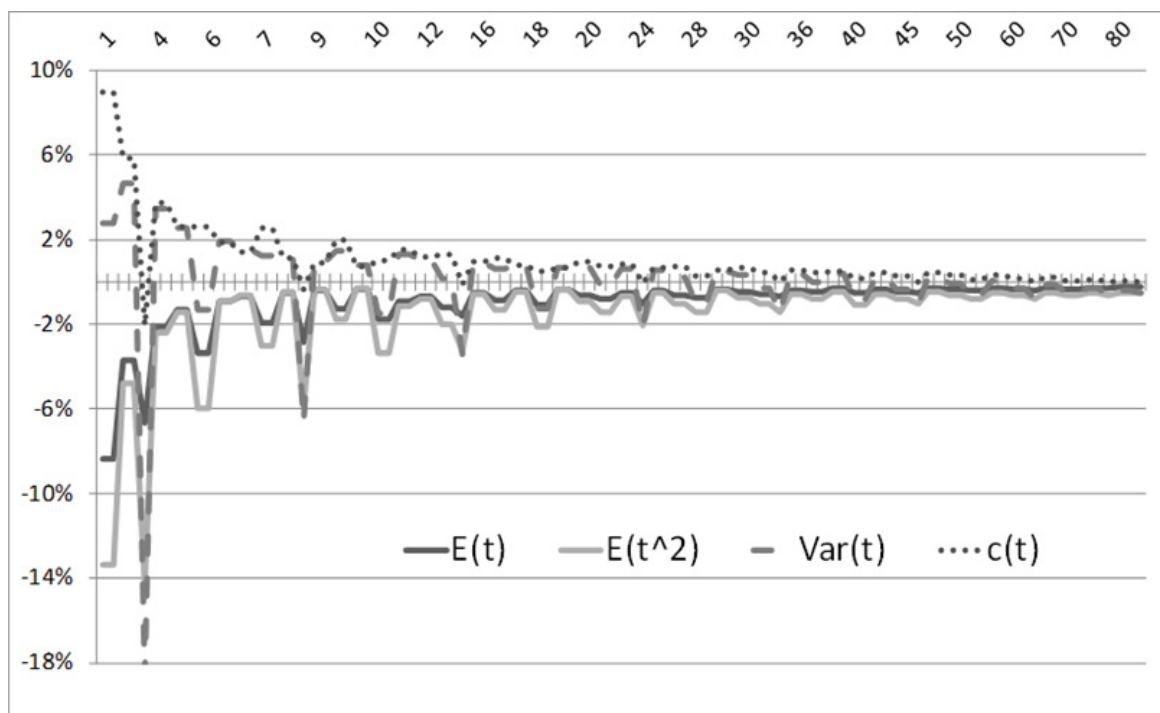
- Пикове в отклоненията се наблюдават за фактор на формата $b=1$.

- За еднакъв или близък брой клетки но при различен фактор на формата, отклоненията са значително по-големи при по-голяма стойност на фактора на формата, без оглед броя на клетките. Например (табл.1) при: $N=24$ и $N=25$; а също $N=49$ и $N=50$.

Описаните тенденции най-ясно се наблюдават при графично представяне на отклоненията (фиг.3).

При втората серия изчисления всички клетки са разположени на един ред, което съвпада по същество и с едномерна постановка на задачата. С нарастване броя на клетките факторът на фор-

мата монотонно намалява, и отклоненията имат същия характер. При такова разположение факторът на формата има най-малка стойност за съответния брой клетки, и в тази серия изчисления се отклоненията имат минимални стойности по отношение на N .



фиг.3 Отклонения на характеристиките при увеличаване броя на клетките (скорости 1:1)

Следователно с тази серия стойности се формира *долна граница на адекватност* на непрекъснатия модел, при определени условия. За такава следва да се приеме $N=10$, тъй като това е най-малкият брой клетки, за които всяка от характеристиките има отклонение под допустимото. При отношение на скоростите 4:1, изчислените стойности на отклоненията са:

$$\begin{aligned} \Delta E(\tau) &= -1,28\% & \Delta E(\tau^2) &= -1,78\% \\ \Delta Var(\tau) &= 1,45\% & \Delta c_{\tau} &= 1,98\% \end{aligned}$$

За определяне на абсолютната (безусловна) граница на адекватност се разглежда третата серия изчисления. На фиг.4 са представени отклоненията в първи вариант на скоростите, а на фиг.5 – втори вариант.

Вижда се, че при еднакви скорости допустимата граница на отклонение се постига при $N=16$ от всяка от характеристиките. Тази граница обаче се достига едва при $N=144$ във втория вариант. Трябва обаче да се отбележи, че отклонението на средното време във втория вариант пада под допустимото също при $N=16$. Това означава, че непрекъснатият модел все пак е приложим, при условие че интерес представлява средното време за пътуване.

Тъй като приложимостта на непрекъснатия модел върху дискретни задачи представлява интерес от гледна точка на практиката, компютърната програма която е използвана за изчисляване на отклоненията е допълнена с графичен интер-

фейс и е публикувана за свободен достъп в интернет [6].

С намиране границите на адекватност и неадекватност на непрекъснатия модел, втората задача е приключена.

5. ИЗВОДИ И УСЛОВИЯ ЗА АДЕКВАТНОСТ

В тази заключителна точка са обобщени изводите направени при решаването на поставената задача, и е изведено гранично условие за адекватността на непрекъснатия модел (трето под условие на задачата). Въз основа на сравненията извършени в предишната точка могат да бъдат дефинирани следните твърдение и следствие:

Твърдение: За еднакъв брой дискретни точки в които може да се появи заявка, отклонението в

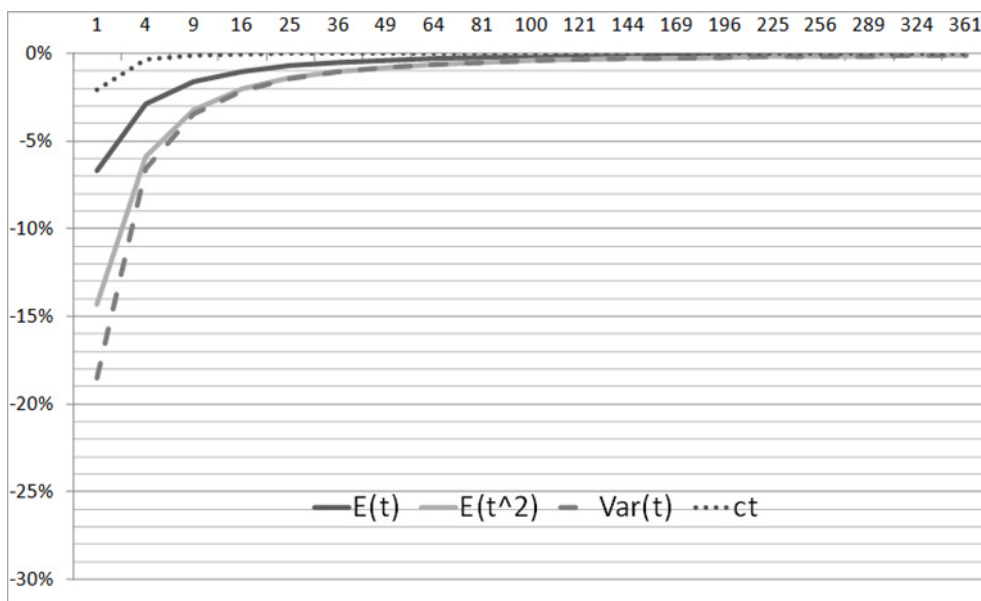
средното време за пътуване получено по непрекъснат модел се увеличава с нарастването на фактора на формата.

Следствие: Отклонението в средното време на пътуване изчислено по непрекъснат модел е максимално, при фактор на формата равен на единица.

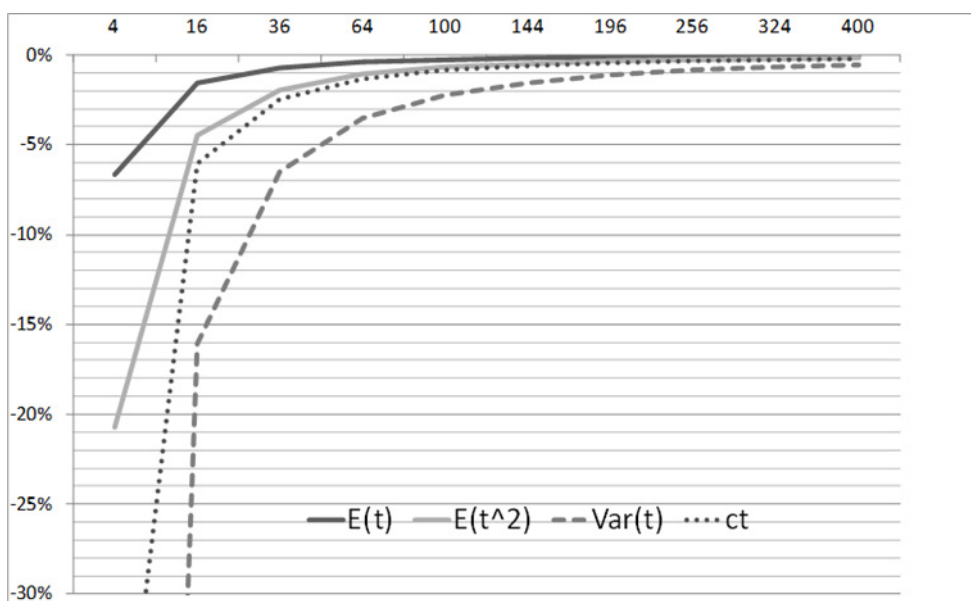
Именно това следствие е използвано в изведждането на гранично условие за адекватност на непрекъснатия модел. Преди да се пристъпи към самото условие, добре е да се подчертае, че разсъжденията направени в тази точка са въз основа на приемането, че адекватност на непрекъснатия модел означава максимално допустимо отклонение от 2% на вероятностните характеристики.

табл.1 Извадка от направените изчисления

Параметри				Отклонения			
R	C	N	b	E(t)	E(t ²)	Var(t)	c(t)
2	2	4	1	-6.67%	-14.29%	-18.52%	-2.06%
1	4	4	0.25	-2.08%	-2.38%	3.47%	3.76%
2	4	8	0.5	-1.9608%	-3.0303%	1.2346%	2.5304%
1	8	8	0.125	-0.5208%	-0.4902%	1.1987%	1.1162%
3	3	9	1	-2.8571%	-5.8824%	-6.5789%	-0.3694%
1	9	9	0.11111	-0.4115%	-0.3784%	0.9774%	0.8977%
4	4	16	1	-1.5873%	-3.2258%	-3.4343%	-0.1136%
2	8	16	0.25	-0.5128%	-0.5848%	0.9178%	0.9678%
4	6	24	0.66667	-0.8130%	-1.4315%	-0.2020%	0.7063%
3	8	24	0.375	-0.5000%	-0.6705%	0.6428%	0.8178%
5	5	25	1	-1.0101%	-2.0408%	-2.1242%	-0.0459%
6	6	36	1	-0.6993%	-1.4085%	-1.4481%	-0.0220%
4	9	36	0.44444	-0.3876%	-0.5616%	0.3825%	0.5768%
5	8	40	0.625	-0.4630%	-0.7895%	0.0124%	0.4670%
4	10	40	0.4	-0.3175%	-0.4380%	0.3780%	0.5050%
7	7	49	1	-0.5128%	-1.0309%	-1.0522%	-0.0118%
5	10	50	0.5	-0.3086%	-0.4728%	0.2235%	0.4192%
7	9	63	0.77778	-0.3436%	-0.6426%	-0.3179%	0.1842%
8	8	64	1	-0.3922%	-0.7874%	-0.7998%	-0.0069%
8	10	80	0.8	-0.2755%	-0.5202%	-0.2917%	0.1294%
9	9	81	1	-0.3096%	-0.6211%	-0.6288%	-0.0043%
9	10	90	0.9	-0.2632%	-0.5157%	-0.4270%	0.0497%
10	10	100	1	-0.2506%	-0.5025%	-0.5076%	-0.0028%



фиг.4 Отклонения на характеристиките при $b=1$ и скорости 1:1

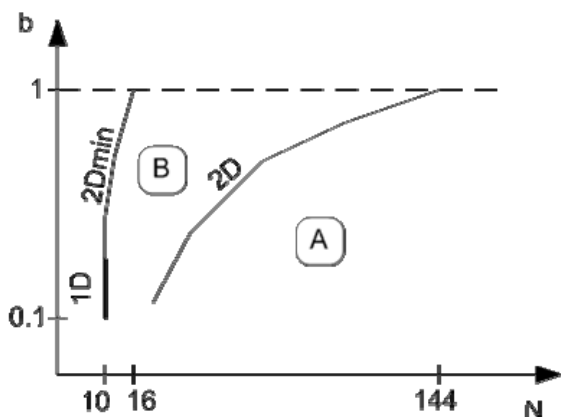


фиг.5 Отклонения на характеристиките при $b=1$ и скорости 4:1

Граничното условие за адекватност на непрекъснатия модел е графично представено на фиг.6. По абсцисата е нанесен броят на стелажните клетки N (точки на поява на заявки), а по ординатата – факторът на формата b . Линиите $1D$, $2D_{min}$ и $2D$ показват границата на адекватност на

непрекъснат модел върху дискретно поставени задачи. Линията $1D$ е граница на адекватност за едномерни модели. Линия $2D_{min}$ е минималната граница, вдясно от която непрекъснатият модел е приложим при определени условия (зона B). Линия $2D$ показва границата вдясно от която

всички изчисления базирани на непрекъснатия модел може да се приемат за адекватни (зона А).



фиг.6 Граници на адекватност

Явно е, че граничното условие на адекватност представлява съвкупност от два фактора – брой на дискретните точки и тяхното разположение в пространството, представено чрез фактор на формата. Това налага неговият изказ да бъде малко по-сложен от поставянето на обикновена граница. В предишната точка беше установено, че долната граница на адекватност на непрекъснатия модел се достига още при 10 дискретни точки, ако тези точки са разположени една след друга на един ред. Така се установява първата граница:

Адекватност в едномерно пространство (долна граница на приложимост): Непрекъснатият модел е адекватен за дискретни задачи, в които точките на поява на заявки са разположени на една права (в един ред или колона), при поне десет на брой точки.

Както беше установено най-неблагоприятния случай (от гледна точка на отклоненията) е при квадратен във времето стелаж ($b=1$). При такъв фактор на формата, моделът е приложим с допустими отклонения при достигане на 144 или повече дискретни точки. Затова като втора граница може да се запише:

Абсолютна граница на адекватност: Непрекъснатият модел е адекватен за двумерна дискретна задача в чебишева метрика, в която точките на поява на заявки са поне 144 на брой.

В разглежданите два варианта на скорости обаче беше установено, че при $b=1$ броят на сте-

лажните клетки, при който се достига адекватност, силно зависи от отношението на скоростите на обслужващото устройство. Границата от 144 броя стелажни клетки се отнася за разлика от четири пъти в скоростите, но при еднакви скорости адекватност се достига още при 16 клетки. Тази особеност трябва да се има предвид, тъй като тя силно разширява адекватността на непрекъснатия метод при стелаж с под 100 стелажни клетки. Това обуславя още една граница на адекватност:

Условна адекватност: Непрекъснатият модел е приложим за двумерна дискретна задача в чебишева метрика с 16 или повече брой точки на поява на заявки, при следните условия:

- Скоростите на движение на обслужващото устройство в двете направления трябва да са равни, или приблизително равни.
- Ако скоростите по двете направления не могат да бъдат приети за приблизително равни, то адекватно е само средното време на пътуване.

След като бяха представени всяка от границите и причините за тяхното определяне, трите граници могат да бъдат обобщени:

Гранично условие за адекватност на непрекъснатия модел: За дискретна двумерна задача непрекъснатият модел е абсолютно адекватен, ако точките на поява на заявки са 144 или повече на брой. При условие, че скоростите на движение на обслужващото устройство са приблизително равни ИЛИ интерес представлява само средното време на пътуване, то моделът е адекватен при най-малко 16 точки. За дискретна едномерна задача моделът е абсолютно адекватен при 10 или повече точки.

Ако факторът на формата не е известен, или зоната в която непрекъснатия модел може да бъде и адекватен и неадекватен, то най-практично е следното кратко гранично условие:

Безусловна граница на адекватност: Непрекъснатият модел е напълно приложим за двумерни дискретни задачи с поне 144 на брой дискретни точки, и е напълно неприложим, ако броят на точките е под 10.

С горните дефиниции на граници се изчерпва решението на поставените задачи. Няколко проверки направени паралелно с решаването на текущата задача показват, че отклоненията на неп-

рекъснат от дискретен модел са значително по-малки в ортогонална метрика отколкото в чебишева. От тук, граничното условие за чебишева метрика ще гарантира и адекватност в ортогонална. Все пак не е направено цялостно изследване относно тази адекватност, и въпросът за границата на приложение в ортогонална метрика стои отворен.

Литература

1. **Yavuz A. Bozer, John A. White**, *Travel-Time Models for Automated Storage/Retrieval Systems*, IIE Transactions, vol. 16, no. 4, pp. 329-338, 1984.
2. **Hark Hwang, Seong Beak Lee**, *Travel-time models considering the operating characteristics of the storage*

and retrieval machine, International Journal of Production Research, vol. 28, no. 10, pp. 1779-1789, October 1990.

3. **T. Le-Duc, R. B. M. De Koster**, *Travel distance estimation and storage zone optimization in a 2-block class-based storage strategy warehouse*, International Journal of Production Research, vol. 43, no. 17, pp. 3561-3581, September 2005.
4. **Marc Schleyer**, *Discrete Time Analysis of Batch Processes in Material Flow Systems*. Karlsruhe: Universitaetsverlag Karlsruhe, 2007.
5. **Todorov T., Georgiev M.**, *Method for calculating service characteristics with typical logistic metrics*, in Wissenschaftlich-technische Jubiläumskonferenz mit internationaler Teilnahme, Sofia, 2006.
6. <http://www.prologist.info/diss> , посетен на 25.10.13

FEASIBILITY OF CONTINUOUS MODEL FOR CALCULATION OF TRAVEL TIMES IN DISCRETE PROBLEMS

Todor TODOROV

¹Directorate-General for Innovation and Technological Support, European Parliament, Luxembourg
e-mail: d_griffin@abv.bg

Abstract: The present article examines the adequacy of continuous mathematical model for calculation of travel times in discrete problems typical for the warehouse logistics. Two mathematical models are built on the same logistical problem – a discrete model based on the Probability theory; and a continuous model based on calculations of the isochrones. The discrete model is exact for the given problem and provides accurate values for the travel times. The continuous one has wider application, but it provides approximate values whose deviation depends on the problem formulation. The results derived by both models are compared and analysed. Boundary conditions are derived for the applicability of the continuous model on discrete problems.

Keywords: discrete problem, continuous model, isochrones, feasibility, adequacy, conditions of applicability

ПО ВЪПРОСА ЗА ГЕОМЕТРИЧНОТО ПРОЕКТИРАНЕ НА ТЕХНИЧЕСКИ ОБЕКТИ

Михаил ЛЕПАРОВ

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

Резюме: Под геометрично проектиране на технически обект се разбира проектирането, което следва концептуалното проектиране и включва уточняване на: а) съставните части, б) техните форми, в) присъединяване (контактуване) една към друга, г) разположение, д) определяне на размерите и стойностите на останалите величини чрез пресмятания и чрез подходящи анализи и изследвания. В настоящата статия се предлагат два евристични метода „Контактни повърхнини” и „Разположение на елементите на физически принцип на действие (ФПД)”, чрез които се подпомага решението на някои въпроси от геометричното проектиране на произволен технически обект. При първия метод се разглеждат различни вариантни контактни съединения на съставните части на обекта, а при втория се използват различни разположения на елементите (инженерни ефекти, входящи и изходящи потоци) на ФПД. Те са представени чрез евристичен алгоритъм и са илюстрирани чрез пример.

Ключови думи: проектиране, геометрично проектиране, технически обект

1. ВЪВЕДЕНИЕ

При създаването на техническите обекти (ТО) след концептуалното проектиране (проектиране, в резултат на което се получава словесно или схематично описание на ТО, напр. физически принцип на действие (ФПД), схематично изображение и др) се преминава към геометрично проектиране, при което се уточняват: а) съставните части, б) техните форми, в) присъединяване (контактуване) една към друга, г) разположение, д) определяне на размерите и стойностите на останалите величини чрез пресмятания и чрез подходящи анализи и изследвания.

В литературата се предлагат начини за провеждане на геометричното проектиране [2,7-9]. Същевременно има основания за изказване на следното

Твърдение: Методите за геометрично проектиране съставят евристична безкрайност (броят им е голямо число)

Доказателство

Геометричното проектиране на ТО е творческа дейност тъй като отговаря на условията за евристична задача [7], а именно:

- липсва формализиран метод за неговото реализиране;
- намирането на решение не е задължително;
- броят на решенията е неопределен;
- решенията зависят от качествата на реша-

ващия и

- няма повтаряемост на резултата, т.е. различни хора, решаващи една и съща задача достигат до различни резултати.

Съгласно Твърдение 30 [6] методите, чрез които може да се реши една правилна (решима) задача съставят евристична безкрайност (броят им е голямо число).

Тъй като геометричното проектиране е творческа задача, всеки нов метод за неговото извършване следва да се поощрява.

Целта на настоящата работа е предложи някои нови методи за геометрично проектиране на произволен технически обект, като въпросите, отнасящи се до д) не се разглеждат. Методите са получени чрез логичен анализ.

Използуваната терминология е в съответствие с тази от [7].

2. МЕТОДИ

2.1. Метод „Контактни повърхнини”

Всички съединения на детайлите на ТО, чрез които той се формира като сглобена единица може да се систематизират като непълни съединения, при които двойка детайли се допират по определена обща площ между тях и пълни съединения, при които е налице обхващане на единия детайл от другия.

При разглеждания метод на геометрично проектиране се изхожда от получен по някакъв начин изходен вариант на проектираното изделие. Този вариант включва реализация на инженерните ефекти на изделието и то е оформено като сглобена единица.

Основна идея на метода: Промяната на контактната двойка води до промяна на обекта.

Методът може да се приложи по следния

Алгоритъм

Зададено: изходен вариант на ТО.

I. Непълни съединения:

I.1. Съставяне на класификация на непълните съединения по различни съществени класификационни признаци или използване на предложената в табл.1.

I.2. Уточняване на всички съединения на изходния обект. Съставяне на списък от непълни съединения.

I.3. За всяко съединение от списъка от т.I.2:

I.3.1. Определяне на неговата функция.

I.3.2. Като се отчитат последователно теоретичните варианти на непълните съединения (т.I.1) се търси вариантно изпълнение на съединението, при което главната функция на проектираното изделие трябва да може да се изпълнява.

Заб.1. Всяко съединение се разглежда самостоятелно или спрямо всяко от останалите съединения в съответствие с класификацията от табл.1.

Заб.2. Тъй като това е творческа задача не е задължително намиране на решение по всеки вид съединение от стълб 2 на табл.1.

I.3.3. Анализ на полученото изделие от гл. т. на функциониране, сглобяване и разглобяване. При необходимост се извършват съответни промени в него.

Заб. В тази точка се решават сравнително елементарни конструктивни задачи, които се дефинират чрез конструкцията на изходния обект и теоретичните варианти на съединенията.

I.4. Комбинират се получени резултати в т.I.3.

II. Пълни съединения:

II.1= I.1, но за непълни съединения. При липса на класификация може да се използва предложената в табл.2.

II.2= I.2, но за непълни съединения.

II.3= I.3.

II.4= I.4.

III. Пълни и непълни съединения:

III.1. За всяко непълно съединение от т.I.1:

Преобразуване в пълно съединение като се отчитат възможностите на табл.2.

III.2. За всяко пълно съединение от т.II.1:

Преобразуване в непълно съединение като се отчитат възможностите на табл.1.

IV. Комбинират се получени резултати в т.I.4, II.4 и III.

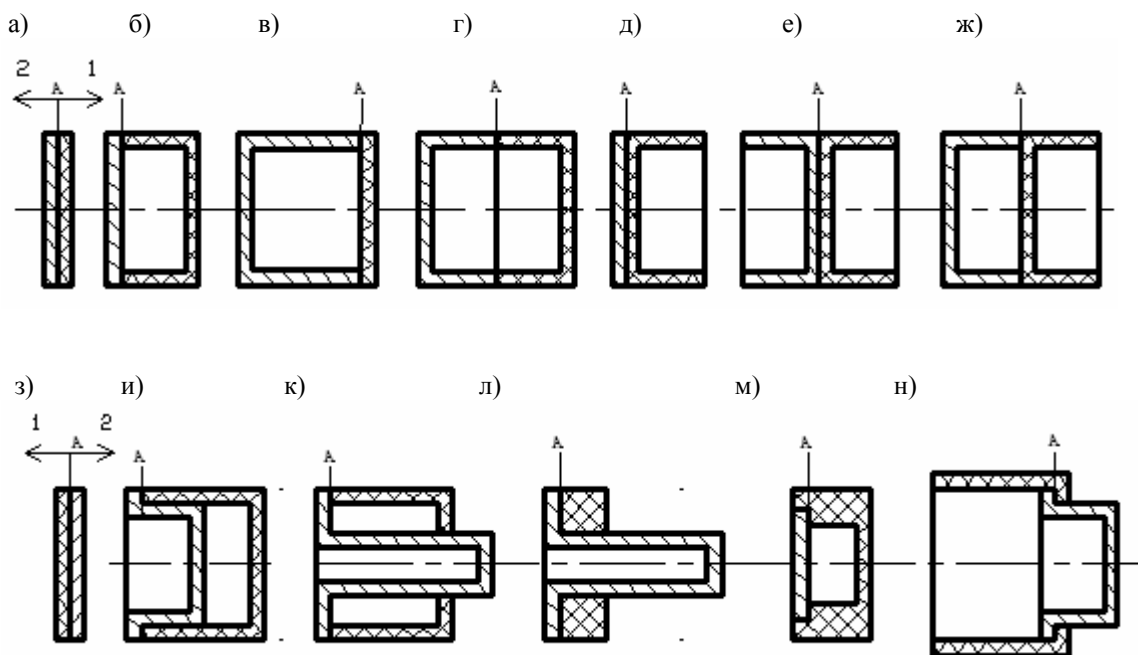
табл.1 Класификация на непълни контактните съединения

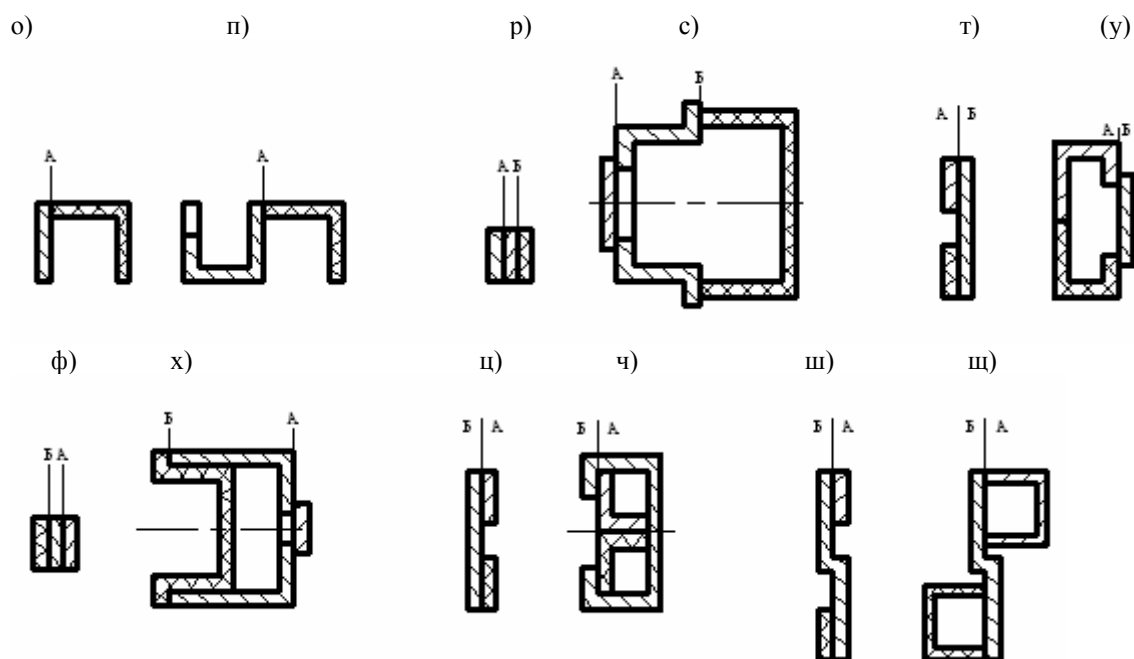
Класификационен признак	Видове
1. Зависимост на посоката на векторите на изходната и крайната контактни повърхнини	1.1. Еднопосочни 1.2. Противоположни 1.3. Завъртени
2. Разположение на материала на контактната повърхнина	2.1. Само по посока на вектора 2.1.1. Само за единият детайл 2.1.2. Само за другият детайл 2.1.3. И за двата детайла, образуващи контактното съединение 2.2. В двете посоки спрямо направлението на вектора 2.2.1. Само за единият детайл 2.2.2. Само за другият детайл 2.2.3. И за двата детайла, образуващи контактното съединение
3. Дължина на контактната повърхнина	3.1. По цялата дължина на детайла 3.2. По част от дължината на детайла
4. Наличие на кухина в детайла (тип кутия)	4.1. В нито един от детайлите 4.2. В един от детайлите 4.3. В другия от детайлите 4.4. В двата от детайлите

5. Наличие на равнина на симетрия в детайла	5.1. В нито един от детайлите 5.2. В един от детайлите 5.3. В другия от детайлите 5.4. В двата от детайлите
6. Брой на двойките контактни повърхнини	6.1. Една двойка 6.2. Две двойки 6.3. Повече двойки
7. Разположение помежду си на двойките контактни повърхнини (за случаите 6.2 и 6.3)	7.1. Не съвпадащи (успоредни) 7.2. Съвпадащи
8. Преместване на двойката контактни повърхнини по направление на векторите им	8.1. Не 8.2. Да
9. Замяна на едната от повърхнините на контактна двойка с друга повърхнина от същия или от друг детайл	9.1. Не 9.2. Да
10. Наличие на контактна повърхнина в изходната и крайната конструкция	10.1. Налична 10.2. Отпаднала

Заб.1. Векторът е перпендикулярът спрямо контактната повърхнина, който е насочен към материала на контактуващия детайл.

Заб.2. В класификацията не са отчетени конкретни форми на детайлите, а са дадени само някои примери. За многообразието на видове форми на детайлите вж. например [1].





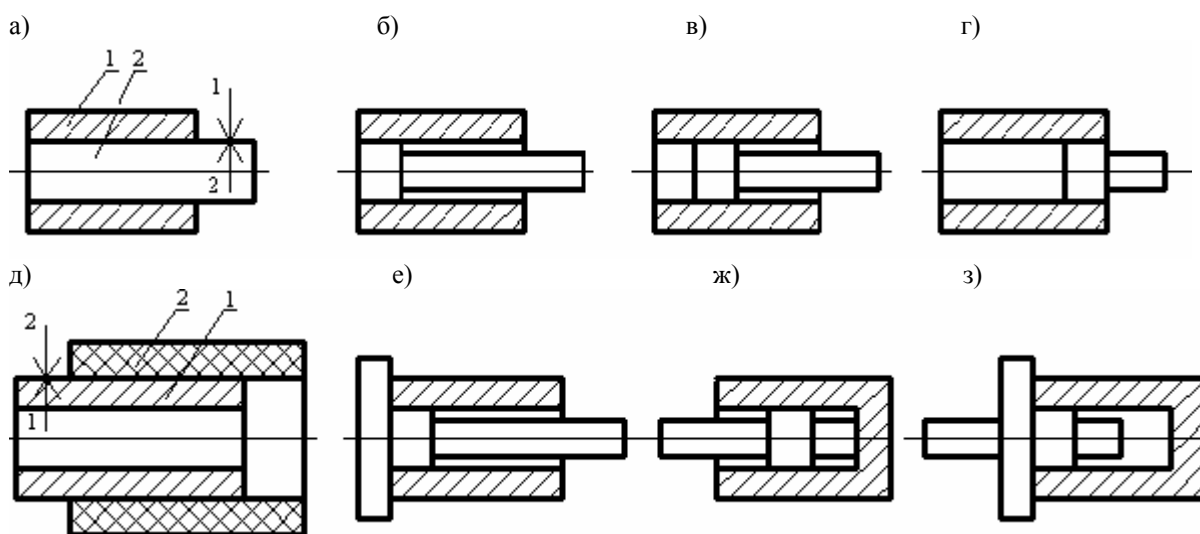
фиг.1 Примери за непълни контактни съединения

табл. 2 Класификация на пълни контактни съединения

Класификационен признак	Видове
1. Вид на съединението	1.1. Подвижно [7] 1.1.1. Тип „сглобка“ 1.1.2. Резбово 1.1.3. Шлицово 1.1.4. С еластичен елемент 1.1.5. Байонетно 1.1.6. Друго 1.2. Неподвижно [7] 1.2.1. Тип „сглобка“ 1.2.2. Впресован детайл 1.2.3. Споено 1.2.4. Заварено 1.2.5. Слепено 1.2.6. Нитовано 1.2.7. Друго
2. Зависимост на посоката на векторите на изходната и крайната контактни повърхнини	2.1. Еднопосочни (фиг.2а) 2.2. Противоположни (фиг.2д)
3. Разположение на материала на контактната повърхнина	3.1. Само по посока на вектора (фиг.2б-г) 3.2. В двете посоки спрямо направлението на вектора 3.2.1. Само за единият детайл (фиг.2е) 3.2.2. Само за другият детайл (фиг.2ж) 3.2.3. И за двата детайла, образуващи контактното съединение (фиг.2з)
4. Дължина на контактната повърхнина	4.1. По цялата дължина на детайла (фиг.2а, дет.1) 4.2. По част от дължината на детайла (фиг.2, дет.2)
5. Разположение на единия детайл спрямо другия	5.1. От единия до другия край (фиг.2а)

	5.2. В единия край (фиг.2б) 5.3. В средата (фиг.2в) 5.4. В другия край (фиг.2г)
6. Наличие на контактната повърхнина в изходната и крайната конструкция	6.1. Да 6.2. Не
7. Замяна на едната от повърхнините на контактна двойка с друга повърхнина от същия или от друг детайл	7.1. Не 7.2. Да

Заб.1. В класификацията не са отчетени конкретни форми на детайлите, а са дадени само някои примери.



фиг.2 Примери на пълни съединения

Класификацията на непълните контактни съединения е илюстрирана на фиг.1. На фиг.1а е дадена една контактна двойка А, състояща се от два детайла с вектори съответно 1 и 2. Ако е налице изходна конструкция на проектирания ТО, която ще се преобразува в крайна конструкция (или е налице решение, за което се търси конкурентна модификация), то са възможни два варианта- а) не се променя взаимното разположение на векторите, т.е. детайлът с двойна шриховка си остава вдясно спрямо контактната повърхнина, а другият детайл- вляво, което отговаря на 1.1 от табл.1 и б) разменят се местата на векторите, а заедно с това и на детайлите (фиг.1з), 1.2 от табл.1. В зависимост от разположението на материал от детайла спрямо контактната повърхнина са налице възможностите от т.2, табл.1, а именно: а) материалът на всеки от детайлите е разположен само по посока на неговия вектор

(фиг.1б-ж), 2.1 от табл.1 и б) материалът е разположен от двете страни на контактната повърхнини, като при б1) това се отнася само за единия детайл (фиг.1и-л), 2.2.1 от табл.1; при б2) само за другия детайл (фиг.1м), 2.2.2 от табл.1 и при б3) за двата детайла (фиг.1н), 2.2.3 от табл.1. Контактната повърхнина е по цялата дължина на детайла (фиг.1б, десен детайл), 3.1 от табл.1 или по част от дължината (фиг.1б, ляв детайл), 3.2 от табл.1. Формите на детайлите са без наличие на кухина в двата детайла (фиг.1о), 4.1 от табл.1, с кухина в единия от тях (фиг.1б), 4.2 от табл.1 или и в двата детайла (фиг.1г), 4.3 от табл.1. Аналогично стои въпросът с наличието на равнина на симетрия в детайлите- липсва в двата детайла (фиг.1п), 5.1 от табл.1, налице е в единия от детайлите (фиг.1о), 5.2 от табл.1 и налице е в двата детайла (фиг.1б), 5.3 от табл.1. Според броя на разглежданите контактни повърхнини може да

се говори за една контактна двойка (фиг.1б), 6.1 от табл.1, две контактни двойки (фиг.1р-щ), 6.2 от табл.1 и повече двойки (фиг.1ч), а взаимното разположение на двойките контактни повърхнини може да е не съвпадащи (фиг.1р-х), 7.1 от табл.1 и съвпадащи (фиг.1ц-щ), 7.2 от табл.1.

На фиг.1б-ж са представени някои възможни комбинации на детайли с и без кухини от вида 1.1 (табл.1). Подобни комбинации са възможни и за останалите случаи от табл.1.

На фиг.2 е илюстрирана част от класификацията на пълните съединения от табл.2. Примери за видовете съединения (1.1 и 1.2 от табл.2) са дадени напр. в [7], а съответствието на фиг.2 и табл.2 е посочено в табл.2.

Пример 1

На фиг.3а е дадено едно възможно решение на проектираното изделие- „Прекъсвач”. С позициите са означени: 1- букса; 2- контакт; 3- бутон, 4- капаче притискащо, 5- капак, 6- пластина контактна, 7- корпус, 8- пружина, 9- винт. Контактните повърхнини са класифицирани в табл.3.

1.1. Табл.1.

1.2. Табл.3 отразява всички съединения на изделието.

табл.3 Контактни съединения на ТО „Прекъсвач” (фиг.3а)

№	Контактни повърхнини между детайли	Вид на съединението
1	1 и 6	непълно
2	1 и 10	пълно (резбово)
3	2 и 3	непълно
4	2 и 8	непълно
5	3 и 5	пълно (подвижна сглобка)
6	4 и 5	пълно (резбово)
7	5 и 7	непълно
8	5 и 9	непълно
9	6 и 7	непълно
10	7 и 8	непълно
11	7 и 9	пълно (резбово)

1.3. По- долу се разглежда само първата контактна двойка 1-6. На по- голяма част от изображенията липсва изцяло или частично шриховката

на детайлите с цел по-ясно разчитане на информацията.

На фиг.3б е дадена промяна, при която векторите на изходната (фиг.3а) и променената конструкция (фиг.3б) са еднопосочни (1.1, табл.1), като контактните двойки 1-6, 6-7, 1-10, 2-3, 2-8 и 7-8 са преместени малко надолу; при фиг.3в векторите са противоположни (1.2, табл.1), на фиг.3г векторите са завъртени на 90° (1.3, табл.1). Съответствието на видовете контактни повърхнини от табл.1 и приложението им спрямо разглежданата контактна двойка е: 2.1.1 (табл.1)- фиг.3д; 2.1.2- фиг.3е; 2.1.3- фиг.3ж; 2.2.1- фиг.3д; 2.2.2- фиг.3е; 2.2.3- фиг.3б; 3.1- фиг.3б; 3.2- фиг.3з (изрязан е капакът 5) и фиг.3и (капакът 5 е разделен на две части, които са подпъхнати под корпуса 7; резбата между 4 и 5 е заменена с подвижна сглобка); 4-1- фиг.3к, където е представен частичен разрез на променената горна лява част на фиг.3а; промяната се състои в липсата на осев отвор за буксата 1, а винтът 10 е тип „цанга” с конусовиден край, който е разцепен, като при навиването на винта този конус пристяга влизация в него проводник; 4.2- фиг.3б; 4.4 - фиг.3л (пружината работи на опън); 5.4- фиг.3а (1 равнина на симетрия в двата детайла); фиг.3ж (1 равнина на симетрия за единия и 2 равнини на симетрия за другия детайл); 6.3- контактните двойки са повече от две (фиг.1а)- вж. следващата точка; 7.1- несъвпадащи непълни контактни двойки: 1-6 и 2-8, 1-6 и 7-8, 1-6 и 5-7, а (7.2) съвпадащи: 1-6 и 2-3(фиг.3а); някои примери на замяна на съвпадащи с несъвпадащи повърхнини и обратното са: съвпадане на 1-6 и 7-8 (фиг.3м), несъвпадане на 1-6 и 2-3- фиг.3и; 8.1- фиг.3д; 8.2- фиг.3б; друг вариант е даден на фиг.3о, като първоначално (фиг.3н) контактните двойки 1-6, 6-7, 1-10, 2-3 и 2-8 са преместени надолу, а пружината 8 е преместена от горната страна, тъй като там е налице свободно място; тази почти формално получена конструкция не може да функционира, поради което е преработена (фиг.3о)- прекъсвачът е нормално отворен, а при издърпване на бутона 3 нагоре се включва веригата; трети вариант е налице на фиг.3п, при която липсва капачето 4; следващ вариант е даден на фиг.3р (бутонът се

дърпа нагоре), като изходното изделие е това от фиг.3в;

Следващите варианти са дадени за други контактни повърхнини (фиг.3а), тъй като за разглежданото съединение те са неподходящи, а именно: 9.1- (контактна двойка 7-8)- фиг.3б; 9.2- (контактна двойка 4-8)- фиг.3с; 10.1-(налице е контактна двойка 2-8) фиг.3б; 10.2- (липсва контактна двойка 2-8) фиг.3г (контактът 2 е слепен за мембраната, която обхваща корпуса и изпълнява ролята на пружина); втори примерен вариант: 10.1-(налице е контактна двойка 5-7) фиг.3б; 10.2- (липсва контактна двойка 5-7) фиг.3у.

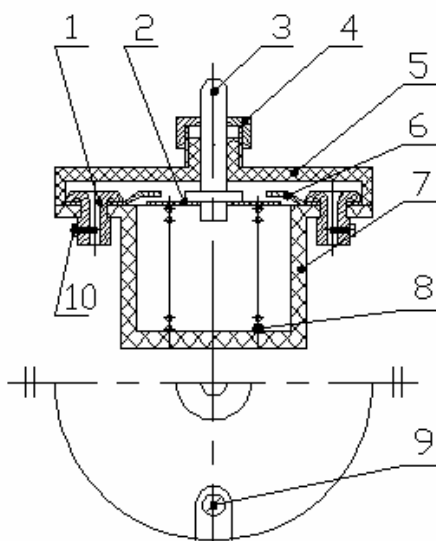
Трябва да се отбележи, че между посочените по-горе варианти са възможни и множество комбинации на особеностите им.

II.1. Табл.2.

II.2. Табл.3.

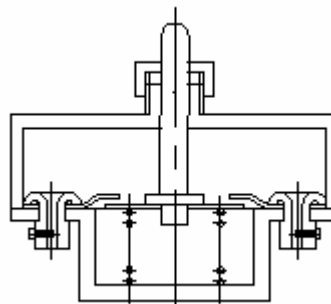
II.3. Някои решения са: нитово съединение (1-6-7) заменено от съединение със сглобка (1.1.1, табл.2)- фиг.3ф; резбово съединение (4-5) заменено от съединение със сглобка (1.1.1, табл.2)- фиг.3и; резбово съединение (1-10) заменено от съединение с еластичен елемент (1.1.4, табл.2)- фиг.3к; съединение със сглобка (3-5) заменено от резбово съединение (1.1.2, табл.2)- фиг.3у.

III.1. Някои решения са: замяна на непълното съединение 5-7 с: резбово- фиг.3х, сглобка-фиг.3ц,ч.

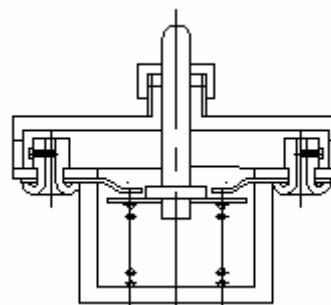


а)

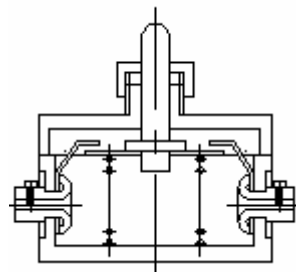
б)



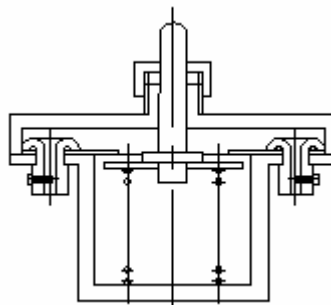
в)



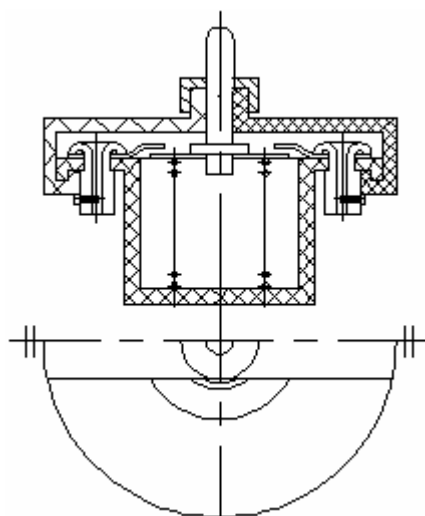
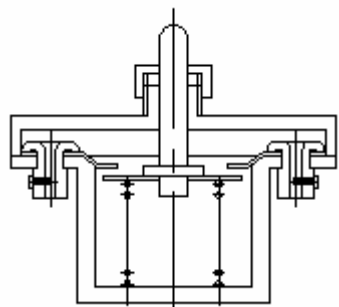
г)



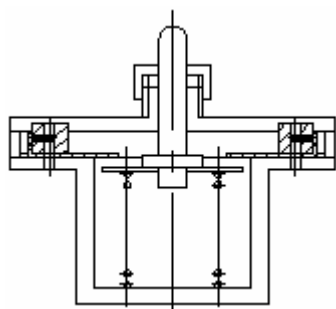
д)



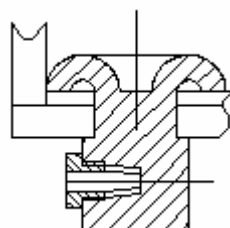
е)



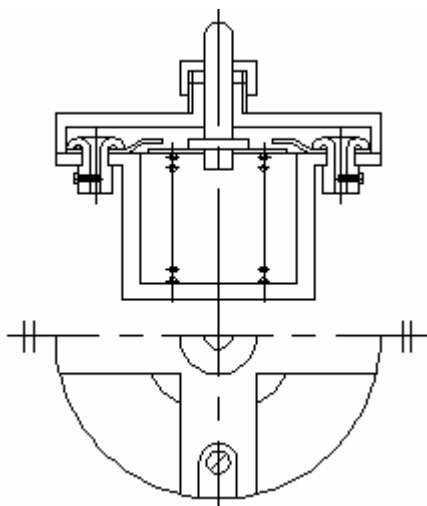
ж)



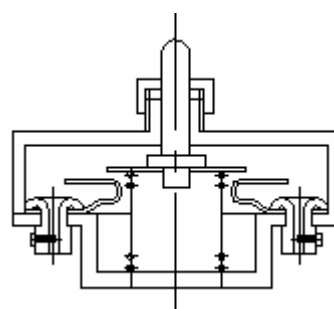
к)



з)

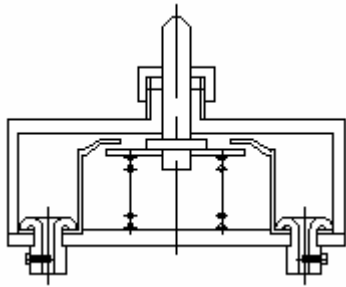


л)

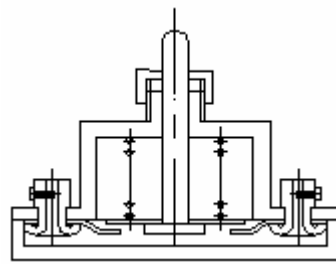


м)

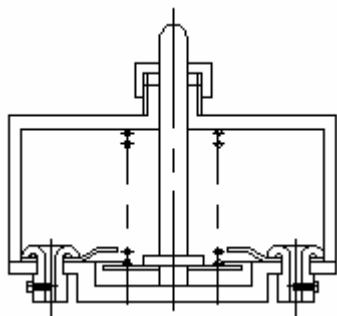
и)



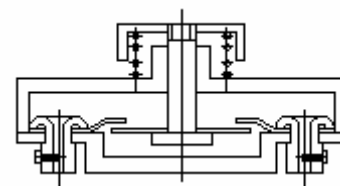
н)



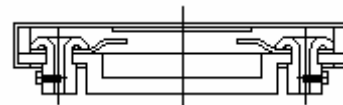
с)



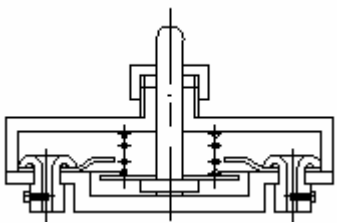
о)



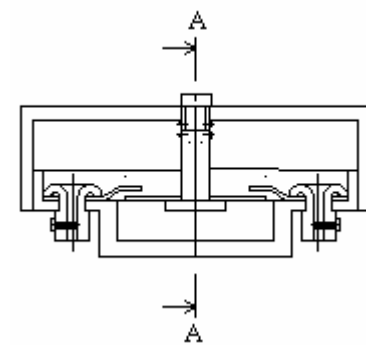
р)



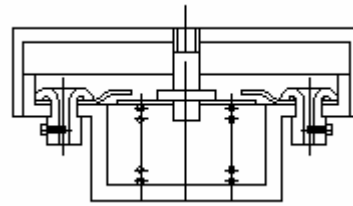
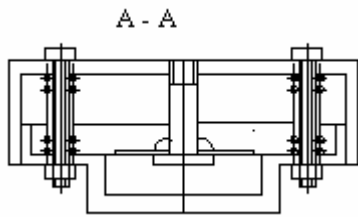
т)



п)

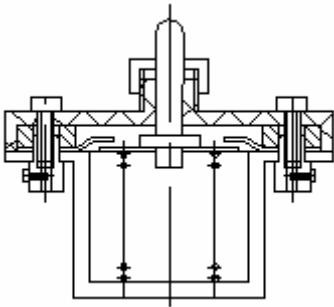


р)



фиг.3 Някои варианти на ТО “Ел. прекъсвач”, получени преди всичко на базата на непълни съединения

ф)



Вариантите от фиг.3, които са получени в съответствие с класификацията от табл.1 и табл.2 отразяват основните случаи на разположение, без да се отчита разнообразието във формите (материални и нематериални) на детайлите.

