

# Българско списание за Инженерно ПРОЕКТИРАНЕ

брой №23, юли 2014г.

## 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

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

### Редактор

**Р.Митрев**, ТУ-София, България

**Издател:** Машиностроителен факултет, Технически университет-София. ISSN 1313-7530; **Адрес на редакцията:** София, бул.Климент Охридски №8, Технически Университет-София, бл.4, Машиностроителен факултет; **Електронна версия:** [bjed.tu-sofia.bg](http://bjed.tu-sofia.bg).

Списание то се индексира в Index Copernicus: [www.indexcopernicus.com](http://www.indexcopernicus.com)

# Bulgarian journal for **Engineering Design**

**issue №23, July 2014**

## 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

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

### Editor

**R.Mitrev**, TU-Sofia, Bulgaria

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

The journal is indexed in Index Copernicus: [www.indexcopernicus.com](http://www.indexcopernicus.com)

## СЪДЪРЖАНИЕ

<b>Самоцентриране на еластично окачени високоскоростни ротори в честотните диапазони над основните резонанси.....</b>	<b>5</b>
В.Живков, Я.Стоянова	
<b>The four sides of the modeling and simulation – implementation of contemporary web technologies .....</b>	<b>15</b>
В.Tudjarov	
<b>Кинематичен анализ на сдвоен съединител на Хук.....</b>	<b>23</b>
С.Гарабитов, В.Иванов	
<b>Применение метода аналитического описания кусочно-аналитических зависимостей.....</b>	<b>33</b>
К.Божко, А.Сильвестров, А.Скрынник	
<b>Стенд за изследване на обемни дозатори.....</b>	<b>41</b>
В.Иванов	
<b>Исследование электромагнитных процессов в двенадцатипульсном преобразователе с двухзонным регулированием выходного напряжения.....</b>	<b>47</b>
В.Михайленко, А.Котельникова, А.Щелконогов, Я.Вологин	
<b>Относно анализа на пътно-транспортни произшествия и решаването на обратни и неко-ректни задачи.....</b>	<b>53</b>
В.Пенчев	
<b>Определяне на сили и напрежения при при ВИГ заваряване на тънки плочи от стомана 316L.....</b>	<b>59</b>
И.Мухтаров	
<b>Динамично моделиране на системата вътрешен конус-корпус на конусна инерционна трошачка тип КИД-