Пример 2 (пълни съединения)

Нека е зададен вариантът на хидравличния клапан от фиг.4а. С позициите са посочени: 1- капак малък, 2- капак голям, 3- пружина, 4- корпус, 5- затвор, 6- уплътнител, 7- кутия.

II.1. Табл.2.

II.2. Пълните съединения са посочени чрез окръжност и буква А-Г (фиг.4а). Те са 6 бр.

Някои от множеството възможни варианти са дадени по-долу.

II.3. (съединение А)

II.3.1. Резбова връзка между детайли 1 и 5-разглобяемо съединение между двата детайла.

II.3.2, II.3.3. (липсва резбовата връзка между 1 и 5- 6.2, табл.2) Едно възможно разположение на съединението е дадено на фиг.4б.

(съединение В)

II.3.1. Резбова връзка между детайли 2 и 4-разглобяемо съединение между двата детайла.

II.3.2, II.3.3. (съединение със сглобка- 1.1.1, табл.2) Фиг.4в.

(съединение С)

II.3.1. Водене на подвижният детайл 5 в неподвижния 4.

II.3.2, II.3.3. (липсва на връзка между 5 и 4- 6.2, табл.2) Фиг.4г.

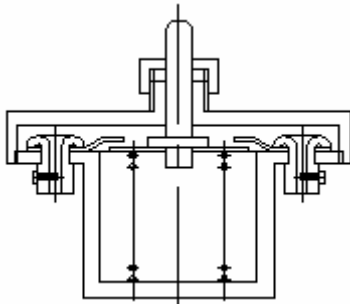
(съединение D)

II.3.1. Свободно обхващане на детайл 4 от детайл 7.

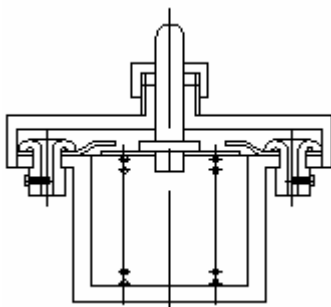
II.3.2, II.3.3. (липсва връзката между 4 и 7- 6.2, табл.2) Фиг.4д.

(съединение E)

х)



ц)



ч)

II.3.1. Водене на подвижния детайл 5 в неподвижния 4 и пропускане на флуид от лявата в дясната кутина на дет. 7.

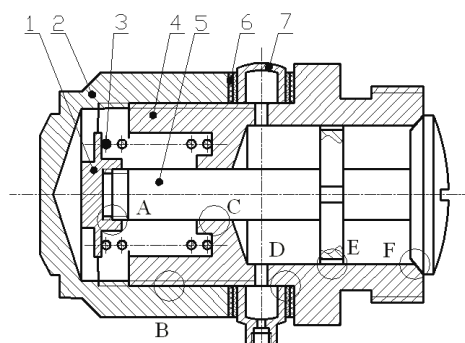
II.3.2, II.3.3. (липсва връзката между 5 и 4-6.2, табл.2) Фиг.4е.

(съединение F)

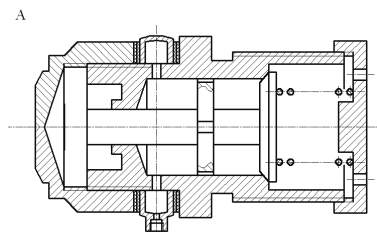
II.3.1. Подвижно съединение между детайли 4 и 5. Под въздействието на налягането на флуида дет.5 се премества надясно, като флуидът преминава през получения отвор.

II.3.2, II.3.3. (липсва връзката между 4 и 5-6.2, табл.2) Фиг.4ж.

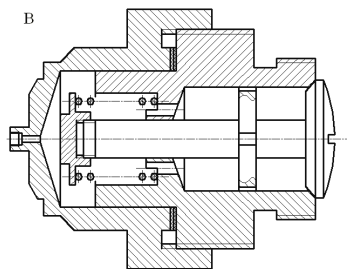
а)



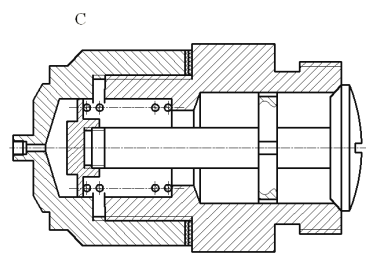
б)



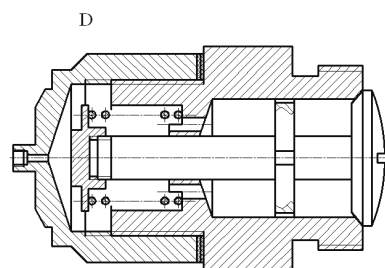
в)



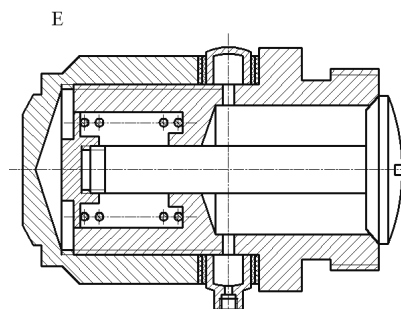
г)



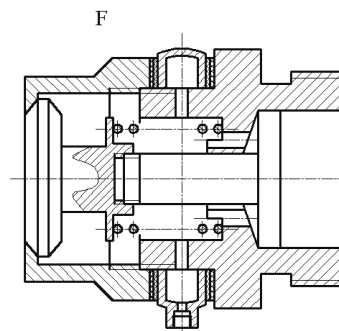
д)



е)



ж)



Фиг.4 Някои варианти на ТО “Хидравличен клапан”, получени на базата на пълни съединения

2.2. Метод „Разположение на елементи на ФПД”

Основната идея на метода се състои в търсене на варианти на разположение на съставните части, представени като геометрични фигури (инженерни ефекти ИЕ) във ФПД при приемането, че външният вид на ФПД условно представлява стилизирано изображение на проектирания ТО.

Алгоритъм

1. Построяване на ФПД на проектирания ТО. За реализирането на тази точка може да се използват методите в [3,4,7].

2. Определяне на съществените съставни части на проектирания ТО [7].

3. Приемане в първо приближение на основната форма на всяка съставна част от т.2. Формите като правило са съвкупности от прости геометрични тела- най- често цилиндър, призма, (порядко останалите прости геометрични тела- конус, сфера и изключително рядко- пирамида) и се определят от изпълняваните функции на елементите на частта.

Окончателните форми се приемат при последващите етапи от процеса на проектиране и изработване на изделието.

4. Определяне от формална гл.т. на разположението на конкретните геометрични фигури (ИЕ) във ФПД, напр. *отгоре, отдолу, отляво и др.* Съставяне на списък от варианти.

5. За всеки вариант от списъка:

5.1. Доближаване на геометричните фигури една до друга в съответствие с приетото разположение (т.4) и заместване на приетата в т.3 форма на всяка съставна част.

5.2. Анализ на получената конструкция от гл.т. на функциониране на изделието. При необходимост се извършват необходимите промени в нея.

Пример (ТО “Кафеварка”)

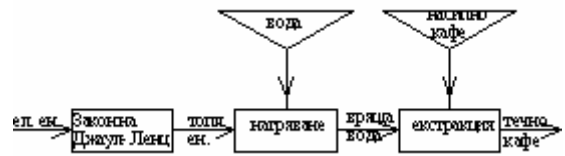
1. ФПД на кафеварка, *взаимствуван от [5]* е даден на *фиг.5а*.

2. Съществените съставни части са посочени на *фиг.5б*: *нагревател (получаване на топлинна енергия), изпарител (получаване на смес от кипяща вода и пара), екстрактор (отнемане на кофеина от кафето чрез преминаване през него на кипяща вода и пара), резервоар (съхранение на*

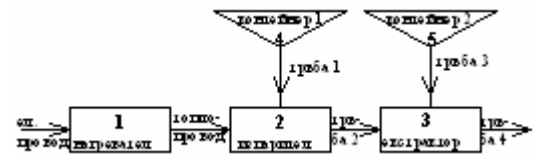
полученото течно кафе). Приема се, че водата се съхранява в нагревателя, а насипното кафе е в екстрактора (*фиг.6*). На *фиг.5б* е изобразен физическия принцип на действие, като ИЕ и връзките между тях са представени чрез наименованията на съставните части, зад които наименования са скрити техните предназначения. По тази причина този принцип на действие може да бъде наречен принцип на действие „Съставни части”.

3. Възможни основни форми са: *нагревател: спирала; изпарител: кух цилиндър/конус с капак; екстрактор: решетъчен кух цилиндър/конус; резервоар- кух цилиндър/конус/сфера с капак .*

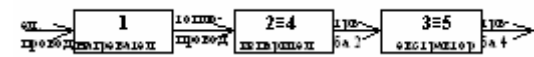
а)



б)

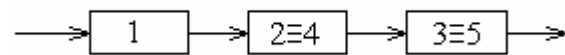


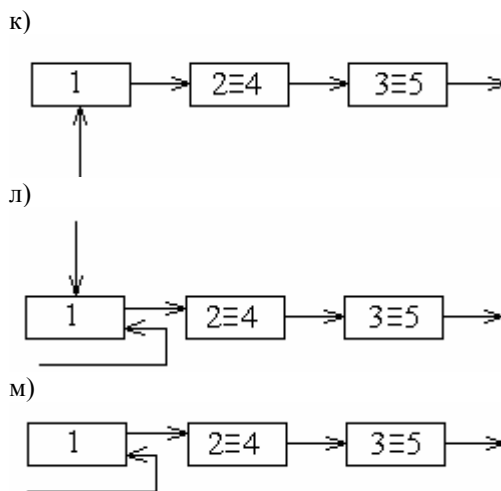
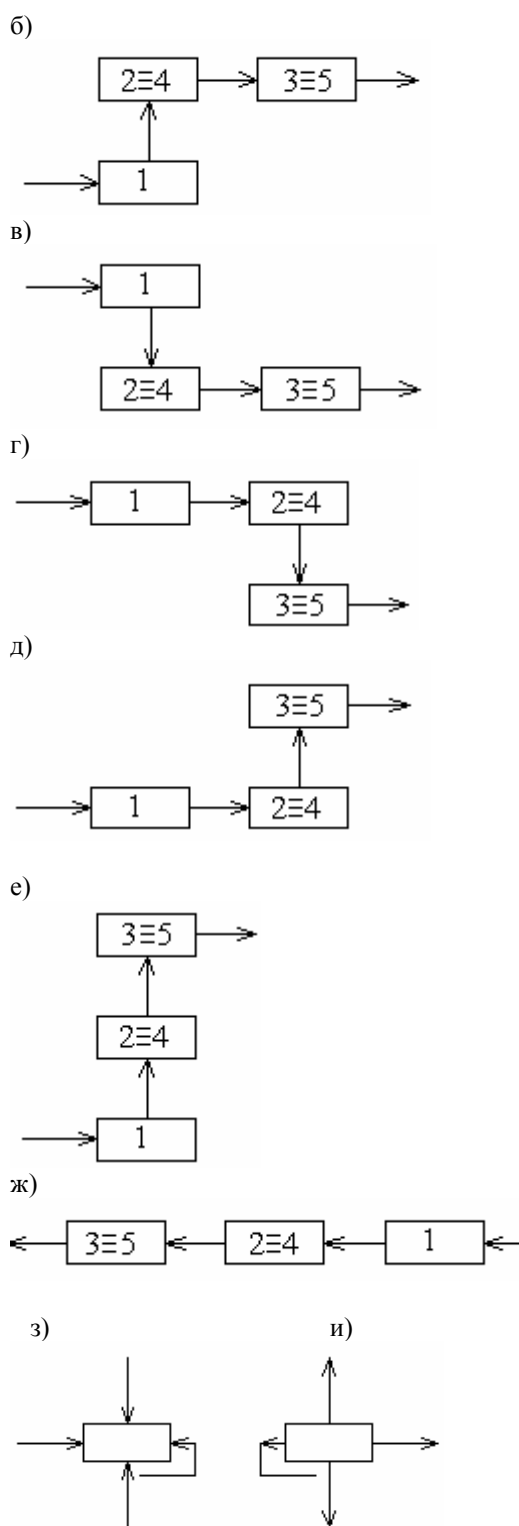
фиг.5 Принцип на действие тип „Съставни части” на ТО “Кафеварка”



фиг.6 Опростен принцип на действие тип „Съставни части” на ТО “Кафеварка”

а)





Фиг.7 Варианти на принцип на действие тип „Разположение” на ТО “Кафеварка”

4. На фиг.7 са дадени възможните варианти на разположение на елементите от фиг.6. По тази причина той може да бъде наречен принцип на действие тип „Разположение”. Фиг.7 илюстрира възможни варианти на принцип на действие с 3 елемента (правоъгълниците) и 4 връзки (линиите) между тях (входове и изходи за елементите). Теоретичното възможно взаимно разположение на елементите (при вход разположен отляво, т.е. обектът се развива отляво надясно) е представено на фиг.7а-е (6 бр.). Входът на проектирания ТО може да бъде разположен отдясно (фиг.7ж), като отново налице са 6 бр. вариантни разположения, които съответствуват на тези от фиг.7а-е.

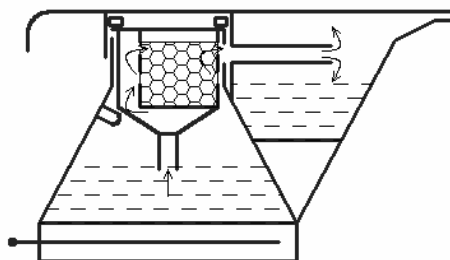
Възможните варианти на разположение на входовете да дадени на фиг.7з, а на изходите- на фиг.7и. Илюстрация на разположението на видовете входове за съставна част 1 на примера от фиг.7а е дадена на фиг. 7к-м. При 4 бр. входове и изходи общият брой на комбинациите е $4.4.4.4=256$.

Общият брой комбинации на елементи и връзки между тях е $12.256=3072$.

За отбелязване е, че в разглежданията погоре се приема равнинно (2D) изображение на принципа на действие и възможните варианти на разположение на елементи и връзки в равнина. Реалните обекти са 3D димензионни, поради

което принципът на действие може да се разглежда като 3D модел, което увеличава броя на вариантите.

5. Едно решение на кафеварката в съответствие с фиг.7е е представено на фиг.8. Други примери са дадени в [2, фиг.3-5].



фиг.8 Кафеварката в съответствие с фиг.7е

3. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Разработени са евристичен методи за геометрично проектиране на произволен технически обект „Контактни повърхнини” и „Разположение на елементите на ФПД”. Методите подпомагат проектанта като му предлагат пътища за търсене на решения. Те могат да се използват при геометрично проектиране на технически обект.

Литература

1. **Иллюстрированный определитель деталей общемашиностроительного применения** (руководящий технический материал) классов 40 и 50 Общесоюзного классификатора промышленной и сельскохозяйственной продукции, под руководством Е.И.Панфилова и др., М., ВНИИКИ, 1971.
2. **Лепаров М.** Относно геометричното проектиране на технически обекти, Българско списание за инженерно проектиране, 2013, №19.
3. **Лепаров М.** Метод „Изследване на формули“ за концептуално проектиране на технически изделия, Българско списание за инженерно проектиране, 2013, №17.
4. **Лепаров М.** Метод “Описания” за концептуално проектиране на технически обекти, Българско списание за инженерно проектиране, 2012, №10.
5. **Лепаров М.** Относно пресмятанията в процеса на проектиране на технически обекти, Българско списание за инженерно проектиране, 2011, № 9.
6. **Лепаров М.** Твърдения в теорията на евристичното проектиране, Българско списание за инженерно проектиране, 2010, №5.
7. **Лепаров М., М. Вичева, М. Георгиев** Основи на инженерното проектиране, С., Софттрейд, 2011.
8. **Otto K., K. Wood** Product Design. Techniques in Engineering and New Product Development, NJ, Prentice Hall, 2001.
9. **Pahl G., W. Beitz** Engineering Design. A Systematic Approach, Springer- Verlag Berlin, 2001.

ABOUT GEOMETRICAL DESIGN OF TECHNICAL OBJECTS

Michail LEPAROV

Department of Fundamentals and Techniques of Design, Technical University-Sofia, Bulgaria
e-mail: mleparov@tu-sofia.bg

Summary: The geometrical design of the technical object means the design, which follows conceptual design and includes specification of: a) components, b) their shapes, c) joining (contact) to each other, d) the placement, e) the determination of the size and values of the other parameters through calculations and appropriate analyzes and studies. The paper proposes two heuristic methods „Contact surfaces” and „Location of the elements of physical principle of operation FPO”, by which the solution of some problems of the geometrical design of any technical object is supported. The first method considers various variants of contact connections of the object components, and the second one uses various placements of the elements (engineering effects, inputs and outputs) of FPO. They are represented by a heuristic algorithm, and are illustrated by an example.

Keywords: design, geometrical design, technical object

ПРОСТРАНСТВЕНИ ПРИНУДЕНИ ТРЕПТЕНИЯ НА ДВУОСЕН АВТОМОБИЛ С ВИСОКА ПРОХОДИМОСТ, ПОРОДЕНИ ОТ РАБОТАТА НА ДВИГАТЕЛЯ С ВЪТРЕШНО ГОРЕНЕ

Валентин БАЧЕВ¹ Валентин СЛАВОВ² Въльо НИКОЛОВ³ Ганчо ДУШКОВ⁴

¹катедра „Машиностроене и уредостроене“, Технически университет - София, филиал Пловдив, България
e-mail: abc4@abv.bg

²катедра „Приложна механика“, Химико-технологичен и металургичен университет-София, България
e-mail: valslavov@abv.bg

³катедра „Транспортна и авиационна техника и технологии“, Технически университет - София, филиал Пловдив, България
e-mail: vnikolov@tu-plovdiv.bg

⁴ Министерство на отбраната – Институт по отбрана – гр. София, България
e-mail: dushkovg@abv.bg

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

Ключови думи: Пространствени принудени трептения, автомобили с висока проходимост, двигатели с вътрешно горене.

1. УВОД

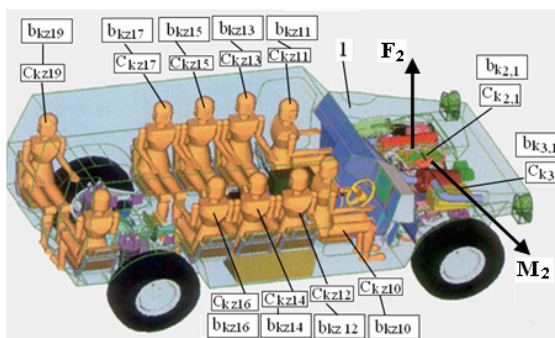
В достъпната литература няма трудове, които разглеждат принудените, от работата на двигател с вътрешно горене (ДВГ), трептения на двuosен автомобил с висока проходимост в пространството.

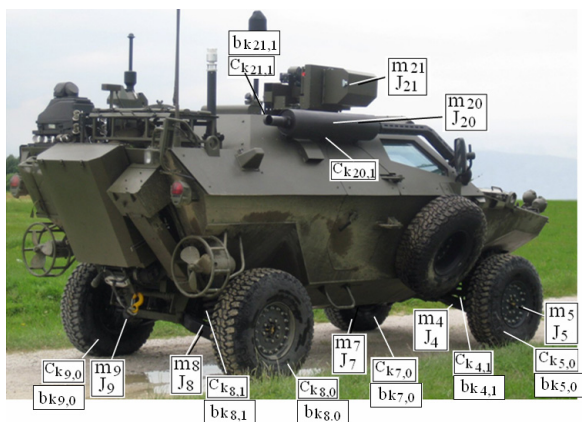
Тъй като главният вектор F_2 - (фиг.1) и главният момент M_2 на смущаващите сили са разположени произволно в пространство [1, 2, 3], целта на настоящата работа е да даде решение на тази пространствена задача.

2. ДИНАМИЧЕН МОДЕЛ

На фиг. 1 е представен динамичният модел на двuosен автомобил с висока проходимост, разглеждан като механична система (МС). В МС са включени 21 тела на автомобила. Те се разглеждат като идеално твърди тела. Свързани са по между си с ки-

нематични връзки и с еластични и демпфиращи елементи. МС е с 50 степени на свобода, на която векторът на обобщените координати е записан във вида [3, 5, 6, 7]:





фиг. 1. Динамичен модел на двуосния автомобил

$$\mathbf{q} = [x_1 \ y_1 \ z_1 \ \theta_{x1} \ \theta_{y1} \ \theta_{z1} \\
 x_2 \ y_2 \ z_2 \ \theta_{x2} \ \theta_{y2} \ \theta_{z2} \\
 x_3 \ y_3 \ z_3 \ \theta_{x3} \ \theta_{y3} \ \theta_{z3} \\
 \theta_{x4} \\
 \theta_{x5} \ \theta_{y5} \ \theta_{z5} \\
 \theta_{x6} \\
 \theta_{x7} \ \theta_{y7} \ \theta_{z7} \\
 \theta_{y8} \ \theta_{y9} \\
 z_{10} \ z_{11} \ z_{12} \ z_{13} \ z_{14} \\
 z_{15} \ z_{16} \ z_{17} \ z_{18} \ z_{19} \\
 x_{20} \ y_{20} \ z_{20} \ \theta_{x20} \ \theta_{y20} \ \theta_{z20} \\
 x_{21} \ y_{21} \ z_{21} \ \theta_{x21} \ \theta_{y21} \ \theta_{z21}]^T_{50 \times 1}$$

където долните индекси се отнасят за следните тела на МС: 1-корпус на автомобила, 2-двигател с вътрешно горене, 3-радиатор, 4 и 6 са десен и ляв носачи на предното окачване на автомобила, 5 и 7 са дясна и лява главини на предното окачване на автомобила, 8 и 9 са десен и ляв носачи на задното окачване на автомобила, 10, 11, ..., 20 са водач и пътници в автомобила, 21 е ауспуха на автомобила.

3. СМУЩЕНИЯ НА ДВУОСЕН АВТОМОБИЛ С ВИСОКА ПРОХОДИМОСТ, ПОРОДЕНИ ОТ РАБОТАТА НА ДВГ

При работа на ДВГ е необходимо да се определи влиянието на силите и моментите на сили, които възникват от: налягането на работното

вещество в цилиндъра и в картера на ДВГ; инерционните сили от възвратно - постъпателно, равнинно и ротационно движещите се маси, и от неуравновесените движещи се маси [1]. За удобство силите се представят във функция на ъгъла на завъртане на колянния вал α и се разглеждат за един работен цикъл на ДВГ. При четиритактовите ДВГ един работен цикъл се извършва за две завъртания на колянния вал, а при двутактовите ДВГ – за едно завъртане. Смущаващата сила \mathbf{F}_2 на ДВГ е равна на [1]:

$$\mathbf{F}_2 = \text{Re}(\gamma_{F2} \sum \mathbf{F}_{k2} e^{ik\alpha}), \quad k=1, \dots, n \quad (2)$$

където:

\mathbf{F}_{k2} - вектор на амплитудата на k -тия хармоник;

γ_{F2} - коефициент;

$\begin{cases} s \cdot j & \text{– за четиритактов двигател;} \\ s \cdot j / 2 & \text{– за двутактов двигател;} \end{cases}$

s – брой на цилиндрите на ДВГ;

$j = 1, 2, \dots, n$.

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

$$\mathbf{F}_2 = [\mathbf{F}_{2x} \ \mathbf{F}_{2y} \ \mathbf{F}_{2z}]^T \quad (3)$$

Смущаващият момент от газовите сили \mathbf{M}_r^* , разложен в ред на Фурие, е равен на:

$$\begin{aligned}
 \mathbf{M}_r^*(\alpha, \dot{\alpha}) &= \mathbf{M}_0^*(\dot{\alpha}) + \mathbf{M}_1^* \cdot \sin(\alpha + \phi_1) + \\
 &+ \mathbf{M}_2^* \cdot \sin(\alpha + \phi_2) + \dots = \\
 &= \mathbf{M}_0^* + \sum \mathbf{M}_k^* \cdot \sin(k \cdot \alpha + \phi_k), \quad k = 1, \dots, \infty
 \end{aligned} \quad (4)$$

Смущаващият момент \mathbf{M}_2 на ДВГ е равен на:

$$\begin{aligned}
 \mathbf{M}_2 &= \text{Re}(\gamma_{M2} \sum \mathbf{M}_{k2} e^{ik\alpha}), \quad k = 0, \dots, n; \\
 \mathbf{M}_0^* &= \mathbf{M}_0^*(\dot{\alpha})
 \end{aligned} \quad (5)$$

където: \mathbf{M}_{k2} - вектор на амплитудата на k -тия хармоник; γ_{M2} - коефициент.

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

$$\mathbf{M}_2 = [\mathbf{M}_{2,x} \ \mathbf{M}_{2,y} \ \mathbf{M}_{2,z}]^T \quad (6)$$

4. ОБОБЩЕНИ СИЛИ

Принудените пространствени трептения на леки автомобили се изследват, като се отчита смущаващото действие на силите и моментите от работата на ДВГ [4, 5, 6]. На фиг. 2 е показано свободно тяло в пространството с действаща върху него сила

$$\mathbf{F}_i = [\mathbf{F}_{iX} \quad \mathbf{F}_{iY} \quad \mathbf{F}_{iZ}]^T \quad (7)$$

и момент на двоица сили

$$\mathbf{M}_i = [\mathbf{M}_{iX} \quad \mathbf{M}_{iY} \quad \mathbf{M}_{iZ}]^T \quad (8)$$

с вектор \mathbf{R}_{Pi}^0 на приложната точка P_i на силата \mathbf{F}_i

$$\mathbf{R}_{Pi}^0 = \mathbf{R}_i^0 + \mathbf{U}_i^0 \cdot r_{Pi} \quad (9)$$

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

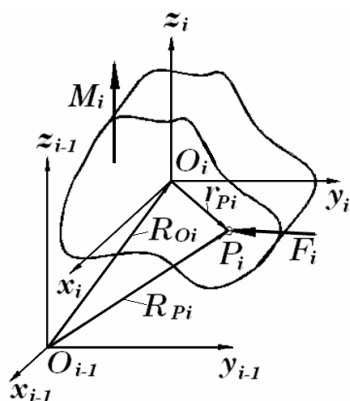
$$\delta W_e = \mathbf{F}_i^T \cdot \delta \mathbf{R}_{Pi}^0 + \mathbf{M}_i^T \cdot \delta \theta \quad (10)$$

където

$$\delta \mathbf{R}_{Pi}^0 = \delta \mathbf{R}_i^0 - \mathbf{U}_i^0 \cdot \tilde{r}_{Pi} \cdot \mathbf{U}_i^{\Omega 0} \cdot \delta \theta \quad (11)$$

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

$\mathbf{U}_i^{\Omega 0}$ е дефинирана в [1].



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

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

$$\delta W_e = \mathbf{F}_i^T \cdot \delta \mathbf{R}_i^0 - \mathbf{F}_i^T \cdot \tilde{r}_{Pi} \cdot \mathbf{U}_i^{\Omega 0} \cdot \delta \theta + \mathbf{M}_i^T \cdot \mathbf{U}_i^{\Omega 0} \cdot \delta \theta = \mathbf{Q}_F \cdot \delta \mathbf{R}_i^0 + \mathbf{Q}_M \cdot \delta \theta \quad (13)$$

От това уравнение се определят обобщените сили:

$$\mathbf{Q}_F = \mathbf{F}_i^T \quad (14)$$

$$\mathbf{Q}_M(\mathbf{F}, \mathbf{M}_i) = \mathbf{U}_i^{\Omega 0 T} \cdot (\tilde{r}_{Pi}^0 T \cdot \mathbf{F}_i + \mathbf{M}_i) \quad (14)$$

Обобщените сили на ДВГ:

$$\mathbf{Q}_{F2} = \mathbf{F}_2^{*T} \quad (15)$$

$$\mathbf{Q}_{M2} = \mathbf{U}_2^{\Omega 0 T} \cdot (\tilde{r}_{P2}^0 T \cdot \mathbf{F}_2^* + \mathbf{M}_2^*) \quad (15)$$

5. ДИФЕРЕНЦИАЛНИ УРАВНЕНИЯ НА ПРИНУДЕНИТЕ ТРЕПТЕНИЯ, ПОРОДЕНИ ОТ РАБОТАТА НА ДВГ

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

$$\mathbf{M}_{(50 \times 50)} \cdot \ddot{\mathbf{q}}_{(50 \times 1)} + \mathbf{B}_{(50 \times 50)} \cdot \dot{\mathbf{q}}_{(50 \times 1)} + \mathbf{C}_{(50 \times 50)} \cdot \mathbf{q}_{(50 \times 1)} = \mathbf{Q} \quad (16)$$

където: $\mathbf{M}_{(50 \times 50)}$, $\mathbf{C}_{(50 \times 50)}$ са матрици съответно на масите и на еластичните коефициенти на механичната система, дефинирани в [4]; $\mathbf{B}_{(50 \times 50)}$ е матрица на демпфиращите свойства на механичната система, дефинирана в [5]; \mathbf{Q} е смущаваща обобщена сила;

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

$$\mathbf{Q} = [[0]_{(6 \times 1)}^T \quad [r_{F2} \cdot \mathbf{F}_2^*]_{(3 \times 1)}^T \quad [\gamma_{M2} \cdot \mathbf{M}_2^*]_{(3 \times 1)}^T \quad [0]_{(38 \times 1)}^T]_{(50 \times 1)}^T \quad (17)$$

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

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

където:

$$g_r = -2\alpha_r \cdot (V_r^T \cdot M \cdot V_r - W_r^T \cdot M \cdot W_r) - \quad (19)$$

$$4\beta_r \cdot V_r^T \cdot M \cdot W_r + V_r^T \cdot B \cdot V_r - W_r^T \cdot B \cdot W_r;$$

$$h_r = 2\beta_r \cdot (V_r^T \cdot M \cdot V_r - W_r^T \cdot M \cdot W_r) - \quad (20)$$

$$4\alpha_r \cdot V_r^T \cdot M \cdot W_r + 2V_r^T \cdot B \cdot W_r;$$

$$G_r = g_r \cdot L_r + h_r \cdot R_r; \quad (21)$$

$$L_r = V_r \cdot V_r^T - W_r \cdot W_r^T; \quad (22)$$

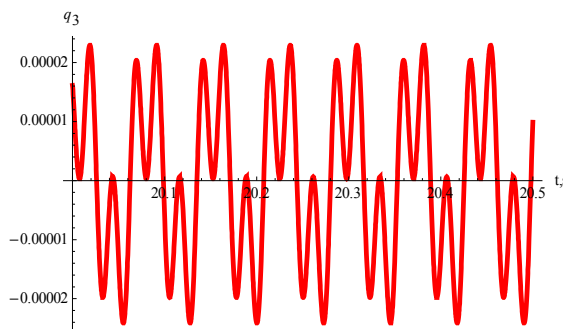
$$H_r = h_r \cdot L_r - g_r \cdot R_r; \quad (23)$$

$$R_r = V_r \cdot W_r^T + W_r \cdot V_r^T. \quad (24)$$

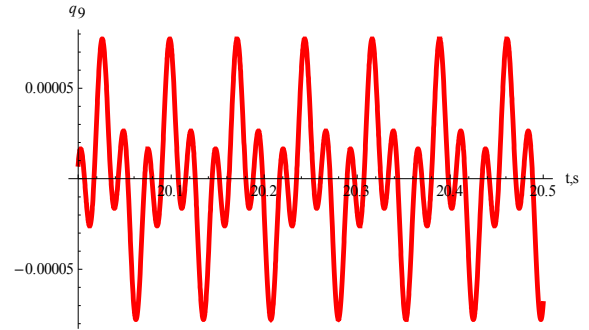
6. РЕЗУЛТАТИ ОТ ИЗЧИСЛЕНИЯТА

С изведените уравнения на свързаните пространствени принудени трептения на двусосен автомобил с висока проходимост, породени от работата на ДВГ, е създадена програма в среда на програмния продукт Wolfram Mathematica. С физичните параметри и с характеристиките на 4 цилиндров редови двигател са получени стойностите за амплитудите и за амплитудно - честотните характеристики на принудените трептения за петдесетте обобщени координати на разглежданата механична система.

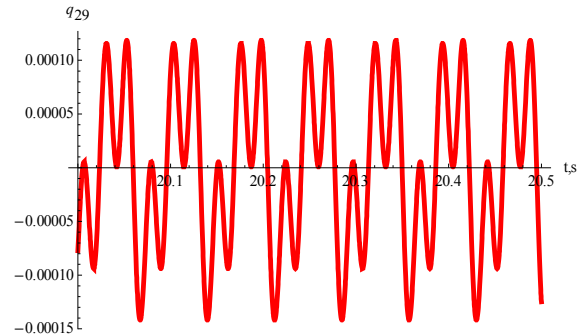
На фиг. 3, ..., 10 са представени получените резултати за принудени трептения на двусосния автомобил с висока проходимост и техните амплитудно-честотни характеристики по обобщените координати: q_3 , q_9 , q_{29} , q_{30} , които са преместване по вертикалните оси съответно на корпуса на автомобила, ДВГ, водача и пътника до последния.



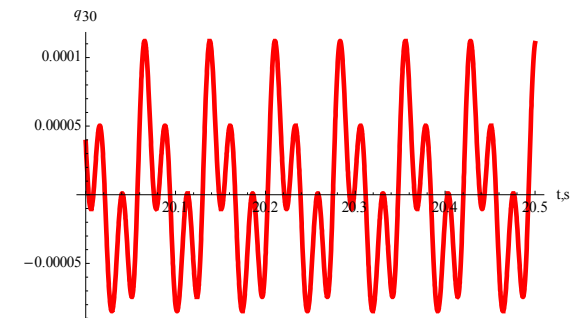
фиг.3 Принудени трептения по обобщена координата q_3 .



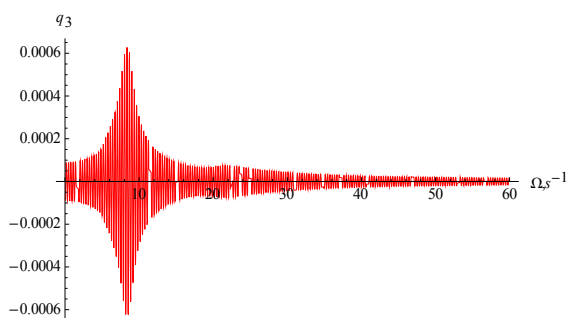
фиг.4 Принудени трептения по обобщена координата q_9 .



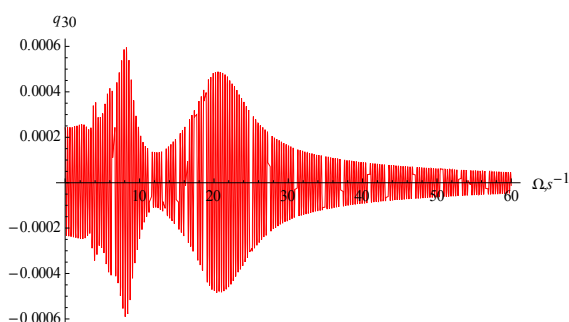
фиг.5 Принудени трептения по обобщена координата q_{29} .



фиг.6 Принудени трептения по обобщена координата q_{30} .



фиг.7 АЧХ на принудените трептения по обобщена координата q_3



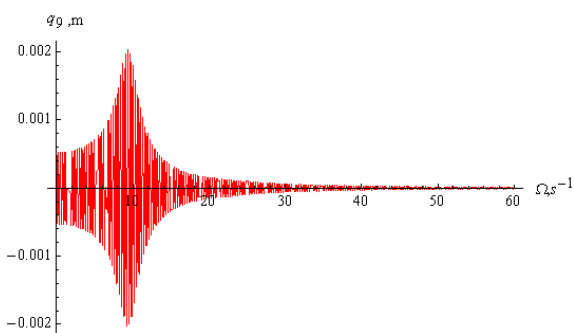
фиг.10 АЧХ на принудените трептения по обобщена координата q_{30}

7. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

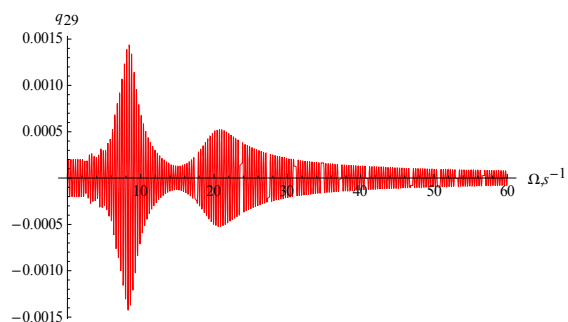
Извършено е механо-математично матрично моделиране на пространствените принудени трептения на двуосен автомобил с висока проходимост, породени от работата ДВГ, разглеждан като МС с 50 степени на свобода при отчетане на неговите масови, инерционни, геометрични, еластични, демпфиращи, кинематични и силови параметри. Изведена е системата диференциални уравнения на пространствените принудени трептения на двуосния автомобил, породени от работата на ДВГ, получени са решения в матричен вид и е създадена програма в среда на програмния продукт Wolfram Mathematica. С конкретни стойности на параметрите на двуосен автомобил с висока проходимост и на неговия ДВГ са получени числени резултати за принудените трептения, породени от работата на ДВГ, по обобщените координати и техните амплитудно-честотни характеристики.

Литература

1. Ангелов И. Матрично моделиране в 3D пространството на кинематиката, динамиката и трептенията на механични модули и многомасови системи. Дисертация за получаване на научна степен д.т.н. ТУ-София, 2000.
2. Ангелов И. Матрична механика. Динамика. София, Авангард Прима, 2008.
3. Ангелов И., Славов В. Сборник задачи Матрична механика. Динамика и трептения. София, Авангард Прима, 2008.
4. Ангелов И., Бачев В., Попаров А., Читаков С., Принудени ъглови трептения на агрегат с ДВГ, еластичен съединител, диференциал, полуоси със синхронни кардани и задвижвани маси със съпротивления.,



фиг.8 АЧХ на принудените трептения по обобщена координата q_9



фиг.9 АЧХ на принудените трептения по обобщена координата q_{29}

Научни трудове на Русенския университет - 2012, том 51, серия 2, стр. 83-87.

5. **Бачев В., Ангелов Ч.** Пространствени принудени трептения на лек автомобил от двигателя и вентилатора на охлаждащата система. Българско списание за инженерно проектиране, брой 13, юни 2012, стр. 31-35.

6. **Ангелов И., Желев Д., Бачев В., Николов В.** Механо-математично матрично моделиране на простран-

ствените принудени трептения на мотокар породени от работата на ДВГ и вентилатора на охлаждащата уредба. Научно списание "Механика на машините", год. XXI, кн. 2, бр. 101, 2013, стр. 52-56.

7. **Бачев В., Николов В., Ангелов И.,** Принудени трептения в пространството на силов агрегат с ДВГ на стенд. Научно списание "Механика на машините", год. XXI, кн. 2, бр. 101, 2013, стр. 38-41.

FORCED SPATIAL OSCILLATIONS OF A TWO-AXLE OFF-ROAD VEHICLE CAUSED BY THE WORK OF THE INTERNAL COMBUSTION ENGINE

Valentin BACHEV¹, Valentin SLAVOV², Valyo NIKOLOV³, Gancho DUSHKOV⁴

¹Department "Mechanical engineering", Technical University-Sofia branch Plovdiv, Bulgaria
e-mail: abc4@abv.bg

²Department "Applied Mechanics," University of Chemical Technology and Metallurgy, Sofia, Bulgaria
e-mail: valslavov@abv.bg

³Department "Transport and Aviation Equipment and Technologies", Technical University-Sofia branch Plovdiv, Bulgaria
e-mail: vnikolov@tu-plovdiv.bg

⁴ Ministry of Defence - Defence Institute - Sofia, Bulgaria
e-mail: dushkovg@abv.bg

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

Keywords: spatial forced oscillations, off-road vehicles, internal combustion engines.

СИСТЕМА ЗА ИЗМЕРВАНЕ НА СИЛИТЕ НАД И ПОД ВИБРОИЗОЛАТОРИТЕ НА ДИЗЕЛОВ ГЕНЕРАТОР

Вълчо НИКОЛОВ Красимир АМБАРЕВ

катедра „Транспортна и авиационна техника и технологии“
Технически университет - София, филиал Пловдив, България
e-mail: vnikolov@tu-plovdiv.bg, kambarev@tu-plovdiv.bg

Резюме: В настоящия статия е представена създадената система за измерване на силите над и под виброизолаторите на агрегат с едноцилиндров четиритактов дизелов двигател и електрически генератор. Представени са техническите параметри на съставните компоненти на измервателната система и дизеловия генератор и създадената методика за извършване на измерванията. Системата позволява експериментално изследване на влиянието на натоварването на дизеловия двигател върху опорните реакции над и под еластичните елементи на окачването на агрегата, при което данните за стойностите на измерваните величини се съхраняват, обработват и визуализират в среда на MATLAB. Представени са получени резултати от извършено измерване на силите над и под четирите виброизолатори на агрегата във функция от ъгъла на завъртане на колянвия вал на дизеловия двигател при пълното му натоварване.

Ключови думи: двигатели с вътрешно горене, дизелов агрегат, експериментални изследвания.

1. УВОД

Целта на настоящата разработка е създаване на система за експериментално изследване на влиянието на натоварването върху силите над и под виброизолаторите на агрегат с едноцилиндров четиритактов дизелов двигател и електрически генератор, при което данните за стойностите на измерваните величини да се съхраняват, обработват и визуализират в среда на MATLAB.

2. ЕКСПЕРИМЕНТАЛНА УРЕДБА

Експерименталната уредба е разработена на базата на дизелов агрегат за променлив ток на фирмата „KIPOR“ (Китай) - модел „KDE 6500T“ [7], показан на фиг. 1.

Агрегатът е предназначен за производство на еднофазен променлив ток, като дизеловият двигател с вътрешно горене /ДВГ/ задвижва непосредствено генератора за променлив ток. Чрез механичен регулатор се поддържа постоянна честота на въртене на дизеловия двигател – $n = 3000 \text{ min}^{-1}$, което гарантира постоянна честотата на генерираното напрежение – $f = 50 \text{ Hz}$. Поддържането на постоянно изходно напрежение на генератора при различни стойности на електрическия товар се осъществява с автоматичен регулатор на напрежение, вграден в агрегата.



фиг.1 Общ вид на дизеловия генератор за променлив ток KIPOR KDE6500T

Изграден на базата на съвременни полупроводникови елементи, автоматичният регулатор на напрежение осигурява зададените от завода-производител параметри и изключва агрегата в случай на отклоняване на стойностите на напрежението, тока или честотата му от предварително зададените такива.

Първоначалното пускане на дизеловия двигател се осъществява от пусков електродвигател (стартер), захранван от акумулаторна батерия. Предвидена е възможност за включване и на постояннотокови консуматори с малка мощност и работно напрежение 12V.

Основните характеристики на генератора, дизеловия двигател и автоматичния регулатор на напрежение са представени съответно в таблици 1, 2 и 3.

табл. 1

Показател	Стойност
Номинална честота на генерираното напрежение, Hz	50
Номинална изходна мощност, кVA	4.5
Максимална електрическа мощност, kW	5
Номинално напрежение, V	230
Номинален ток, A	19.6
Номинална честота на въртене min^{-1}	3000
Брой фази	еднофазен
Начин на възбуждане	самовъзбуждане
Изход за прав ток	12V/8.3A
Фактор на мощността, $\cos \varphi$	1
Генератор	Въртящо се магнитно поле с два полюса

табл. 2

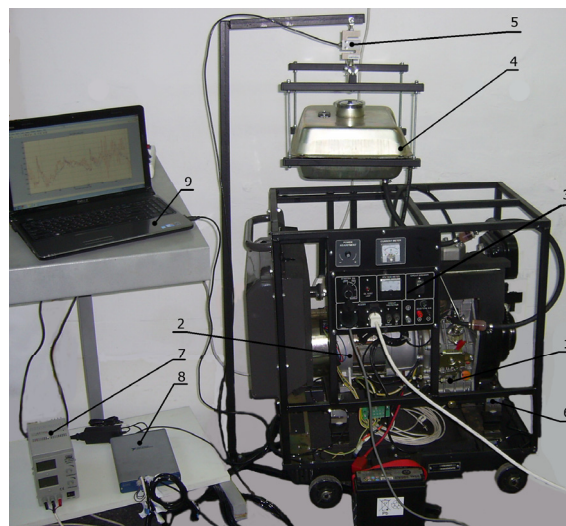
Модел	KIPOR KM186F
Тип	Дизелов, четиритактов, едноцилиндров, с директно впръскване и с въздушно охлаждане
Диаметър на цилиндъра/ход на буталото, mm	86 /72
Работен обем, l	0.418
Степен на сгъстяване	19
Номинална мощност ($\text{kW}/\text{min}^{-1}$)	5.7/3000 6.3/3600
Гориво	Дизелово
Двигателно масло	SAE 10W30 (над клас CC)
Специфичен ефективен разход на гориво ($\text{g}/\text{kW.h}$)	≤ 360

табл. 3

Промяна на напрежението при установен режим на работа	$\leq \pm 2.5\%$
Промяна на честотата на тока	$\leq 5\%$

От електрическия дизелов агрегат е премахнат външния корпус с обезшумителните материали, както и страничната преграда от страната на дизеловия двигател [1]. Изработена е заварена кон-

струкция от квадратни профили - фиг. 2, към която е закрепен контролният панел на експерименталната система.



фиг. 2 Общ вид на експерименталната система

1 - дизелов двигател; 2 - генератор; 3 - контролен панел; 4 - горивен резервоар; 5 и 6 – тензопреобразуватели; 7 – захранващ блок; 8 - аналогово-цифров преобразувател; 9 – компютър.

Контролният панел на уредбата (фиг. 3) включва: гнездо на контактния ключ (STARTER SW); светлинен индикатор за ниско ниво на маслото в двигателя (OIL ALERT LAMP); аналогова измервателна система за напрежение (VOLTAGE METER); главен прекъсвач на променливотоковата верига (CIRCUIT BREAKER); два електрически контакта за променлив ток – 230V; автоматични предпазители, свързани последователно към веригата на всеки от двата електрически контакта (CIRCUIT PROTECTION); изходи за постоянен ток 12V; стопяеми предпазители за постояннотоковата верига; аналогова измервателна система за променлив ток (CURRENT METER) и потенциометър за регулиране на мощността (POWER ADJUSTMENT), подавана към десния електрически контакт. Електрическата мощност през левия контакт се регулира посредством външен регулатор на мощност.



фиг. 3 Контролен панел

Текущата стойност на променливото напрежение на изхода на генератора се измерва чрез стрелкова аналогова система с клас на точност 2,5 и обхват 0-300 V. Измерването на текущата стойност на консумирания ток при външно натоварване се осъществява чрез стрелкова аналогова система за променлив ток с клас на точност 2,5 и обхват 20 A.

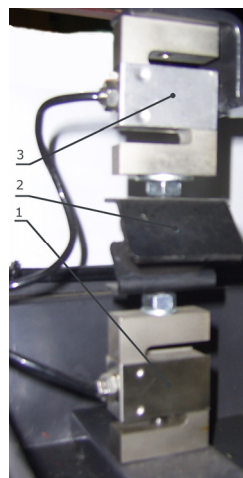
За натоварване на дизеловия двигател, към променливотоковия изход на генератора е свързан електрически товар - фиг. 4, състоящ се от седем на брой електрически нагреватели с номинална мощност 650W на всеки един от тях. Нагревателите са свързани успоредно в две отделни вериги, състоящи се съответно от четири и три нагревателя.

По такъв начин се получава максимален електрически товар 4550 VA. Всяка от двете товарни вериги е с отделен захранващ проводник, завършващ с електрически щепсел, тип „шuko“. Регулирането на електрическия товар се осъществява чрез регулатора на мощност (0 – 10 A), посредством разположения на контролния панел потенциометър. Регулаторът на мощност е свързан последователно към единия от двата електрически контакта на контролния панел. Регулирането на мощността в другата електрическа верига се извършва посредством завъртане на потенциометъра на външен регулатор на мощност с обхват от 0 до 10 A.

Измерването на реакциите в опорите под и над четирите виброизолатора се извършва чрез общо осем броя тензопреобразуватели (ТП) (фиг. 5).



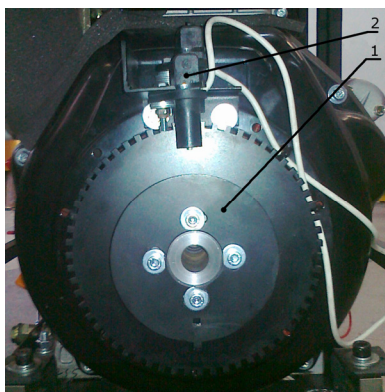
фиг. 4 Система за натоварване с електрически нагреватели



фиг. 5 Разположение на ТП при измерване на силите в предната дясна опора. 1 и 3 – ТП под и над виброизолатора; 2 - виброизолатор

Функционирането на уредбата изисква сигнал за горна мъртва точка (ГМТ) на буталото на двигателя [2, ..., 6]. Този сигнал се генерира от индукционен сензор, работещ с диск с един зъб.

Дискът е монтиран към свободния край на колянния вал на двигателя (фиг. 6).



фиг. 6 Разположение на индукционния възприемател за ГМТ 1 – диск с един зъб; 2 – индукционен възприемател.

Захранването на ТП на динамометъра се извършва от лабораторен стабилизирани захранващ блок “Mastech HY3005D-2”.

Основните технически данни на използваните 8 ТП [10], над и под еластичните елементи, са дадени съответно в таблица 4 и 5.

табл. 4

Производител	ZEMIC Transducers
Модел	H3-C3-100kg-3B
Тип	S – образен тип
Клас на точност	C3
Работен диапазон	0 – 1000 N
Материал	Легирана стомана
Захранващо напрежение	5-12 VDC (ном.) 18 VDC (макс.)
Изход при пълно натоварване /FS/	2.0014 mV/V 2.0014 mV/V 2.0021 mV/V 2.0009 mV/V
Неповтаряемост	±0.01% от FS
Входно съпротивление	350±3,5 Ohms
Нелинейност	0,02% от FS
Допустимо претоварване	1500 N
Максимално претоварване	3000 N
Баланс на нулата	<1% от FS
Изходно съпротивление	350±3,5 Ohms
Темп. компенсация	-10 deg C - +40 deg C
Работна температура	-35 deg C - +65 deg C
Хистерезис	0,02% от FS

табл.5

Производител	ZEMIC Transducers
Модел	H3-C3-150kg-3B
Тип	S – образен тип
Клас на точност	C3
Работен диапазон	0 – 1500 N
Материал	Легирана стомана
Захранващо напрежение	5-12 VDC (ном.) 18 VDC (макс.)
Изход при пълно натоварване /FS/	1.9991mV/V 2.0004 mV/V 2.0005 mV/V 2.0023 mV/V
Неповтаряемост	±0.01% от FS
Входно съпротивление	350±3,5 Ohms
Нелинейност	0,02% от FS
Допустимо претоварване	2250 N
Максимално претоварване	4500 N
Баланс на нулата	<1% от FS
Изходно съпротивление	350±3,5 Ohms
Температурна компенсация	-10 deg C - +40 deg C
Работна температура	-35 deg C - +65 deg C
Хистерезис	0,02% от FS

Преобразуването на аналоговия сигнал от измерванията в цифров се осъществява от аналогово-цифров преобразувател (АЦП) на фирмата “National Instruments” – USB-6343 [9]. Основните му технически данни са представени в таблица 6.

табл.6

Производител	National Instruments	
Модел	USB-6343	
Интерфейс	USB	
Измервани величини	Честота, напрежение, цифров сигнал, квадратичен декодер	
RoHS съвместим	Да	
Аналогови входове	Брой канали	32, 16
	Единично свързани	32
	Диференциални свързани	16
	Резолуция	16 bits
	Честота на измерванията	до 500 kS/s
	Диапазони на измерванията	±10V; ±5V; ±1V; ±0.2V

При измерванията се използват осем от аналоговите входове на АЦП /за всеки ТП по един

вход/, към които се свързват диференциално изходите на ТП. Използваният вход е с работен диапазон $\pm 0,2$ V. Регистрирането на данните от измерванията на силите се осъществява чрез програма в средата Matlab, използваща "Data Acquisition Toolbox" [8]. Данните от измерванията се съхраняват във файл с разширение "mat", което позволява тяхното по-нататъшното използване и обработване.

3. МЕТОДИКА ЗА ИЗМЕРВАНЕ НА СИЛИТЕ НАД И ПОД ВИБРОИЗОЛАТОРИТЕ

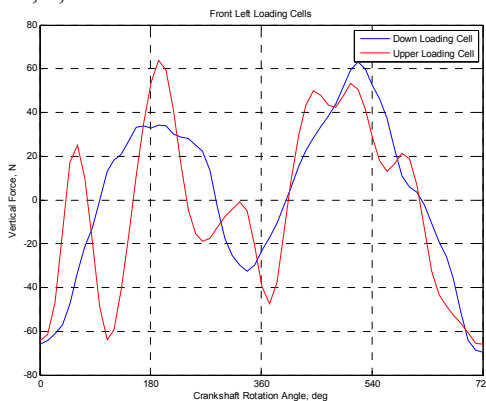
Измерването на силите над и под виброизолаторите на агрегата се извършва в следната методическа последователност:

1. Стартиране на програмата за измерване – присвояват се стойности на променливите за захранващото напрежение на ТП, изходите при пълно натоварване за всеки един ТП, броя на измерванията за една секунда, както и за времето, през което се извършва измерването.
2. Първоначално измерване, чрез ТП, на напреженията на изходите на ТП за всяка една опора за кратък период от време - 1 s, при неработещ двигател и предварително, устойчиво установена опитна установка.
3. Автоматично софтуерно нулиране на показанията на ТП.
4. Пускане на дизеловия двигател.
5. Регистриране на данните от измерванията.
6. Преобразуване на измерените стойности за напрежение в стойности за сила в отделните канали по място на разположение на сензорите.
7. Преобразуването на времето в ъгъл на завъртане на колянвия вал.
8. синхронизиране по GMT, чрез измерените стойности от индуктивния сензор.
9. Визуализиране на резултатите от измерените сили.

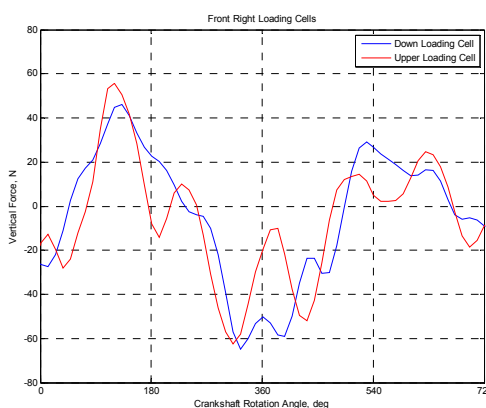
4. РЕЗУЛТАТИ ОТ ИЗМЕРВАНИЯТА

С измервателната система са извършени измервания на силите над и под четирите виброизолатори на дизеловия агрегат при максимална стойност на електрическия товар. Получените резултати за две завъртания на колянвия вал на

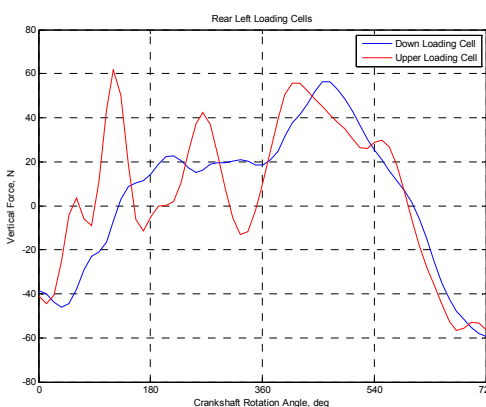
дизеловия двигател са представени графично на фиг. 7, 8, 9 и 10.



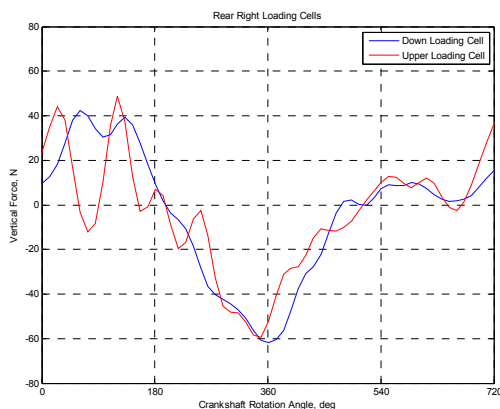
фиг. 7 Измерени сили под и над преден ляв виброизолатор



фиг. 8 Измерени сили под и над преден десен виброизолатор



фиг. 9 Измерени сили под и над заден ляв виброизолатор



фиг. 10 Измерени сили под и над заден десен виброизолатор

5. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Създадена е система за измерване на силите над и под виброизолаторите на агрегат с еднocyлиндров четиритактов дизелов двигател и електрически генератор. Системата позволява експериментално изследване на влиянието на натоварването на дизеловия двигател върху опорните реакции над и под еластичните елементи на окачването на агрегата, при което данните за стойностите на измерваните величини се съхраняват, обработват и визуализират в среда на MATLAB. Представени са получени резултати от

извършено измерване на силите над и под четирите виброизолатори на агрегата във функция от ъгъла на завъртане на колянoвия вал на дизеловия двигател при пълното му натоварване.

Създадената система може да намери приложение, както в научни и приложни изследвания в областта на виброизолацията на машинни агрегати, така и в обучението на студенти и докторанти.

Литература

1. Амбарев К., Николов В., Димитров Е., Панчев С., Ташев А. Уредба за експериментално изследване на дизелов двигател. Научно списание "Механика на машините", 2013 (под печат).
2. Генов, Г., Костов В. Изпитване на ДВГ. Техника, София, 1985.
3. Генов Г., Костов В. Ръководство за лабораторни упражнения по ДВГ. Техника, София, 1985.
4. Димитров П. Ръководство за лабораторни упражнения по теория на ДВГ. Издателство на ТУ-София, 1999.
5. Димитров П. Теория на двигателите с вътрешно горене. Издателство на ТУ-София, 2000.
6. Nikolov V. Ambarev K. Study of the influence of the compression ratio of four stroke diesel engine. International virtual journal "Machines, Technologies and Materials", Issue 7, 2012, pp. 3-6.
7. www.kipor.com
8. www.mathworks.com
9. www.ni.com
10. www.zemic.nl

MEASURING SYSTEM OF THE FORCES OVER AND UNDER THE VIBRATION INSULATOR OF DIESEL GENERATOR

Valyo NIKOLOV Krasimir AMBAREV
 Department "Transport and Aviation Equipment and Technologies",
 Technical University-Sofia, branch Plovdiv, Bulgaria
 e-mail: vnikolov@tu-plovdiv.bg¹, kambarev@tu-plovdiv.bg²

Abstract: This paper presents an established measuring system of the forces above and below the vibration insulator of the unit with a four-cylinder diesel engine and electric generator. Presented are the technical parameters of the components of the measurement system and a diesel generator and created a methodology for performing the measurements. The system allows the experimental study of the effect of electrical load on the supporting reactions above and below the elastic elements of the suspension of the unit, in which data values of the measured values are stored, processed and visualized in a MATLAB environment. Presented results were obtained from measurements made of the forces above and below the four mounts the unit as a function of the angle of rotation of the crankshaft of the diesel engine at full load.

Keywords: Internal combustion engines, diesel generator, measuring, experimental studies

МЕТОД ОТЛАДКИ БАЗ ЗНАНИЙ, ОСНОВАННЫХ НА ПРАВИЛАХ, ДЛЯ ЭКСПЕРТНЫХ СИСТЕМ

Ольга ДОЛИНИНА

Кафедра прикладных информационных технологий Саратовского государственного технического университета им. Гагарина Ю.А., Россия
e-mail: olga@sstu.ru

Резюме: Рассмотрены основные типы ошибок в базах знаний экспертных систем, построенных на основе продукций и искусственных нейросетей. Приведены методы статической и динамической отладки баз знаний. Предложен метод, позволяющий строить полное множество тестов для баз знаний, показано его использование для тестирования продукционных баз знаний и искусственных нейросетей, основанных на трехслойном персептроне.

Ключевые слова: искусственные нейросети, продукционные системы, ошибки в базах знаний, отладка экспертных систем, ошибка типа «забывание об исключении», извлечение правил, логические схемы

Экспертные системы (ЭС) сегодня получили большое распространение в трудно формализованных областях, где часто решение принимается на основании экспертных знаний. Ядром экспертной системы является база знаний (БЗ). К настоящему времени наибольшее распространение для представления знаний в экспертных системах получили продукции или правила. В данной статье описана отладка таких экспертных систем.

Рассмотрим продукционное представление знаний. Продукционные системы универсальны, т.е. любая формальная система, оперирующая символами, может быть реализована в виде одной из продукционных систем Поста [5].

Продукционная база знаний (ПБЗ) определяется:

$$P=(F, R, G, C, I), \quad (1)$$

где F – конечное множество фактов о решаемой проблеме. Каждый факт может быть установленным или не установленным, совокупность установленных фактов задает некоторую ситуацию в предметной области.

R – множество продукций или правил, включающее правила вида

$$r_m: \text{ЕСЛИ } f_i \text{ И } f_j \dots \text{ И } f_n \text{ ТО } f_k, \quad (2)$$

где r_m – имя правила, $r_m \in R$; f_i, f_j, \dots, f_n – условия выполнения правила; f_k – следствие правила, $f_i, f_j, \dots, f_n, f_k \in F$; G – множество целей или терминальных фактов ЭС; I – интерпретатор правил, реализующий процесс вывода. C является множеством разрешенных комбинаций фактов. В

множество C не входят, например, комбинации, в которых установлены одновременно какие-либо два факта, взаимно исключающие друг друга. База правил R и множество целей G образуют базу знаний.

Среди этапов создания ЭС отметим этап отладки. Так как база знаний наполняется человеком-экспертом, то в силу своих психологических особенностей эксперт может допускать различного рода ошибки, поэтому данный этап приобретает особо важное значение. Целью отладки является проверка БЗ для выявления различного рода ошибок и их устранение.

Будем использовать понятие отладки ЭС в узком смысле слова [1, 2].

Отладкой ЭС в узком смысле называется процесс выявления, локализации ошибок в БЗ, а также коррекции БЗ, не связанной с выбором нового способа представления знаний.

Для отладки БЗ ЭС используются две основных группы методов:

- Методы статического анализа (верификация), осуществляющие проверку БЗ на уровне формального контроля качества, не требующие запуска интерпретатора системы;

- Тестирование, заключающееся в прогоне ЭС на заданном множестве тестовых данных и сравнение результатов вывода ЭС с эталонными, определяемыми экспертами.

Для статического анализа обычно используют представление базы знаний в виде модели И/ИЛИ графа. Анализ графовой модели позво-

ляет выявить такие ошибки как избыточность, неполноту, противоречивость т.е. структурные ошибки. Отметим, что методы статического анализа хорошо формализуемы и поэтому сравнительно легко могут быть реализованы в виде программных модулей. Кроме того, они не нуждаются в оценке решения экспертом.

Для каждого класса выделяются типы ошибок, например, неполнота БЗ может характеризоваться недостижимыми, пропущенными, терминирующими продукциями (которые могут быть выполнены, но их заключения не являются целью вопроса и отсутствуют среди посылок других продукций). Избыточность БЗ характеризуется дублирующими продукциями, а также продукциями, не ведущими ни к какой цели.

Т.к. структурное представление БЗ в виде И/ИЛИ графа дает наиболее наглядное представление базы знаний, то проиллюстрируем с точки зрения теории графов основные возможные ошибки в БЗ:

На рис. 1 правило r_2 является лишним, т.к. для установок f_1 достаточно фактов f_2 и f_3 (правила r_1).

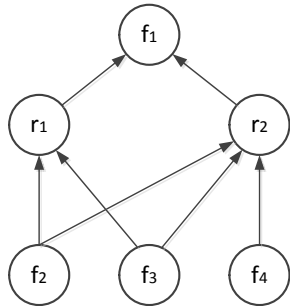
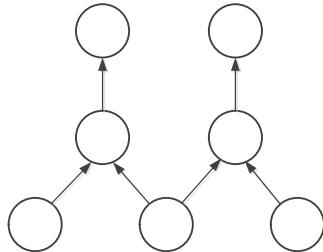


рис.1. Включающие правила

Пример противоречивых правил приведен на рис. 2.



$$\left\{ \begin{array}{l} (f_1 = 1, f_2 = 0), \\ (f_1 = 0, f_2 = 1) \end{array} \right\}$$

рис.3. Противоречивые правила

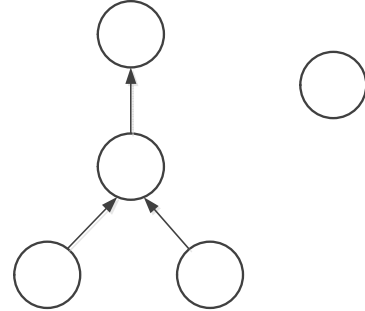


рис.4. Отсутствующие правила

Рис. 4 иллюстрирует пример неполноты БЗ, т.к. не существует правила, ведущего в вершину g_2 .

На рис. 5 изображен пример избыточности БЗ, т.к. существует лишнее правило r_2 , не ведущее ни к какой цели.

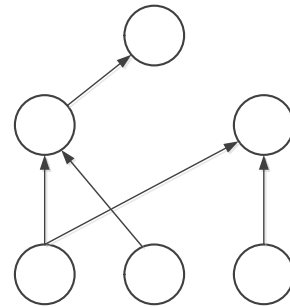


рис.5. Пример лишних правил

Введем следующие определения.

Определение 1. Структурной ошибкой в продукционной БЗ называется ошибка, выявляемая на основе анализа И/ИЛИ графа.

Определение 2. БЗ является статически корректной, если она не содержит структурных ошибок, т.е. БЗ непротиворечивая, полная и неизбыточная.

Но в то же время, методы статического анализа не обеспечивают достаточную проверку БЗ, например, БЗ может быть непротиворечивой, но, тем не менее, включать содержательные ошибки.

Отметим, что статически корректная БЗ (т.е. не содержащая структурных ошибок), тем не менее, может делать ошибочные выводы за счет содержательных ошибок в самой базе знаний.

Универсальным средством обнаружения ошибок в БЗ является тестирование. В ходе этапа тестирования осуществляется заключительная оценка выбранного способа представления знаний и ЭС в целом. Как только ЭС оказывается в состоянии обработать несколько примеров от начала до конца, необходимо провести процедуру тестирования, заключающуюся в запуске интерпретатора ЭС на определенном множестве входных данных, называемым тестовым множеством, и в сравнении полученных результатов с эталонными, полученными от эксперта.

Важным является подбор тестового множества данных, на котором будет проверена ЭС. Отметим, что одной из причин неудачной работы ЭС в дальнейшем являются недостаточно показательные тестовые примеры. В худшем случае они могут оказаться вообще вне проблемной области, на которую рассчитана ЭС, однако чаще всего множество тестовых примеров принадлежит рассматриваемой проблемной области, но является однородным и не позволяет охватить всю проблемную область [3].

Существующий богатый опыт тестирования и оценки обычных программ позволяет частично перенести методы тестирования программ на тестирование БЗ. Классическое определение тестирования как процесс исполнения программы с целью обнаружения ошибок [4] распространяется и на тестирование БЗ: ЭС тестируется не для того, чтобы доказать, что она работает, а наоборот, тестирование начинается с предположения, что в ней есть ошибки, а затем уже обнаруживаются максимальное их число. Тестирование заключается в прогоне ЭС на некотором множестве исходных данных, называемым тестовым множеством, с целью обнаружения ошибок. Тестовый прогон считают удачным, если в результате его выполнения обнаруживается ошибка, и неудачным, если получен корректный результат.

Одним из способов тестирования программ, который может быть применен к тестированию БЗ, является стратегия «черного ящика», называемая также тестированием с управлением по данным или с управлением по входу-выходу. ЭС

в этом случае рассматривается как «черный ящик». Тесты выбираются из так называемого входного домена (множества, определяемого экспертом). Результаты выполнения сравниваются с эталонными (полученными от эксперта). По результатам сравнения делается вывод о факте наличия ошибок в БЗ. Такая оценка может быть названа качественной оценкой достоверности БЗ. Такие тесты получили название тестов Тьюринга.

Отметим, что большинство реально действующих ЭС основаны на базах знаний больших объемов, и построение вручную тестовых примеров требует больших человеческих и материальных затрат.

Введем понятие тестового примера T для БЗ экспертной системы.

Под тестовым примером T для базы знаний понимают набор фактов с приписанными им истинными значениями. Если, основываясь на этом наборе фактов, интерпретатор выдает заключение $g \in G$, где g - результат выполнения тестового примера T над БЗ, то g - результат выполнения тестового примера T над БЗ.

Под тестом понимается пара (T, g') , где g' -определение пользователем правильного результата выполнения тестового примера T .

Существует тривиальный метод для проверки статической корректности для генерации тестовых данных, удовлетворяющих критерию покрытия операторов - достаточно сгенерировать все возможные комбинации фактов. Количество сгенерированных таким образом тестов растет экспоненциально от числа возможных фактов. Несмотря на то, что время генерации одного теста здесь постоянно, суммарное время генерации тестов растет также экспоненциально от числа фактов.

Методы так называемого «белого ящика» основаны на проверке содержимого БЗ, т.е. конкретных продукций. Для обычных программ тестирование по принципу «белого ящика» характеризуется степенью, в какой тесты выполняют или покрывают логику (исходный текст) программы.

В классическом тестировании программного обеспечения (ПО) часто используется такой критерий, как критерий покрытия операторов (КПО), требующий выполнения каждого оператора программы хотя бы один раз. Обычно этот

критерий является довольно слабым, т.к. это требование является необходимым, но недостаточным условием для приемлемого тестирования. Более сильным критерием является критерий покрытия решений, который требует, чтобы каждое решение имело результатом TRUE или FALSE и при этом каждый оператор выполнялся, по крайней мере, один раз.

Такой критерий контроля качества ПО как критерий комбинаторного покрытия всех решений и путей в программе, в большинстве случаев очень трудоемок как для обычных программ, так и для ЭС.

Отметим, что эти требования к критериям тестирования справедливы для БЗ, не содержащих вероятностей в продукциях.

Для БЗ, содержащих вероятностные или нечеткие продукции, решение обычно принимается на основе аккумуляции всей используемой информации. Например, правило может быть выполнено на заданных тестовых данных, но его вклад в процесс принятия решения, возможно, будет минимальным. В этом случае КПО является явно недостаточным критерием и целесообразно рассмотреть достижение каждой цели в БЗ. Это также необходимый критерий эффективного тестирования, но не достаточный.

Для получения эталонных значений G' могут быть использованы дополнительные эксперты, или те же, кто участвовал в формировании базы знаний. Такой подход также позволяет обнаруживать ошибки в правилах. Дело в том, что эксперт обладает несколькими дублирующими системами рассуждений. Допуская ошибки при формировании ПБЗ большой размерности, он как правило, дает правильные решения для конкретной постановки задачи.

Проанализируем возможности КПО с точки зрения полноты обнаружения ошибок БЗ. Если логическое следствие в правиле действительно выполняется всегда, независимо от установки других фактов, то данная продукция является правильной, т.е. не содержит ошибок. Наиболее грубая ошибка в продукции имеет место, если факт f_i никогда не бывает истинным, если установлены факты f_1, f_2, \dots, f_k .

Легко убедиться, что тесты, полученные по КПО, обнаруживают именно ошибки такого рода. Если (1) может выполняться или не выполняться

в зависимости от состояния некоторых других фактов, то обнаружение подобных ошибок не гарантируется тестами КПО.

Наиболее грубая ошибка в правиле (2) имеет место, если факт f_i в данной предметной области никогда не может быть установлен в присутствии фактов f_1, \dots, f_k . Именно такие ошибки обнаруживают тесты, построенные по критерию покрытия операторов. Действительно, данный критерий предусматривает однократную активизацию каждого правила. Если факт - следствие некоторой продукции на самом деле не должен устанавливаться при выполнении условия продукции, то ЭС сообщит об истинности какой-либо цели, которая не должна удовлетворяться в данной ситуации.

Более реален случай, когда факт - следствие f_i иногда должен устанавливаться при установленных фактах f_1, \dots, f_k , входящих в условие продукции, а иногда не должен. Это зависит от состояния других фактов предметной области (ПО). Очевидно, что тестирование по критерию покрытия операторов не гарантирует обнаружения ошибок этого наиболее общего класса.

В общем случае, вследствие ошибок эксперта множество фактов ПБЗ F может содержать не все факты, существенные для рассматриваемой ПО. В результате некоторые правила из P могут оказаться неверными при установке некоторых фактов, не входящих в F . Анализ ПБЗ не позволяет сформировать тестовый пример, обеспечивающий обнаружение подобных ошибок. В дальнейшем предполагается, что множество F содержит все факты, установка которых может влиять на справедливость правил R . Соответственно, класс обнаруживаемых ошибок ограничивается этим допущением.

Рассмотрим подробнее наиболее сложную для выявления ошибку в БЗ, связанную с так называемым «забыванием об исключении» в предметной области.

При формировании правил ПБЗ вследствие психологических особенностей эксперт практически всегда безошибочно выделяет для данного факта f_i те факты, которые способствуют его установке. Однако факты, «мешающие» установке рассматриваемого факта f_i , зачастую упускаются экспертом. В результате возникают

ошибки, имеющие характер «забывания» о границах применимости правил (классический пример летучей мыши при классификации птиц и животных).

Применение перенесенных из тестирования ПО критериев контроля качества для тестирования ПО с достаточной степенью точности выявляет противоречия вида:

ЕСЛИ f_1 И f_2 ... И f_k ТО НИКОГДА f_n , (3)

Однако, применение подобных методов не в состоянии обнаружить скрытые противоречия вида:

ЕСЛИ f_1 И f_2 ... И f_k ТО не всегда f_n , (4)

Формальная модель ошибок типа, который можно назвать также «забывание об исключении» [1, 2, 6], состоит в следующем: правило выполняется всегда, за исключением того случая, когда в ПБЗ установлен набор фактов

$\{f_1, f_2, \dots, f_k\} = S \in C$. (5)

Данный класс ошибок является наиболее общим и покрывает ошибки типа «забывание о нескольких исключениях».

Метод построения тестов для обнаружения ошибок типа «забывание об исключении»

Если база знаний может быть представлена И/ИЛИ графом Γ , то после проведения статического анализа ее логика может быть задана более наглядно соответствующей Γ связанной логической сетью (ЛС). Переход к логико-сетевому представлению ПБЗ позволяет использовать для построения тестов методы технической диагностики цифровых устройств.

Распространенной моделью неисправностей в диагностике цифровых устройств является так называемая константная неисправность (см., например, [7]). В схеме, содержащей константную неисправность, выход одного из вентилях всегда находится в состоянии «0» или всегда находится в состоянии «1» независимо от состояний его входов. Ошибку типа (5) можно рассматривать как неисправность «константный 0» логической сети, которая проявляется только при одном каком-то наборе значений сигналов в ЛС.

В терминах ЛС тестом, обнаруживающим неисправность типа (5), является набор установленных и неустановленных фактов, которые обеспечивают активизацию правила r_i и активизацию пути в ЛС от линии r_i до одной из выходных линий, которым соответствуют цели ПБЗ

[7]. При этом должны быть установлены факты f_1, \dots, f_k . Если активизация r_i и путей не возможна при установленных фактах f_1, \dots, f_k , то тест не существует.

Любой непротиворечивый набор фактов S может быть установлен в P путем задания по крайней мере одного набора входных фактов $S \in C$. При этом множество C также должно быть задано относительно входных фактов ПБЗ. Такое представление C можно получить, выполняя обратный логический вывод для всех запрещенных комбинаций, содержащих внутренние факты P .

Сказанное является основанием для построения тестов ПБЗ в виде наборов ее входных фактов.

Т.к. множество фактов f_1, \dots, f_k , при одновременной установке которых правило r_i перестает выполняться, неизвестно, то для выполнения r_i необходимо перебрать все варианты активизации правила r_i и все возможные способы транспортировки соответствующего r_i сигнала логической сети до одного из ее выходов. Все факты, состояние которых несущественно для активизации r_i и путей от r_i до выходов сети, должны при этом устанавливаться. Заметим, что правило r_i , в общем случае, может быть неверным при нескольких комбинациях фактов. Данный подход к построению множества тестов для r_i обеспечит обнаружение всех таких ситуаций.

Возможно также наличие в ПБЗ кратных ошибок, когда неверными могут быть несколько правил. Полный тест ПБЗ P может быть получен путем объединения тестовых множеств всех правил из множества R . Обозначим через T полученное таким образом множество тестов для P .

Несложно убедиться, что T обеспечит обнаружение любых кратных ошибок P типа (5). Действительно, т.к. логическая сеть, соответствующая Γ , не содержит инверсий, кратные ошибки не могут маскировать друг друга.

Определение 1. Продукции, в условиях которых присутствуют только входные факты логической сети ПБЗ, будем называть листьями.

Для построения тестов ПБЗ можно использовать методы активизации путей, развитые в технической диагностике. При этом необходимо

строить все возможные тесты для каждой листевой продукции. Кубы, осуществляющие активизацию рассматриваемого правила и активизацию путей, пересекаются с множеством допустимых кубов входных фактов S . В кубах - результатах все символы «X» заменяются символом «1». Наиболее целесообразно использовать принятый в технической диагностике алгоритм PODEM [8]. Данный алгоритм предусматривает возврат по входам логической сети (ЛС) после каждого акта транспортировки сигнала через очередной элемент. В случае генерации тестов для ПБЗ этот подход особенно эффективен. Полученный в результате возврата куб входных фактов пересекается с кубом множества S . Если это пересечение пусто, то дальнейшая активизация рассматриваемого пути не производится. В теории логических сетей принято представлять множества соседних двоичных наборов в виде так называемых кубов. Куб представляет собой набор символов, в котором кроме «0» и «1» могут присутствовать символы «X» и «D». Каждый символ куба обозначает состояние одной соответствующей линии ЛС. Если какой-нибудь линии приспан символ «X», то ее состоянием может быть как «0», так и «1». В каждом случае единичное состояние линии соответствует установленному факту, нулевое - не установленному. Символ «X» означает, что соответствующий факт может быть как установленным, так и не установленным. Символ D приписывается линии, если она принимает состояние «1» в исправной ЛС и состояние «0» в неисправной ЛС. При построении тестов ЛС используется так называемая операция D-пересечения кубов, выполняемая по следующим правилам:

$$1) x \cap b_i = b_i; a_i \cap x = a_i,$$

где a_i и b_i - значения i -х координат кубов.

$$2) \text{ Если } a_i \neq x \text{ и } b_i \neq x, \text{ то}$$

$$a_i, \text{ если } b_i = a_i,$$

$$a_i \cap b_i = 0, \text{ в противном случае.}$$

Результатом пересечения двух кубов A и B будет являться куб

$$A \cap B = (a_1 \cap b_1, a_2 \cap b_2, \dots, a_n \cap b_n),$$

Если хотя бы для одной координаты результат пересечения не определен, то $A \cap B = \emptyset$.

Для построения тестов множество S допустимых наборов входных фактов удобно представить в виде наборов кубов. Заметим, что эксперту психологически проще сформировать кубы, описывающие запрещенные, а не допустимые комбинации фактов. После приведения этих ограничений к виду кубов входных фактов в результате обратного логического вывода, множество S разрешенных наборов может быть получено с помощью операции вычитания кубов.

Пусть, например, $S_2 \cap S_1$, где $S_1 = 1X0X10X$, $S_2 = 100X101$, (куб S_2 покрывается кубом S_1 , т.е. множество двоичных наборов, которые представляет куб S_2 , является подмножеством множества наборов куба S_1). Тогда результатом вычитания $S_1 \setminus S_2$ являются кубы $S_3 = 110X10X$ и $S_4 = 1X0X100$.

В результате вычитания получается столько кубов, сколько раз символ «X» в уменьшаемом кубе приходится против «0» или «1» в кубе - вычитаемом. Куб - результат получается заменой в уменьшаемом рассматриваемого символа «X» на инверсное значение соответствующего символа из куба - вычитаемого.

Алгоритм построения полного множества тестов ПБЗ

Для построения полного множества тестовых наборов для обнаружения неисправностей типа (4) ПБЗ предлагается следующий алгоритм.

1) Установить искомое множество тестов T пустым: $T = \emptyset$.

2) Выбрать очередную продукцию.

3) Установить факты, необходимые для ее активизации. Если их установка противоречит множеству S , то сообщить об ошибке и идти к пункту 7.

4) Воспользоваться алгоритмом PODEM для получения множества кубов T_1 , которое является тестовым для выбранной продукции. Кубы T_1 пересекаются с кубами множества S по мере их формирования. Пусть $T_2 = T_1 \cap S$, где « \cap » обозначает пересечение множеств кубов.

5) В кубах T_2 заменить все символы «X» на «1». В полученном списке исключить повторяющиеся кубы. Результат есть множество кубов T_3 .

6) Выполнить объединение множеств двоичных наборов T T_3 . Результат назначить новым множеством T .

7) Если есть еще продукции, то идти к пункту 2.

8) Конец.

Т.к. PODEM обеспечивает построение теста всегда, когда он существует, то теми же свойствами обладает и предложенный алгоритм.

При тестировании для получения эталонных ответов используются эксперты. Для того, чтобы тестирование было реально применено на практике, нужно, чтобы число тестов не превышало несколько десятков. Несложно убедиться в том, что тестовое множество, которое строится разработанным алгоритмом, является минимальным.

Тесты строятся для листовых продукции. Ни один из наборов тестового множества не может быть удален, т. к. в этом случае тестовое множество, по крайней мере, для одной из листовых продукции окажется неполным.

Разработанный метод был успешно применен для тестирования продукционной экспертной системы KORDEX, осуществляющей прогноз развития нестабильной стенокардии [2], и для ЭС, обнаруживающей неисправности газоперекачивающих агрегатов тип НК ГПА.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Поскольку статически корректная продукционная база знаний может содержать ошибки в самих правилах за счет не учета особенностей предметной области, то способом, обеспечивающим обнаружение ошибок, является тестирование. Так как класс ошибок «забывание об исключении» покрывает все остальные классы ошибок, то описанный метод генерации полного

тестового множества позволяет выявлять все возможные ошибки для продукционных баз знаний вида (1) и повышает эффективность процесса отладки экспертных систем.

Список литературы

1. Долинина О.Н. Обнаружение ошибок типа «забывание об исключении» в продукционных базах знаний экспертных систем / О.Н. Долинина. СГТУ. Саратов, 1997. Деп. в ВИНТИ, N 678-B97.
2. Долинина О.Н. Информационные технологии в управлении современной организацией: монография // О.Н. Долинина. Саратов: Саратов. гос. техн. ун-т, 2006. 160 с.
3. Искусственный интеллект: в 3 кн. Кн. 2. Модели и методы: Справочник / под ред. Э.В. Попова // М.: Радио и связь, 1990. 304 с.
4. Майерс Г. Искусство тестирования программ / Г.М. Майерс; пер. с англ. под ред. Б.А. Позина. / Г. М. Майерс: Финансы и статистика, 1982. 176 с.
5. Post E.L. Formal Reductions of the General Combinatorial Decision Problem / E.L. Post // [American Journal of Mathematics](#) V.65, 1943, p. 197–215.
6. Поспелов И.Г., Поспелова Л.Я. Динамическое описание систем продукции и проверка непротиворечивости продукционных экспертных систем. / И.Г. Поспелов, Л.Я. Поспелова // Известия АН СССР. Техническая кибернетика. 1987. N.1. С. 184-192.
7. Основы технической диагностики. В 2 кн. Кн.1. Модели объектов, методы и алгоритмы диагноза. под ред. П.П. Пархоменко. М.: Энергия, 1976. 464 с.
8. Goel P. An implicit enumeration algorithm to generate tests for combinational logic circuits / P. Goel // IEEE Trans. Computers, 1981. Vol.C-30. N.3. P.215 - 222.
9. Gupta A, Park S., Lam S. Generalized Analytic Rule Extraction for Feedforward Neural Networks, A. Gupta, S. Park, S. Lam // IEEE Transactions on Knowledge and Data Engineering, vol. 11, no. 6, 1999. - p. 985-992.

METHOD OF TEST GENERATION FOR DEBUGGING OF KNOWLEDGE BASES FOR ARTIFICIAL INTELLIGENCE SYSTEMS

O.N. Dolinina

International Faculty of Applied Information Technologies of Saratov State Technical University, Russia
e-mail: olga@sstu.ru

Abstract: There are considered main types of errors in knowledge bases of expert systems, based on rules and on artificial neural networks. There are described methods of static and dynamic debugging of knowledge bases. Method of building of full set of tests for knowledge bases is suggested. There is described its using for testing of rule-based systems and for artificial intelligence systems based on 3-level perceptron. Artificial neural networks, rule-based systems, errors in knowledge bases, debugging of expert systems, error “forgetting about the exception”, rules extraction, logic schemes.

Key words: artificial neural networks, rule-based systems, errors in knowledge bases, debugging of expert systems, type of error “forgetting about exception”, knowledge extraction, logic schemes.

МЕХАНО-МАТЕМАТИЧНО МОДЕЛИРАНЕ НА КИНЕМАТИКАТА НА МОТОКАР С ХИДРАВЛИЧЕН МАНИПУЛАТОР, ИЗПЪЛНЯВАЩ ДВЕ РОТАЦИИ И ДВЕ ТРАНСЛАЦИИ

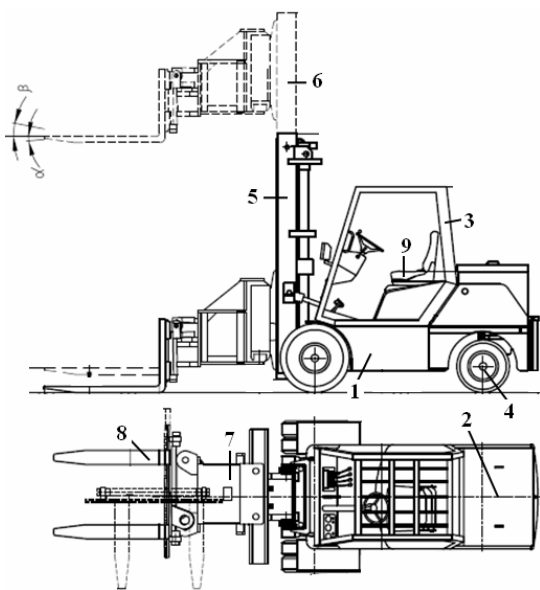
Деян ЖЕЛЕВ

катедра „Механика”, Технически университет-София, филиал Пловдив, България

E-mail: hidro_eood@abv.bg

Резюме: За изследване на пространствените свързани трептения на мотокар с хидравличен манипулатор, изпълняващ две ротации и две транскации, е необходимо да се опише неговата кинематика. В тази работа е изследвана кинематиката на такъв мотокар. Последният е представен като механична система, съставена от 9 идеално твърди тела с 24 степени на свобода, за която са дефинирани векторът на обобщените координати. Изведени са матриците на трансформация от локалните координатни системи към отправната координатна система. Изведени са уравненията на векторите на абсолютните линейни скорости на масовите центрове на телата от механичната система [1,2,4], проектирани в отправната координатна система. За всяко тяло от механичната система е изведен вектора на абсолютната ъглова скорост, проектиран в съответната локална координатна система.

Ключови думи: мотокар, свързани трептения, кинематика.



фиг.1 Кинематичен модел на мотокар

В статията са ползвани следните символи: \mathbf{R} , \mathbf{r} - радиус-вектор съответно в отправната и в локалната координатна система; O_i - център на съответна координатна система; C - център на маса; \mathbf{A} - матрица на трансформация; $\mathbf{A}t$ - матрица на транскация; $\mathbf{A}u$ - матрица на ротация; l - дължина; \mathbf{V} - вектор на линейна скорост; $\mathbf{\Omega}$ -

вектор на ъглова скорост; x, y, z - координатни оси, преместване; i - номер на тяло от механичната система; θ - малки ъгли завъртания ($<6^\circ$). Индекси: долен - координатна система в която се намира тялото; горен - координатна система в която се премества тялото.

1.КИНЕМАТИЧЕН МОДЕЛ НА МОТОКАР

От познатата литература не са известни формули за определяне кинематиката на мотокар с хидравличен манипулатор изпълняващ две ротации и две транскации в пространството. Известни са формули за кинематика на автомобил и на минен робот [3,5,6], които се използват при изследване динамиката на пространствените им трептения. На фиг.1 е представена схема на мотокар с хидравличен манипулатор, за който: 1- корпус на мотокара, 2-двигател с вътрешно горене (ДВГ), 3-кабина, 4-заден мост, 5-външна мачта, 6-вътрешна мачта, 7-количка, 8-блок с вилци, 9-водач. Тези 9 тела са включени в кинематичния модел на мотокара. Наложените връзки на телата са холономни и стационарни, и определят 24 степени на свобода, дефинирани чрез обобщени координати. Векторът на обобщените координати, записан в матричен вид, е:

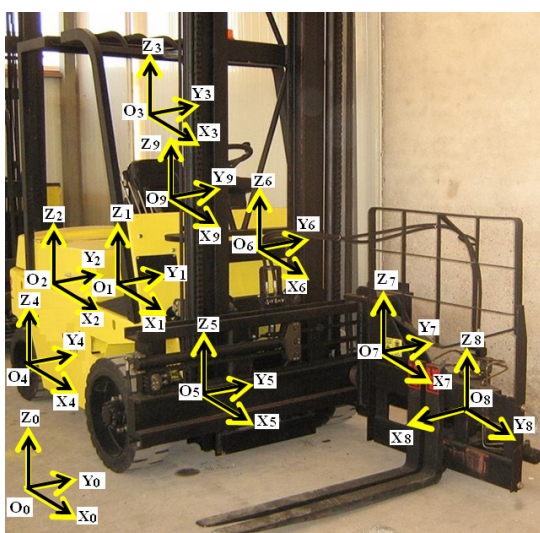
$$\mathbf{q} = [x_1 \ y_1 \ z_1 \ \theta_{x1} \ \theta_{y1} \ \theta_{z1} \ x_2 \ y_2 \ z_2 \ \theta_{x2} \ \theta_{y2} \ \theta_{z2} \ x_3 \ y_3 \ z_3 \ \theta_{x3} \ \theta_{y3} \ \theta_{z3} \ \theta_{x4} \ \theta_{y5} \ z_6 \ y_7 \ \theta_{z8} \ z_9]^T \quad (1)$$

Телата 1, 2 и 3 са установени върху еластични елементи, извършват пространствени движения - три транслации по координатните оси на Декартова координатна система (КС) и три ротации около тях и имат по шест степени на свобода. Векторите на обобщените им координати имат вида:

$$\mathbf{q}_1 = [x_1, y_1, z_1, \theta_{x1}, \theta_{y1}, \theta_{z1}]^T \quad (2)$$

$$\mathbf{q}_2 = [x_2, y_2, z_2, \theta_{x2}, \theta_{y2}, \theta_{z2}]^T \quad (3)$$

$$\mathbf{q}_3 = [x_3, y_3, z_3, \theta_{x3}, \theta_{y3}, \theta_{z3}]^T \quad (4)$$



Фиг.2 Разположение на координатните системи върху звената на мотокара

Телата 4, 5, 8 са с по една степен на свобода - ротация около една ос. Векторите на обобщените им координати имат вида:

$$\mathbf{q}_4 = \theta_{x4}, \mathbf{q}_5 = \theta_{y5}, \mathbf{q}_8 = \theta_{z8} \quad (5)$$

Телата 6, 7 и 9 са с по една степен на свобода - транслация по една ос. Векторите на обобщените им координати имат вида:

$$\mathbf{q}_6 = z_6, \mathbf{q}_7 = y_7, \mathbf{q}_9 = z_9 \quad (6)$$

На фиг. 2 са представени отправната $O_0x_0y_0z_0$ и локалните $O_i x_i y_i z_i, i=1,2,\dots,9$ КС на мотокара. Всяка локална КС (ЛКС) е неподвижно свързана със съответното тяло. Центровете на ЛКС на тела 1, 2, 3, 6, 7, 9 съвпадат с центровете на масите на съответните тела.

За моделиране на кинематиката на мотокар с хидравличен манипулатор с две ротации и с две транслации са използвани матрични методи [1, 2].

2.МАТРИЦИ НА ТРАНСФОРМАЦИЯ

Матрицата на трансформация на центъра O_i на i -тата ЛКС $O_i x_i y_i z_i$ на i -тото тяло към отправната КС (ОКС) $O_0 x_0 y_0 z_0$ се получава с изказа:

$$A_i^0 = A_1^0 \cdot A_2^1 \cdot A_3^2 \dots A_i^{i-1} \quad (7)$$

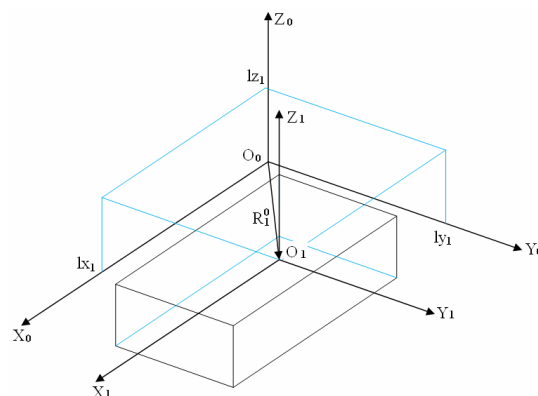
При въвеждане на това уравнение в програмата Wolfram Mathematica записът е във вида:

$$A_{0,i} = A_{0,1} \cdot A_{1,2} \cdot A_{2,3} \dots A_{i-1,i} \quad (8)$$

Затова в текста се използва и този вид на запис.

За всяко тяло от механичната система матриците на преход са следните:

2.1 Тяло 1-корпуса на мотокара



Фиг.3 Схема на векторите в ЛКС1 и в ОКС

Матрицата на преход на ЛКС1 към ОКС се получава с изказа:

$$A_1^0 = A t_1^0 \cdot A u_1 \quad (9)$$

където:

$$A t_1^0 = A t_{O_1}^0 \cdot A t_1^1 = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & l_{x_1} + x_1 \\ 0 & 1 & 0 & l_{y_1} + y_1 \\ 0 & 0 & 1 & l_{z_1} + z_1 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}, \quad (10)$$

Матрицата на трансляция на центъра O_1 на ЛКС1 в ОКС има вида:

$$A t_{O_1}^0 = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & l_{x_1} \\ 0 & 1 & 0 & l_{y_1} \\ 0 & 0 & 1 & l_{z_1} \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}, \quad (11)$$

Матрица на трансляция при трептения на ЛКС1 има вида:

$$A t_1^1 = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & x_1 \\ 0 & 1 & 0 & y_1 \\ 0 & 0 & 1 & z_1 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}, \quad (12)$$

Матрицата на ротации около осите x_1, y_1, z_1 при трептения в ЛКС1 има вида:

$$A u_1 = A u_{x_1} \cdot A u_{y_1} \cdot A u_{z_1} \quad (13)$$

където:

$$A u_{x_1} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \cos\theta_{x_1} & -\sin\theta_{x_1} & 0 \\ 0 & \sin\theta_{x_1} & \cos\theta_{x_1} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (14)$$

$$A u_{y_1} = \begin{bmatrix} \cos\theta_{y_1} & 0 & \sin\theta_{y_1} & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ -\sin\theta_{y_1} & 0 & \cos\theta_{y_1} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (15)$$

$$A u_{z_1} = \begin{bmatrix} \cos\theta_{z_1} & -\sin\theta_{z_1} & 0 & 0 \\ \sin\theta_{z_1} & \cos\theta_{z_1} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (16)$$

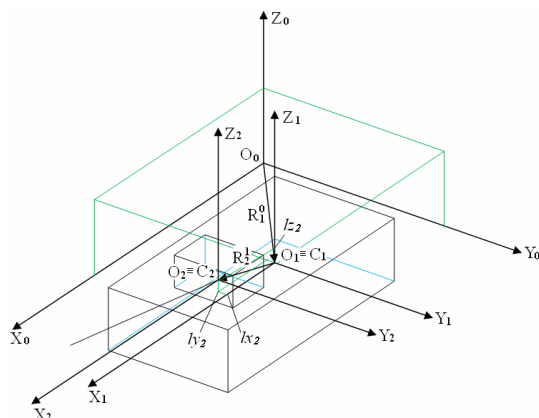
2.2 Тяло 2–силов агрегат с ДВГ

Матрица на трансляция и ротация от ЛКС2 към ОКС има вида:

$$A_2^0 = A t_2^0 \cdot A u_2 \quad (17)$$

където матрица на преход при трансляция на ЛКС2 в ОКС има вида:

$$A t_2^0 = A t_{O_2}^0 \cdot A t_2^2 = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & l_{x_1} + l_{x_{12}} + x_2 \\ 0 & 1 & 0 & l_{y_1} + l_{y_{12}} + y_2 \\ 0 & 0 & 1 & l_{z_1} + l_{z_{12}} + z_2 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (18)$$



Фиг.4 Схема на векторите в ЛКС1,2 и в ОКС

Матрица на трансляция на центъра O_2 на ЛКС2 в ОКС има вида:

$$A t_{O_2}^0 = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & l_{x_1} + l_{x_{12}} \\ 0 & 1 & 0 & l_{y_1} + l_{y_{12}} \\ 0 & 0 & 1 & l_{z_1} + l_{z_{12}} \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}, \quad (19)$$

матрица на трансляция при трептения на ЛКС2 има вида:

$$A t_2^2 = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & x_2 \\ 0 & 1 & 0 & y_2 \\ 0 & 0 & 1 & z_2 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}, \quad (20)$$

матрица на ротации около осите x_2, y_2, z_2 при трептения в ЛКС2 има вида:

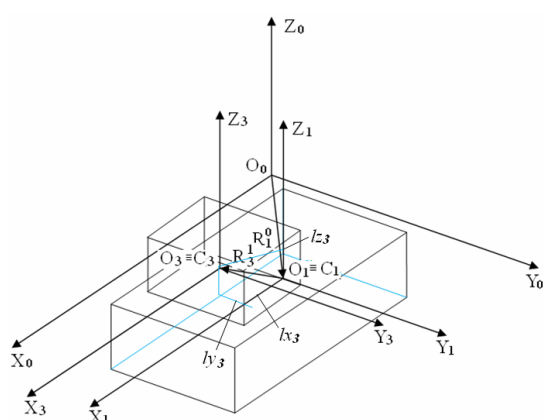
$$A u_2 = A u_{x_2} \cdot A u_{y_2} \cdot A u_{z_2} \quad (21)$$

$$A u_{x_2} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \cos\theta_{x_2} & -\sin\theta_{x_2} & 0 \\ 0 & \sin\theta_{x_2} & \cos\theta_{x_2} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (22)$$

$$A_{u_{y2}} = \begin{bmatrix} \cos\theta_{y2} & 0 & \sin\theta_{y2} & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ -\sin\theta_{y2} & 0 & \cos\theta_{y2} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (23)$$

$$A_{u_{z2}} = \begin{bmatrix} \cos\theta_{z2} & -\sin\theta_{z2} & 0 & 0 \\ \sin\theta_{z2} & \cos\theta_{z2} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (24)$$

2.3 Тяло 3–кабина на мотокара



фиг.5 Схема на векторите в ЛКС3 и в ОКС

Матрица на трансляция и ротация от ЛКС3 към ОКС има вида:

$$A_3^0 = At_3^0 \cdot Au_3^0 \quad (25)$$

където матрица на преход при трансляция от ЛКС3 до ОКС има вида:

$$At_3^0 = At_{O_3}^0 \cdot At_3^3 = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & l_{x1} + l_{x13} + x_3 \\ 0 & 1 & 0 & l_{y1} + l_{y13} + y_3 \\ 0 & 0 & 1 & l_{z1} + l_{z13} + z_3 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (26)$$

матрица на трансляция на ЛКС3 в ОКС има вида:

$$At_{O_3}^0 = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & l_{x1} + l_{x13} \\ 0 & 1 & 0 & l_{y1} + l_{y13} \\ 0 & 0 & 1 & l_{z1} + l_{z13} \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}, \quad (27)$$

матрица на трансляция при трептения в ЛКС 3 има вида:

$$At_3^3 = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & x_3 \\ 0 & 1 & 0 & y_3 \\ 0 & 0 & 1 & z_3 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}, \quad (28)$$

матриците на ротации около осите x_3, y_3, z_3 при трептения в ЛКС3 има вида:

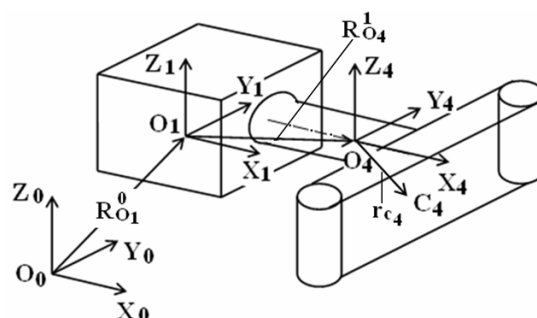
$$Au_3^0 = Au_{x3} \cdot Au_{y3} \cdot Au_{z3} \quad (29)$$

$$Au_{x3} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \cos\theta_{x3} & -\sin\theta_{x3} & 0 \\ 0 & \sin\theta_{x3} & \cos\theta_{x3} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (30)$$

$$Au_{y3} = \begin{bmatrix} \cos\theta_{y3} & 0 & \sin\theta_{y3} & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ -\sin\theta_{y3} & 0 & \cos\theta_{y3} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (31)$$

$$Au_{z3} = \begin{bmatrix} \cos\theta_{z3} & -\sin\theta_{z3} & 0 & 0 \\ \sin\theta_{z3} & \cos\theta_{z3} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (32)$$

2.4 Тяло 4-заден мост



фиг.5 Схема на векторите в ЛКС4 и в ОКС

Матрица на преход от КС4 към ОКС има вида:

$$A_4^0 = A_1^0 \cdot A_4^1 \quad (33)$$

където:

$$A_4^1 = At_4^1 \cdot Au_4^1 \quad (34)$$

$$A_{t_4}^1 = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & l_{X14} \\ 0 & 1 & 0 & l_{Y14} \\ 0 & 0 & 1 & l_{Z14} \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (35)$$

$$A_{u_4}^1 = A_{u_{X4}} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \cos \theta_{X4} & -\sin \theta_{X4} & 0 \\ 0 & \sin \theta_{X4} & \cos \theta_{X4} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (36)$$

2.5 Тяло 5 – външна мачта

Матрицата на преход от ЛКС5 към ОКС има вида:

$$A_5^0 = A_1^0 \cdot A_5^1 \quad (37)$$

където матрица на преход от ЛКС5 към ЛКС1 има вида:

$$A_5^1 = A_{t_5}^1 \cdot A_{u_5}^1 \quad (38)$$

$$A_{t_5}^1 = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & l_{X15} \\ 0 & 1 & 0 & l_{Y15} \\ 0 & 0 & 1 & l_{Z15} \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (39)$$

$$A_{u_5}^1 = A_{u_{Y5}} = \begin{bmatrix} \cos \theta_{Y5} & 0 & \sin \theta_{Y5} & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ -\sin \theta_{Y5} & 0 & \cos \theta_{Y5} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (40)$$

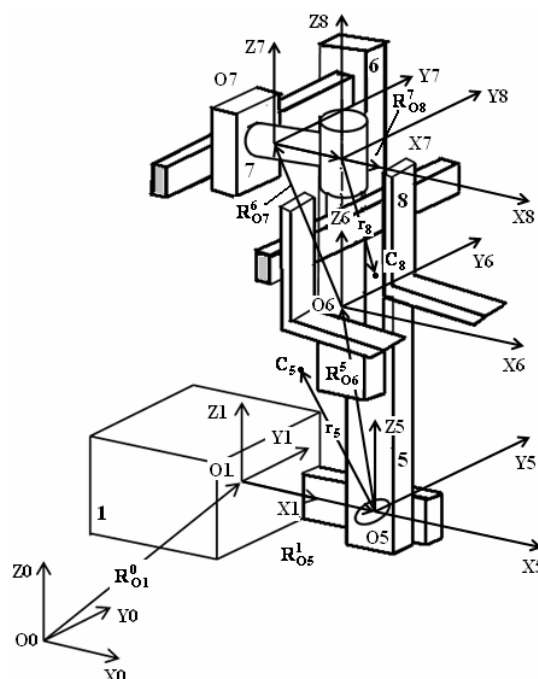
2.6 Тяло 6 – вътрешна мачта

Матрицата на преход от ЛКС6 към ОКС има вида:

$$A_6^0 = A_5^0 \cdot A_6^5 \quad (41)$$

където матрица на преход от ЛКС6 към ЛКС5 има вида:

$$A_6^5 = A_{t_6}^5 = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & l_{X56} \\ 0 & 1 & 0 & l_{Y56} \\ 0 & 0 & 1 & l_{Z56} + z_{ptr6} \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (42)$$



фиг. 6 Схема на векторите в ЛКС 5, 6, 7 и 8 в ОКС

Тяло 2.7 Количка

Матрицата на преход от ЛКС7 в ОКС има вида:

$$A_7^0 = A_6^0 \cdot A_7^6 \quad (43)$$

където матрицата на преход от ЛКС7 в ЛКС6 има вида:

$$A_7^6 = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & l_{X67} \\ 0 & 1 & 0 & l_{Y67} + y_{ptr7} \\ 0 & 0 & 1 & l_{Z67} \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (44)$$

2.8 Тяло 8 Блок с вилицы

Матрицата на преход от ЛКС8 към ОКС има вида:

$$A_8^0 = A_7^0 \cdot A_8^7 \quad (45)$$

където матрицата на преход от ЛКС8 към ЛКС7 има вида:

$$A_8^7 = A_{t_8}^7 \cdot A_{u_8}^7 \quad (46)$$

$$\mathbf{A}t_8^7 = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & l_{X78} \\ 0 & 1 & 0 & l_{Y78} \\ 0 & 0 & 1 & l_{Z78} \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (47)$$

$$\mathbf{A}u_8^7 = \mathbf{A}u_{Z8} = \begin{bmatrix} \cos\theta_{Z8} & -\sin\theta_{Z8} & 0 & 0 \\ \sin\theta_{Z8} & \cos\theta_{Z8} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (48)$$

2.9 Тяло 9 водач

Матрицата на преход от ЛКС9 към ОКС има вида:

$$\mathbf{A}_9^0 = \mathbf{A}_3^0 \cdot \mathbf{A}_9^3 \quad (49)$$

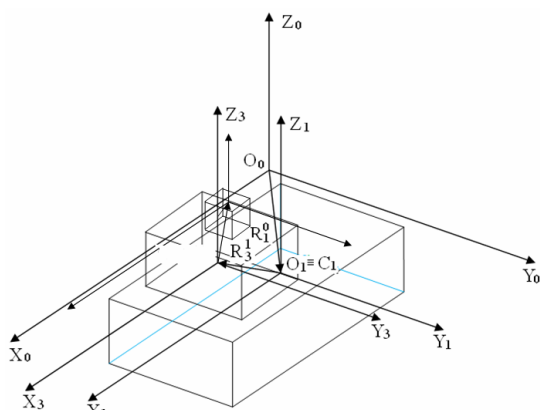
където матрицата на преход от ЛКС9 към ЛКС1 има вида:

$$\mathbf{A}_9^3 = \mathbf{A}t_9^3 \cdot \mathbf{A}u_9^3 \quad (50)$$

$$\mathbf{A}t_9^3 = \mathbf{A}t_{O9}^3 \cdot \mathbf{A}t_9^9 \quad (51)$$

$$\mathbf{A}t_{O9}^3 = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & l_{X39} \\ 0 & 1 & 0 & l_{Y39} \\ 0 & 0 & 1 & l_{Z39} \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (52)$$

$$\mathbf{A}t_9^9 = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & z_9 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (53)$$



фиг. 7 Схема на векторите в ЛКС9 и в ОКС

3. РАДИУС-ВЕКТОР НА МАСОВ ЦЕНТЪР НА ТЯЛО ОТ МЕХАНИЧНАТА СИСТЕМА ПРОЕКТИРАН В ЛОКАЛНАТА И В ОТПРАВНАТА КООРДИНАТНИ СИСТЕМИ

Радиус-векторът \mathbf{r}_{Ci}^i ($i=1,2,\dots,9$) на масовия център C_i на i -тото тяло от механичната система в i -тата ЛКС има вида [1]:

$$\mathbf{r}_{Ci}^i = [l_{CiXi}, l_{CiYi}, l_{CiZi}, 1]^T \quad (54)$$

Радиус-векторът \mathbf{R}_{Ci}^0 ($i=1,2,\dots,9$) на тази точка C_i в отправната КС е равен на:

$$\mathbf{R}_{Ci}^0 = \mathbf{A}_i^0 \cdot \mathbf{r}_{Ci}^i \quad (55)$$

4. ВЕКТОР НА АБСОЛЮТНАТА ЛИНЕЙНА СКОРОСТ НА МАСОВ ЦЕНТЪР НА ТЯЛО ОТ МЕХАНИЧНАТА СИСТЕМА, ПРОЕКТИРАН В ОТПРАВНАТА КС

Векторът на абсолютната линейна скорост \mathbf{V}_{Ci}^0 на центъра на тежестта C_i на i -тото тяло от механичната система в отправната КС има вида [21]:

$$\mathbf{V}_{Ci}^0 = [V_{Cix}, V_{Ciy}, V_{Ciz}, 0]^T \quad (56)$$

Тъй като матрицата \mathbf{A}_i^0 е функция на обобщените координати, диференцирането на вектора \mathbf{R}_{Ci}^0 се осъществява с уравнението:

$$\begin{aligned} \mathbf{V}_{Ci}^0 &= \frac{d\mathbf{R}_{Ci}^0}{dt} = \left[\sum_{k=1}^6 \left(\frac{\partial \mathbf{A}_i^0}{\partial q_k} \right) \cdot \dot{q}_k \right] \cdot \mathbf{r}_{Ci} = \\ &= \left(\frac{\partial \mathbf{A}_i^0}{\partial x_i} \cdot \dot{x}_i + \frac{\partial \mathbf{A}_i^0}{\partial y_i} \cdot \dot{y}_i + \frac{\partial \mathbf{A}_i^0}{\partial z_i} \cdot \dot{z}_i + \right. \\ &\quad \left. + \frac{\partial \mathbf{A}_i^0}{\partial \Phi_1} \cdot \dot{\theta}_1 + \frac{\partial \mathbf{A}_i^0}{\partial \Phi_2} \cdot \dot{\theta}_2 + \frac{\partial \mathbf{A}_i^0}{\partial \Phi_3} \cdot \dot{\theta}_3 \right) \cdot \mathbf{r}_{Ci} \end{aligned} \quad (57)$$

където $\frac{\partial \mathbf{A}_i^0}{\partial q_k}$ е частна производна по обобщената координата q_k .

5. ВЕКТОР НА АБСОЛЮТНАТА ЪГЛОВА СКОРОСТ НА ТЯЛО ОТ МЕХАНИЧНАТА

СИСТЕМА, ПРОЕКТИРАН В ЛОКАЛНАТА КС

Векторът на абсолютната ъглова скорост Ω_i^i на i -тото тяло, проектиран върху осите на i -тата локална КС $O_i x_i y_i z_i$, ($i = 1, 2, \dots, 9$), се изчислява с уравнението:

$$\Omega_i^i = \Omega_{z_i}^i + Au_{z_i}^T \cdot \Omega_{y_i}^i + Au_{z_i}^T \cdot Au_{y_i}^T \cdot \Omega_{x_i}^i \quad (58)$$

Част от телата на механичната система са свързани последователно, например: корпус, външна мачта, вътрешна мачта, количка, блок с вилници. Векторът на абсолютната ъглова скорост Ω_i^i на i тото тяло от последователно свързаните тела на механичната система, във функция на ъгловите скорости от завъртане на предходните последователно свързани тела и матрицата, се записва с израза

$$\begin{aligned} \Omega_i^i = & \Omega_{z_i}^i + Au_{z_i}^T \cdot \Omega_{y_i}^i + Au_{z_i}^T \cdot Au_{y_i}^T \cdot \Omega_{x_i}^i + \\ & Au_{z_i}^T \cdot Au_{y_i}^T \cdot Au_{x_i}^T \cdot \Omega_{i-1}^{i-1} + Au_{z_i}^T \cdot Au_{y_i}^T \cdot \\ & Au_{x_i}^T \cdot Au_{z_{i-1}}^T \cdot Au_{y_{i-1}}^T \cdot Au_{x_{i-1}}^T \cdot \Omega_{i-2}^{i-2} + \dots \end{aligned} \quad (59)$$

6. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Създаден е кинематичен модел на мотокара, дефиниран като механична система съставена от

9 идеално твърди тела с 24 степени на свобода. За телата на механичната система са изведени векторите на абсолютните линейни скорости на масовите центрове на телата проектирани в отправната КС и векторите на абсолютните ъглови скорости на телата проектирани в локалните КС.

Научните изследвания, резултатите от които са представени в настоящата публикация, са финансирани от Вътрешния конкурс на Техническият университет-София през 2013 година.

Литература

1. Ангелов, И.В. Матрични методи – Справочник. ТУ-София, 2001.
2. Ангелов И., В. Бачев, В. Ахчийски. Матрична кинематика на лек автомобил в тримерното пространство., Българско списание за инженерно проектиране, брой 11, април 2012., стр. 29-38.
3. Ангелов, И.В., М.Т. Георгиев. Компютърно моделиране на кинематиката на твърдо тяло и системата от тела в пространството. ТУ, София, 1997.
4. Бачев, В.Г. Изследване на пространствени трептения на лек автомобил. Докторска дисертация. ТУ-София, филиал Пловдив, 20013.
5. Славов, В.Р. Механика в 3D пространството на транспортно-манипулационна вибрационна машина. Докторска дисертация. ХТМУ-София, 2004.

MECHANICAL MATHEMATICAL MODELLING IN THE SPACE OF THE KINEMATICS OF A FORKLIFT WITH A HYDRAULIC MANIPULATOR PERFORMING TWO ROTATIONS AND TWO TRANSLATIONS

Deyan ZHELEV

"Mechanics" Department, Technical University of Sofia, branch Plovdiv, Bulgaria
e-mail: hidro_eood@abv.bg

Summary: The research focuses on the kinematics of a forklift with a hydraulic manipulator performing two rotations and two translations. The forklift is presented as a mechanical system, composed of 9 perfectly rigid bodies with 24 degrees of freedom, for which the vector of the generalized coordinates and transformation matrices from the local coordinate systems to the reference coordinate system have been defined. Vectors of the absolute linear velocity of random points from the mechanical system have been outlined. These vectors have been designed in the reference coordinate system. The vectors of the absolute angular velocity of a body have been designed in the local coordinate system.

Keywords: Forklift, related oscillations, kinematics

МЕХАНО-МАТЕМАТИЧЕН МОДЕЛ НА ПОМПЕН АГРЕГАТ СЪС СВОБОДНО-ЦИЛИНДРОВ СТИРЛИНГОВ ДВИГАТЕЛ

Въльо НИКОЛОВ

катедра „Транспортна и авиационна техника и технологии”,
Технически университет - София, филиал Пловдив, България,
e-mail: vnikolov@tu-plovdiv.bg

Резюме: В тази статия е представен създаденият механо-математичен модел на помпен агрегат със свободно-цилиндров Стирлингов двигател, представляващ сложна термо-газо-хидро-механична система, разглеждан като съвкупност от камери с постоянни или променливи обеми, и връзки между съседните камери, представляващи постоянни или променливи дросели или клапани. Съставени са три диференциални уравнения от втори ред, описващи движенията на цилиндъра, преместващото бутало и работното бутало. За всяка от четирите камери на свободно-цилиндровия Стирлингов двигател са получени диференциалните уравнения от първи ред за определяне на производните на налягането и температурата в тях. Съставени са уравнения за определяне на налягането в камерата на помпата при смукателния и нагнетателния ход на нейното бутало. Предложеният математичен модел съдържа 14 променливи на състоянието, които са определени чрез диференциалните уравнения на движение на подвижните елементи и производните на налягането и температурата в камерите на свободно-цилиндровия Стирлингов двигател.

Ключови думи: Свободно-цилиндров Стирлингов двигател, математично моделиране.

1. УВОД

Помпените агрегати със свободно-цилиндров Стирлингов двигател (СЦСД) се отличават с редица ценни качества, по-важните от които са: автономност по отношение на вида на топлинния източник на енергия; херметично изпълнение на конструкцията; сравнително проста конструкция; директно предаване на енергията към флуида чрез работния цилиндър на двигателя и продължителен ресурс [3, ..., 7].

Те могат да намерят приложение както в бордови и наземни циркулационни системи, така и в иригационни такива.

Помпените агрегати със СЦСД представляват сложна термо-газо-механична система, каквато е двигателят, с хидромеханична - помпата.

Принципната конструктивна схема на агрегат от такъв тип е показана на фиг. 1. Използвани са следните означения: I - работен цилиндър с подвижен корпус; II - преместващо разпределително бутало (разпределител); III - работно бутало; IV - неподвижен корпус; V - пружина между цилиндъра и работното бутало; VI - пружина между работния цилиндър и корпуса; 1 - нагревателна камера; 2 - нагривана разширителна камера; 3 - регенераторна камера; 4 - охладителна камера; 5 -

охлаждана сгъстителна камера; 6 - вътрешна буферна камера; 7 - външна буферна камера и 8 - помпена камера със смукателен и нагнетателен клапани. Камерите 1, ..., 7, са запълнени с несменяемо газообразно работно вещество, а 8 - с изпомпваната охлаждаща течност [4].

2. МЕХАНО-МАТЕМАТИЧЕН МОДЕЛ

Помпният агрегат, при неговото моделиране, може да бъде разглеждан като съвкупност от камери с постоянни или променливи обеми, и връзки между съседните камери, представляващи постоянни или променливи дросели или клапани [2].

От физична гледна точка, математичното описание на СЦСД, може да бъде разделено на следните подсистеми [1, ..., 4]:

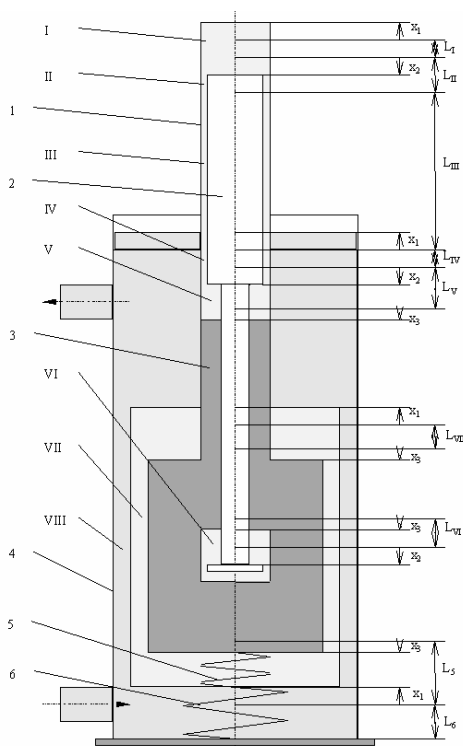
1) Механична система с три степени на свобода, като движенията на елементите и се описват чрез система от три нелинейни диференциални уравнения от втори ред, получени чрез прилагане на основното уравнение на динамиката.

2) Термодинамична система, описваща процесите, които протичат в свързаните камери. Прилагайки уравненията на енергийния баланс и на състоянието на газа в диференциална форма, за всяка от камерите са получени диференциалните

уравнения на наляганията и температурите. В тях са заместени функциите на газообмена, на обемите и на техните производни.

3) Термична система, описваща топлообменните процеси, от една страна между газа и стените на камерите, и от друга - между стените и външната среда.

4) Хидромеханична система, описваща процесите в буталната помпа, както и в нейните смукателна и нагнетателна части.



Фиг.1 Принципна схема на помпен агрегат със СЦСД

Анализирайки получените резултати от компютърното моделиране и изследване на помпени агрегати със СЦСД, изградени на базата на модел с осем камери и система от 27 нелинейни диференциални уравнения от първи ред [4], могат да се направят следните изводи:

За СЦСД, изградени по предложената схема на фиг.1, с нагрявана разширителна и охлаждаема съгъстителна камери, може към последните да се извърши съответно присъединяване на нагревателната и на охладителната камери.

Поради малкото относително изменение на обема, голямата топлопредаваща повърхност и външното обтичане на стените от охлаждащата течност, могат да се пренебрегнат получените малки изменения на температурите и налягането на газа в буферната камера.

Поддържането на практически постоянни външни температури, както в нагряваната, така и в охлаждаемите зони, сравнително тънките стени и интензивното топлопредаване, са основните причини за получените малки изменения на температурите на стените, спрямо тези на външната среда.

Въз основа на горните изводи могат да се приемат следните допускания:

1) Изходният седемкамерен модел на СЦСД може да се редуцира до петкамерен.

2) Във външната буферна камера могат да се пренебрегнат измененията на параметрите на състоянието на газа.

3) Измененията на температурите на стените спрямо съответните температури на външната среда могат да се пренебрегнат.

На база на приетите допускания броят на променливите, дефиниращи състоянието на СЦСД, се редуцира от 27 на 14, което води до съществено намаляване на изчислителните процедури и до известни улеснения при параметричния анализ и синтез.

След прилагане на основното уравнение на динамиката, диференциалните уравнения на движение на цилиндъра, преместващото бутало и работното буталоса могат да се запишат във вида

$$m_I \ddot{x}_I = p_1 F_{I1} - p_5 F_{I5} + (p_6 - p_a) F_{I6} - f_g (\dot{x}_I + \dot{x}_{II}) - f_{I-III} (\dot{x}_I + \dot{x}_{III}) - c_v (\delta_v + x_I + x_{III}) + c_{vI} (\delta_{vI} - x_I) + (\rho_6 V_{I6} - m_I) g; \quad (1)$$

$$m_{II} \ddot{x}_{II} = p_1 F_{II1} - p_3 F_{II3} - p_4 F_{II4} - f_{II-III} (\dot{x}_{II} - \dot{x}_{III}) + m_{II} g; \quad (2)$$

$$m_{III} \ddot{x}_{III} = p_3 F_{III3} + p_4 F_{III4} - p_5 F_{III5} - f_{I-III} (\dot{x}_I + \dot{x}_{III}) - f_{II-III} (\dot{x}_{III} - \dot{x}_{II}) - c_v (\delta_v + x_I + x_{III}) + m_{III} g. \quad (3)$$

За определянето на десните части на уравненията на движение са необходими текущите стойности на наляганията в съответните камери.

След прилагане на уравнението на енергийния баланс, за първите производни на наляганията са получени изразите [2, 4]:

$$\dot{p}_1 = \frac{k}{F_{I1}(L_{I0} + x_I) + F_{II1}x_{II}} \left\{ \Phi(k) \mu_{I2} F_{I2} \left[p_2 \sqrt{R_2 T_2} \Phi\left(\frac{p_1}{p_2}\right) - p_1 \sqrt{R_1 T_1} \Phi\left(\frac{p_2}{p_1}\right) \right] + \frac{k-1}{k} \alpha_1 [F_{T10} + \pi D_{I1}(x_I + x_{II})] (T_{T1} - T_1) - p_1 (F_{I1} \dot{x}_I + F_{II1} \dot{x}_{II}) \right\}; \quad (4)$$

$$\dot{p}_2 = \frac{k}{F_{I2} L_2} \left\{ \Phi(k) \mu_{I2} F_{I2} \left[p_1 \sqrt{R_1 T_1} \Phi\left(\frac{p_2}{p_1}\right) - p_2 \sqrt{R_2 T_2} \Phi\left(\frac{p_1}{p_2}\right) \right] + \mu_{23} F_{23} \left[p_3 \sqrt{R_3 T_3} \Phi\left(\frac{p_2}{p_3}\right) - p_2 \sqrt{R_2 T_2} \Phi\left(\frac{p_3}{p_2}\right) \right] \right\} + \frac{k-1}{k} \alpha_2 F_{T2} (T_{T2} - T_2); \quad (5)$$

$$\dot{p}_3 = \frac{k}{F_{III3}(L_{30} + x_{III}) - F_{II3}x_{II}} \left\{ \Phi(k) \left\{ \mu_{23} F_{23} \left[p_2 \sqrt{R_2 T_2} \Phi\left(\frac{p_3}{p_2}\right) - p_3 \sqrt{R_3 T_3} \Phi\left(\frac{p_2}{p_3}\right) \right] + \mu_{34} F_{34} \left[p_4 \sqrt{R_4 T_4} \Phi\left(\frac{p_3}{p_4}\right) - p_3 \sqrt{R_3 T_3} \Phi\left(\frac{p_4}{p_3}\right) \right] \right\} + \frac{k-1}{k} \alpha_3 [F_{T30} + \pi D_{I3}(x_I + x_{III})] (T_{T3} - T_3) - p_3 [(F_{III3} - F_{II3}) \dot{x}_I - F_{II3} \dot{x}_{II} + F_{III3} \dot{x}_{III}] \right\}; \quad (6)$$

$$\dot{p}_4 = \frac{k}{F_{III4}L_{III4} - F_{II4}(L_{II40} + x_{II} - x_{III})} \left\{ \Phi(k) \left\{ \mu_{34} F_{34} \left[p_3 \sqrt{R_3 T_3} \Phi\left(\frac{p_4}{p_3}\right) - p_4 \sqrt{R_4 T_4} \Phi\left(\frac{p_3}{p_4}\right) \right] + \mu_{45} F_{45} \left[p_5 \sqrt{R_5 T_5} \Phi\left(\frac{p_4}{p_5}\right) - p_4 \sqrt{R_4 T_4} \Phi\left(\frac{p_5}{p_4}\right) \right] \right\} + \frac{k-1}{k} \alpha_4 F_{T40} (T_{T4} - T_4) + p_4 F_{II4} (\dot{x}_{II} - \dot{x}_{III}) \right\}; \quad (7)$$

Налягането в помпената камера, след отчитане на различните съпротивления при смукателния и при нагнетателния ход на буталото на помпата, се определя по изразите [1]

$$p_6 = p_a - \Delta p_{ks} - \rho_6 g \cdot \left[h_s + x_I \left(1 + \frac{\ddot{x}_I}{g} \right) + l_s \frac{F_{I6}}{F_s} \frac{\ddot{x}_I}{g} \right] - \left[\xi_s \left(\frac{F_{I6}}{F_s} \right)^2 + 1 \right] \frac{\rho_6}{2} \dot{x}_I^2, \text{ при } \dot{x}_I \geq 0; \quad (8)$$

$$p_6 = p_a + \Delta p_{kn} + \rho_6 g \cdot \left[h_n - (S_I - x_I) \left(1 - \frac{\ddot{x}_I}{g} \right) + l_n \frac{F_{I6}}{F_n} \frac{\ddot{x}_I}{g} \right] + \left[(\xi_n + 1) \left(\frac{F_{I6}}{F_n} \right)^2 - 1 \right] \frac{\rho_6}{2} \dot{x}_I^2, \text{ при } \dot{x}_I < 0. \quad (9)$$

След приложение на уравнението на състоянието на газа в диференциална форма, за производните на температурите в камерите на СЦСД са получени изразите:

$$\dot{T}_1 = \frac{T_1}{p_1 [F_{I1}(L_{I0} + x_I) + F_{II1}x_{II}]} \left\{ \Phi(k) \mu_{I2} F_{I2} \cdot \left[\left(k - \frac{T_1}{T_2} \right) p_2 \sqrt{R_2 T_2} \Phi\left(\frac{p_1}{p_2}\right) - (k-1) p_1 \sqrt{R_1 T_1} \Phi\left(\frac{p_2}{p_1}\right) \right] + \right. \quad (10)$$

$$\left. + (k-1) \alpha_1 [F_{T10} + \pi D_{I1}(x_I + x_{II})] (T_{T1} - T_1) - (k-1) p_1 (F_{I1} \dot{x}_I + F_{II1} \dot{x}_{II}) \right\};$$

$$\dot{T}_2 = \frac{T_2}{p_2 F_{I2} L_2} \Phi(k) \left\{ \mu_{I2} F_{I2} \cdot \left[\left(k - \frac{T_2}{T_1} \right) p_1 \sqrt{R_1 T_1} \Phi\left(\frac{p_2}{p_1}\right) - (k-1) p_2 \sqrt{R_2 T_2} \Phi\left(\frac{p_1}{p_2}\right) \right] + \right. \quad (11)$$

$$\left. + \mu_{23} F_{23} \left[\left(k - \frac{T_2}{T_3} \right) p_1 \sqrt{R_3 T_3} \Phi\left(\frac{p_2}{p_3}\right) - (k-1) p_2 \sqrt{R_2 T_2} \Phi\left(\frac{p_3}{p_2}\right) \right] + (k-1) \alpha_2 F_{T2} (T_{T2} - T_2) \right\};$$

$$\begin{aligned} \dot{T}_3 = & \frac{T_3}{p_3 [F_{III3} (L_{3o} + x_{III}) - F_{II3} x_{II}]} \{ \Phi(k) \\ & \left\{ \mu_{23} F_{23} \left[\left(k - \frac{T_3}{T_2} \right) p_2 \sqrt{R_2 T_2} \Phi \left(\frac{p_3}{p_2} \right) - \right. \right. \\ & \left. \left. - (k-1) p_3 \sqrt{R_3 T_3} \Phi \left(\frac{p_2}{p_3} \right) \right] + \right. \\ & \left. + \mu_{34} F_{34} \left[\left(k - \frac{T_3}{T_4} \right) p_4 \sqrt{R_4 T_4} \Phi \left(\frac{p_3}{p_4} \right) - \right. \right. \\ & \left. \left. - (k-1) p_3 \sqrt{R_3 T_3} \Phi \left(\frac{p_4}{p_3} \right) \right] \right\} + \\ & + (k-1) \alpha_3 [F_{T3o} + \pi D_{I3} (x_I + x_{III})] (T_{T3} - T_3) - \\ & - (k-1) p_3 [(F_{III3} - F_{II3}) \dot{x}_I - F_{II3} \dot{x}_{II} + F_{III3} \dot{x}_{III}]; \end{aligned} \quad (12)$$

$$\begin{aligned} \dot{T}_4 = & \frac{T_4}{p_4 [F_{III4} L_{III4} - F_{II4} (L_{II4o} + x_{II} - x_{III})]} \{ \Phi(k) \\ & \left\{ \mu_{34} F_{34} \left[\left(k - \frac{R_4 T_4}{R_3 T_3} \right) p_3 \sqrt{R_3 T_3} \Phi \left(\frac{p_4}{p_3} \right) - \right. \right. \\ & \left. \left. - (k-1) p_4 \sqrt{R_4 T_4} \Phi \left(\frac{p_3}{p_4} \right) \right] + \right. \\ & \left. + \mu_{45} F_{45} \left[\left(k - \frac{R_4 T_4}{R_5 T_5} \right) p_5 \sqrt{R_5 T_5} \Phi \left(\frac{p_4}{p_5} \right) - \right. \right. \\ & \left. \left. - (k-1) p_4 \sqrt{R_4 T_4} \Phi \left(\frac{p_5}{p_4} \right) \right] \right\} + \\ & + (k-1) \alpha_4 F_{T4o} (T_{T4} - T_4) + \\ & + (k-1) p_4 F_{II4} (\dot{x}_{II} - \dot{x}_{III}); \end{aligned} \quad (13)$$

В горепосочените уравнения за производните на наляганията и температурите са заместени функционалните зависимости на обемите и техните производни, спрямо обобщените координати. Въз основа на схемата на фиг.1, обемите се определят с изразите:

$$V_1 = F_{I1} (L_{I1o} + x_I) + F_{II1} x_{II} \quad (14)$$

$$V_2 = (F_{I2} - F_{II2}) L_{2o} = F_{I2} L_2 = F_{23} L_2 \quad (15)$$

$$V_3 = (F_{III3} - F_{II3}) x_I - F_{II3} x_{II} + F_{III3} (L_{3o} + x_{III}) \quad (16)$$

$$V_4 = F_{III4} L_{III4} - F_{II4} (L_{II4o} + x_{II} - x_{III}) \quad (17)$$

$$V_6 = V_{6o} + F_{I6} x_I \quad (18)$$

След диференциране на уравненията (14-18), за производните на обемите се получава:

$$\dot{V}_1 = F_{I1} \dot{x}_I + F_{II1} \dot{x}_{II}; \quad (19)$$

$$\dot{V}_2 = 0; \quad (20)$$

$$\dot{V}_3 = (F_{III3} - F_{II3}) \dot{x}_I - F_{II3} \dot{x}_{II} + F_{III3} \dot{x}_{III}; \quad (21)$$

$$\dot{V}_4 = F_{II4} (\dot{x}_{III} - \dot{x}_{II}); \quad (22)$$

$$\dot{V}_6 = F_{I6} \dot{x}_I. \quad (23)$$

Масовите дебити и разходи на газа през съединителните канали между камерите на СЦСД са определени чрез формулата на Сен Венан - Венцел, приложена във вида [2, 4]

$$G_{ji} = \mu_{ji} F_{ji} \frac{p_j}{\sqrt{R_j T_j}} \Phi(k) \Phi \left(\frac{p_l}{p_j} \right), \quad (24)$$

където $\Phi(k) = \sqrt{k \left(\frac{2}{k+1} \right)^{\frac{k-1}{k}}}$ и

$$\Phi \left(\frac{p_l}{p_j} \right) = \begin{cases} \sqrt{\frac{2}{k-1} \left(\frac{2}{k+1} \right)^{\frac{k-1}{k+1}}} \sqrt{\left(\frac{p_l}{p_j} \right)^{\frac{2}{k}} - \left(\frac{p_l}{p_j} \right)^{\frac{k+1}{k}}}, & \text{при } \frac{p_l}{p_j} \geq \beta_{sp}; \\ 1, & \text{при } \frac{p_l}{p_j} \leq \beta_{sp} = \left(\frac{2}{k+1} \right)^{\frac{k}{k-1}}. \end{cases}$$

Получените зависимости между основните параметри на помпения агрегат със СЦСД, разглеждан като сложна термо-газо- и хидродинамична система, са основа за изграждане на негов компютърен симулационен модел, приложим за решаване на изследователски и проектантски задачи.

5. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Създаденият механо-математичен модел на помпен агрегат със СЦСД може да бъде използван за изследване на процесите, протичащи в него, а също така и за проектиране на нови агрегати. За успешното му прилагане е необходимо да се разполага с експериментално определени стойности на основните параметри на помпения агрегат със СЦСД и да бъде изградена стратегия за анализ на резултатите, определяща необходи-

мите корекции на параметрите му, в зависимост от желаните характеристики на агрегата.

Литература

1. **Вълков Д., Попов М.** Объемни помпи и компресори. ВМЕИ-София, 1970.
2. **Мамонтов М. А.** Теория тепловых двигателей. Динамический анализ. Тульский политехнический институт, 1987.
3. **Николов В.** Динамика на свободно-цилиндрови Стирлингови двигатели. Научно списание "Механика на машините", 1998, год. VI, кн. 3, бр. 23, стр. 58-62.
4. **Николов В. Илиев И.,** Динамичен модел на помпен агрегат със свободно-цилиндров Стирлингов двигател, Пета научна конференция "Екология, транспорт, устойчиво развитие", Варна, 13-15.05.1999 г., Сборник доклади, стр. 210-217.
5. **Beale W.** Stirling Cycle Type Thermal Device, US Patent Re.30 176, 1979.
6. **Urieli I., Berchowitz D.** Stirling Cycle Engine Analysis, Adam Hilger Ltd, Bristol, 1984.
7. **Walker G.,** Stirling Engines, Oxford University Press, Oxford, 1980.

MECHANICAL AND MATHEMATICAL MODEL OF PUMP UNIT WITH FREE-CYLINDER STIRLING ENGINE

Valyo NIKOLOV

Department "Transport and Aviation Equipment and Technologies", Technical University-Sofia, branch Plovdiv, Bulgaria
e-mail: vnikolov@tu-plovdiv.bg

Abstract: This article presents the created mechanical and mathematical model of the pump unit with free-cylinder Stirling engine, which represents a complex thermo-gas-hydro mechanical system, viewed as a set of chambers with fixed or variable volumes and relations between neighboring chambers, forming permanent or variable chokes or valves. Composed are three differential equations of second order for the motions of the cylinder, displacement piston and power piston. For each of the four chambers of the free-cylinder Stirling engine are derived differential equations of the first order to determine of the derivatives of the pressure and temperature therein. Equations were drawn to determine the pressure in the pump chamber at suction and discharge stroke of its piston. The proposed mathematical model comprises of 14 state variables, which are determined by the differential equations of motion of the mobile elements, and the derivatives of the pressure and temperature in the chambers.

Keywords: Free-cylinder Stirling engine, mathematical modeling.

ПРОСТРАНСТВЕНИ СВОБОДНИ ЗАТИХВАЩИ ТРЕПТЕНИЯ НА МОТОКАР С ХИДРАВЛИЧЕН МАНИПУЛАТОР, ИЗВЪРШВАЩ ДВЕ РОТАЦИИ И ДВЕ ТРАНСЛАЦИИ

Деян ЖЕЛЕВ¹ Валентин БАЧЕВ² Валентин СЛАВОВ³

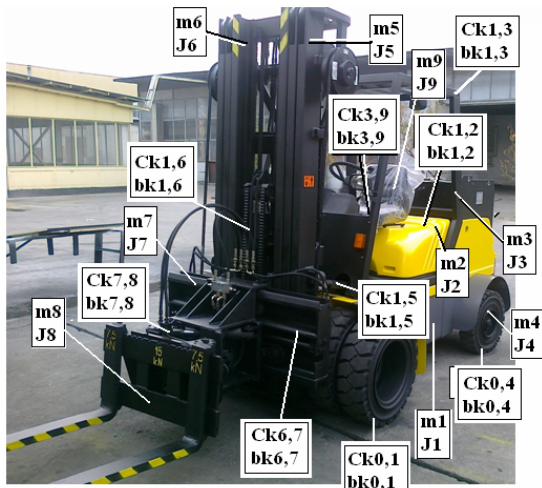
катедра „Механика“¹, „Машиностроене и уредостроене“², Технически университет-София, филиал Пловдив, e-mail: hidro_eood@abv.bg, abc4@abv.bg

³ катедра „Приложна механика“, Химико-технологичен и металургичен университет-София, e-mail: valsavov@abv.bg

Резюме: В работата се изследват пространствените свободни затихващи, около устойчиво равновесно положение, трептения на мотокара. Последният е оборудван с хидравличен манипулатор, който има възможност да извършва две ротации и две транскации. Създаден е динамичен модел на мотокара. В него са включени 9 тела, разглеждани като идеално твърди. Връзките между телата са холономни и определят 24 степени на свобода. Дефинирана е функцията на разсейване на енергията, от деформацията на демпфиращите елементи на мотокара. Изведена е система свързани линейни диференциални уравнения на малките, около устойчиво равновесно положение, пространствени свободни затихващи трептения на механичната система. Отчитат се инерционните, еластичните и демпфиращите коефициенти на мотокара. Представено е аналитично решение в матрична форма. Представено е второ аналитично решение по метода на главните координати. Представени са числени решения на свободните затихващи трептения за три обобщени координати на механичната система.

Ключови думи: Свободни затихващи трептения, мотокар.

1. ДИНАМИЧЕН МОДЕЛ



фиг.1. Динамичен модел на мотокар

За изследване на пространствените свободни затихващи трептения на мотокар с хидравличен манипулатор е създаден динамичен модел на мотокара, състоящ се от 9 идеално твърди тела. Последните са свързани помежду си с кинематични двоици и с еластично-демпфиращи елементи.

Наложените връзки на телата от механичната система са холономни и стационарни и определят 24 степени на свобода. На фиг.1 е представен динамичния модел на изследваната механична система. Векторът на обобщените координати на последната е от вида [5]:

$$\mathbf{q} = [x_1, y_1, z_1, \theta_{x1}, \theta_{y1}, \theta_{z1}, x_2, y_2, z_2, \theta_{x2}, \theta_{y2}, \theta_{z2}, x_3, y_3, z_3, \theta_{x3}, \theta_{y3}, \theta_{z3}, \theta_{x4}, \theta_{y5}, z_6, y_7, \theta_{z8}, z_9]_{24 \times 1}^T \quad (1)$$

Свободните пространствени затихващи трептения се изследват, като се отчита демпфирането в еластично-демпфиращите елементи на механичната система. Разсейването на механичната енергия се описва с уравнението:

$$\mathbf{F}_b = \frac{1}{2} \dot{\mathbf{q}}^T \cdot \mathbf{B} \cdot \dot{\mathbf{q}} \quad (2)$$

където: $\dot{\mathbf{q}}_{(24 \times 1)}$ - вектор на обобщените скорости;

$\mathbf{B}(\dot{\mathbf{q}})_{(24 \times 24)}$ - матрица на коефициентите на демпфиране на механичната система.

2. ДИФЕРЕНЦИАЛНИ УРАВНЕНИЯ НА

ПРОСТРАНСТВЕНИТЕ СВОБОДНИ ЗАТИХВАЩИ ТРЕПТЕНИЯ

Системата диференциални уравнения, описваща малките пространствени свободни затихващи трептения на мотокар, се получава при прилагане уравнението на Лагранж от II род. Като се използват изразите за кинетичната енергия, потенциалната енергия, енергията на разсейване и обобщените еластични и демпфиращи сили [1, 2, 3, 4], се получават диференциалните уравнения за свободните затихващи трептения на изследвания мотокар във вида:

$$\mathbf{M} \cdot \ddot{\mathbf{q}} + \mathbf{B} \cdot \dot{\mathbf{q}} + \mathbf{C} \cdot \mathbf{q} = 0 \quad (3)$$

където \mathbf{M} , \mathbf{C} са съответно матрици на инерционни и на еластични свойства.

3.РЕШЕНИЕ НА СИСТЕМАТА ДИФЕРЕНЦИАЛНИ УРАВНЕНИЯ

Решението на (3) се търси във вида:

$$\mathbf{q} = \mathbf{V} \cdot e^{pt} \quad (4)$$

След диференциране на това уравнение и заместване в (3) се получава система свързани диференциални уравнения във вида:

$$(p^2 \cdot \mathbf{M} + p \cdot \mathbf{B} + \mathbf{C}) \mathbf{V} = 0 \quad (5)$$

където \mathbf{M} , \mathbf{B} , \mathbf{C} , \mathbf{V} са вече дефинирани матрици.

Трептенията на механичната система около устойчиво равновесно положение се дефинират от собствените стойности p_r и собствените вектори \mathbf{u}_r , които в общия си вид са комплексно спрегнати числа. Уравнението на собствените стойности е равно на:

$$p_r = -\alpha_r + i\beta_r \quad (6)$$

Уравнението на собствените вектори е равно на:

$$\mathbf{u}_r = \mathbf{v}_r + i\mathbf{w}_r \quad (7)$$

$$\alpha_r = \sigma_r \cdot \omega_r \quad (8)$$

$$\beta_r = \omega_r \cdot \sqrt{1 - \sigma_r^2} \quad (9)$$

където:

σ_r -относителен коефициент на демпфиране;

α_r -коефициент на демпфиране;

β_r -честота на свободно затихващите трептения;

\mathbf{W}_r -имагинерна част на собствения вектор, породена от демпфиране на системата;

$\mathbf{V}_r, \mathbf{W}_r$ -собствените форми и собствените честоти на не демпфираната система.

При изчисляване на α_r и \mathbf{w}_r от матриците \mathbf{M} , \mathbf{V} и \mathbf{B} се образува матрицата:

$$\mathbf{K} = (\mathbf{V}^T \cdot \mathbf{M} \cdot \mathbf{V})^{-1} \cdot (\mathbf{V}^T \cdot \mathbf{B} \cdot \mathbf{V}) = [\mathbf{k}_{ik}] \quad (10)$$

За коефициентите на демпфиране се получава уравнението:

$$\alpha_r = \frac{1}{2} k_{rr} \quad (11)$$

С матрицата \mathbf{K} се образува матрицата:

$$\mathbf{D} = [\mathbf{d}_{ik}] \begin{cases} \mathbf{d}_{ik} = 0, \text{ при } \omega_i^2 = \omega_k^2 & ; \\ \mathbf{d}_{ik} = k_{ik} \frac{\omega_k}{(\omega_k^2 - \omega_i^2)}, \text{ при } \omega_i^2 \neq \omega_k^2 \end{cases}$$

Матрицата на имагинерната част на собствените вектори на демпфираната система \mathbf{W} се изчислява с уравненията:

$$\mathbf{W} = \mathbf{V} \cdot \mathbf{D} \quad (13)$$

където:

$$\mathbf{V} = [\mathbf{v}_{rk}]_{(24 \times 24)} \quad (14)$$

$$\mathbf{D} = [\mathbf{d}_{ik}]_{(24 \times 24)} \quad (15)$$

Общите решения на системата за собствените стойности p_r и собствените вектори \mathbf{u}_r се получават, като се определят началните условия на движение. При начални условия $t=0$, $\mathbf{q}(0) = \mathbf{q}_0$, $\dot{\mathbf{q}}(0) = \dot{\mathbf{q}}_0$, общите решения на системата диференциални уравнения [Ангелов и др., 2012], записани в матричен вид са:

$$\mathbf{q}(t) = \sum_{r=1}^{24} \frac{2}{\mathbf{g}_r^2 + \mathbf{h}_r^2} \begin{bmatrix} \mathbf{G}_r \cdot \mathbf{M} \cdot \dot{\mathbf{q}}(0) + \\ -\alpha_r \cdot \mathbf{G}_r \cdot \mathbf{M} + \\ \beta_r \cdot \mathbf{H}_r \cdot \mathbf{M} + \\ \mathbf{G}_r \cdot \mathbf{B} \end{bmatrix} \cdot \mathbf{q}(0) \cdot e^{-\alpha_r t} \cdot \cos \beta_r t + \quad (16)$$

$$+ \sum_{r=1}^{24} \frac{2}{\mathbf{g}_r^2 + \mathbf{h}_r^2} \begin{bmatrix} \mathbf{H}_r \cdot \mathbf{M} \cdot \dot{\mathbf{q}}(0) + \\ -\alpha_r \cdot \mathbf{H}_r \cdot \mathbf{M} - \\ \beta_r \cdot \mathbf{G}_r \cdot \mathbf{M} + \\ \mathbf{H}_r \cdot \mathbf{B} \end{bmatrix} \cdot \mathbf{q}(0) \cdot e^{-\alpha_r t} \cdot \sin \beta_r t$$

където:

$$\mathbf{g}_r = -2\alpha_r \cdot (\mathbf{V}_r^T \cdot \mathbf{M} \cdot \mathbf{V}_r - \mathbf{W}_r^T \cdot \mathbf{M} \cdot \mathbf{W}_r) - 4\beta_r \cdot \mathbf{V}_r^T \cdot \mathbf{M} \cdot \mathbf{W}_r + \mathbf{V}_r^T \cdot \mathbf{B} \cdot \mathbf{V}_r - \mathbf{W}_r^T \cdot \mathbf{B} \cdot \mathbf{W}_r; \quad (17)$$

$$\mathbf{h}_r = 2\beta_r \cdot (\mathbf{V}_r^T \cdot \mathbf{M} \cdot \mathbf{V}_r - \mathbf{W}_r^T \cdot \mathbf{M} \cdot \mathbf{W}_r) - 4\alpha_r \cdot \mathbf{V}_r^T \cdot \mathbf{M} \cdot \mathbf{W}_r + 2\mathbf{V}_r^T \cdot \mathbf{B} \cdot \mathbf{W}_r; \quad (18)$$

$$\mathbf{G}_r = \mathbf{g}_r \cdot \mathbf{L}_r + \mathbf{h}_r \cdot \mathbf{R}_r; \quad (19)$$

$$\mathbf{L}_r = \mathbf{V}_r \cdot \mathbf{V}_r^T - \mathbf{W}_r \cdot \mathbf{W}_r^T; \quad (20)$$

$$\mathbf{H}_r = \mathbf{h}_r \cdot \mathbf{L}_r - \mathbf{g}_r \cdot \mathbf{R}_r; \quad (21)$$

$$\mathbf{R}_r = \mathbf{V}_r \cdot \mathbf{W}_r^T + \mathbf{W}_r \cdot \mathbf{V}_r^T. \quad (22)$$

4. РЕШЕНИЕ НА ДИФЕРЕНЦИАЛНИТЕ УРАВНЕНИЯ ЧРЕЗ МЕТОДА НА ГЛАВНИТЕ КООРДИНАТИ

При наличието на демпфиране в механичната система, преминаването от обобщени в главни координати е възможно [1, 2], когато в системата от диференциални уравнения (6) е изпълнено условието за пропорционалност:

$$\mathbf{B} = \alpha \cdot \mathbf{M} + \gamma \cdot \mathbf{C}, \quad (23)$$

при което тя се трансформира във вида:

$$\mathbf{M} \cdot \ddot{\mathbf{q}} + (\alpha \cdot \mathbf{M} + \gamma \cdot \mathbf{C}) \cdot \dot{\mathbf{q}} + \mathbf{C} \cdot \mathbf{q} = 0 \quad (24)$$

Като се има предвид условието за преход от обобщени в главни координати, системата от диференциални уравнения има вида:

$$\mathbf{V}^T \cdot \mathbf{M} \cdot \mathbf{V} \cdot \ddot{\mathbf{q}}' + \mathbf{V}^T \cdot (\alpha \cdot \mathbf{M} + \gamma \cdot \mathbf{C}) \cdot \mathbf{V} \cdot \dot{\mathbf{q}}' + \mathbf{V}^T \cdot \mathbf{C} \cdot \mathbf{V} \cdot \mathbf{q}' = 0$$

Като се използва ортогоналността на модалната матрица, за (25) се получава:

$$\mathbf{M}_q \cdot \ddot{\mathbf{q}}' + \mathbf{B}_q \cdot \dot{\mathbf{q}}' + \mathbf{C}_q \cdot \mathbf{q}' = 0 \quad (26)$$

където:

$$\mathbf{M}_q = \mathbf{V}^T \cdot \mathbf{M} \cdot \mathbf{V}; \quad (27)$$

$$\mathbf{B}_q = \mathbf{V}^T \cdot (\alpha \cdot \mathbf{M} + \gamma \cdot \mathbf{C}) \cdot \mathbf{V}; \quad (28)$$

$$\mathbf{C}_q = \mathbf{V}^T \cdot \mathbf{C} \cdot \mathbf{V} \quad (29)$$

От (26) се получават 24 на брой независими диференциални уравнения от вида:

$$\mathbf{m}_{ii} \cdot \ddot{\mathbf{q}}'_i + \mathbf{b}_{ii} \cdot \dot{\mathbf{q}}'_i + \mathbf{c}_{ii} \cdot \mathbf{q}'_i = 0 \quad (30)$$

което може да се запише:

$$\ddot{\mathbf{q}}'_i + 2\xi_{ii} \cdot \omega_i \cdot \dot{\mathbf{q}}'_i + \omega_i^2 \cdot \mathbf{q}'_i = 0 \quad (31)$$

където

$$\xi_{ii} = \frac{c_{ii}}{m_{ii} \omega_i} \quad (32)$$

Ако системата притежава една собствена честота $\omega_k = 0$, и останалите $\omega_s \neq 0$, уравнения (31) добиват вида:

$$\ddot{\mathbf{q}}'_k = 0 \quad \text{за } \omega_k = 0 \quad (33)$$

$$\ddot{\mathbf{q}}'_s + 2\xi_s \cdot \omega_s \cdot \dot{\mathbf{q}}'_s + \omega_s^2 \cdot \mathbf{q}'_s = 0 \quad \text{за } \omega_s \neq 0$$

Решенията на диференциалните уравнения (31) при начални условия $t=0$, $\mathbf{q}'_i(0) = \mathbf{q}'_{i0}$, $\dot{\mathbf{q}}'_i(0) = \dot{\mathbf{q}}'_{i0}$, се търсят във вида:

$$\text{за } \omega_k = 0: \quad \mathbf{q}'_k = \mathbf{q}'_{k0} + \dot{\mathbf{q}}'_{k0} t,$$

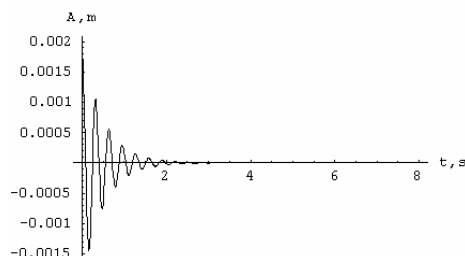
$$\text{за } \omega_c \neq 0: \quad (34)$$

$$\mathbf{q}'_s = e^{\xi_{ii} \omega_s t} \left[\begin{array}{l} \mathbf{q}'_{s0} \cos \omega_{ds} t + \\ \left(\frac{1}{\omega_{ds}} \right) \left(\dot{\mathbf{q}}'_{s0} + \xi_{ii} \omega_s \mathbf{q}'_{s0} \sin \omega_{ds} t \right) \end{array} \right]$$

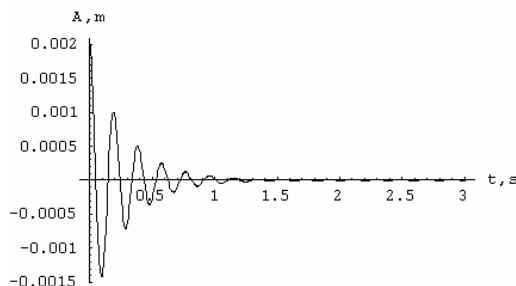
където

$$\omega_{ds} = \sqrt{1 - \xi_{ii}^2} \quad (35)$$

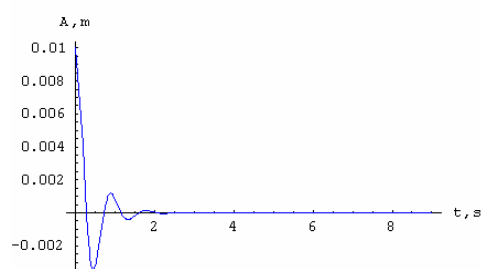
5. ЧИСЛЕНИ ПРЕСМЯТАНИЯ НА СВОБОДНИТЕ ЗАТИХВАЩИ ТРЕПТЕНИЯ НА КОНКРЕТЕН КАР



фиг.2 Координата z_3



фиг.3 Координата z_9



фиг.4 Координата z_{24}

На базата на получените формули е създадена програма в среда на стандартен програмен продукт. На фиг. 2, 3, 4 са представени резултати от числените решения за свободните затихващи трептения на механичната система за вертикалните амплитуди на корпуса и двигателя на мотокара и на водача.

6. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Създаден е динамичен модел, характеризиращ свободните затихващи трептения на мотокар с 24 степени на свобода. Определена е функцията за разсейване на енергията от всички демпфиращи елементи. Изведена е система свързани диференциални уравнения на трептене на механичната система около устойчиво равновесно положение и са дадени аналитични решения.

Представено е второ аналитично решение по метода на главните координати. С получените формули и параметрите на конкретен мотокар е извършено числено пресмятане, като са представени затихващите трептения на водача и на пода на мотокара.

Научните изследвания, резултатите от които са представени в настоящата публикация, са финансирани от Вътрешния конкурс на Техническия университет-София през 2013 година.

Литература

1. **Ангелов Ил.** Матрична механика Динамика. София, Авангард Прима, 2008.
2. **Ангелов Ил.** Матрично моделиране в 3D пространството на кинематиката, динамиката и трептенията на механични модули и многомасови системи. Дисертация за присъждане на научна степен "доктор на техническите науки", ТУ, София, 2000.
3. **Ангелов Ил., Славов В.** Сборник задачи Матрична механика. Динамика и трептения. София, Авангард Прима, 2008.
4. **Бачев В., Ангелов Ч.** Механо-математично матрично моделиране в пространството на свободните затихващи трептения на лек автомобил, Българско списание за инженерно проектиране, брой13, юни 2012г., стр. 31-35.
5. **Ангелов Ил., Желев Д., Бачев В., Николов В.** „Механо-математично матрично моделиране на пространствените свободни незатихващи трептения на мотокар“, Дни на механиката във Варна 2012г.

SPACE FREE OSCILLATION DAMPING FORKLIFT WITH A HYDRAULIC MANIPULATOR PERFORMING TWO ROTATION AND TWO TRANSLATION

Deyan ZHELEV¹ Valentin BACHEV² Valentin SLAVOV³

^{1,2} Department "Mechanics", "Mechanical and Precision Engineering" Technical University of Sofia, Branch Plovdiv, e-mail: hidro_eood@abv.bg, abc4@abv.bg

³ Department "Applied Mechanics," University of Chemical Technology and Metallurgy, Sofia, e-mail: valslavov@abv.bg

Abstract: In this work explore spatial free subsiding oscillations around sustainable equilibrium position, vibrations of forklift. The latter is equipped with a hydraulic manipulator who is able to do two rotations and two translations. Created a dynamic model of the forklift. It includes 9 units regarded as rigid. Between the bodies are holonomic constraints who set 24 degrees of freedom. Was defined the function of the dissipation energy of the deformation of the damping elements of the forklift. Was displayed a system related linear differential equations of smaller, about the equilibrium sustainable state, spatial free damped oscillations of the mechanical system. Taken into account the inertial and the elastic coefficients of the forklift. The analytical solution is presented in matrix form. Presented is a second analytical solution by the method of a principal coordinates. Was presented numerical solutions of the free damped oscillations of three generalized coordinates of the mechanical system.

Keywords: Free damped oscillations, forklift.

ПРИНУДЕНИ ПРОСТРАНСТВЕНИ ТРЕПТЕНИЯ НА МОТОКАР С ХИДРАВЛИЧЕН МАНИПУЛАТОР, ИЗВЪРШВАЩ ДВЕ РОТАЦИИ И ДВЕ ТРАНСЛАЦИИ

Деян ЖЕЛЕВ¹ Валентин БАЧЕВ² Валентин СЛАВОВ³ Илия АНГЕЛОВ⁴

катедра „Механика“¹, „Машиностроене и уредостроене“², Технически университет-София, филиал Пловдив, e-mail: hidro_eood@abv.bg, abc4@abv.bg

³ катедра „Приложна механика“, Химико-технологичен и металургичен университет-София, e-mail: valslavov@abv.bg

⁴ Технически университет-София, България, e-mail: il.angelov@abv.bg

Резюме: В тази работа се изследват пространствените принудени, от работата на двигател с вътрешно горене, малки трептения около устойчиво равновесно положение на мотокара. Последният е оборудван с хидравличен манипулатор и има възможност да извършва две ротации и две трансрации. За изследване на пространствените принудени трептения на мотокара е създаден динамичен модел. Последният е съставен от девет идеално твърди тела свързани по между си с холономни връзки с 24 степени на свобода. Определени са обобщените сили от газовите сили и моменти на сили, на двигател с вътрешно горене, и от инерционните сили на неуравновесените движещи се маси на двигателя. Съставена е система свързани диференциални уравнения на принудените, от двигателя с вътрешно горене, малки трептения около устойчиво равновесно положение на мотокара. Представено е аналитично решение в матрична форма. За три обобщени координати са представени резултати от числено решение с параметри на реален мотокар.

Ключови думи: Матрична механика, принудени трептения, мотокар.

УВОД

В достъпната литература няма трудове, които разглеждат принудените пространствени трептения на мотокар, породени от работата на двигател с вътрешно горене (ДВГ). Тъй като векторите на смущаващите сили и моментите на сили са разположени произволно в пространството, целта на настоящата работа е да даде решение на тази пространствена задача.

1. СМУЩЕНИЯ НА МОТОКАРА ОТ СИЛИ И МОМЕНТИ, ПОРОДЕНИ ОТ РАБОТАТА НА ДВГ

При работа на ДВГ (позиция 2 на фиг.2) трябва да се отчете влиянието на силите и моментите на сили, които възникват от: налягането на работното вещество в цилиндъра и картера на двигателя, инерционните сили от възвратно – постъпателно, равнинно и ротационно движещите се маси, и от неуравновесените движещи се маси [1]. Силите се изразяват като функция от ъгъла на завъртане на колянния вал α и се разглеждат за един работен цикъл. В четиритактовите

двигатели един работен цикъл се извършва за две завъртания на колянния вал. Смущаващата сила \mathbf{F}_2^* на ДВГ е равна на [2]:

$$\mathbf{F}_2^* = \text{Re}(\gamma_{F_2} \sum \mathbf{F}_{k2}^* e^{ik\alpha}), \quad k=1, \dots, n \quad (1)$$

където:

γ_{F_2} – коефициент; \mathbf{F}_{k2}^* – вектор на амплитудата на k -тия хармоник; $k = s \cdot j$ – за четиритактов двигател; s – брой на цилиндрите; $j=1, 2, \dots, n$.

Векторът на смущаващата сила се проектира на осите на правоъгълна Декартова координатна система и записът му в матричен вид е във вида [2]:

$$\mathbf{F}_2^* = [\mathbf{F}_{2x}^* \quad \mathbf{F}_{2y}^* \quad \mathbf{F}_{2z}^*]^T \quad (2)$$

Смущаващият момент от газовите сили \mathbf{M}_r^* , разложен в ред на Фурие, има вида:

$$\begin{aligned} \mathbf{M}_r^*(\alpha, \dot{\alpha}) &= \mathbf{M}_0^*(\dot{\alpha}) + \mathbf{M}_1^* \cdot \sin(\alpha + \varphi_1) + \\ &+ \mathbf{M}_2^* \cdot \sin(\alpha + \varphi_2) + \dots = \\ &= \mathbf{M}_0^* + \sum \mathbf{M}_k^* \cdot \sin(k \cdot \alpha + \varphi_k), \end{aligned} \quad (3)$$

$k = 1, \dots, \infty$

Смушаваният момент \mathbf{M}_2^* на ДВГ е:

$$\mathbf{M}_2^* = \text{Re}\left(\gamma_{M2} \sum \mathbf{M}_{k2}^* e^{ik\alpha}\right); k = 0, \dots, n; \quad (4)$$

$$\mathbf{M}_0^* = \mathbf{M}_0^*(\dot{\alpha})$$

където: \mathbf{M}_{k2}^* е вектор на амплитудата на k -тия хармоник; γ_{M2} е коефициент.

Векторът на смушавания момент се проектира на осите на правоъгълна Декартова координатна система и записът му в матричен вид е [2]:

$$\mathbf{M}_2^* = [\mathbf{M}_{2,x}^* \quad \mathbf{M}_{2,y}^* \quad \mathbf{M}_{2,z}^*]^T \quad (5)$$

2. ОБОБЩЕНИ СИЛИ

Принудените пространствени трептения на мотокара се изследват, като се отчита смушавачното действие на силите от работата на ДВГ. На фиг.1 е показано свободно тяло в пространството с действаща върху него сила

$$\mathbf{F}_i = [\mathbf{F}_{ix} \quad \mathbf{F}_{iy} \quad \mathbf{F}_{iz}]^T \quad (6)$$

и момент на двоица сили

$$\mathbf{M}_i = [\mathbf{M}_{ix} \quad \mathbf{M}_{iy} \quad \mathbf{M}_{iz}]^T \quad (7)$$

Радиус-векторът \mathbf{R}_{Pi}^0 на приложната точка P_i на силата \mathbf{F}_i проектиран в отправната координатна система $O_0x_0y_0z_0$ има вида:

$$\mathbf{R}_{Pi}^0 = \mathbf{R}_{Oi}^0 + \mathbf{U}_i^0 \cdot r_{Pi} \quad (8)$$

където: \mathbf{R}_{Oi}^0 е радиус-вектор на центъра O_i на координатна система $O_ix_iy_iz_i$ в отправната координатна система $O_0x_0y_0z_0$; r_{Pi} е радиус-вектор на точката P_i в координатна система $O_ix_iy_iz_i$; \mathbf{U}_i^0 е матрица на ротация на i -тото тяло.

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

$$\delta W_e = \mathbf{F}_i^T \cdot \delta \mathbf{R}_{Pi}^0 + \mathbf{M}_i^T \cdot \delta \theta \quad (9)$$

където:

$$\delta \mathbf{R}_{Pi}^0 = \delta \mathbf{R}_i^0 - \mathbf{U}_i^0 \cdot \tilde{r}_{Pi} \cdot \mathbf{U}_i^{\Omega 0} \cdot \delta \theta \quad (10)$$

$$(11)$$

$\mathbf{U}_i^{\Omega 0}$ е дефинирана в [1].

Като заместим (10) в (9), за виртуалната работа на силата и на момента, действащи на тялото, се получава:

$$\delta W_e = \mathbf{F}_i^T \cdot \delta \mathbf{R}_i^0 - \mathbf{F}_i^T \cdot \tilde{r}_{Pi} \cdot \mathbf{U}_i^{\Omega 0} \cdot \delta \theta + \mathbf{M}_i^T \cdot \mathbf{U}_i^{\Omega 0} \cdot \delta \theta = \mathbf{Q}_F \cdot \delta \mathbf{R}_i^0 + \mathbf{Q}_M \cdot \delta \theta \quad (12)$$

От това уравнение се определят обобщените сили:

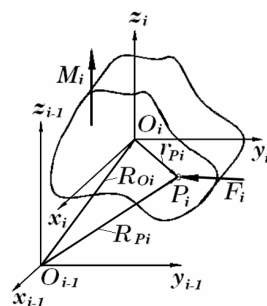
$$\mathbf{Q}_F = \mathbf{F}_i^T$$

$$\mathbf{Q}_M(F, M_i) = \mathbf{U}_i^{\Omega 0T} \cdot (\tilde{r}_{Pi}^{0T} \cdot \mathbf{F}_i + \mathbf{M}_i) \quad (13)$$

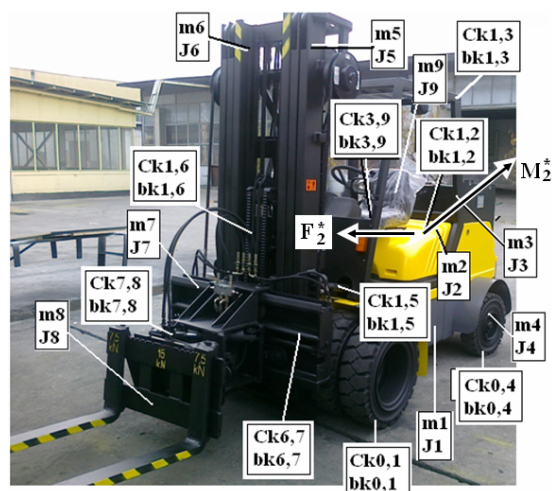
Обобщените сили на двигателя с вътрешно горене записани в матричен вид имат вида:

$$\mathbf{Q}_{F2} = \mathbf{F}_2^{*T}$$

$$\mathbf{Q}_{M2} = \mathbf{U}_2^{\Omega 0T} \cdot (\tilde{r}_{P2}^{0T} \cdot \mathbf{F}_2^* + \mathbf{M}_2^*) \quad (14)$$



фиг.1 Вектори на сила и на момент на двоица



фиг.2 Динамичен модел на мотокар

3. ДИФЕРЕНЦИАЛНИ УРАВНЕНИЯ НА ПРИНУДЕНИТЕ ТРЕПТЕНИЯ, ПОРОДЕНИ ОТ РАБОТАТА НА ДВГ

На фиг.2 е представен динамичен модел на мотокар съставен от 9 идеално твърди тела с 24

степени на свобода. Положението на механичната система в пространството се дефинира еднозначно с вектора на обобщените координати:

$$\mathbf{q} = [x_1, y_1, z_1, \theta_{x1}, \theta_{y1}, \theta_{z1}, x_2, y_2, z_2, \theta_{x2}, \theta_{y2}, \theta_{z2}, x_3, y_3, z_3, \theta_{x3}, \theta_{y3}, \theta_{z3}, \theta_{x4}, \theta_{y5}, z_6, y_7, \theta_{z8}, z_9]_{24 \times 1}^T \quad (15)$$

Системата свързани диференциални уравнения, описваща малките принудени трептения на механичната система, които са породени от смущаващите сили и моменти от работата на ДВГ, има вида [4]:

$$\mathbf{M}_{(24 \times 24)} \ddot{\mathbf{q}}_{(24 \times 1)} + \mathbf{B}_{(24 \times 24)} \dot{\mathbf{q}}_{(24 \times 1)} + \mathbf{C}_{(24 \times 24)} \mathbf{q}_{(24 \times 1)} = \mathbf{Q} \quad (16)$$

Векторът на обобщената смущаваща сила \mathbf{Q} , записана в матричен вид има вида [3]:

$$\mathbf{Q} = [[0]_{(6 \times 1)}^T \quad [r_{F2} \cdot \mathbf{F}_2^*]_{(3 \times 1)}^T \quad [\gamma_{M2} \cdot \mathbf{M}_2^*]_{(3 \times 1)}^T \quad [0]_{(12 \times 1)}^T]_{(24 \times 1)}^T \quad (17)$$

Решението на системата свързани диференциални уравнения (16) при начални условия $t = 0, q(0) = q_0, \dot{q}(0) = \dot{q}_0$ има вида [3]:

$$q(t) = \sum_{r=1}^{24} \frac{2}{g_r^2 + h_r^2} \left[\mathbf{G}_r \cdot \mathbf{M} \cdot \dot{\mathbf{q}}(0) + \begin{pmatrix} -\alpha_r \cdot \mathbf{G}_r \cdot \mathbf{M} + \\ \beta_r \cdot \mathbf{H}_r \cdot \mathbf{M} + \\ \mathbf{G}_r \cdot \mathbf{B} \end{pmatrix} \cdot \mathbf{q}(0) \right] \cdot e^{-\alpha_r t} \cdot \cos \beta_r t + \sum_{r=1}^{24} \frac{2}{g_r^2 + h_r^2} \left[\mathbf{H}_r \cdot \mathbf{M} \cdot \dot{\mathbf{q}}(0) + \begin{pmatrix} -\alpha_r \cdot \mathbf{H}_r \cdot \mathbf{M} - \\ \beta_r \cdot \mathbf{G}_r \cdot \mathbf{M} + \\ \mathbf{H}_r \cdot \mathbf{B} \end{pmatrix} \cdot \mathbf{q}(0) \right] \cdot e^{-\alpha_r t} \cdot \sin \beta_r t + \text{Re} \left\{ \sum_{k=0}^n \sum_{r=1}^{24} \frac{2}{g_r^2 + h_r^2} \cdot \begin{pmatrix} \alpha_r \cdot \mathbf{G}_r + \beta_r \cdot \mathbf{H}_r + i k \Omega \mathbf{G}_r \\ \omega_r^2 - k^2 \Omega^2 + 2i k \sigma_r \Omega_r \Omega \end{pmatrix} \cdot Q_{Fk}^* e^{ik\Omega t} \right\} \quad (18)$$

където:

$$g_r = -2\alpha_r \cdot (\mathbf{V}_r^T \cdot \mathbf{M} \cdot \mathbf{V}_r - \mathbf{W}_r^T \cdot \mathbf{M} \cdot \mathbf{W}_r) - 4\beta_r \cdot \mathbf{V}_r^T \cdot \mathbf{M} \cdot \mathbf{W}_r + \mathbf{V}_r^T \cdot \mathbf{B} \cdot \mathbf{V}_r - \mathbf{W}_r^T \cdot \mathbf{B} \cdot \mathbf{W}_r;$$

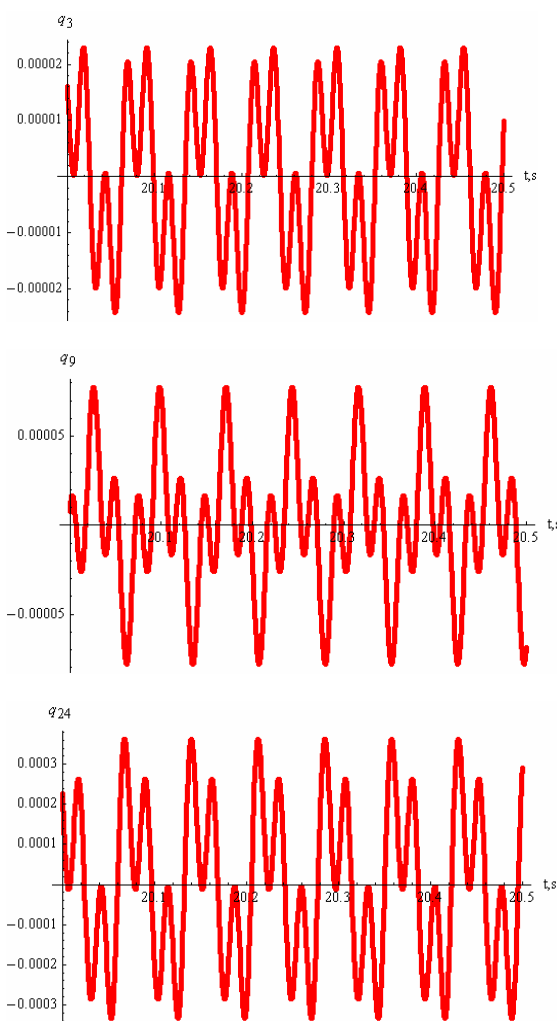
$$h_r = 2\beta_r \cdot (\mathbf{V}_r^T \cdot \mathbf{M} \cdot \mathbf{V}_r - \mathbf{W}_r^T \cdot \mathbf{M} \cdot \mathbf{W}_r) - 4\alpha_r \cdot \mathbf{V}_r^T \cdot \mathbf{M} \cdot \mathbf{W}_r + 2\mathbf{V}_r^T \cdot \mathbf{B} \cdot \mathbf{W}_r;$$

$$\mathbf{G}_r = g_r \cdot \mathbf{L}_r + h_r \cdot \mathbf{R}_r;$$

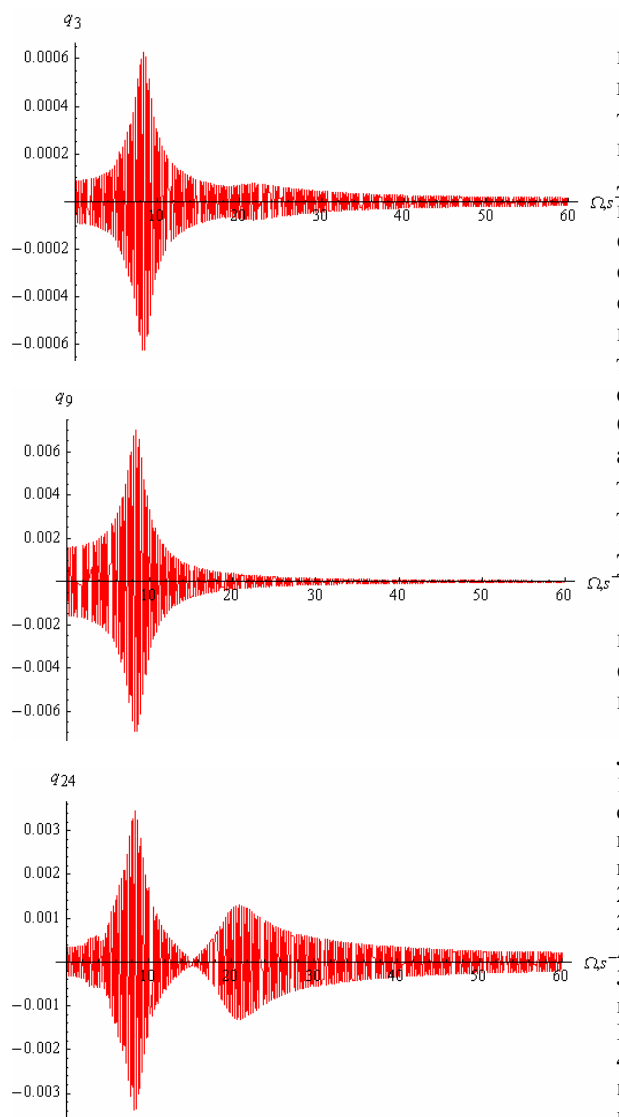
$$\mathbf{L}_r = \mathbf{V}_r \cdot \mathbf{V}_r^T - \mathbf{W}_r \cdot \mathbf{W}_r^T;$$

$$\mathbf{H}_r = h_r \cdot \mathbf{L}_r - g_r \cdot \mathbf{R}_r;$$

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



Фиг.3 Амплитуди на принудените, от работата на ДВГ, трептения на мотокара



фиг. 4 Амплитудно-честотни характеристики на принудените, от работата на ДВГ, трептения на мотокара

На базата на това аналитично решение е създадена програма в среда на стандартен математичен програмен продукт и са получени числени решения. На фиг. 3 и фиг. 4 са представени съответно амплитудите и амплитудно-честотните характеристики на пространствените принудени, от работата на ДВГ, трептения на мотокара.

4. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Извършено е механо-математично матрично моделиране на принудените, от работата на двигател с вътрешно горене, пространствени трептения около устойчиво равновесно положение на мотокар с хидравличен манипулатор, извършващ две ротации и две транскации. В динамичния модел са включени масовите, геометричните, еластичните, демпфиращите, кинематичните и силовите параметри на мотокара. Съставена е система свързани линейни диференциални уравнения на малките принудени, породени от работата на ДВГ, трептения на механичната система и са получени аналитични решения в матричен вид. С полученото аналитично решение са създадени алгоритъм и програма в среда на стандартен математичен програмен продукт. За конкретен мотокар са получени числени резултати на принудените, от работата на ДВГ, пространствени трептения.

Научните изследвания, резултатите от които са представени в настоящата публикация, са финансирани от Вътрешния конкурс на Техническия университет-София през 2013 година.

Литература

1. Ангелов, Ил. Матрично моделиране в 3D пространството на кинематиката, динамиката и трептенията на механични модули и многомасови системи. Дисертация за получаване на научна степен д.т.н. ТУ-София, 2000.
2. Ангелов Ил. Матрична механика. Динамика. София, Авангард Прима, 2008.
3. Ангелов Ил., Славов В. Сборник задачи Матрична механика. Динамика и трептения. София, Авангард Прима, 2008.
4. Ангелов И. В., Д. В. Желев, В. Г. Бачев, В. Н. Николов, Механо-математично матрично моделиране на пространствените принудени трептения на мотокар породени от работата на ДВГ и вентилатора на охлаждащата уредба, Дни на механиката във Варна, XXXIX-ти национален семинар по "Динамика на механични системи", 8-10.09.2012 г., Варна, Научно списание "Механика на машините", ISSN 0861-9727, стр.52-56.
5. Бачев В., Ангелов Ч. Пространствени принудени трептения на лек автомобил от двигателя и вентилатора на охлаждащата система. Българско списание за инженерно проектиране, брой 13, юни 2012, стр. 31-35.
7. Бачев В., Николов В., Ангелов И., Принудени трептения в пространството на силов агрегат с ДВГ на стенд. Научно списание "Механика на машините", год. XXI, кн. 2, бр. 101, 2013, стр. 38-41.

FORCED OSCILLATION OF SPATIAL FORKLIFT WITH HYDRAULIC MANIPULATORS DO TWO ROTATION AND TWO TRANSLATION

Deyan ZHELEV¹ Valentin BACHEV² Valentin SLAVOV³ Iliya ANGELOV⁴

^{1,2}Department "Mechanics", "Mechanical and Precision Engineering" Technical University of Sofia,
Branch Plovdiv, e-mail: hidro_eood@abv.bg, abc4@abv.bg

³Department "Applied Mechanics," University of Chemical Technology and Metallurgy, Sofia,
e-mail: valslavov@abv.bg

⁴Technical University of Sofia, Bulgaria, e-mail: il.angelov@abv.bg

Summary: This paper investigates the small spatial oscillations forced by the work of an internal combustion engine, around the sustainable position equilibrium of a forklift. It is equipped with a hydraulic manipulator and is able to complete two rotations and two translations. For the investigation of the spatial forced vibrations of forklift a dynamic model has been created. The model is composed of nine rigid bodies interconnected with holonomic constraints with 24 degrees of freedom. Forces which are generalized by: gas forces moments of forces of internal combustion engine and by inertial forces of the unbalanced moving engine masses have been defined. A system of linked differential equations of the small oscillations forced by the internal combustion engine, around the equilibrium position of the forklift has been created. Analytical solution in matrix form has been presented. For three generalized coordinates results of numerical solution with parameters of a real forklift have been presented.

Keywords: Matrix mechanics, forced oscillations forklift.

МУЛЬТИАГЕНТНАЯ РЕАЛИЗАЦИЯ ВЫБОРА ТОПОЛОГИИ НЕЙРОСЕТЕЙ ДЛЯ МОДЕЛИРОВАНИЯ ПРИКЛАДНЫХ ЗАДАЧ

Леонид ЯМПОЛЬСКИЙ Евгений ПУХОВСКИЙ Олег ЛИСОВИЧЕНКО

Национальный технический университет Украины - "КПИ", Украина

e-mail: lyamp@tk.kpi.ua, olisov@tk.kpi.ua

Резюме: На основе разработанного реляционного классификатора предложен универсальный подход к выбору удовлетворяющей топологии нейросетей, которая отвечает требованиям моделируемой прикладной задачи. Реализация подхода базируется на использовании гибкой интеллектуализированной мультиагентной системы с многоцелевой конфигурацией её составляющих с функциями метаидентификации. Раскрыто взаимодействие компонент системы в процессе их функционирования.

Ключевые слова: агенты/мультиагенты с функциями метаидентификации, агентно-ориентированная подсистема, гибкая интеллектуализированная мультиагентная конфигурация, искусственная нейросеть, логическая модель поэтапного синтеза, набор решающих классификационных признаков, нечёткая метаидентификация, производственные правила, рейтинговое оценивание, сети Петри, топология нейросети, фаззи-контроллер, экспертная система.

Хронология развития нейротехнологий. В начале 40-х годов прошлого столетия появились две фундаментальные работы, в которых впервые формализуется понятие *искусственного нейрона* (ИН) и *искусственной нейронной сети* (ИНС) – это работа У. Мак-Каллоха и У. Питтса [43] о логическом исчислении идей и нервной активности и фундаментальный труд Н. Винера [4] и его коллег о представлении сложных биологических процессов математическими моделями (в дальнейшем закреплённом в термине “кибернетика”). С появлением предложенного Ф. Розенблаттом *однослойного персептрона* [50] (который используют для распознавания образов, прогнозирования и т.п.), а в дальнейшем разработанной Б. Уидроу совместно со своим студентом М. Хоффом *Адалины* [54], работающей на основе дельта-правила (*формулы Уидроу*) на принципиально новых элементах — *мемисторах*, значительно повысилась поддержка на коммерческом уровне разработок в области *нейротехнологий* (НТ). Этому также способствовал предложенный Д. Хеббом первый *алгоритм обучений нейрона* [31]. Сейчас Адалина (*адаптивный сумматор*) является стандартным элементом многих систем обработки сигналов.

Однако проведенные уже в 1963 году под руководством А.П. Петрова в Институте проблем передачи информации АН СССР исследования задач, “трудных” для персептрона [10], явились

отправной точкой для Н.Н. Бонгарда [3], чтоб “сравнительно незначительным преобразованием алгоритма (персептрона) исправить его недостатки”. Именно эти две работы и стали залогом того, что первая волна эйфории относительно ИНС была приторможена в СССР.

А с конца 60-х и почти до середины 70-х годов прошлого столетия наблюдается уже резкий спад активности в развитии НТ и их прикладного использования, которые были вызваны наблюдаемыми М. Минским и С. Пайпертом [44] ограничениями в работе (моделирование исключительно простейших логических функций, сложности в обучении и переобучении и т. п.) и связанными с инвариантностью представления (так называемая проблема “парности” и “один в блоке”) искусственного нейрона У. Мак-Каллоха и У. Питтса, а также первых моделей однослойного персептрона Ф. Розенблатта и адалины Б. Уидроу и М. Хоффа. И хотя у исследователей НТ было понимание возможности построения многослойной сети с, очевидно, более широкими свойствами, однако оставался невыясненным вопрос относительно обучения скрытых слоёв. Между тем, отдельные исследования в области НТ продолжались, и среди них, в первую очередь, надо отметить самоорганизующуюся НС – *конгнитрон* (и *неокогнитрон*), предложенный К. Фукушимой [24, 25] и предназначенный для инвариантного распознавания образов (достигается при запо-

минании практически всех состояний образа), а также фундаментальные разработки Д. Хопфилда [34, 35] с перспективной и весьма важной для продвижения НТ на коммерческий рынок идеей создания модели НС *с обратными связями*, которая представляет собой минимизирующую энергетическую систему. Кроме того, следует отметить ряд работ Т. Кохонена [37, 38], где обосновывается возможность создания моделей НС, которые *обучаются без учителя* – так называемые *самоорганизующиеся карты Кохонена* (используются в задачах кластеризации, визуализации и др. для предварительной обработки данных). Эти исследования получили значительное развитие в реализации возможности восстановления повреждённых данных и базируются на естественном свойстве мозга использовать ассоциативные связи при поиске информации с помощью ключа – последовательности бит, которая сравнивается со всеми ключами сохраняемой информации. Такой вид памяти получил название *памяти, адресуемой по содержанию*. Если в модели исчислений фон Неймана доступно только адресное обращение к памяти, которая не зависит от её содержимого, и более того, если допущена ошибка в исчислении адреса, велика вероятность отыскания совсем другой информации, то ассоциативная память (которая адресуется по содержанию) доступна по указанию заданного содержания. Значительный вклад в решение проблемы ассоциативного обучения и создания *гетеро- авто- и двунаправленной ассоциативной памяти*, а также воссоздания принципов конкурентного обучения внесли также Дж. Андерсен [17], С. Гроссберг [26] и Б. Коско [39]. Двунаправленная ассоциативная память расширяет возможности модели Хопфилда, привнося ассоциации между векторами, имеющими в общем случае разные размерности; сеть быстро сходится в процессе функционирования.

Только с появлением предложенного в 1974 году в диссертации П. Вербоса [53] и параллельно в работе А. И. Галушкина [5], но оставленного без внимания исследователей, а в дальнейшем в середине 80-х годов прошлого столетия развитого Д., Румельхартом Г. Хинтоном и Р. Уильямсом [51] и независимо и одновременно С. И. Барцевым и В. А. Охониным [2, 18] метода обучения с использованием *алгоритма обратного распро-*

странения ошибки (АОРО) появился мощный теоретический фундамент для конструирования эффективных многослойных ИНС. Поэтому период взрывной заинтересованности обучающимися ИН начался только после 1982 года.

Наконец, большое значение приобретают *сети с радиально-базисными функциями* (РБФ-сети), представляющие собой специальный тип ИНС с прямыми связями и основное назначение которых – аппроксимация и интерполяция многомерных функций для решения, в частности, задач прогнозирования. Предложены они М. Повеллом [49] и исходят из математической основы теории аппроксимации и интерполяции многомерных функций, ранее разработанной М.А. Айзерманом, Э.М. Браверманом и Л.И. Розоноэром [1], сущность которой состоит в том, что сколь угодно точная аппроксимация функций достигается путем комбинации радиально симметричных функций.

Сегодня трудно представить область исследований, будь то техническое или технологическое проектирование, диагностирование, генетика, бионика, экономика, эргономика, коммунальное хозяйство, транспортные задачи и многие другие применения, где бы ни внедрялись средства и методы НТ [6]. Именно эта заинтересованность со стороны пользователей побуждает исследователей в области НТ к созданию многочисленных топологий ИНС как специального, так и универсального назначения. Однако, многовариантность выбора ИНС, в свою очередь, создаёт трудности в принятии адекватных прикладной задаче решений у пользователя, и это, на наш взгляд, и представляет *основную проблему использования ИНС*.

Усложнение проблемы. Итак, после “перекрестия” и существенной доработки Д. Румельхартом, Г. Хинтоном и Р. Уильямсом и независимо и одновременно С.И. Барцевым и В.А. Охониным метода обучения с использованием АОРО появилось основание для “ренессанса” НТ с всё возрастающей заинтересованностью со стороны пользователей и удовлетворением спроса новыми разработками в топологиях ИНС. Последнее осуществляется двумя путями:

1. За счёт использования объединений, модификаций и расширений уже существующих моделей ИНС;

2. Созданием моделей ИНС на новых архитектурных, структурных и топологических принципах построения и методах обучения или использования их для обслуживания других оптимизационных алгоритмов, в частности, генетических.

Ярким представителем *первого* может служить *объединение* двух ИНС: Кохонена и Гроссберга с *новым методом обучения* – “*встречного распространения*”, предложенным и развитым Р. Хехт-Нильсеном [30]. Такой симбиоз разных ИНС позволил улучшить свойства результирующей сети (снижение времени обучения; возможность работы как с непрерывными, так и с двоичными сигналами; блочное построение сети путём каскадирования специализированных модулей и т.п.) и расширить сферы применения (аппроксимация функций, распознавание, обработка и восстановление изображений, классификация). Существует две разновидности двухслойных ИНС встречного распространения: *слой Кохонена – слой Гроссберга* и *самоорганизующаяся карта Кохонена – слой Гроссберга* (разница в организации скрытого слоя и способе обучения его нейронов) [27].

Расширением за счёт *модификации* узлов во входном слое стандартной архитектуры многослойного прямонаправленного персептрона с АОРО стали *функционально-связанные сети*, разработанные Йох-хан Пао и подробно описанные в его работе [56]. Входы комбинируются понятным математическим путём с помощью функций высшего порядка (квадраты, кубы, синусы, косинусы, функции LOG, MAX и т.п.). Из названий этих функций высшего порядка или функционально связанных входов и формируется название. В *тензорной топологии таких сетей* в модель добавляются перекрестные произведения входных элементов, и каждая компонента входного образа перемножается со всеми компонентами входного вектора. В *топологии НС функционального расширения* добавляются входные узлы с приведенными выше функциями. Полный эффект обеспечивают сети с объединением обеих топологий. Никакой новой информации не добавляется, но расширенное представление входов

делает сеть проще для обучения при не слишком большом количестве входов. В противном случае возрастает время обучения.

Другим примером разработок первого пути развития ИНС является создание на основе идеи сети Хопфилда с добавлением специального модуля нелинейного преобразования новой парадигмы, работающей с аналоговыми сигналами – “*синергетического компьютера*”, предложенного основателем синергетики Х. Хакеном [28]. Этот компьютер относится к ассоциаторам с интерпретацией сохраняющихся в нём образов. Преимущество перед сетью Хопфилда – отсутствие неустойчивых состояний благодаря наличию динамического модуля, сходящегося к одному из базовых векторов.

Существенное сокращение затрат на память и объём необходимых вычислений достигается в *сети Хэмминга* [42], в которой вместо сохраняемого в памяти на выходе образа выдаётся только его номер. Поэтому, в отличие от сети Хопфилда, ёмкость сети Хэмминга определяется не размерностью входного сигнала N , а количеством нейронов слоя L на выходе. Кроме того, преимуществом сети Хэмминга является и то, что зависимость между количеством нейроном и количеством соединений в сети Хэмминга линейная, тогда как в сети Хопфилда – квадратичная, и при одинаковой ёмкости с сетью Хопфилда первая будет содержать значительно меньше соединений между нейронами.

Ещё одним примером создания новой топологии за счёт использования базовой модели многослойного персептрона прямого распространения является *ИНС с элементами задержки сигнала* (ИНС ЗС). Основное назначение – лучшая обработка (классификация) смещённых во времени образов (как правило, языковых сигналов), которые поступают на входной слой с затуханием во времени. Так, поскольку полезная языковая информация часто подаётся затухающей во времени в среде помех (паузы между поступающими фонемами, зашумления и т.п.), а длительность отдельных фонем сильно колеблется, ИНС ЗС должна одинаково эффективно обрабатывать такие фонемы, то есть быть *робастной* к внешнему сдвигу поступающих на сеть образов [41, 52]. Отличие такой сети заключается в наличии возможности создания за счёт эле-

ментов задержки либо в самих нейронах, либо между скрытыми слоями временных копий поступающих сигналов, благодаря чему на нейроны следующего слоя подаются не только сами образы, но и их копии. Этого принципа придерживаются все слои ИНС ЗС, благодаря чему и достигается робастность сети к временным искажениям во входных образах.

Представитель *второго пути* – ИНС, получившая название *машины Больцмана* [15, 32]. Если сеть Хопфилда сходится к локальному минимуму, то в новой разновидности ИНС сходимость должна происходить в глобальном минимуме, а поскольку на пути к этому сеть проходит локальные минимумы, существует вероятность “зависания” в них. Поэтому по мере продвижения к глобальному минимуму на каждом локальном минимуме алгоритмически задаётся увеличение “условной энергии”, достаточной для преодоления локального минимума. Далее энергия “раскачивания” сети понемногу уменьшается по мере приближения к глобальному минимуму. Эта идея, объединяющая детерминированную сеть Хопфилда с вероятностным/стохастическим правилом обучения, получившим название *отжига*, и реализована в машине Больцмана. Наиболее часто эту разновидность ИНС используют в задачах классификации/распознавания неизвестных или искажённых образов. Среди преимуществ – возможность выхода из локальных экстремумов, среди недостатков – трудоёмкость связанных с алгоритмом вычислений и, как следствие, существенные вычислительные и временные затраты.

Немного снижает этот недостаток *машина Коши* [46], в которой за счёт использования в алгоритме распределения Коши можно сократить время обучения; однако в сравнении с персептроном это время остаётся слишком большим.

Классом ИНС, доказывающим свою принадлежность ко второму пути развития существенными отличиями от сетей Хопфилда как структурно (может иметь несколько слоёв с наличием собственных обратных связей в нейронах), так и особенностями обучения (матрица весов может быть несимметричной, а обучение является контролируемым путём использования АОРО), служат непрерывные и дискретные *динамические рекурсивные сети* [48, 16, 15, 50]. Наличие об-

ратных связей между нейронами различных слоёв и слоем на выходе включительно обеспечивает этому классу ИНС дополнительные положительные свойства, которых нельзя достичь в статических многослойных ИНС прямого пространства: возможность работы с образами, параметры которых изменяются во времени. Дискретные рекурсивные сети делятся на:

- *полносвязанные* [48,15] (применение: анализ и обработка последовательностей, идентификация нелинейных динамических объектов);
- *частично-рекурсивные* – многослойные персептроны, дополненные контекстным слоем, количество нейронов которого совпадает с количеством выходов ОНС. Это имеет место в *сети М. Джордана* [36] (применение: распознавание и классификация образов, прогнозирование временных рядов, а также более эффективное по сравнению с ИНС прямого распространения ассоциирование поступающих на вход образов с последовательностями на выходе – так называемое “проскальзывающее” окно; недостаток – медленная сходимость и возникающие в связи с этим проблемы устойчивости) или в модифицированной версии этой ИНС – *сети Дж. Элмана* [22] с сигналами обратных минисвязей не выходного слоя, а с выходов нейронов контекстного слоя с количеством нейронов, совпадающим с количеством нейронов скрытого слоя;
- *локально-рекурсивные* с линейной структурой как многослойный персептрон или как сеть радиальной основы, в которых рекурсивность всегда ограничивается одним нейроном и интерпретируется как фильтр с конечной или бесконечной импульсными характеристиками [45].

Представителями нового класса ИНС прямого распространения с возможностью при необходимости расширения своей архитектуры в процессе функционирования являются *каскадно-корреляционные сети* (ККС) с линейными или/и нелинейными активационными функциями нейронов и использованием алгоритма обучения с любым правилом (дельта-правило, АОРО и др.), предложенные С. Фалманом и К. Лебьером [23]. Обучение ККС продолжается до достижения желаемой точности для всех пар образов и базируется на: пошаговом инкрементном введении нейронов в скрытые слои, которые появляются только после введения новых нейронов; обучении

вновь введенных нейронов при сохранении весов нейронов, которые до того уже были в сети. Преимущества ККС: отсутствие априорного выбора архитектуры сети, ибо как исходная берётся простейшая с входными и выходными слоями, а далее наращивается, пока сеть не определит удовлетворяющую критериям архитектуру; отсутствие конкуренции между нейронами благодаря их несвязности значительно сокращает процесс обучения в сравнении с другими топологиями сетей; с поступлением новых образов может не происходить переобучение всей сети, а только путём коррекции связей нейронов входного и скрытого слоёв; процесс обучения сети значительно упрощается в вычислительном аспекте, ибо корректируются веса только одного слоя, и сигналы в сетке проходят только в одном направлении. Назначение: основные преимущества ККС проявляются в полной мере при применении в вычислительных средах с использованием параллельных вычислений.

Разрешение “дилеммы стабильности-пластичности” (по С. Гроссбергу) предложенной Г. Карпенгером и С. Гроссбергом [20] двухслойной НС *адаптивной резонансной теории* (АРТ) позволяет адаптивно обучаться при поступлении новых данных с сохранением *стабильности* по гарантии неразрушения предварительно накопленных данных, с одной стороны, и достаточной *пластичности* относительно определения значимости новых поступлений, с другой. Основное назначение АРТ – моделирование владеющих высокой степенью параллелизма архитектур самоорганизующихся ИНС распознавания образов, восстанавливающих их биологический и поведенческий контексты. Основные свойства сетей АРТ – стабилизация и устойчивость процесса обучения (который является конечным) и поиска. В зависимости от вида входных переменных и способа их обработки различают АРТ: с двоичными входными векторами (АРТ-1); с двоичными и непрерывными входными векторами (АРТ-2); для моделирования биологических процессов (АРТ-3); с двоичными входными векторами с использованием нечёткой логики (Fuzzy-АРТ)[21].

Считается, что *генетические алгоритмы* (ГА) были предложены и исследованы Дж. Холландом в 1975 году [33]. Между тем, почти 10-ю годами

ранее разработанный А.Г. Ивахненко *метод группового учёта аргументов* (МГУА) [7-9] базировался на использовании одно- и многорядных фильтрующих по определённым критериям алгоритмов именно для определения “моделей оптимальной сложности”, которые и являли собою не что иное, как процедуру генетического отбора по определённым признакам качества. Отличия МГУА от ГА заключаются лишь в том, что родственные хромосомы последнего в МГУА имеют вид составляющих полиномиальных парных сочетаний (“родители”), а новые хромосомы (“дети”) – отобранные на этапах алгоритмирования (кросовер, мутация) промежуточные модели сложности в МГУА. Сети, основанные на МГУА [47] и состоящие с m слоёв могут реализовывать полином степени 2^m . “Просеивая” на каждом из этапов многорядного алгоритма через “решето” критериев полученные на предыдущем этапе модели (“особи” по терминологии ГА), можно управлять отбором наилучших. Больше того, МГУА является лучшим методом для решения задач идентификации и краткосрочного прогнозирования, а для долгосрочного прогнозирования является не только наилучшим, но и, возможно, уникальным методом, который обеспечивает точность прогнозирования при значительном времени его опережения. Таким образом, как ГА, так и алгоритмы МГУА оптимизационны и в ИНС могут применяться для поиска оптимальных синаптических весов сетей с АОРО ограниченной размерности [55], а также для определения оптимальной структуры ИНС под конкретную задачу [29]. Кроме того, заслуживают внимания исследования, связанные с использованием ГА-подхода к *генетическому программированию* [40].

Положительное качество ГА заключается в его универсальности – он позволяет работать как с непрерывными, так и дискретными параметрами, и возможность его использования не зависит от вида целевой функции; кроме того, ГА способен отыскать глобальный экстремум, тогда как другие алгоритмы “зависают” на локальном экстремуме. Наконец, ГА можно применять на любом этапе синтеза нечётких моделей, особенно в тех случаях, когда использование градиентных методов невозможно.

К недостаткам следует отнести довольно низкое быстродействие, которое значительно понижается с возрастанием количества оптимизируемых параметров; кроме того, ГА имеет большое количество своих параметров – размер популяции, длина хромосомы, вероятности кроссовера и мутации, количество “хромосом-детей” и т.д. Существенным недостатком является также явление “стагнации” как следствие “неудачного” выбора параметров с вырождением популяции или отсутствием прогресса.

Постановка задачи. Расширение инструментального “ассортимента” разновидностей ИНС, которое наблюдается в последние годы, позволяя более “тонко” и профессионально подходить к выбору их моделей/топологий, адекватных условиям прикладной задачи, вместе с тем усложняют этот процесс из-за его многовариантности. При недостаточной профессиональной подготовленности пользователя это может приводить к значительным дополнительным материальным (аппаратным, вычислительным) и/или временным затратам. Таким образом, разрыв между *объективной целесообразностью* использования новейших достижений в ИТ для решения прикладных задач и *субъективной неинформированностью* конечного пользователя ограничивает возможности более эффективного использования ИНС. В связи с этим ИНС используются в двух вариантах: строится нейросеть, решающая определённый класс задач; под каждый экземпляр задачи создаётся некоторая нейросеть, которая находит квазиоптимальное решение этой задачи. Однако в обоих случаях принятие решения ложится на пользователя.

Улучшение ситуации нам представляется в создании условий для автоматизированного синтеза адекватных прикладной задаче ИНС и заключается в:

- формировании *набора решающих классификационных признаков* (НРКП) и создании *классификатора ИНС*;
- построении чёткой логической *модели поэтапного синтеза* (МПС) ИНС;
- создании строгой *обобщённой модели выбора типовых топологий* (ОМВТТ) ИНС для конкретных прикладных задач, которая базируется на формализованных системах представ-

ления знаний (СПЗ) [2] с использованием НРКП и *агентно-ориентированного подхода* [19].

Определение 1. *Искусственные нейронные сети* – математические модели и их программные и/или аппаратные реализации, выполненные по принципу организации биологических нейросетей и представляющие собой систему соединённых и взаимодействующих простых процессов – *искусственных нейронов* (ИН).

Определение 2. *Набор решающих классификационных признаков ИНС* – такая их минимально допустимая совокупность, которая является *необходимой* для формализации процесса представления основных свойств и выбора удовлетворяющих топологий нейросетей и *достаточной* для адекватного обслуживания требований (критериев оценки) со стороны прикладной решаемой/моделируемой задачи.

Определение 3. *Модель поэтапного синтеза ИНС* – такая последовательность их перебирания в пространстве НРКП, которая, будучи выполняемой пользователем и/или *мультиагентной подсистемой автоматизированного выбора* (МАПАВ), воспроизводит принципы агентно-ориентированного подхода и позволяет автономно выделять топологию/топологии ИНС, способную/способные удовлетворять критерии обслуживания свойств решаемой/моделируемой задачи.

В данной статье обосновывается возможность использования мультиагентной модели со встроенным реляционным механизмом для перебирания *интеллектуализированными агентами* (ИА) критериев обслуживаемости требований со стороны прикладных задач. Такая постановка может реализовываться на основе логической СПЗ об ИНС, адекватной прикладным/моделируемым задачам [13].

Формирование набора решающих классификационных признаков. Проведенный аналитический обзор основных направлений развития ИТ, а также результаты многочисленных исследований в других источниках (приведены в [13]), посвящённых данной проблеме, позволяют сформировать НРКП и предложить классификатор ИНС, которые смогут содействовать последовательности обоснования выбора соответствий “решаемая/моделируемая прикладная задача – топологическая модель ИНС”.

Опыт работы по созданию агентно-ориентированного интерпретатора ИНС [13] позволяет утверждать, что приводимый ниже состав НРКП является и необходимым, и достаточным для решения поставленной задачи и содержит: *тип исходной информации; базовую модель ИН; структуру; архитектуру; методы обучения; тип активационной функции; методы настройки весов; критерии оценки.*

Классификация искусственных нейронных сетей. Предложенный НРКП (рис. 1) требует уточнения некоторых утверждений и определений:

Определение 4. Аналоговая входная информация – информация на входе ИНС, представленная в форме действительных чисел;

Определение 5. Двоичная входная информация – информация на входе ИНС в виде нулей и единиц.

Таким образом, можно выделить два основных подхода к реализации ИНС: *цифровой и аналоговый*. Преимущество аналоговых реализаций: *высокое быстродействие, надёжность и экономичность*. Однако сфера возможного массового использования обучаемых аналоговых нейрончиков достаточно узкая. Это обусловлено значительной сложностью аппаратной реализации высокоэффективных обучающих алгоритмов и необходимостью специальной подготовки пользователей для оптимальной организации адаптивного процесса. В то же время, широкое распространение могут получить аналоговые нейрокомпьютеры/нейросети с фиксированной или незначительно перенастраиваемой структурой связей – *нейропроцессоры*;

Утверждение 1. Задача создания *нейропроцессоров* сводится к обучению цифровой модели ИНС необходимому поведению на обычном цифровом компьютере;

Определение 6. Базовая модель ИН – математическая и её программная и/или аппаратная реализации, на основе которых строится ИНС;

Утверждение 2. Архитектура ИНС определяется количеством слоёв и ИН в слое.

С позиций архитектурного построения ИНС важную роль играет *нелинейность активационной функции* в связи с тем, что, если бы она не владела данным свойством или не входила в алгоритм работы каждого нейрона, результат

функционирования любой n -слойной НС сводился бы к произведению входного вектора X сигналов x_i на матрицу весовых коэффициентов. Иными словами, фактически такая НС была бы эквивалентна однослойной НС с весовой матрицей W единственного слоя.

Определение 7. Активационная функция – функция $f_a(*)$, которая определяет правило перехода нейрона, находящегося в момент времени t в состоянии $g(t)$, в новое состояние $g(t+1)$ при поступлении входных сигналов x_i .

В ряде ИНС активационная функция может зависеть не только от весовых коэффициентов связей w_{ij} , но и от времени τ_{ij} передачи сигнала по каналам связи. Поэтому в общем случае активационная /передаточная функция связи C_{ij} от элемента u_i к элементу u_j имеет вид: $C_{ij}^* = f[w_{ij}(t), u_i^*(t - \tau_{ij})]$. Тогда для *синхронной нейросети* время τ_{ij} передачи каждой связи или равняется нулю, или фиксированной постоянной τ . В *асинхронной нейросети* время τ_{ij} передачи для каждой связи между элементами u_j и u_j своё, но также постоянное.

Утверждение 3. Структура ИНС определяется направлением и охватом связей между слоями и отдельными нейронами, то есть характером связей.

Определение количества промежуточных слоёв и количества нейронов в них важно при моделировании сети. Обычно, используя архитектуру для определённых проблем, пользуются общими правилами:

1. Количество входов и выходов сети определяются количествами входных и выходных параметров исследуемого объекта. В отличие от внешних слоёв, в скрытом слое $n_{скр}$ количество нейронов выбирается эмпирично. В большинстве случаев достаточным является условие $n_{скр} \leq n_{вх} \leq n_{вых}$, где $n_{вх}$, $n_{вых}$ – количество нейронов во входном и в выходном слоях.
2. Если сложность в отношении между полученными и желаемыми данными на выходе возрастает, количество нейронов скрытого слоя должно тоже возрасти.
3. Если моделируемый процесс может делиться на много этапов, необходим дополнительный скрытый слой/слои. Если процесс не делится на этапы, то дополнительные слои могут привести к неверному общему решению.

Поскольку все ИНС базируются на концепции функционирования ИН, правил и механизмов их соединений, а также передаточных функций относительно процедуры активации, существует подобие между разными структурами или архитектурами нейросетей. Большинство изменений происходит из разных правил обучения, реализация которых определяется алгоритмами обучения, где и происходит подгонка модели сети к обучающим данным;

Утверждение 4. Искусственные нейросети не программируются в обычном смысле – они обучаются;

Определение 8. Обучение с учителем – такое обучение ИНС, которое предполагает существование целевого вектора – желаемого выхода ИНС для каждого входного вектора и выполняется с привлечением правил обучения: Хебба, дельта-правила/его модификаций, алгоритма обратного распространения ошибки и др.;

Утверждение 5. Входной и целевой векторы вместе образуют обучающую пару, и обычно сеть обучается на некоторой совокупности таких пар;

Определение 9. Обучение без учителя – такое обучение, которое осуществляется при отсутствии целевого вектора, а обучающий алгоритм при этом поднастраивает веса таким образом, чтобы получить согласованные векторы на выходе ИНС, причем подача довольно близких входных векторов даёт одинаковые векторы на выходе;

Определение 10. Обучение с использованием алгоритма обратного распространения ошибки – это обучение, которое, используя расширения принципов дельта-правила, реализует градиентный метод выпуклого функционала ошибки в многослойных ИНС со структурой прямого распространения на моделях ИН с дифференцируемыми функциями активации;

Утверждение 6. Цель обучения ИНС по алгоритму АОРО заключается в нахождении на многомерной поверхности самой нижней точки, которая соответствует глобальному минимуму.

Аналитическими средствами невозможно определить расположение глобального минимума на поверхности состояний, поэтому обучение ИНС, по сути, заключается в исследовании этой поверхности. Сложность использования АОРО состоит в выборе длины шагов перехода вектора градиента поверхности ошибок, в связи с чем либо возрастает количество итераций и вместе с тем время поиска (при маленьких шагах, или

эпохах), либо возрастает вероятность “перепрыгивания” оптимального решения или движения в неверном направлении (при слишком больших шагах). Итерационный процесс обучения останавливается либо когда пройдено определённое количество эпох, либо когда ошибка достигает определённого уровня малости, либо когда ошибка перестаёт уменьшаться (пользователь сам выбирает необходимый критерий остановки процесса).

Утверждение 7. Ошибка для конкретной топологии ИНС с варьируемыми значениями синаптических весов и порогов сети (так называемых свободных параметров топологии ИНС) определяется путём прохождения через неё всей обучающей выборки и сравнения продуцируемых на выходе значений с целевыми/желаемыми. Множество ошибок образует функцию ошибок, которую можно рассматривать как ошибку сети. В качестве функции ошибок чаще всего используют сумму квадратов ошибок.

Определение 11. Обучение путём самоорганизации – такое обучение, по которому аналогичные входные сигналы возбуждают соседние нейроны, и такой “коллективизм” может реализоваться благодаря обратным связям. Веса изменяются на каждом шаге обучения, и их изменения зависят как от соседних входных образов, так и вероятностного распределения, по которому предлагаются для обучения допущенные входные образы;

Определение 12. Сети с фиксированными связями – такие, у которых весовые коэффициенты W назначаются сразу, исходя из условий задачи, и $dW/dt = 0$;

Определение 13. Сети с динамическими связями – такие, у которых в процессе обучения происходит настройка синаптических весов, причем $dW/dt \neq 0$;

Определение 14. Топология ИНС – это модель нейросети с определёнными архитектурой, структурой, видом активационной функции, методами обучения и настройки весов, построенная на основе определённых моделей ИН;

Утверждение 8. Топологические свойства (ТС) ИНС не изменяются при любых структурно-архитектурных преобразованиях без потери сущности определённого вида нейросетей. Примером ТС ИНС является размерность/мощность последних, что определяется количественной характеристикой: слоёв, нейронов в слое, об-

ратных связей, входов и выходов сети (а, следовательно, количеством обрабатываемых “образов”) и т.д.;

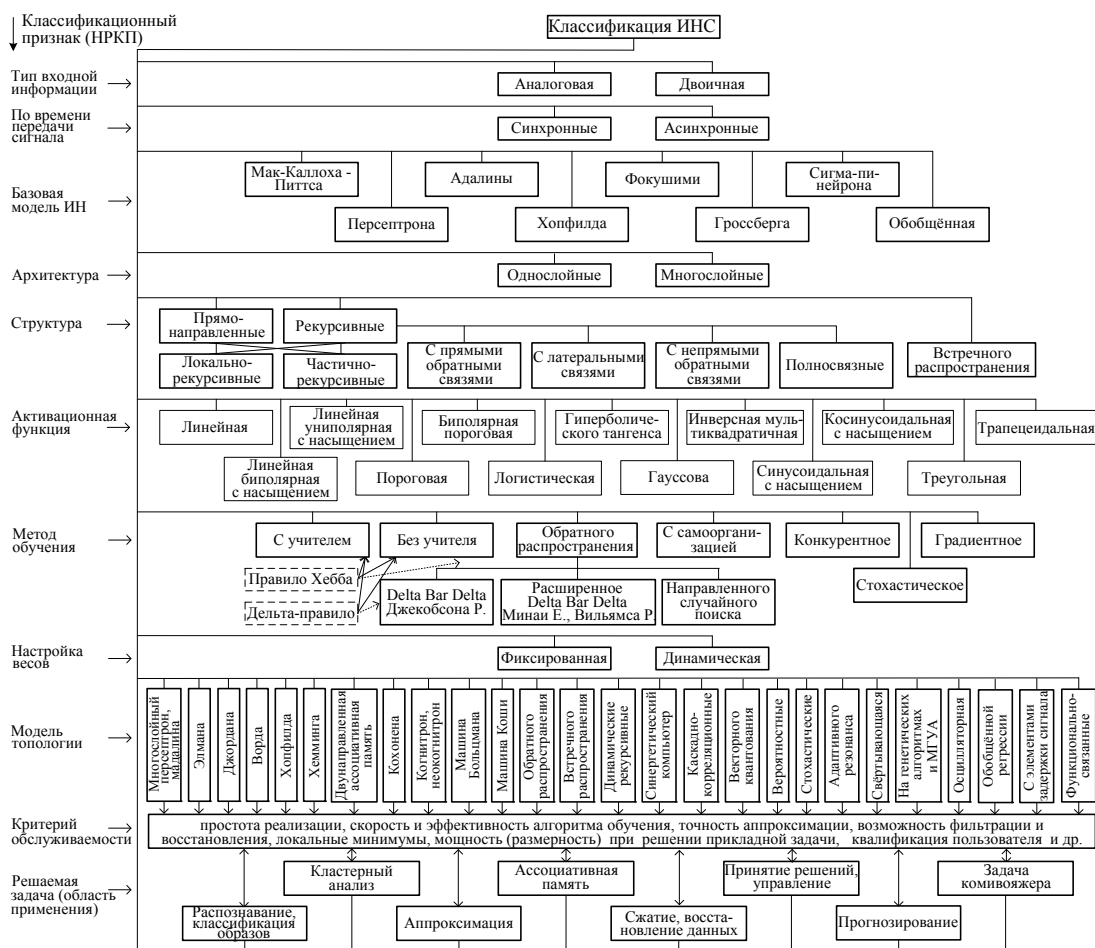


рис.1. Классификация ИНС с необходимым и достаточным НРКП

Определение 15. *Топологическое пространство ИНС* – множество моделей сетей любой топологии, в которой через НРКП определены граничные значения ТС ИНС.

Логическая модель поэтапного синтеза ИНС. Приведенная на рис. 2 схема содержит, с учётом предложенного НРКП, отображение последовательности их учёта при итерационной процедуре синтеза ИНС на основе конкретной уникальной последовательности действий (КУПД) интеллектуализированных агентов (ИА) в процессе функционирования МАПАВ.

Заключительная процедура поэтапного син-

теза ИНС сводится к проверке интеллектуализированными агентами условий выполнения критериев обслуживаемости текущим вектором возможностей конкретной топологии ИНС требований задачи.

Утверждение 9. *Конкретная уникальная последовательность действий*, приводящая к цели, отыскивается агентом каждый раз с учётом соответствующих критериев обслуживаемости решаемой задачи.

Определение 16. *Критерий обслуживаемости* – показатель удовлетворения топологией ИНС требований со стороны решаемой задачи и про-

фессионального соответствия пользователя.

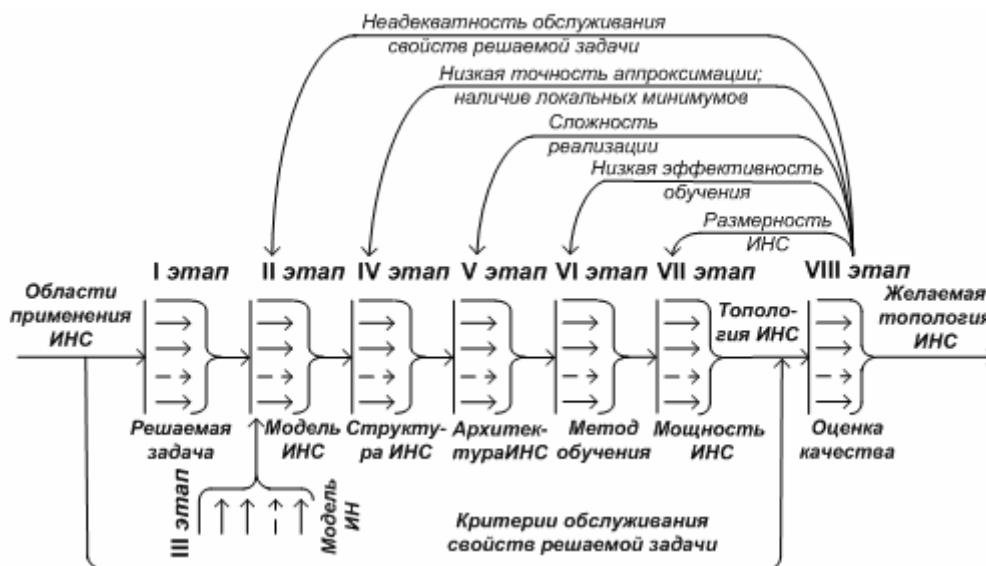


рис.2. Логическая модель поэтапного синтеза ИНС

Концепция нечёткой метаидентификации в задачах выбора ИНС. Предлагаемый подход не противопоставляется более общим схемам распределённого искусственного интеллекта, которые подробно излагаются в работе [14]. В данном случае идея заключается в том, чтобы, рассматривая нечёткие идентифицирующие компоненты как сложные *агентно-ориентированные подсистемы* (АОП), использовать преимущества нечёткого подхода к управлению процессом идентификации самими АОП. При этом *цель нечёткой метаидентификации заключается в динамическом построении из существующих функционально-специализированных интеллектуализированных агентов (ФСИА) таких гибких интеллектуализированных мультиагентных конфигураций (ГИМАК) АОП, которые наилучшим образом удовлетворяют условия прикладной задачи.*

Определение 17. *Интеллектуализированный агент/мультиагент* – это программно-аппаратный либо программно-эмуляционный автономный компонент АОП, который функционирует по определённому сценарию/алгоритму на основе КУПД в интересах достижения поставленной пользователем перед ним цели.

Утверждение 10. *Алгоритм действий ФСИА*

может меняться и корректироваться по ходу выполнения задания ради достижения цели.

Определение 18. *Агентно-ориентированная подсистема* – это составляющая ГИМАК, в которой функционируют два или более ФСИА, ориентированных на решение задач идентификации по определённому решающему классификационному признаку ИНС и создающих *агентно-ориентированную среду.*

Определение 19. *Агент ФСИА* – это ИА с функциями метаидентификации в пространстве решающих классификационных признаков ИНС.

Реализуется вышеобозначенная идея построением ГИМАК (рис. 3), особенности которой заключаются в: использовании объектно-ориентированных ФСИА разных типов, реализующих составляющие классификатора ИНС [13]; высокой степени параллелизма; структурной децентрализации и параметрической метаидентификации в границах АОП.

Для обобщения подхода рассматривается более сложный случай – нечёткой метаидентификации классификационных признаков ИНС относительно требования со стороны моделируемой задачи. В случае чёткой взаимозависимости “требование – признак” реализация процесса упрощается.

Определение 20. Гибкая интеллектуализированная мультиагентная конфигурация – такая мультиагентная конфигурация, которая: содержит агенты $A^{(M)}$ с функциями метаидентификации, реализующие механизм распределённого динамического выявления “степени важности” других агентов с различной природой; формирует разные законы идентификации; обеспечивает параллельность работы агентов разнородных “слоёв”; реагирует на изменение состояния внешней среды (исходных условий задачи) путём поднастройки общего выхода в соответствии с идентификацией, удовлетворяющей текущий набор условий на входе.

Определение 21. Агенты с функциями метаидентификации – это ФСИА, способные принимать решение по: активации других агентов ГИМАК; формированию выводов относительно удовлетворения текущего набора условий на

входе ГИМАК.

Утверждение 11. Совокупность определённым образом организованных ФСИА, обеспечивающих заданный НВКО уровень идентификации ИНС, создаёт мультиагентную среду соответствующей АОП.

Мультиагентная структура ГИМАК АОП (рис. 3) формируется множеством $A = \{A_1, \dots, A_n\}$ связанных между собой ФСИА. На вход АОП от внешних источников (в том числе, и от пользователя) поступает множество $U^{(x)} = \{U(X_1), \dots, U(X_k)\}$ значений входных переменных $X = \{X_1, \dots, X_k\}$, отображающих условия обслуживаемости свойств (информационное поле) прикладной задачи.

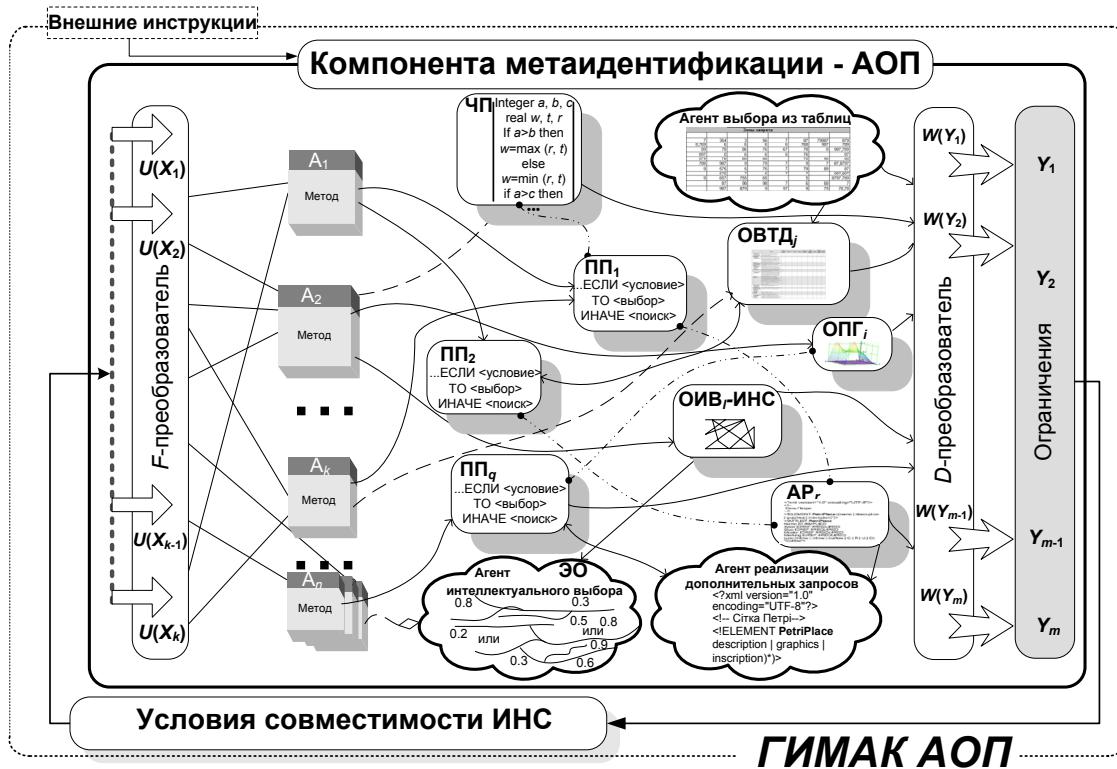


рис.3. Структура ГИМАК АОП

Фаззи (F)-преобразователь (“чёткий \rightarrow нечёткий”) трансформирует U^x во множество факторов $F^{(x)} = \{F_1^{(x)}, \dots, F_l^{(x)}\}$ (являются нечёткими множествами, заданными на значениях входных переменных) с соответствующими факторами достоверности (степенями принадлежности по экспертным оценкам) $C^{(x)} = \{C_1^{(x)}, \dots, C_l^{(x)}\}$. Дефаззи (D)-преобразователь (“нечёткий \rightarrow чёткий”) трансформирует множество своих входных факторов $F^{(y)} = \{F_1^{(y)}, \dots, F_p^{(y)}\}$ и соответствующих факторов достоверности $C^{(y)} = \{C_1^{(y)}, \dots, C_p^{(y)}\}$ во множество $W^{(x)} = \{W(Y_1), \dots, W(Y_k)\}$ значений условий совместимости $Y = \{Y_1, \dots, Y_m\}$ предлагаемой ГИМАК АОП топологии ИНС с заданным на входе набором свойств прикладной задачи (подробно процедуры фаззи-преобразования рассматриваются в [14]).

Компоненты ГИМАК АОП и их взаимодействие в процессе функционирования. Функционирование ГИМАК АОП формируется из общего “взноса” её компонент – ФСИА (см. рис. 3): продукционных правил (ПП), экспертных оценок (ЭО), объектов интеллектуального выбора ОИВ – искусственных нейросетей (ИНС), численных процедур (ЧП), объектов выбора из табличных данных (ОВТД), объектов построения графиков (ОПГ), агентов реализации (АР) – если эксперт либо соответствующий агент делает вывод относительно необходимости введения новых правил, ограничений и т.п. Базируясь на входных данных и цели идентификации в зависимости от этапа последовательности синтеза топологии ИНС [13], ГИМАК АОП реализует на выходе модель базового интеллектуального нейрона, структуру, архитектуру, метод обучения, мощность ИНС и как следствие – её топологию, удовлетворяющую адекватности обслуживания свойств решаемой задачи, точности аппроксимации, сложности реализации, размерности и быстродействия, уровня требуемой квалификации пользователя.

Приняв за H, G соответственно наборы (имена) переменных на входе и выходе, а за Z – набор из всех переменных (входных и выходных включительно), принимающих участие в межа-

гентном информационном обмене $Z \supset H, Z \supset G$, а также учитывая, что структура ГИМАК АОП формируется из множества $A = \{A_1, \dots, A_n\}$ взаимосвязанных ФСИА, то, используя множество компонент из составляющих $S_i \subset S \cup A$ (входных относительно этого агента A_i) и действий $M_i \subset M \cup A$ (на выходе относительно A_i), формальное описание i -го агента A_i можно представить в виде:

$$A_i = (T_i, D_i, U_i, W_i, S_i, M_i, B_i, E_i),$$

где T_i – тип агента (ЭС, НС, ЧП и т.д.); D_i – тип условия для активации (например: D_1 – изменением входных данных агента; D_2 – эстафетным условием, то есть завершением текущего прогона определённых предыдущих агентов; D_3 – независимой активацией, в том числе в соответствии с временным законом; D_4 – в ответ на запрос от другого агента, и так далее); U_i, W_i – наборы входных и выходных переменных агента A_i соответственно; B_i, E_i – наборы расположенных выше относительно A_i (чьи указания он выполняет) и подчинённых (относительно A_i) агентов соответственно. При этом:

$$\forall A_i \in A: (U_i \cap W_i = \emptyset) \wedge (S_i \neq \emptyset) \wedge (A_i \neq \emptyset) \wedge$$

$$\wedge (U_i \neq \emptyset, U_i \subset H \cup (\cup W_j)) \wedge (W_i \neq \emptyset, W_i \subset G \cup (\cup U_j)),$$

а реализация $|B_i| > 0$ указаний вышерасположенного агента недопустима. Для отображения факта возможности активации A_i решением других ФСИА считаем, что значения специальной “переключающей” переменной $\bar{\theta} \in U_i \setminus (H \cup G)$ определяют состояние (“активный”, “ожидание”) агента A_i .

Агенты мультиагентной среды ГИМАК АОП могут характеризоваться: используемой моделью – N_1 (то есть НС, ПП, ЧП и т.д.); типом представления – N_2 (например, числовой, символьный или более подробно: фреймовый, семантический и т. д. Ясно, что N_1 и N_2 тесно связаны); особенностями исполнения – N_3 (как отдельные физические (микросхемы, компьютеры) или виртуальные объекты (в пределах этой же программы), и т. д.).

Тип N_2 предусматривает: необходимость преобразований данных, интеграцию множеств

численных значений и формирование символьных условий для логического вывода, а также наоборот — преобразование фактов (выводов) в численные значения (в нечётких представлениях это соответствует преобразованиям “чёткий → нечёткий” и “нечёткий → чёткий” соответственно). Эти преобразования могут быть либо “встроенными” в общее функционирование ФСИА, либо выполняются специальными процедурами трансформаций. Сам ФСИА, в свою очередь, может также иметь мультиагентную структуру. Так, для реализации преобразований “нечёткий → чёткий”, например, при наличии неопределённости при идентификации в этапах синтеза ИНС такой ФСИА может выполняться в виде фаззи-контроллера [14]. При этом каждый такой агент A_i формируется из множества спецификаций SP качественных правил $SP_i = \{R_{i1}, R_{i2}, \dots, R_{ik}\}$, например, в форме: “ЕСЛИ входному требованию соответствует множество X значений переменных, ТО реакция отклика вектора идентификации в фазовом пространстве соответствует множество Y ”. Для математической обработки таких правил необходимы операции взаимодействия между отдельными нечёткими множествами, которые принадлежат к части “ТО”. Тогда продуцирование решений для фаззи-контроллеров характеризуется взаимодействием задаваемых экспертом входных и выходных функций принадлежности, причем, операции “И” и “ИЛИ” используются как связка в правилах во множествах, элементы которых принадлежат к разным основным множествам.

Обобщённая модель гибкой интеллектуализированной мультиагентной системы выбора ИНС. Приведенная на рис.4 обобщённая модель гибкой интеллектуализированной мультиагентной системы (ГИМАС) объединяет необходимую для формирования алгоритма синтеза ИНС и достаточную для удовлетворения требований со стороны решаемых/моделируемых прикладных задач совокупность целевых компонент метаидентификации: АОП_{БМ} ин, АОП_А, АОП_С, АОП_{АФ}, АОП_{МО}, АОП_Т – базовой модели искусственного нейрона, архитектуры, структуры, вида активационной функции, метода обучения, топологии ИНС та других (по перечню НРКП [13]).

Определение 22. Гибкая интеллектуализированная мультиагентная система – это совокупность ГИМАК АОП, в которой реализуется модель поэтапного синтеза ИНС с такой последовательностью их перебора в пространстве НРКП, которая, будучи выполняема пользователем и/или внутренним иницирующим источником, воспроизводит принципы агентно-ориентированного подхода и автономно позволяет выделять топологию/топологии ИНС, способную/способные удовлетворить критерии обслуживаемости свойств моделируемой задачи.

Заключительная процедура поэтапного синтеза ИНС в ГИМАС сводится к реляционному перебору агентами ФСИА условий выполнения критериев обслуживаемости требований со стороны прикладной задачи текущим вектором возможностей конкретной топологии ИНС. Именно проверка при реализации пошагового алгоритма синтеза ИНС выполнения этих условий чаще всего и оказывается причиной появления лингвистических неопределённостей, обработка которых и требует использования методов и средств нейро-фаззи-технологий с привлечением для решения этой проблемы процедур фаззификации и дефаззификации [14].

Итерационные процедуры позволяют более “тонко” отфильтровывать в процессе идентификации такие окончательные решения, которые в определённой ограничением задачи мере удовлетворяют критерий согласованности по данному свойству синтезированной ИНС.

Необходимые компоненты для поддержки процессов идентификации на каждом из шагов алгоритма синтеза ИНС поступают из соответствующих баз знаний (БЗ), а после согласования с условиями задачи новые реализации пополняют эти БЗ, расширяя, таким образом, круг прикладных задач, для которых уже имеются готовые решения.

Агентно-ориентированный выбор условий “решаемая/моделируемая задача – топология ИНС”. На рис. 5 приведена ОМВТТ, основанная на реляционных отношениях [12] между отдельными компонентами НВКО, формирование которого представляет первую сложность реализации модели.

Вторая сложность заключается в количественном определении весомости реляционных связей между решающими квалификационными признаками и реализуется экспертным рейтингом

говым оцениванием альтернативных вариантов с применением методов ранжирования и попарных сравнений [14].

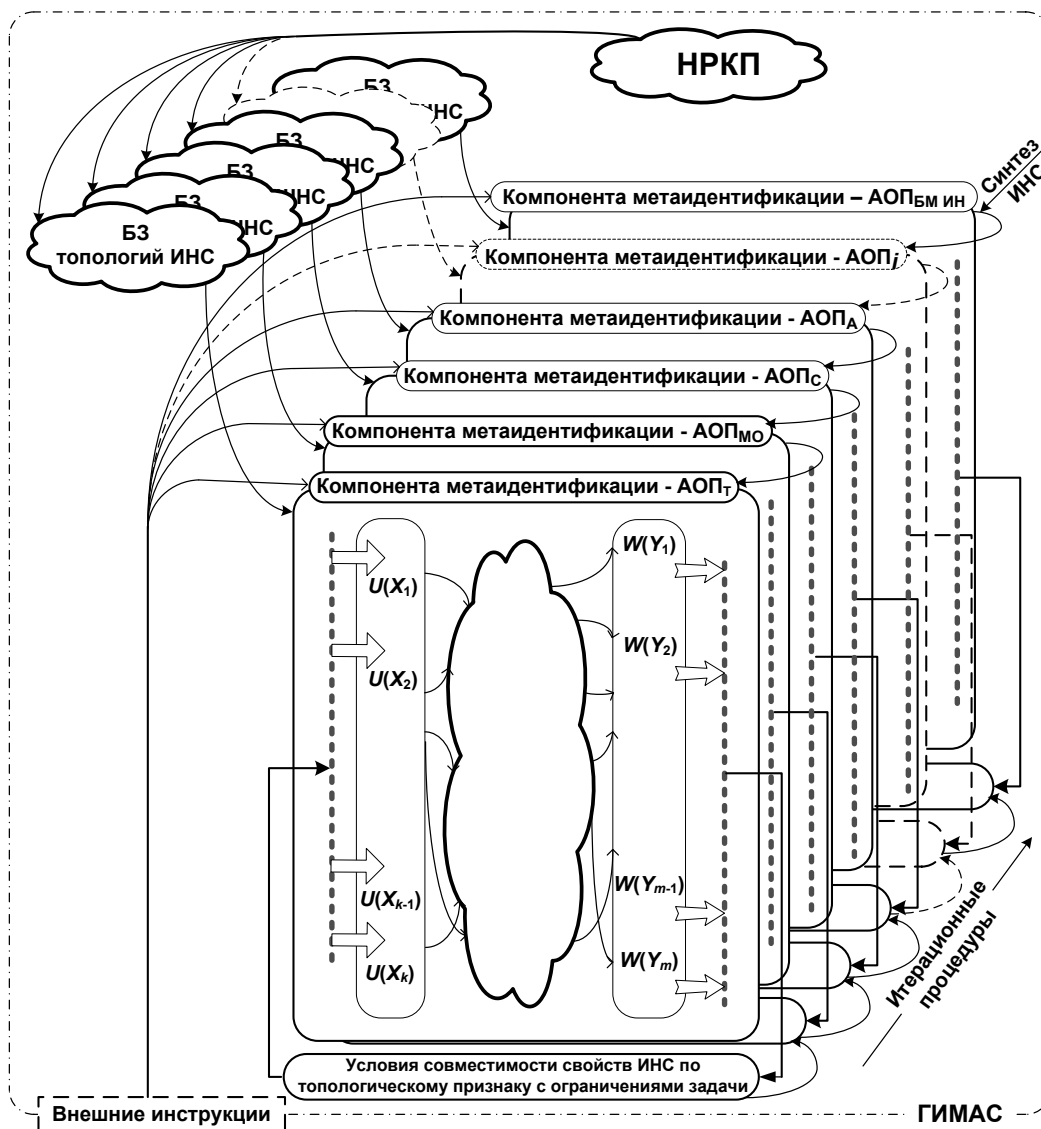


рис.4. Обобщённая модель ГИМАС выбора ИНС

Соответствующие исследования требуют глубоких и тщательных проработок в части однозначности решения этого аспекта задачи адекватного выбора ИНС. На рис. 5 приведены условные количественные результаты предварительной обработки литературных данных, кото-

рые, не претендуя на строгость экспертного оценивания, можно рассматривать как пример общей методики действий при решении задачи адекватного выбора ИНС в интерпретационной модели.

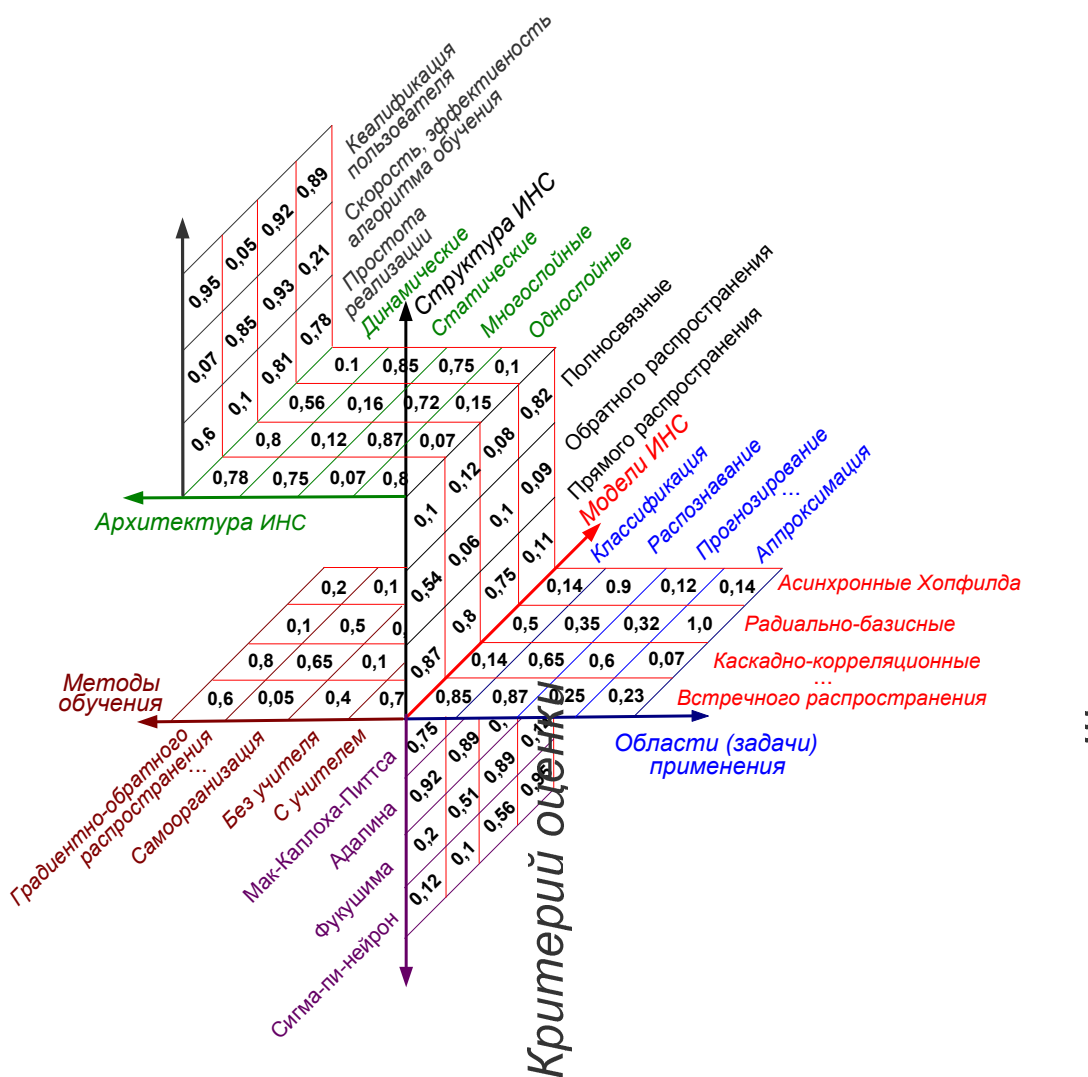


рис.5. Интерпретационная ОМВТТ ИНС

Обобщения и выводы. Можно констатировать, что наиболее распространённой сферой использования ИНС является *распознавание образов*. Это тем более важно учитывать, ибо в большинстве других применений задача распознавания, даже не будучи целью использования в явном виде, всё же допускает эту процедуру при поступающих на вход образах с последующей их классификацией, кластеризацией и т.п.

С другой стороны, любое применение ИНС для решения прикладных задач ассоциируется с механизмом *принятия решений при управлении*,

равно как и принятия решений, в свою очередь, базируется на переборе возможных вариантов и выборе удовлетворяющего заданный показатель эффективности. А это и является определением такого состояния ИНС, которое отвечает “образу” эффективного управления [11].

Прогнозирование можно отнести к так называемому “импровизирующему” свойству ИНС в виде обобщения и выделения скрытых взаимосвязей между данными на входе и выходе. Иначе говоря, если во входной выборке данных есть скрытые закономерности их влияния на измене-

ние данных на входе, то можно использовать ИНС как *прогнозирующий инструмент*. А уже далее, на основании этой прогнозирующей функции, ИНС может принимать решения при управлении, в том числе, и процессом реализации алгоритма поэтапного выбора адекватной моделируемой задаче топологии, находясь в составе ГИМАС в качестве ФСИА.

Утверждение 12. В ГИМАС при выполнении этапов синтеза ИНС формирование условий перехода к следующей компоненте метаидентификации может реализовываться определёнными топологиями ИНС с функциями ФСИА.

Таким образом, реализация ГИМАК АОП и обобщённой ГИМАС на основе предложенного необходимого для формализации процесса выбора топологии ИНС и достаточного для адекватного удовлетворения условий (критериев оценки) обслуживаемости со стороны моделируемой задачи НРКП, а также обобщённая модель ГИМАС выбора ИНС представляют собой основу для автоматизации этого процесса. Это позволит устранить субъективный фактор некомпетентности пользователя и реализовать в автоматизированном виде логическую схему поэтапного синтеза ИНС.

Литература

1. Айзerman М.Ф. Метод потенциальных функций в теории обучения машин / Айзerman М.Ф., Браверман Э.М., Розоноэр Л.И. – М.: Наука, 1970
2. Барцев С.И. Адаптивные сети обработки информации / Барцев С.И., Охонин В.А. – Красноярск: Ин-т физики СО АН СССР, 1986. Препринт № 59Б. – 20 с.
3. Бонгард М.М. Проблемы узнавания. – М.: Физматгиз, 1967
4. Винер Н. Кибернетика или управление и связь в животном и машине. – М.: Сов. радио, 1968. – 326 с.
5. Галушкин А.И. Синтез многослойных систем распознавания образов. – М.: Энергия. – 1974.
6. Горбань А.Н. Нейроинформатика: кто мы, куда мы идём, как путь наш измерить? // Вычислительные технологии. – М.: Машиностроение. – 2000. – № 4. – С. 10-14
7. Ивахненко А.Г. Метод группового учета аргументов – конкурент метода стохастической аппроксимации // Автоматика. – 1968. – № 3. – С. 58-72.
8. Ивахненко А.Г. Самообучающиеся системы распознавания и автоматического управления. – К.: «Техніка», 1969. – 392 с.
9. Ивахненко А.Г. Системы эвристической самоорганизации в технической кибернетике. – К.: «Техніка», 1971. – 372 с.
10. Петров А.П. О возможностях перцептрона // Известия АН СССР, Техническая кибернетика. – 1964. – №6
11. Чернодуб А.Н. Обзор методов нейроуправления / Чернодуб А.Н., Дзюба Д.А. // Проблемы программирования. – 2011. – № 2. – С. 79-94
12. Ямпольский Л.С. Автоматизированные системы технологической подготовки робототехнического производства / Ямпольский Л.С., Калинин О.М., Ткач М.М. – К.: Вища шк., 1987. – 271 с.
13. Ямпольский Л.С. Нечёткая метаидентификация в задачах автоматизированного выбора искусственных нейросетей / Ямпольский Л.С., Лисовиченко О.И. // Стратегия качества в промышленности и образовании / Материалы IX Международной конференции (в 3-х томах), 31 мая – 7 июня 2013. – Варна, Болгария: Технический университет. – 2013. – Т1 – С. 414 – 417
14. Ямпольский Л.С. Системы искусственного интеллекта в планировании, моделировании и управлении (на укр. яз.) / Ямпольский Л.С., Ткач Б.П., Лисовиченко О.И. – К.: ДП «Вид. Дім «Персонал», 2011. – 544 с.
15. Ackley D.H., Hinton G.E., Sejnowski T.J. A Learning Algorithm for Boatman Machines // Cognitive Science. – 1985. – 9. – P. 147-169
16. Almeida L.B. A Learning Rule for Asynchronous Perceptrons with Feedback in a Combinatorial Environment // Proc. of the First IEEE International Conference on Neural Networks, USA, San Diego, 1987. – Vol. 2. – P. 609-618
17. Anderson J.A. Two Models for Memory Organization // Mathematical Biosciences. – 1970. – 8. – P. 137-160
18. Bartsev S.I., Okhonin V.A. The algorithm of dual functioning (back-propagation): general approach, versions and applications. Krasnoyarsk: Biophysics Institute SB AS USSR of, 1989. Preprint, №107B. – 16 p.
19. Bellifemine F.L., Caire G., Greenwood D. Developing Multi-Agent Systems with JADE. – Wiley, 2007.
20. Carpenter G.A., Grossberg S. The ART of Adaptive Pattern Recognition by a Self-Organizing Neural Networks // Computer. – 1988. – March. – P. 77-88
21. Carpenter G.A., Grossberg S., Rosen D.B. Fuzzy ART: Fast Stable Learning and Categorization of Analog Input Patterns by an Adaptive Resonance System // Neural Networks. – 1991. – 4. – P. 759-771
22. Elman J.L. Finding Structure in Time // Cognitive Science. – 1990. – 14. – P. 179-211
23. Fahlman S.E., Lebiere C. The Cascade-Correlation Learning Architecture / Carnegie Mellon Report. Nr. CMU-CS-88-162, 1990
24. Fukushima K. Neocognitron: A Self-organizing Neural Network for a Mechanism of Pattern Recognition Unaffected by Shift in Position // Biological Cybernetics. – 1980. – 36. – P. 193-202

25. **Fukushima K.** Cognitron: A Self-organizing Multiplayered Neural Network // *Biological Cybernetics*. – 1975. – 20. – P. 121-136
26. **Grossberg S.** Competitive Learning: From Interactive Activation do Adaptive Resonance // *Cognitive Science*. – 1987. – 11. – P. 23-63
27. **Grossberg S.** Nonlinear Neural Networks: Principles, Mechanism and Architectures // *Neural Networks*, 1988. – V.1. – № 1. – P. 17-62.
28. **Haken H., Fuchs A., Banzhatt W.** Mustererkennung durch synergetische Computer. Teil 1. Und 2 // *Design and Elektronik*, 1989
29. **Harp S., Samad T.** Genetic Optimization of Neural Networks Architectures for Electric Utility Applications / Final Report. Electric Power Research Institute, Research Project № 8016-04, Palo Alto, CA. March. – 1994
30. **Hecht-Nielsen R.** Theory of the Backpropagation Neural Network / *Proc. of Int. Joint. Conf. on Neural Networks*. – Washington: D. C., 1989. – 1. – P. 593-606
31. **Hebb D.** The Organization of Behavior. – New York: Wiley Publications, 1949
32. **Hinton G.E.** Connectionist Learning Procedures // *Artificial Intelligence*. – 1989. – 40. – P. 185-234
33. **Holland J.L.** Adaptation in Natural and Artificial Systems: An Introductory Analysis with Application to Biology, Control and Artificial Systems. – The University of Michigan Press, Ann Arbor. – 1975
34. **Hopfield J.J.** Neural Networks and Physical Systems with Emergent Collective Computational Abilities // *Proc. of the National Academy of Science*. – 1982. – 79. – P. 2554-2558
35. **Hopfield J.J.** Neurons with Graded Response Have Collective Computational Properties Like Those of Two-State Neurons // *Proc. of the National Academy of Science*. – 1982. – 81. – P. 3088-3092
36. **Jordan M.I.** Attractor Dynamics and Parallelism in a Connectionist Sequential Machine // *Proc. of the Eight Annual Conference of the Cognitive Science Society*, Erlbaum, Hillsdale NJ, 1986. – P. 531-546
37. **Kohonen T.** Associative Memory: A System Theoretic Approach. – Berlin: Springer, 1977
38. **Kohonen T.** Self-Organized Formation of Topologically Correct Feature Maps // *Biological Cybernetics*. – 1982. – 43. – P. 59-69
39. **Kosko B.** Adaptive Bidirectional Associative Memories // *Appl. Optics*. – 1987. – 26. – № 33. – P. 4947-4960
40. **Koza J.P.** Genetic Programming: On the Programming of Computers by Means of Natural Selection. – Cambridge, MA, MIT Press, 1992
41. **Lang K.J., Waibel A.H., Hinton G.E.** A Time-Delay Neural Network Architecture for Isolated Word Recognition // *Neural Network*. – 1990. – 3. – № 1. – P. 23-43
42. **Lippman R.P.** An Introduction to Computing with Neural Nets // *IEEE ASSP Magazine*. – 1987. – № 4. – P. 4-22
43. **Mc Culloch W.S., Pitts W.** A Logical Calculus of the Ideas Immanent in Nervous Activity // *Bulletin of Mathematical Biophysics*. – 1943. – 5. – P. 115-133
44. **Minsky M.L., Papert S.A.** *Perceptrons* // Cambridge (Mass): MIT press, 1969. – 321 p.
45. **Nelles O., Ernst S., Isermann R.** Neuronale Netze sur Identifikation nichtlinearer dynamischer Systeme: Ein berblick // *Automatisierungstechnik*. – 1997. – 45. – № 6. – S. 251-262
46. **Patterson D.** *Artificial Neural Networks: Theory and Application*. – Singapore: Prentice Hall Inc., 1996
47. **Pham D.T., Liu X.** Modelling and Prediction using GMDH Networks of Adalines with Nonlinear Preprocessors // *Intern. Jorنال System Science*. 1994. – 25. – № 11. – P. 1743-1759
48. **Pineda F.J.** Dynamic and Architectures for Neural Computation // *Journal of Complexity*. – 1988. – 4. – P 216-245
49. **Powell V.J.D.** Radial Basis Functions for Multivariable Interpolation: A review / *Proc. of IMA Conf. on Algorithms for the Approximation of Functions and Data*, Shrivensham, UK. – 1985. – P. 143-167
50. **Rosenblatt F.** The Perceptron: A Probabilistic Model for Information Storage and Organization in the Brain // *Psychological Review*. – 1958. – 65. – P. 386-408
51. **Rumelhart D.E., Hilton G.E., Williams R.J.** Learning Internal Representations by Error Propagation / In *Parallel Distributed Processing: Explorations in the Microstructure of Cognition*. D.E. Rumelhart, J.L. Mc Clelland (Eds). – Cambridge: MitPress, 1986. – Vol. 1. – Chapt. 8. – P. 318-364
52. **Waibel A., Hanazava T., Hinton G., Shikano K.** And Lang K.J. Phoneme Recognition using Time-Delay Neural Network // *IEEE Trans. on Acoustics, Speech and Signal Processing*, 1989. – 37. – № 3. – P. 328-339
53. **Werbos P.J.** Beyond regression: New Tools for Prediction and Analysis in the Behavioral Sciences. Ph.D thesis. – Cambridge, MA, Harvard University, 1974
54. **Widrow B., Hoff M.E.** Adaptive Switching Circuits / *IRE WESCON Convention Record* – New York, IRE, 1960. – P. 96-104
55. **Whitley D., Dominic S., Das R.** Genetic Reinforcement Learning with Multilayer Neural Networks / In *Belew and Booker*. – 1991. – P. 562-570
56. **Yoh-han Pao.** *Adaptive Pattern Recognition and Neural Networks*. – Reading Massachusetts: Addison – Wesley. – 1989. – 309 p.

THE MULTIAGENT IMPLEMENTATION OF THE NEURAL NETWORKS' TOPOLOGY CHOICE FOR APPLIED PROBLEMS SIMULATION

Leonid YAMPOLSKY Eugene PUKHOVSKY Oleg LISOVYCHENKO

National Technical University of Ukraine - "KPI", Ukraine

e-mail: lyamp@tk.kpi.ua, olisov@tk.kpi.ua

Abstract: The universal approach of the NeuroNets' satisfactory topology automated choice, which corresponds to the demands of the modeling applied problem (or task), is proposed. The approach's realization based on using of the flexible automated multiagent system with multiobject configuration of its components with the metaidentification's functions. The peculiarities of the system's components interaction in its function are uncovered.

Keywords: agent/multi-agent with the meta-identification functions, agent-based sub-system, flexible intellectualized multi-agent configuration, the artificial neural network, the logical model of the phase synthesis, a set of the critical classification signs, fuzzy metaidentification, production rules, the rating assessment, Petri nets, the topology of neural networks, numerical procedures, fuzzy controller, an expert system.

НОВАЯ КЛАССИФИКАЦИЯ РАБОЧЕГО ОБОРУДОВАНИЯ ОДНОКОВШОВЫХ ГИДРАВЛИЧЕСКИХ ЭКСКАВАТОРОВ

Пётр ПОБЕГАЙЛО

ИМАШ им. Благонравова А.А. РАН, Россия

e-mail: petrp214@yandex.ru

Резюме: В настоящей статье предложен новый вид классификации кинематических схем рабочего оборудования одноковшовых гидравлических экскаваторов. В качестве критерия для классификации использовано понятие “манипулятивности”, основанное на понятии “коэффициент сервиса”. В работе приведен алгоритм, который позволяет получить конкретную численную оценку практически для любой кинематической схемы рабочего оборудования одноковшового гидравлического экскаватора. Для двух основных кинематических схем рабочего оборудования одноковшовых гидравлических экскаваторов прямого и обратного копания получены конкретные цифровые данные. При этом обращено внимание на то, что в результате использования описанного алгоритма мы получаем скалярное поле сервиса, обладающее полезными свойствами. Так, оно позволяет оценивать распределения значений манипулятивности по рабочей зоне экскаватора, анализировать качество его конструкции и пр. Попутно предложена и классификация точек рабочей зоны. Критерием при этом выступает число интервалов допустимой установки ковша в каждой из рассматриваемых точек.

Ключевые слова: одноковшовый гидравлический экскаватор; рабочее оборудование; классификация; манипулятивность

В развитии и становлении как прикладной, так и фундаментальной науки важную роль играет классификация тех объектов, которые этими науками изучаются. Обнаружение новых подходов к классификации является, на наш взгляд, существенным вкладом в конкретную предметную область. Ведь, по сути, новый вид классификации – это новый взгляд на проблему, позволяющий исследователям продвигаться дальше, улучшая жизнь человеческой цивилизации.

Развитие науки и техники в последние десятилетия достаточно однозначно указывает на то, что робототехника – это магистральное направление, фундамент всех прикладных изысканий в части автоматизации и механизации как рутинных человеческих действий, так и при развитии техносферы нашей цивилизации.

Типичным, весьма распространенным, объектом робототехники является, по нашему мнению, одноковшовый гидравлический экскаватор (ОГЭ). Можно сказать, что ОГЭ это манипуляционная система, в смысле монографии [1 и др.].

Одной из важнейших частей ОГЭ является рабочее оборудование (РО). Обычно – это плоский трехзвенный манипулятор. Изучение его геометрических свойств и даёт нам возможность предложить новый вид классификации. Для этого

мы используем понятие манипулятивности [1 и др.].

Под ним, в общем, мы будем подразумевать то, что сказано в монографии [1 и др.], а именно: «свойство манипулятивности – важное геометрическое свойство манипуляционных систем – характеризует возможность ориентировать захват в рабочем пространстве».

Заметим, что в нашем случае вместо захвата речь будет идти о ковше. При этом нас интересует и численная, и визуальная оценка этого показателя, для разных кинематических схем РО ОГЭ, в разных точках рабочей зоны.

Численная оценка манипулятивности может быть получена с помощью классического понятия – коэффициента сервиса [1 и др.].

Ход получения оценки манипулятивности РО конкретного одноковшового гидравлического экскаватора состоит из ряда этапов [2 и др.]:

- для рассматриваемой кинематической схемы РО строится рабочая зона. Далее, рассматривая т.н. осевой профиль рабочей зоны, строится, например, прямоугольная сетка с каким-то наперед выбранным шагом. После этого рассматривается каждая из этих точек (включая точки пересечения сетки с границами рабочей зоны). Удобно исследования начинать с рассмотрения квадратной

сетки с метровым шагом. Число точек при этом обычно около двухсот;

- для каждой отдельной точки построенной сетки рассматриваются различные положения ковша (третьего звена), перебираемые с каким-то заданным шагом в диапазоне 360 градусов (шаг должен быть не более 5 градусов, а лучше не более 0,1 градуса). Фиксация ковша указанным образом позволяет успешно решать обратную позиционную задачу, выясняя, существует ли рассматриваемая конфигурация РО в данной точке. Это позволяет определить для данной точки допустимый диапазон установки ковша. После этого для рассматриваемой точки рабочей зоны вычисляется значение коэффициента сервиса;

- после рассмотрения всех заданных точек рабочей зоны мы имеем все данные для проведения оценки манипулятивности РО ОГЭ. Это удобно делать с помощью графического представления полученных значений коэффициента сервиса. Ведь очень важную роль играет близость областей с высокими значениями коэффициента сервиса к областям, где ОГЭ выполняет свои основные рабочие операции. При этом заметим, что каждой точке рабочей зоны может быть поставлено в соответствие некоторое число – в данном случае – значение коэффициента сервиса. Будем далее называть рабочую зону с нанесенными на неё значениями этой характеристики – скалярным полем сервиса (манипулятивности) (о математическом содержании данного поля сейчас мы говорить не будем).

Опираясь на поля сервиса, полученные нами для различных кинематических схем РО ОГЭ, можно строить их новую классификацию. Опираясь при этом можно и на максимальные значения коэффициента сервиса, и на его средние значения.

Анализ манипулятивности РО ОГЭ выполнен для двух основных, наиболее распространенных кинематических схем РО. Первая кинематическая схема РО – с индивидуальным независимым приводом поворота стрелы, рукояти и ковша (экскаватор ЭГ-12А – рис. 1 и 2).

Для этой первой кинематической схемы РО можно сообщить следующее:

- максимальные значения манипулятивности лежат на уровне 0,15 (иными словами, допустимый диапазон установки ковша в рассматриваемых

точках рабочей зоны не превышает 50 – 60 градусов). Визуальная оценка распределения значений манипулятивности по рабочей зоне позволяет заключить, что они (максимальные) лежат в центральной части рабочей зоны. Области около границы рабочей зоны характеризуются быстрым понижением значений коэффициента сервиса, особенно со стороны базовой машины. Можно предположить, что любые рабочие операции в участках рабочей зоны со значением коэффициента сервиса меньше 0,1 не являются рациональными (полученные данные можно применять при проектировании системы управления);

- расположение допустимых интервалов установки ковша является важным фактором, позволяющим оценить возможность и эффективность основных рабочих операций ОГЭ. Для данного экскаватора тут скрыт значительный резерв совершенствования РО, так как полученные данные говорят о не рациональном расположении гидроцилиндров.

Таким образом, можно предварительно принять, что рассмотренная кинематическая схема РО ОГЭ прямого копания имеет максимальное значение показателя манипулятивности 0,15. Среднее значение этого показателя в данном случае равно 0,1.

В качестве второй кинематической схемы РО рассматривалась кинематическая схема РО ОГЭ обратного копания с моноблочной стрелой (проект экскаватора ЭГО-4, рис. 3 и 4).

Для этой второй кинематической схемы РО может быть сказано следующее (см. рис. 5 и 6):

- максимальные значения манипулятивности лежат на уровне 0,41 (иными словами, допустимый диапазон установки ковша в рассматриваемых точках рабочей зоны не превышает 150 градусов). Визуальная оценка распределения значений манипулятивности по рабочей зоне позволяет заключить, что они (максимальные) лежат, в основном, от уровня стоянки машины до уровня пяты стрелы в левой части рабочей зоны, ближе к базовой машине. Эта часть рабочей зоны не является основной при выполнении экскаватором основных рабочих операций. Его основные операции выполняются в центральной части рабочей зоны (значения показателя манипулятивности тут лежат на уровне 0,2 – 0,3), а также вдоль

дальней её границы (значения коэффициента сервиса тут существенно ниже). Возможно, что в корректировке такой картины лежит резерв со-

вершенствования РО ОГЭ (это и изменения параметров гидроцилиндров и самого РО).

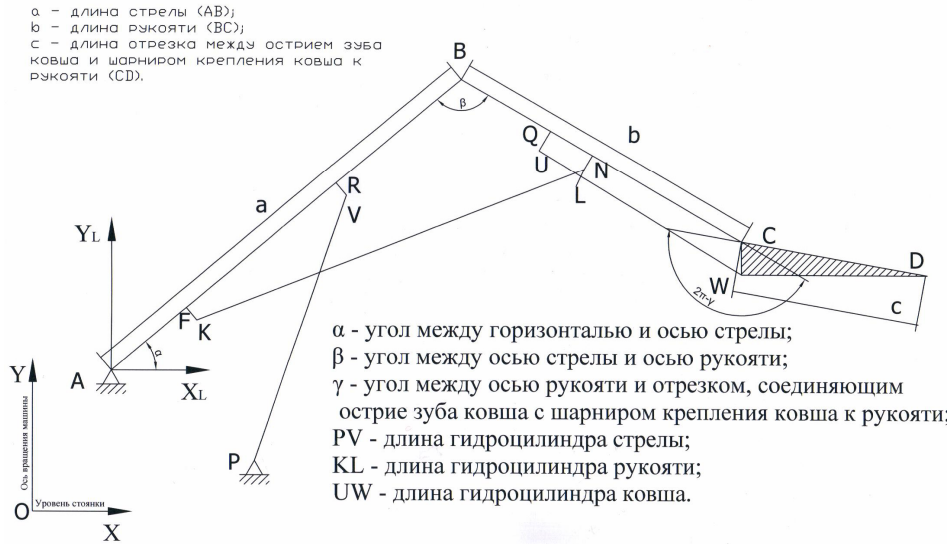


рис.1 Кинематическая схема рабочего оборудования одноковшового гидравлического экскаватора прямого копания с независимыми угловыми перемещениями стрелы, рукояти и ковша

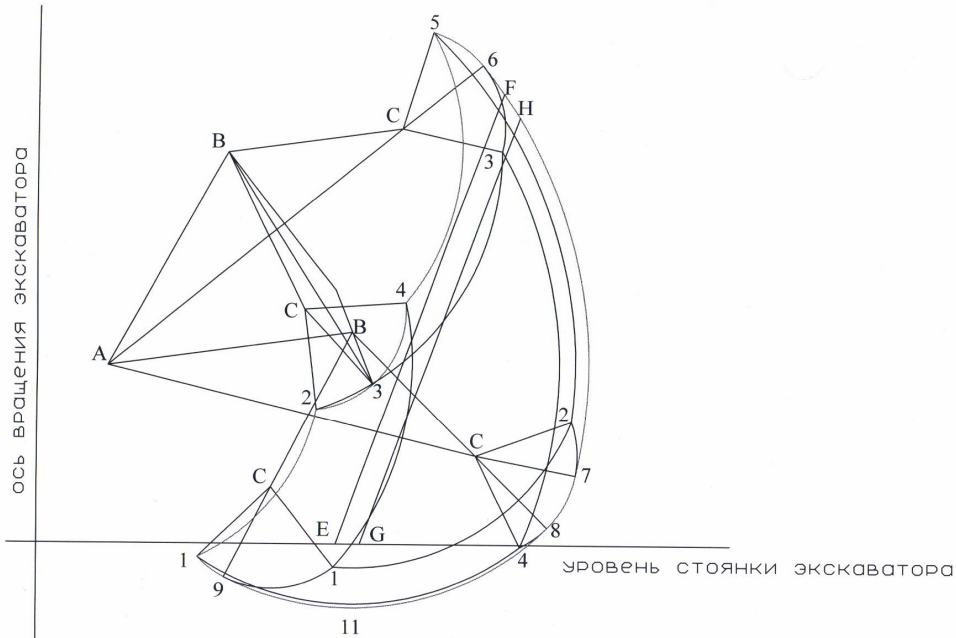


рис.2 Комбинация дуг окружностей для формирования осевого профиля рабочей зоны одноковшового гидравлического экскаватора прямого копания

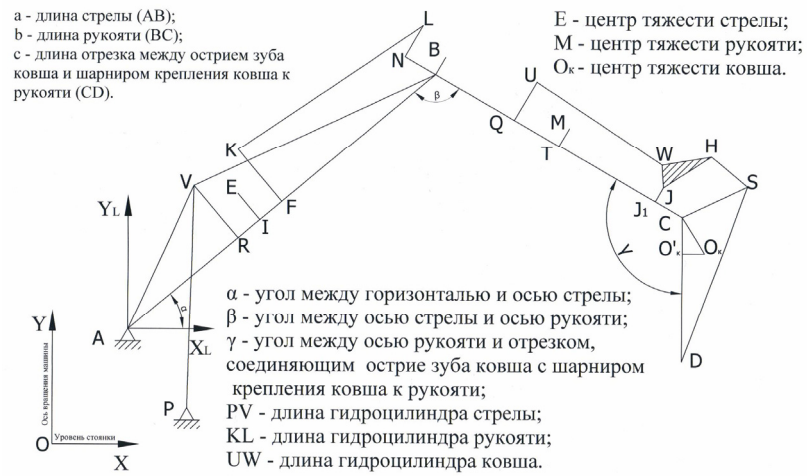


рис.3 Традиционная кинематическая схема рабочего оборудования с моноблочной стрелой одноковшового гидравлического экскаватора обратного копания

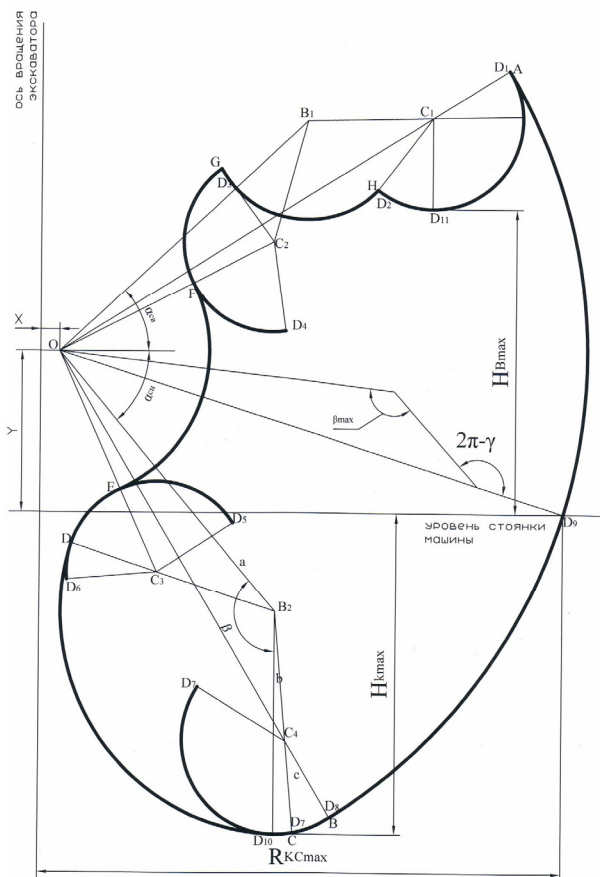


рис.4 Осевой профиль рабочей зоны одноковшового гидравлического экскаватора обратного копания

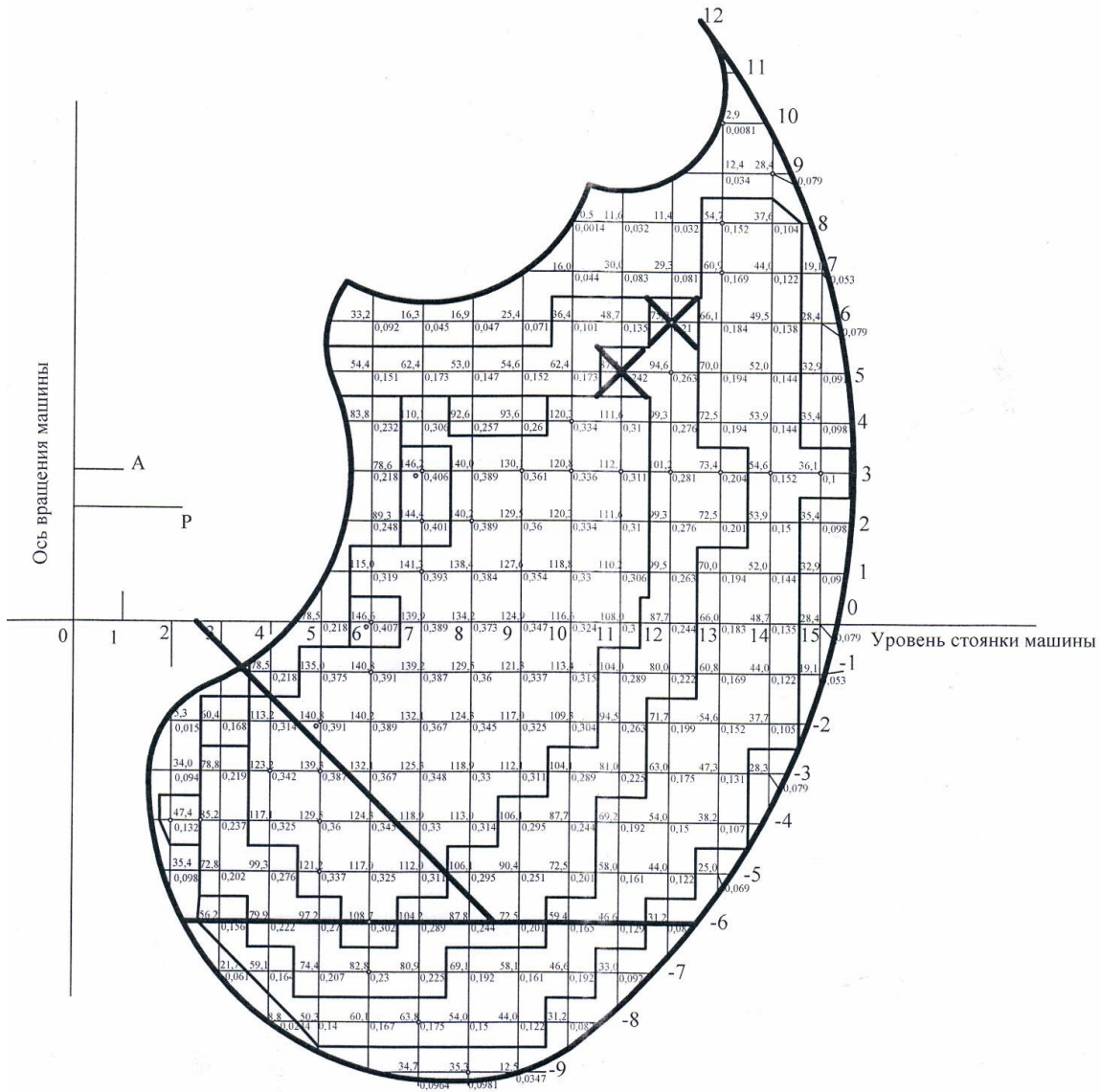


рис.5 Поле сервиса для экскаватора ЭГО-4 (крестиками выделены две особые точки)

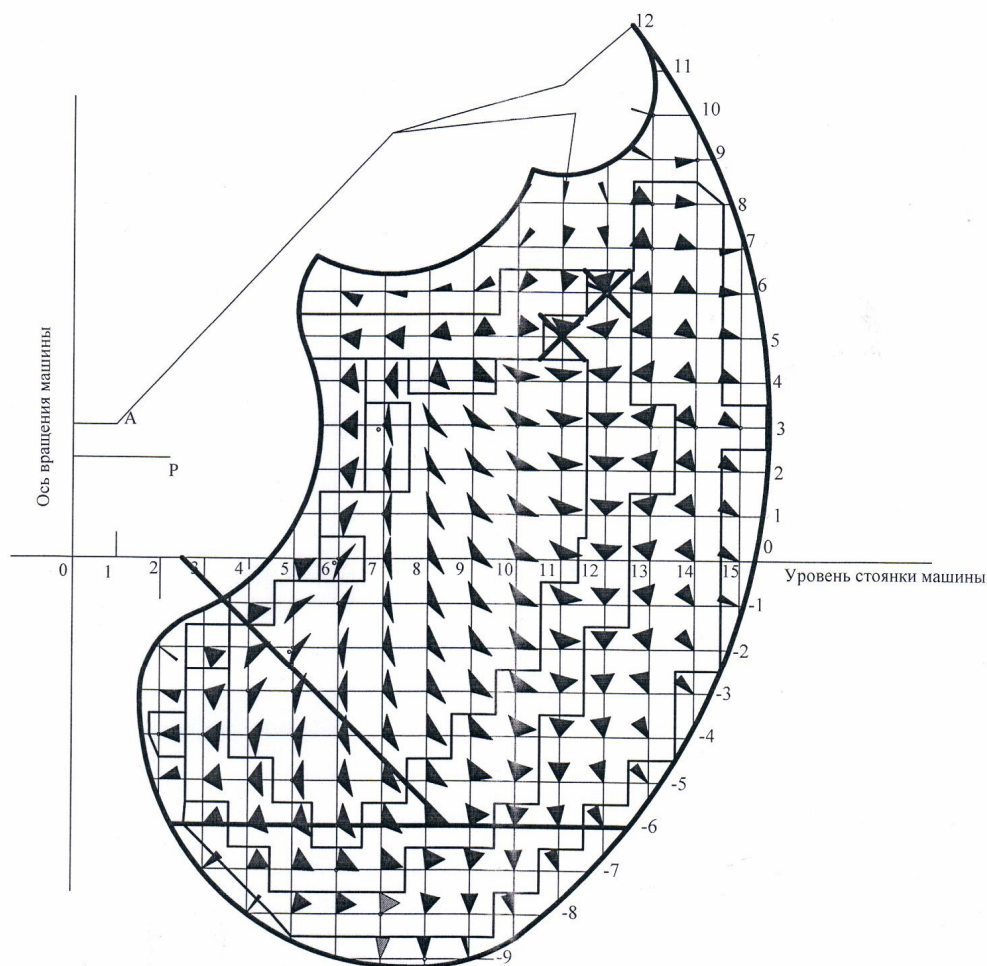


рис.6 Другой вид поля сервиса для экскаватора ЭГО-4 (допустимые диапазоны установки ковша)

Таким образом, можно предварительно принять, что рассмотренная кинематическая схема РО ОГЭ обратного копания имеет максимальное значение показателя манипулятивности 0,41. Среднее значение этого показателя в данном случае 0,214.

Можно сказать, предварительно, что вторая кинематическая схема РО обладает большей манипулятивностью чем первая, в 2,73 раза. Так же можно предположить, что рассмотрение иных

экскаваторов с такими же кинематическими схемами РО не изменят качественную картину.

Итак, на основании критерия манипулятивности, может быть предложена новая классификация РО ОГЭ:

- первая кинематическая схема имеет максимальное значение 0,15 (среднее значение 0,1);
- вторая кинематическая схема имеет максимальное значение 0,41 (среднее значение 0,214).

Попутно с классификацией РО может быть осуществлена и классификация точек рабочей зоны.

Напомним, что при вычислении коэффициентов сервиса для точек рабочей зоны мы получаем интервал допустимой установки ковша для каждой из точек. При более пристальном внимании к этому фактору оказывается, что не во всех точках рабочей зоны такой интервал один. Примем число таких интервалов за признак классификации.

Для РО ОГЭ обратного копания точки рабочей зоны по данному признаку могут быть классифицированы на три типа:

- обычные точки (один интервал). Их большинство;
- граничные точки (точки границы рабочей зоны, манипулятивность равна, условно, нулю);
- особые точки (два интервала). Таких точек мало. Для рассматриваемого экскаватора их частота появления равна, приблизительно 1/90. Положения РО соответствующие таким точкам могут быть названы особыми (обычно они могут

быть найдены при рассмотрении конфигураций РО с экстремальными длинами гидроцилиндров).

Для РО ОГЭ прямого копания картина в целом аналогична.

Выводы. В настоящей работе описан новый подход к классификации РО ОГЭ. Он основан на понятии манипулятивности. Численно эта оценка выполнена для двух наиболее распространенных кинематических схем РО ОГЭ, что позволило наметить путь их совершенствования. Попутно предложена классификация точек рабочей зоны по числу интервалов допустимой установки ковша. Описанные идеи могут быть перенесены и на иные манипуляционные системы.

Литература

1. **Кобринский А.А., Кобринский А.Е.** Манипуляционные системы роботов: основы устройства, элементы теории. М.: Наука, 1985. 344 с.
2. **Побегайло П.А.** Мощные одноковшовые гидравлические экскаваторы: выбор основных геометрических параметров рабочего оборудования на ранних стадиях проектирования. М.: Книжный дом «ЛИБРОКОМ», 2014. 297 с. (в печати)

NEW CLASSIFICATION OF THE HYDRAULIC EXCAVATORS WORKING EQUIPMENT

Petr POBEGAILO

Blagonravov Mechanical Engineering Research Institute of RAS, Russia
e-mail: petrp214@yandex.ru

Abstract: In the present article a classification of the kinematical schemes of the hydraulic excavators working equipment is presented. Manipulability is used as criterion for classification. The algorithm which allows numerical assessment of the manipulability for any kinematical structure is presented. Scalar fields of the service coefficients are obtained for two main kinematical schemes of the working equipment. They allow estimation of the distributions of manipulability values in the excavator working zone which can be used for estimation of the quality of the excavator design. Also is offered classification of points of a working zone. As a criterion serves the number of intervals of the admissible orientation of the bucket in the considered points.

Keywords: hydraulic excavator, working equipment, classification, manipulability

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ РАБОТЫ ЧЕЛОВЕКА – ОПЕРАТОРА ОДНОКОВШОВОГО ЭКСКАВАТОРА

Пётр ПОБЕГАЙЛО¹, Роман КОВЯЗИН², Александр КАЛЯНОВ²,
Магомед АБДУЛКАРИМОВ²

¹ИМАШ им. Благодирова А.А. РАН, Россия

e-mail: petrp214@yandex.ru

²Уральский государственный горный университет, Россия

Резюме: В настоящей работе представлены первые результаты обработки экспериментальных данных в условиях комбината ОАО «Ураласбест», Свердловская область, Россия, город Асбест. При этом в большом объеме представлены итоги наших визуальных наблюдений. Целью экспериментальных работ было изучение рабочего процесса оператора одноковшового экскаватора с механическим приводом в реальных условиях его эксплуатации. Эти исследования потребовали также и изучения непосредственно рабочего процесса одноковшового экскаватора с механическим приводом. В качестве объекта изучения выступил экскаватор ЭКГ-10. Данная машина выбрана в качестве объекта изучения в связи с тем, что она является широко распространенной в России. Из основных результатов работы можно выделить следующие: необходим пересмотр понятия рабочий цикл одноковшового экскаватора в рассматриваемых условиях эксплуатации; требуется уточнить используемые при проектировании виды траекторий копания; следует углублять исследования в области анализа динамических нагрузок и виброзащиты.

Ключевые слова: одноковшовый экскаватор, человек – оператор, уточнение понятия рабочий цикл

Одним из первых шагов в исследовании процесса управления одноковшовым экскаватором (ОЭ) является сбор экспериментальных данных о работе машинистов и сопутствующих этому рабочих процессов. Последнее необходимо, как минимум, для точного соотнесения действий человека – оператора и рабочих движений машины.

Под управлением мы в настоящей работе понимаем процесс непосредственного воздействия человека – оператора на органы управления, т.е. нас интересуют движения человека, ошибки и стереотипы при этом, время запаздывания, его самочувствие и т.п.

Конечно же невозможно получить все эти характеристики, да еще и для многих операторов в рамках одного эксперимента и с нашим уровнем финансирования. Ниже мы укажем лишь то, что сделано в этом году.

Отметим, что настоящая работа продолжает и дополняет наши исследования прошлого года [1 и др.].

При этом, естественно, бросается в глаза, что в настоящем тексте речь идет об ОЭ с механическим приводом, а в наших прошлых работах мы рассматривали ОЭ с гидравлическим приводом.

Подобное вызвано сугубо объективными причинами, имеющими в первую очередь орга-

низационный характер, на которых нет смысла останавливаться подробно.

Однако, сравнение органов управления и кабин ОЭ с разными видами привода показало, что многие операции и процессы тут качественно похожи, где-то аналогичны и однотипны. Кроме того, в будущем, будет полезно сравнить полученные экспериментальные данные для ОЭ с разными типами привода и прочими различиями. Ведь эксперимент, описываемый сейчас, предполагается продолжить в следующем году.

Поэтому, во-первых, настоящая работа четко лежит в русле нашей текущей работы, во-вторых, даёт интересные и новые результаты, которые в будущем позволят произвести комплексное исследование систем управления ОЭ с учетом их машинистов, первое в России за последние тридцать лет.

ОПИСАНИЕ ЭКСПЕРИМЕНТА

В июле 2013 года в ОАО «Ураласбест», Свердловская область, Россия, город Асбест (по электронному адресу <http://www.uralasbest.ru> приведены основные сведения о комбинате, которые мы сейчас повторять не будем), нами было проведено описываемое ниже экспериментальное

исследование. основной задачей эксперимента был сбор данных об основных особенностях работы человека – оператора ОЭ. Нас, в первую очередь, интересовали движения верхних конечностей операторов (нижние конечности играют при управлении именно этим типом ОЭ вспомогательную роль и поэтому нами специально не фиксировались, хотя основные их движения нами также запротоколированы). Попутно обращалось внимание на поведение, самочувствие, позы, характеристики кабины и т.п. Естественно, что эти данные было необходимо соотнести с рабочим процессом экскаватора, что и было, по возможности, выполнено.

Безусловно, что для получения информации, которая бы соответствовала бы действительности, нам была нужна достаточно долгая фиксация рабочего процесса при работе разных операторов в условиях одного и того же забоя, что удалось, в той или иной степени, достигнуть.

В качестве объекта исследования выступил ОЭ с механическим приводом ЭКГ-10, производства ООО «ИЗ-КАРТЭКС имени П.Г. Коробкова» (аббревиатура от «Ижорские заводы - Карьерные тяжёлые экскаваторы»). Выбор этого типа машины вызван их широким распространением на комбинате и в России (на рис. 1 и 2 – приведены общие виды карьера, а на рис. 3 – 7 – общие виды экскаватора ЭКГ-10 и его рабочего оборудования).

Непосредственно в карьере экспериментальная работа велась на экскаваторе ЭКГ-10, № 333 (рис. 4 – 7). В ходе эксперимента, в основном, машина работала на перегрузке взорванной горной массы (с существенным количеством негабаритов¹ (рис. 8 – 10)) в железнодорожный транспорт (рис. 11 – 14). Иногда машина отвлекалась на погрузку щебня в автомобильный транспорт. Кроме того, оператор машины иногда осуществлял подготовку забоя для собственной нормальной работы (подсыпка щебня, «раскладка» крупных кусков и т.д. и т.п.). При этом машина обслуживалась четырьмя бригадами операторов, каждая из двух человек. Длительность

рабочей смены – двенадцать часов (с 9 часов утра и до 21 часа вечера и снова до 9 утра)².

Кроме обычной работы на этой машине было проведено соревнование между восемью операторами экскаваторов комбината. Победитель определялся по времени загрузки одного железнодорожного вагона. При этом каждый оператор имел время (небольшое) для того, чтобы «почувствовать» машину, выполнив несколько рабочих движений ковшем и включая при этом поворотный механизм.

В конечном итоге, нами было запротоколировано около четырех рабочих смен, с учетом времени потребовавшегося на соревнования. Некоторая неточность тут связана с организационными проблемами на экскаваторе – иногда подводила сеть питания.

При выполнении настоящего эксперимента фиксировалось следующее (в рамках наших возможностей):

- рабочий процесс экскаватора (в первую очередь, перемещения ковша и рукояти);
- работа машиниста и его самочувствие (последнее осуществлялось путём измерения давления на левой руке один раз в час. При этом, использовалась широко распространенное устройство для измерения артериального давления [2 и др.] OMRON M4 (на рис. 15 видно этот аппарат) (далее в этом тексте просто давление)).

Указанные задачи эксперимента решались с помощью четырех видеокамер. Три из них (рис. 16 – 18) были установлены в кабине экскаватора. Первая сверху, вторая слева и третья справа относительно места машиниста.

В данном случае применялись всепогодные и влагозащищенные камеры с инфракрасной подсветкой модели NOVICAM W83CR и объективом 2,8 мм. Более подробно об этих камерах и прочем оборудовании, использованном нами, можно прочитать по электронному адресу <http://www.novicam.ru>.

Еще одна камера была установлена на кабине экскаватора, объективом в сторону рабочего оборудования (рис. 19).

В этом случае была использована всепогодная, пыле- и влагозащищенная камера с инфракрасной подсветкой модели NOVICAM W69AMR.

¹ Машина работала в забоях высотой около 10 – 11 метров при углах откоса 50 – 60 градусов. Средневзвешанный диаметр куска горной массы – 200 – 500 мм, с максимальным размером кусков 2 – 2,7 метра, а иногда и более.

² Схему забоя не приводим, т.к. она типовая и для нас сейчас не принципиальна.

Сигнал от этих камер, с помощью соответствующих кабелей, поступал на видеорегистратор со встроенным монитором (рис. 20)³. При этом нами использовалась модель NOVICam F1+. Установка регистратора была произведена в кабине машиниста.

Таким образом, сигнал от четырех камер был нами синхронизирован по времени. Запись проводилась круглосуточно.

Питание для указанного оборудования осуществлялось от сети экскаватора, в кабине машиниста.

Кроме того, один из участников эксперимента располагался не далеко от забоя, на уровне стоянки машины. Он с помощью секундомера и визуальных наблюдений фиксировал время и последовательность рабочих операций и циклов, заносил данные в журнал.

Попутно, отдельные этапы работы экскаватора фиксировались с помощью обычных фотоаппаратов и видеокamer. Активно велось визуальное наблюдение за работой машины и её узлов.

Предполагалось также проведение анкетирования машинистов экскаваторов на комбинате. Однако из-за организационных проблем этого сделать не удалось.

Завершая настоящий раздел необходимо подчеркнуть, что сейчас речь идет о методической стороне выполненного эксперимента и о некоторых сделанных при этом наблюдениях качественного характера. Основной массив данных собранных в эксперименте обрабатывается и будет представлено позднее.

НЕКОТОРЫЕ КАЧЕСТВЕННЫЕ НАБЛЮДЕНИЯ, СДЕЛАННЫЕ ПРИ ПРОВЕДЕНИИ ЭКСПЕРИМЕНТА

В ходе выполнения описанных выше экспериментальных исследований нами были замечены некоторые важные особенности рабочего процесса ОЭ касающиеся конечно же и его человека - оператора. Они носят, безусловно, предварительный, качественный характер⁴. Укажем и их, и следующие из них обобщения.

1) Для существующих природных условий на комбинате, для машин, работающих аналогично экскаватору № 333, возможно стоит изменить традиционное понятие рабочего цикла. Это связано с тем, что:

- из-за несогласованной работы операторов ОЭ и железнодорожного состава первый иногда ждет движения второго с полным ковшом над составом на максимальных вылетах (эта проблема, конечно же, может быть снята путем улучшения хотя бы и системы связи между операторами)⁵;

- ковш экскаватора не всегда открывается в нужный момент, что приводит к необходимости возвращения РО обратно в забой и т.п. и т.д. (эта проблема может быть снята совершенствованием работы ремонтных служб комбината);

- рукоять экскаватора из-за своего не лучшего состояния (износ седловых подшипников и пр.) работает в не характерном для себя режиме, с существенными динамическими ударами при повороте с груженым ковшом и постоянным задеванием канатов. Это приводит и к повышенному износу канатов, и к росту негативных явлений в металлоконструкциях экскаватора (эта проблема также может быть снята за счёт совершенствования работы Ремонтных служб комбината). Безусловно, что и эта, и предыдущая проблема сказываются на управляемости экскаватора;

- не всегда машинист выполняет наполнение ковша с первого раза. Это связано и с особенностями кабины, и с общей усталостью машиниста, и с процессами обрушения в забое и пр. Все это сказывается на времени цикла и производительности;

- передвижки экскаватора иногда осуществляются прямо во время наполнения единичного вагона. Это также увеличивает время цикла и снижает производительность;

- иногда, при погрузке единичного вагона, экскаватор отвлекается на погрузку щебня в автомобильный транспорт;

проверки и уточнения изложенных ниже гипотез.

⁵ Так как, потери времени на других операциях, например, связанных с железнодорожным транспортом, куда больше, чем в указанной, то возможно, что решать её нужно и не первой. Однако, заинтересован ли комбинат, в нынешних экономических условиях, в серьезном росте производительности?

³ На рис. 21 можно видеть один из основных элементов соединения камер с регистратором.

⁴ В будущем мы продолжим начатые исследования, расширяя их для

- величина угла поворота экскаватора часто существенно больше девяносто градусов.

Таким образом, может быть целесообразным введение в понятие элементы рабочего цикла дополнительных двух этапов:

- потери времени;

- время дополнительных технологических операций.

Кроме этого, при использовании понятий большой и малый рабочие циклы следует дополнительно оговаривать возможность включения механизма передвижения экскаватора.

Возможно, в рамках комбината, следует отказаться от традиционного понятия рабочий цикл, и ориентироваться на время погрузки одного железнодорожного вагона, или даже полного состава. Эти временные интервалы можно было бы назвать как то иначе и под них перестроить методики связанные с расчетами металлоконструкций экскаватора и оценкой его надежности. В будущем кажется более перспективным изучение не единичных экскаваторов, а системы «экскаватор – транспортный сосуд».

2) В тех природных и технологических условиях, что есть на комбинате, возможно, стоит пересмотреть вид и характер принимаемых при проектировании ОЭ траекторий перемещения ковша при копании.

Во всяком случае, за счёт визуальных наблюдений, кажется недостаточным плоского рассмотрения перемещения ковша – необходимо трехмерное рассмотрение.

Это предложение обосновывается нашими визуальными наблюдениями сверху за движением ковша при копании. В начале процесса копания ковш колеблется в горизонтальной плоскости с амплитудой до полуметра. Характер этих колебаний случаен и его свойства зависят и от параметров ОЭ, и от параметров забоя. При этом мы обратили внимание, что чем больше куски породы, тем колебания заметнее. В процессе подъема ковша указанный колебательный процесс затухает, и траектория перемещения ковша становится близкой к прямой линии.

При этом отметим, что в забое, где мы проводили экспериментальные исследования, наблюдалось взаимодействие ковша и с отдельными большими кусками взорванной породы и с мелкими, часто слежавшимися, частицами –

частично привезенными на перегрузку с нижних горизонтов, частично являющимися элементами породы изначально присутствующей в этом месте карьера. С первыми ковш взаимодействовал в основном в нижней части забоя, со вторыми – в средней и верхней его части (за вычетом мелких частиц привезенных с нижних горизонтов, которые, конечно же, в основном падают в нижнюю часть забоя). Приблизительно, первое соответствовало движению ковша с колебаниями в горизонтальной плоскости, а второе – перемещению ковша по траектории близкой к прямой линии. Изменение вида траектории движения ковша чаще всего наблюдалось при прохождении ковшом около тридцати – пятидесяти процентов от длины его полной траектории. В будущем необходимо поставить эксперименты позволяющие уточнить является ли процесс копания такого рода чистым черпанием, или тут есть элементы резания, и связано ли это с изменением вида траекторий. Исследования такого рода для ОЭ работающих в скальных забоях позволят повысить их надежность.

Необходимо еще отметить и то, что процесс наполнения ковша в рассматриваемых горно-технологических условиях заканчивается часто до того, когда рукоять достигает своего параллельного уровню стоянки положения. Это позволяет в будущем слегка поправить ряд работ, в которых этот факт не учитывается. Очевидно, что и тут нужны дополнительные исследования.

3) Кроме этих двух основных наблюдений нами были сделаны и иные. Укажем на некоторые из них:

- условия работы человека – оператора крайне тяжелые. Видеться разумным уменьшить время рабочей смены. Кроме этого: необходимо повысить контроль за здоровьем машинистов (наши исследования показали, что у многих есть проблемы с давлением); улучшить как сами средства доставки и вывоза персонала из карьера, так и их режим работы; обеспечить людей нормальным питанием и кондиционерами; в идеале заменить кабины (кроме всего прочего и из-за недостаточной обзорности, тесно связанной с расположением системы обогрева, за которую приходится задевать при передвижении экскаваторов (на рисунках 22 – 27 приведены фотографии кабины ОЭ и его систем управления. Так же, среди

них приведены фотографии, частично, иллюстрирующие обзорность и позу человека – оператора)) или хотя бы поставить современные кресла и органы управления (согласовать размеры человека оператора и места установки аппаратуры управления и т.п., чтобы руки оператора не висели бы в пространстве и чтобы поза оператора была бы эффективной, а не случайной и очень не удобной). Дополнительно необходимо следить и за качеством стёкол (например, устранять во время трещины), и внешним видом машин – например, покрасить их. Большинство из указанных проблем сказывается на производительности ОЭ. Отметим еще, что, по нашему мнению, отдельные и разовые меры, касающиеся отдельных ОЭ, в рамках комбината явно не достаточны;

- необходимо улучшить работу ремонтных служб комбината;

- целесообразно прекратить экономить на покупке новых машин и их комплектации;

- динамические нагрузки, действующие на машину при копании и повороте весьма велики. Колебания и вибрации металлоконструкций ощущаются почти во всех местах машины, часто они действуют в трехмерном пространстве (особенно это ощущается при наложении операций поворота и операции копания, иногда операторы совершают действие такого рода). Все это, конечно же, сказывается на состоянии металлоконструкций машины, элементах крепления и операторах, которые, не смотря на то, что находятся в кабине, все-таки подвержены их воздействию. Необходимо совершенствовать и конструкцию ОЭ, и методы их расчёта при проектировании (как минимум в части учёта динамики);

- экскавируемая порода нуждается в росте качества взрывных работ

- система управления ОЭ нуждается в скорейшем совершенствовании в части и их расположения в кабине, и в части их конструкции. Необходимы новые конструкции джойстиков. Например, на основе механизмов параллельной структуры. При этом необходимо опираться на самые последние достижения и ТММ, и психологии, и биомеханики и т.д.;

- проведение соревнований на комбинате требуют более тщательной подготовки. В первую очередь с точки зрения подготовки операторов

машин, для снижения их психологических перегрузок;

- подчеркнем еще раз, что необходимо совершенствовать систему связи между операторами разных машин. Возможно, что рассматривать и улучшать нужно сразу всю систему управления в карьере;

- для ОЭ необходимо пересмотреть заводские ограничения, накладываемые на движения ковша и рукояти, в схеме электропривода;

- номенклатура средств имеющихся в аптечке на борту ОЭ нуждается в существенной корректировке;

- внутри экскаватора – в машинном зале – необходимо улучшить отвод тепла.

Кроме этих наблюдений следует указать еще несколько соображений, возникающих при изучении рабочего процесса ОЭ:

- обзорность машиниста может быть повышена за счет установки видеокамер и видеорегистратора. На этой базе может быть собрана существенная статистическая информация;

- для ОЭ, работающих в тяжелых, скальных забоях, необходимо существенно изменить методологию их проектирования, за счёт большего внимания к расчётам динамики;

- возможна частичная автоматизация рабочих операций, что требует соответствующих исследований;

- необходимо вернуться к созданию статистической динамики ОЭ (продолжение работ МИСИ);

- возможно, следует пересмотреть типоразмерные ряды ОЭ.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В настоящей главе описана схема проведения экспериментальных исследований по изучению рабочего процесса ОЭ и их машинистов. Записана их цель и указаны задачи, способствующие её достижению. Кроме этого, приведены некоторые первичные результаты выполненной работы, основанные на визуальных впечатлениях и носящие качественный, предварительный характер (в частности они касаются пересмотра понятия рабочий цикл и пр.).

В будущем предполагается выполнить как обработку собранной информации (получить

циклограммы движения верхних конечностей оператора с увязкой их с движениями ковша и экскаватора), так и продолжить сами экспериментальные исследования, в частности проведя их и на ОЭ с гидравлическим приводом и на драглайнах.

Благодарности

Авторы настоящей работы считают своим приятным долгом поблагодарить профессора, д.т.н. Лагунову Ю.А. (УГГУ) за помощь в организации настоящего

эксперимента. Также мы благодарны всем помогавшим нам сотрудникам ОАО «Ураласбест».

Литература

1. Artemieva E., Pobegailo P.A., Siniov A. Experimental setup for modeling hydraulic excavator driving // Българско списание за инженерно проектиране, бр. 14, август 2012. с. 31 – 34.
2. Справочник практикующего врача / Под ред. А.И. Воробьева. – М.: Изд-во Эксмо, 2005. 1200 с.



рис.1 Общий вид карьера



рис.3 Общий вид экскаватора ЭКГ-10



рис.2 Экскаваторы в карьере



рис.4 Экскаватор ЭКГ-10 № 333 в забое



рис.5 Вид на экскаватор от железнодорожных путей



рис.8 Негабариты в железнодорожном вагоне



рис.6 Поднятое рабочее оборудование в момент поворота машины



рис.9 Примерная структура забоя



рис.7 Рабочее оборудование экскаватора



рис.10 Забой и рабочее оборудование экскаватора



рис.11 Поворот рабочего оборудования на выгрузку



рис.14 Загруженные железнодорожные вагоны



рис.12 Ковш над железнодорожным вагоном



рис.15 Использованный нами прибор для измерения артериального давления



рис.13 Выгрузка закончена



рис.16 Камера № 1, расположенная на потолке кабины



рис.17 Камера № 2 установленная в кабине



рис.20 Видеорегистратор, установленный в кабине



рис.18 Камера № 3 установленная в кабине

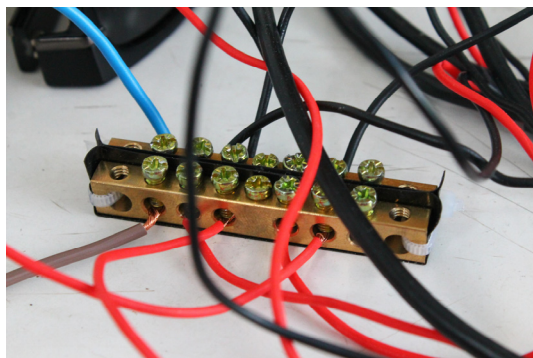


рис.21 Основной элемент схемы соединения камер и видеорегистратора



рис.19 Камера № 4 установленная на кабине



рис.22 Вид на джойстики и элементы обогревателя



рис.23 Вид на кресло и элементы системы управления в кабине



рис.26 Оператор закончил операцию копания



рис.24 Элементы системы управления приводом



рис.25 Оператор осуществляет операцию копания



рис.27 Оператор осуществляет операцию выгрузки в железнодорожный состав

EXPERIMENTAL STUDY OF THE WORK OF THE CABLE SHOVEL OPERATOR

**Petr POBEGAILO¹, Roman KOVYAZIN², Alexander KALYANOV²,
Mahomed ABDULKARIMOV²**

¹Blagonravov Mechanical Engineering Research Institute of RAS, Russia

e-mail: petrp214@yandex.ru

²Ural state Mining University, Russia

Abstract: In the work are presented results of processing of the experimental data collected in the summer of 2013 in the conditions of “Uralasbest”, Sverdlovsk region, Russia. The goal of our study was the study of the working conditions of the excavator operator in the working environment. The object of the study was the EKG-10 excavator, which has the wide spread in the Russia. The following conclusions were made: revision of the working cycle of the excavator in the considered working environment is necessary; it is required to specify types of digging trajectories; it is necessary to perform additional research of the dynamic loadings and vibroprotection.

Keywords: : cable shovel, working cycle

К.П.Д. НА ТРАНСМИЯ СЪСТАВЕНА ОТ ФРИКЦИОНЕН ВАРИАТОР И ДИФЕРЕНЦИАЛЕН ЗЪБЕН МЕХАНИЗЪМ ПРИ РАЗЛИЧНИ КИНЕМАТИЧНИ СХЕМИ НА ТРАНСМИСИЯТА

Костадин СТОИЧКОВ Явор СОФРОНОВ

катедра „Теория на машините и механизмите“, Технически Университет –София, България ,
e-mail: kks@tu-sofia .bg

Резюме: Статията е част от поредица публикации, описващи теоретичните изследвания на трансмисии със структура на затворени диференциални зъбни механизми. Затварящата верига при разглежданите в публикациите трансмисии е съставена от звената на фрикционен вариаторен механизъм. Поради това, че предходните изследвания недвусмислено показват големите кинематични възможности на тези трансмисии авторите продължават изследванията с анализ на кинетостатиката и к.п.д. на тези трансмисии. В статията са разгледани две трансмисии с безстепенно изменение на предавателното отношение съставени от фрикционен вариатор и диференциален зъбен механизъм. Двете трансмисии са с различни кинематични схеми. Изведени са зависимостите между к.п.д на трансмисионния механизъм и предавателното отношение на вариатора при различни предавателни отношения на епицикличния механизъм. Изводите са направени както за положителни, така и за отрицателни предавателни отношения на трансмисията.

Ключови думи: Вариатор, диференциален механизъм, предавателно отношение, коефициент на полезно действие

1.УВОД

В поредица статии авторите описват своята работа свързана с теоретичното изследване възможностите на трансмисии, имащи структура на затворени епициклични механизми със затварящо звено фрикционен вариатор. Изследваните трансмисии са с безстепенно изменение на предавателното отношение в много голям диапазон на регулиране. Резултатите от теоретичните анализи показват, че устройства с гореописаната структура могат добре да функционират като трансмисии в машинните агрегати и са особено подходящи там, където е необходимо безстепенно изменение на предавателното отношение в голям диапазон. В работите [1] и [2] е направен кинематичен анализ на три такива устройства, различаващи се по кинематичните си схеми, а в публикацията [3] е дадена кинетостатиката и връзката между предавателното отношение на зъбния механизъм това на вариатора и к.п.д на трансмисията за една от схемите.

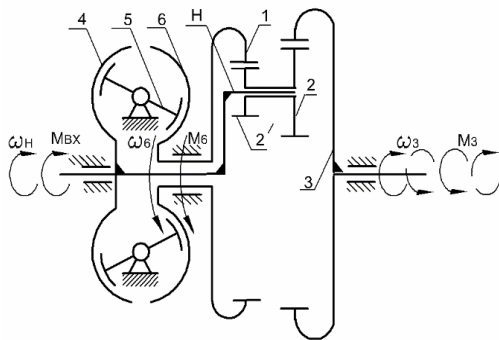
Целта на настоящата работа е да се намерят зависимостите за определяне коефициентите на полезно действие на трансмисиите с кинематични схеми дадени на фигури 1 и 4 в статията. Както е видно от фигурите и при двата механиз-

ма входовете на диференциалния механизъм, са водилото и едното централно колело за разлика от разгледаният в [1] [3] механизъм при, който входове, двете централни зъбни колела, водилото е изход на диференциалния механизъм. Разликата между схемите разглеждани в настояща работа е това, че при едната (фиг.1) през вариатора се задвижва централното зъбно колело, а при другата водилото на епицикличния механизъм.

2.КОЕФИЦИЕНТ НА ПОЛЕЗНО ДЕЙСТВИЕ НА ТРАНСМИСИЯ С ВХОДЯЩИ ЗВЕНА НА ДИФЕРЕНЦИАЛНИЯ МЕХАНИЗЪМ ВОДИЛО И ЦЕНТРАЛНО ЗЪБНО КОЛЕЛО ЗАДВИЖВАНО ОТ ВАРИАТОР

Кинематичната схема на такъв механизъм е дадена на фиг.1.

Принципът на действие и кинематиката на механизма от фиг.1, са описани подробно в публикацията [2]. Също така, известно е от кинематичния анализ направен в [2], че трансмисията може да реализира както положителни така и отрицателни предавателни отношения променяйки посоката на изходящата ъглова скорост без промяна на входящата такава.



Фиг.1. Кинематична схема на трансмисия с входящи звена на диференциалния механизъм водило и задвижвано от вариатор централно зъбно колело.

На фиг.1 с непрекъснат контур са дадени посоките на ъгловите скорости и въртящите моменти за положителните предавателни отношения, а с прекъснат за отрицателните.

Коефициентът на полезно действие на трансмисията (η_T), ще бъде определен, като се има предвид това, че разглежданият механизъм е съставен от две паралелно свързани кинематични вериги. Едната включва фрикционният вариатор и обикновената зъбна предавка 1, 2, 2', 3, които са свързани последователно, а другата само епицикличният зъбен механизъм от фиг.1 с входящо звено водилото Н и изходящо централното зъбно колело 3. При този случай коефициентът на полезно действие се определя [4] по изразът

$$\eta_T = \frac{1}{\frac{q_1}{\eta_V \eta_{13}^H} + \frac{q_H}{\eta_{H3}}} \quad (1)$$

където q_1 и q_H са коефициентите на разпределение на мощностите за двете описани по горе вериги, а $\eta_V, \eta_{13}^H, \eta_{H3}$ са коефициентите на полезно действие съответно на вариатора, обикновения и епицикличния зъбен механизъм.

Коефициентите на разпределение на мощностите се определят [4] от следните равенства: За веригата, съставена от вариатора и обикновената зъбна предавка:

$$q_1 = \frac{M_1 \omega_1}{M_3 \omega_3}, \quad (2)$$

а за тази включваща само епицикличния механизъм с входящо звено водилото Н:

$$q_H = \frac{M_H \omega_H}{M_3 \omega_3}, \quad (3)$$

където M и ω , със индекс съответстващ на означението на звено от фиг.1, са въртящият момент и ъгловата скорост на съответното звено.

За отношенията на ъгловите скорости от (3) са в сила равенствата:

$$\frac{\omega_H}{\omega_3} = i_T, \quad (4)$$

$$\frac{\omega_1}{\omega_3} = \frac{i_T}{i_V} \quad (4a)$$

които лесно се определят по дадената кинематична схема. След заместването на (4) и (4a) съответно в (2) и (3) изразите за коефициентите на разпределение на мощността добиват следният вид:

$$q_1 = \frac{M_1 i_T}{M_3 i_V} \quad (5)$$

$$q_H = \frac{M_H i_T}{M_3} \quad (6)$$

Отношението между моментите на централните колела в епицикличния механизъм се дава [5] се дава от изразът

$$\frac{M_1}{M_3} = \frac{1}{i_{13}^H} \quad (7)$$

Също така от условията за статично равновесие на този механизъм може да се запише уравнението

$$M_H \pm M_1 \mp M_3 = 0, \quad (8)$$

като тук и в следващите извеждания горните знаци се отнасят за положително, а долните за отрицателно предавателно отношение на трансмисията. След разделяне двете страни на (8) с M_3 и имайки предвид (7) може да се запише системата уравнения

$$\begin{cases} \frac{M_H}{M_3} \pm \frac{M_1}{M_3} \mp 1 = 0 \\ \frac{M_1}{M_3} = \frac{1}{i_{13}^H} \end{cases} \quad (9)$$

от която за отношението M_H/M_3 се получава равенството

$$\frac{M_H}{M_3} = \pm \frac{i_{13}^H - 1}{i_{13}^H} \quad (10)$$

След заместване на (10) в (6), на (7) в (5) и последващо полагане на получените за q_1 и q_2 изрази в (1) за к.п.д. на разглеждания механизъм се получава равенството.

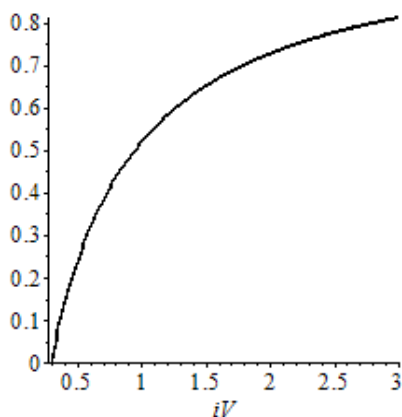
$$\eta_T = \frac{1}{i_T \left(\frac{1}{i_V \eta_V \eta_{H3}^H} \pm \frac{i_{13}^H - 1}{i_{13}^H \eta_{H3}^H} \right)} \quad (11)$$

Предавателното отношение i_T на трансмисията [2], което участва в (11) се дава от изразът

$$i_T = \frac{i_V i_{13}^H}{i_V (i_{13}^H - 1) - 1} \quad (12)$$

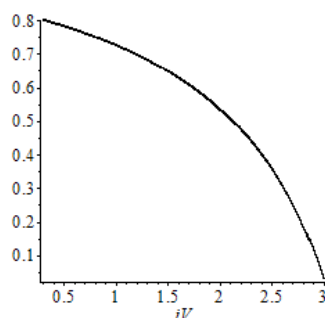
следователно след полагане на (12) в (11) при известни стойности на параметрите, участващи в (11) може да се начертае графика на функцията $\eta_T = \eta_T(i_V)$. Стойностите на параметрите, са следните: $i_{13}^H = 4,3$ за положителни и $i_{13}^H = 1,3$ за отрицателни предавателни отношения[2]; $\eta_{H3}^H = 0,96$; $\eta_{H3} = 0,95$ [4]; $\eta_V = 0,9$ [6].

Графиката на функцията $\eta_T = \eta_T(i_V)$ е дадена на фиг.2 за положителни, а на фиг.3 за отрицателни стойности на предавателното отношение на трансмисията с кинематична схема дадена на фиг.1.



Фиг.2. Графика на функцията $\eta_T = \eta_T(i_V)$ при положителни стойности на предавателното отношение на трансмисията от фиг.1

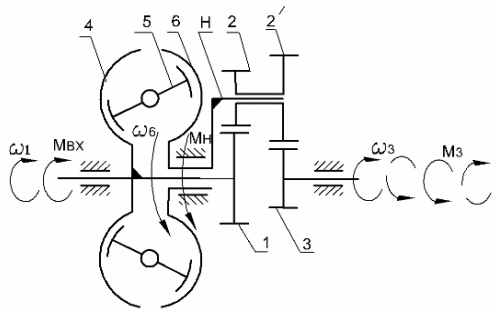
От графиката на фиг.2 се вижда, че при положителните предавателни отношения коефициентът на полезно действие се изменя с изменение на предавателното отношение на вариатора, респективно това на трансмисията, като коефициентът на полезно действие нараства монотонно с нарастване на предавателното отношение на вариатора. Максималната стойност на к.п.д. в случая е 0,8, което показва, че механизмът с кинематична схема дадена на фиг.1 може да бъде успешно използван, като трансмисия в машинните агрегати.



Фиг.3. Графика на функцията $\eta_T = \eta_T(i_V)$ при отрицателни стойности на предавателното отношение на трансмисията от фиг.1

Графиката на фиг.3 показва, че при работа с отрицателни предавателни отношения разглежданият има максимален к.п.д. 0,8 но неговите стойности намаляват с увеличаване на предавателното отношение на вариатора. От вида на горните графики може да се направи важният извод, че максималната стойност на к.п.д. за механизма от фиг.1 е еднаква при положителни и отрицателни предавателни отношения 0,8. Тази стойност показва че енергийната ефективност на трансмисията е достатъчна за нейното практическото приложение.

3.К.П.Д. НА ТРАНСМИСИЯ С ВХОДЯЩИ ЗВЕНА НА ДИФЕРЕНЦИАЛНИЯ МЕХАНИЗЪМ- ЦЕНТРАЛНО ЗЪБНО КОЛЕЛО И ВОДИЛО ЗАДВИЖВАНО ОТ ВАРИАТОР



Фиг.4. Кинематична схема на трансмисия с входящи звена на диференциалния механизъм централно зъбно колело и водило задвижвано от вариатор.

Устройството, принципа на действие и кинематиката на такъв механизъм са подробно описани в [2].

Както в преходната точка от настоящата работа и тук коефициентът на полезно действие ще се определи съгласно изразът за механизми с паралелно свързани кинематични вериги, които за конкретния случай е:

$$\eta_T = \frac{1}{\frac{q_1}{\eta_{13}^H} + \frac{q_H}{\eta_{H3}\eta_V}}, \quad (12)$$

В този случай коефициентите на разпределение се дават от изразите

$$q_1 = \frac{M_1 i_T}{M_3}, \quad (13)$$

$$q_H = \frac{M_H i_T}{M_3 i_V}. \quad (13a)$$

Отношенията на моментите M_1/M_3 и M_H/M_3 се определят от системата

$$\begin{cases} \frac{M_H}{M_3} \pm \frac{M_1}{M_3} \mp 1 = 0 \\ \frac{M_1}{M_3} = \frac{1}{i_{13}^H} \end{cases} \quad (14)$$

и се заместват в (13) и (13a) в резултат, от което се получават изразите

$$q_1 = \frac{i_T}{i_{13}^H}, \quad (15)$$

$$q_H = \frac{(i_{13}^H - 1)i_T}{i_{13}^H i_V} \quad (15a)$$

След полагане на (15) и (15a) в (12) за стига до изразът

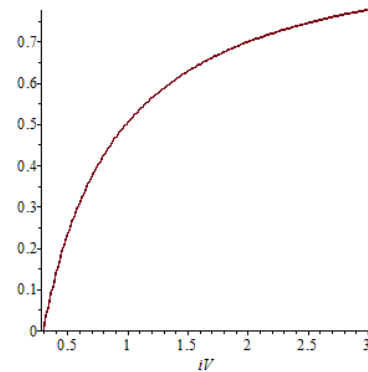
$$\eta_T = \frac{1}{i_T \left(\frac{1}{i_{13}^H \eta_{13}^H} + \frac{i_{13}^H \mp 1}{i_{13}^H \eta_{H3} i_V \eta_V} \right)}, \quad (16)$$

Предавателното отношение на трансмисията (i_T), което участва в (16) за тази кинематична схема както е известно [2] се дава от равенството:

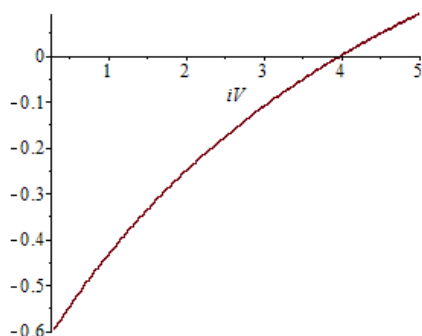
$$i_T = \frac{i_V i_{13}^H}{i_V + 1 - i_{13}^H} \quad (17)$$

като стойностите на i_T са положителни за целият диапазон на регулиране на вариатора при $i_{13}^H = 1,3$ и отрицателни при $i_{13}^H = 4$

Локалните коефициенти на полезно действие ($\eta_V, \eta_{13}^H, \eta_{H3}$), са същите като тези в т.2 от настоящата статия, следователно може да се начертае графиката на функцията $\eta_T = \eta_T(i_V)$, която е дадена на фиг.5 за положителните, а на фиг.6 за отрицателните предавателни отношения на трансмисията.



Фиг.5. Графика на функцията $\eta_T = \eta_T(i_V)$ при положителни стойности на предавателното отношение на трансмисията от фиг.2



фиг.6. Графика на функцията $\eta_T = \eta_T(i_V)$ при отрицателни стойности на предавателното отношение на трансмисията от фиг.4

От фиг.5 ясно се вижда, че при работа с положителни предавателни отношения максималният к.п.д на трансмисията е 0,8 като тази стойност се постига при максималното предавателно отношение на вариатора. Графиката на фиг.6 показва, че коефициентът на полезно действие е отрицателен за целия диапазон на регулиране на вариатора, следователно при кинематичната схема от фиг.4 трансмисията не може да работи с отрицателно предавателно отношение.

4.ИЗВОДИ

От анализите направени в настоящата статия се налагат следните важни изводи: Трансмисията с кинематична схема дадена на фиг.1 може да работи както с положителни така и отрицателни предавателни отношения. Максималната стойност на коефициента на полезно действие, за тази схема, е 0,8 като при положителните предавателни отношения расте, а при отрицателните намалява с увеличаване на предавателното отношение на вариатора. Графиките на фиг.5 и фиг.6 дават възможност да се направят следните

важни изводи за механизма с кинематична схема дадена на фиг.4: При работа с положителни предавателни числа се постига максимален к.п.д със стойност 0,8 при максималната стойност на предавателното отношение на вариатора. При отрицателните предавателни отношения коефициентът има отрицателни стойности за целия диапазон на регулиране на вариатора ($i_V = 0,3 \div 3$). Това показва, че при $i_{13}^H > i_{VMAX} + 1$, което е условието за осигуряване на отрицателно предавателно отношение, механизмът ще самоблокира и няма да може да работи. Направените изводи ще послужат при по нататъшната работа по синтез и конструиране на трансмисии от описания в статията тип.

4.ЛИТЕРАТУРА

1. Стоичков К., Софронов Я. Трансмисия за електромобил задвижван от кинетичен акумулатор на енергия включваща фриксионен вариатор и диференциален зъбен механизъм. XXVII международна научна конференция МТФ 2012 стр. 468. ТУ-София, м. октомври 2012 г.
2. Стоичков К., Софронов Я. Кинематичен анализ на трансмисии съставени от диференциален зъбен механизъм и фриксионен вариатор при различни кинематични схеми на трансмисията. Българско списание за инженерно проектиране, №18, стр.69, м. април 2013.
3. Стоичков К., Софронов Я. Кинетостатика и к.п.д. на трансмисия съставена от затворен диференциален зъбен механизъм и фриксионен вариатор. Българско списание за инженерно проектиране, №17, стр.39, м. януари 2013.
4. Константинов М., Вригазов и др. Теория на механизмите и машините. „Техника“ 1980
5. Кудрявцев В.Н. Планетарные передачи. Машиностроение, Москва 1996.
6. Пронин Б., Ревков Г. Бесступенчатые клиноренные и фриксионные передачи. Машиностроение 1980.

MECHANICAL EFFICIENCY OF TRANSMISSIONS INCLUDING C.V.T. AND DIFFERENTIAL TOOTH MECHANISM

Kostadin STOICHKOV Yavor SOFRONOV

TU-Sofia, Bulgaria e-mail: kks@tu-sofia .bg

Abstract: The article is part of a series of publications describing the theoretical studies of transmissions structure of closed differential gear mechanisms. Closing chain issue in publications transmission is composed of units of the friction wedge mechanism. Because previous studies clearly demonstrate the high capacity of these kinematic transmissions authors research continues with an analysis of the efficiency and kinetostatics transmissions of these. The paper considers two transmissions with continuously variable transmission the gear ratio consisting of friction C.V.T. and a differential gear mechanism. Both transmissions have different kinematic schemes. Outlines the relationships between the conversion efficiency of the transmission mechanism and the ratio of the ν C.V.T. with different ratios of the epicyclic gear. Conclusions are made for positive and negative transmission ratios.

Keywords: C.V.T. , transmissions, differential tooth mechanism , transmission ratio, mechanical efficiency.

ИССЛЕДОВАНИЯ ДИНАМИКИ ОДНОКОВШОВЫХ ГИДРАВЛИЧЕСКИХ ЭКСКАВАТОРОВ: СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ И НЕКОТОРЫЕ ПЕРСПЕКТИВЫ

Пётр ПОБЕГАЙЛО

ИМАШ им. Благодирова А.А. РАН, Россия

e-mail: petrp214@yandex.ru

Резюме: В настоящей статье приведены результаты выполненного нами анализа литературы в области исследования динамических процессов в одноковшовых гидравлических экскаваторах. При этом обращено пристальное внимание на работы не только напрямую касающихся одноковшовых гидравлических экскаваторов, но и на труды в смежных областях, с учётом достижений в механике и теории машин и механизмов. Однако, непосредственно в тексте настоящей статьи приведены лишь основные выводы, полученные нами при указанном анализе. В качестве основных результатов проведенного нами анализа литературы в области исследований динамических процессов в одноковшовых гидравлических экскаваторах можно указать на почти полное отсутствие современных методов, позволяющих оценивать усталостную долговечность металлоконструкций экскаваторов. Кроме этого, необходимо уточнить понятие связи для одноковшовых гидравлических экскаваторов. Для этого полезно использовать понятие «изолированное гидрообъемное устройство». Тогда ограничения в этом устройстве, как части экскаватора, накладываемые на твёрдые тела жидкостью, можно рассматривать как действие особого рода механической связи.

Ключевые слова: одноковшовый экскаватор; динамика экскаватора; перспективы исследований экскаваторов

Исследования динамики одноковшовых гидравлических экскаваторов проводятся начиная с конца 60-х, начала 70-х годов прошлого века. Большой вклад в эти исследования внесли советские и российские ученые и инженеры. В качестве примера, мы можем указать на работы¹ Беренгарда Ю.Г., Васильевой В.В., Волобоева В.Г., Гайцгори М.М., Дуданова И.В., Загвоздина Ю.Г., Исакова В.С., Кириллова Г.В., Козлова М.В., Королева А.В., Коротких П.В., Малиновского Е.Ю., Перлова А.С., Ребеко Л.В., Рустановича А.В., Смоляницкого Э.А., Тарана В.Х., Тарасова В.Н., Хороша И.А., Щербакова В.С., Шлыкова В.Н. и др.

Конечно же, за рубежом так же велись и ведутся соответствующие исследования. Из известного нам многообразия иностранных авторов укажем на труды: Данчева Д., Круля К., Митрева Р., Панова В., Яношевича Д., Koivo A. и др.

Существенную роль при исследовании динамики одноковшовых гидравлических экскаваторов играли и играют исследования динамики горных, строительных, подъемно-транспортных машин, роботов, а также исследования более общей направленности (число ученых и инженеров тут очень велико и поэтому мы не будем приводить их фамилии).

Таким образом, исследованиям динамики одноковшовых гидравлических экскаваторов (ОГЭ) уже более сорока лет. Большое число специалистов занимались и занимаются этой многогранной проблемой. Не уменьшающееся число публикаций указывает на то, что данная область еще далеко не исчерпана. Однако большое число работ, их широкая география и разбросанность по различным журналам и сборникам конференций затрудняет продолжение исследований в этом направлении. Необходимо выполнить анализ уже сделанного в рассматриваемой области человеческого знания. Настала пора подвести некоторые итоги.

¹ В настоящем тексте мы не претендуем на полноту в указании фамилий авторов, работавших в рассматриваемом нами направлении.

С целью начала работы в сформулированном только что направлении нами и подготовлен настоящий текст, имеющий, конечно же, краткий и постановочный характер.

Поэтому в настоящей работе приведем лишь некоторые основные результаты выполненного нами анализа. Итак:

- динамические усилия, возникающие в ОГЭ, являются результатом совместного воздействия динамики внешней нагрузки, динамики элементов конструкции и динамики материалов. Последняя обычно не учитывается. [1 и др.];

- основу рабочего оборудования (РО) ОГЭ составляют механизмы с подвижными гидроцилиндрами (ГЦ), входящими в группу механизмов с заданным относительным движением подвижных звеньев [2 и др.]. Определение нагрузок в упругих звеньях таких механизмов в общем виде представляет большие трудности. Во-первых, при движении поршня исполнительного ГЦ изменяются приведенные к поршню масса и жесткость системы, во-вторых, изменение приведенной массы и жесткости каждой последующей из двух последовательно связанных систем изменяет параметры предыдущей [3, 4 и др.];

- большое число работ по исследованию динамики строительных ОГЭ базируется на известных подходах механики. Однако нельзя в полной мере, без серьезной адаптации переносить предложенные подходы на карьерные машины, т.к. они имеют свои специфические черты в рабочем процессе. То же самое можно сказать и об использовании работ, посвященных роботам-манипуляторам (в отношении и строительных, и карьерных ОГЭ);

- авторы некоторых работ (такие подходы могут быть названы «не стандартными») используют самые свежие и модные идеи механики и математики. Однако при исследовании динамики ОГЭ требуются дополнительные модели, описывающие ряд процессов в системе «человек – машина – среда». И эти модели часто оказываются совсем не такими продвинутыми и точными, как того бы хотелось бы конструкторам и проектировщикам. Это конечно несколько обесценивает полученные красивые результаты с применением всех современных средств и методов. При этом многие из таких работ не доходят до потребите-

ля, а если и доходят, то не могут быть адекватно восприняты;

- известные нам «стандартные» модели, позволяющие изучать динамику ОГЭ, можно разбить на несколько групп. Отсутствуют работы, сравнивающие эти подходы и не ясно, какой из подходов наиболее рационален. Многие из них так же опираются на не достаточно точно обоснованные расчётные схемы и не совсем точно учитывают реальную специфику ОГЭ, его рабочих процессов;

- забыты многие советские, оригинальные работы в области динамики машин и механизмов, которые могли бы быть использованы в наше время для изучения динамики ОГЭ [5 – 10 и др.];

- практически все известные нам подходы не позволяют оценить влияние динамики в ОГЭ на усталостную долговечность несущих металлоконструкций и т.п. (известные работы К. Круля нуждаются как минимум в продолжении);

- часто рассматриваются отдельные режимы работы ОГЭ. Не обходимо же исследование динамики ОГЭ при одновременном выполнении им нескольких рабочих движений;

- на базе работ [9, 10 и др.] может быть полезным введение в рассмотрение понятия «изолированное гидрообъемное устройство (ИГУ)», что поможет уточнить понятие связи для ОГЭ (ограничения в ИГУ, как части ОГЭ, накладываемые на твёрдые тела жидкостью, можно рассматривать как действие особого рода механической связи (расширенные параметрические связи)).

Литература

1. Машины для земляных работ: учебник для студентов вузов по специальности «Подъемно-транспортные, строительные и дорожные машины и оборудование» / Д.П. Волков, В.Я. Крикун, К.С. Гаевская и др.; Под общ. ред. Д.П. Волкова. М.: Машиностроение, 1992. 448 с.
2. Кожевников С.Н., Цехнович Л.И. Механизмы с заданным относительным движением подвижных звеньев // Труды семинара по ТММ. Т. 14., вып. 56. М.: Изд-во АН СССР. 1955. с. 59 – 89.
3. Перлов А.С., Смоляницкий Э.А. К динамическому анализу рабочего оборудования гидравлического экскаватора // Исследование приводов строительных и дорожных машин: Науч. тр. XLV / ВНИИСДМ. М., 1969. с. 20 – 27.

4. Перлов А.С., Смоляницкий Э.А. Динамика системы «рабочее оборудование - гидропривод» одноковшового гидравлического экскаватора // Исследование одноковшовых экскаваторов: Науч. тр. № 54 / ВНИИ-ИСДМ. М., 1972. с. 37 – 46.
5. Бессонов А.П. Основы динамики механизмов с переменной массой звеньев. М.: Наука, 1967. 280 с.
6. Пономарев В.А. Методы динамического исследования механизмов с двумя степенями свободы: Дисс. канд. техн. наук. М., 1972. 131 с.
7. Мудров П.Г. Исследование пространственных шарнирных механизмов с особой структурой и их внедрение в машиностроение: Дисс. ... докт. техн. наук. М., 1979. 220 с.
8. Горский Б.Е. Динамическое совершенствование механических систем. К.: Техніка, 1987. 200 с.
9. Цымбалюк А.А. Основы динамики и разработка механизмов приводов с изолированными гидрообъемными устройствами: Дисс. ... докт. техн. наук. Киев, 1981. 271 с.
10. Цымбалюк А.А. Аналитическая динамика механизмов с гидроустройствами. К.: Выща школа, 1990. 175 с.

RESEARCHES OF DYNAMICS OF HYDRAULIC EXCAVATORS: CURRENT STATE AND SOME PROSPECTS

Petr POBEGAILO

Blagonravov Mechanical Engineering Research Institute of RAS, Russia

e-mail: petrp214@yandex.ru

Abstract: In the present article results of the analysis of literature in the field of research of hydraulic excavators dynamic processes are presented. The close attention to works not only directly concerning hydraulic excavators, but also is thus paid to works in adjacent areas, taking into account achievements in mechanics. As the main results of the analysis of literature carried out by us in the field of researches of dynamic processes in hydraulic excavators it is possible to point to almost total absence of the modern methods, allowing to estimate fatigue durability of a metalwork of excavators. Besides, it is necessary to specify concept of connection for hydraulic excavators. For this purpose it is useful to use the concept "the isolated hydraulic device". Then restrictions in this device as the parts of the excavator imposed on firm bodies by liquid, it is possible to consider as special type of action of mechanical communication

Keywords: hydraulic excavator; dynamics of the excavator; prospects of researches of excavators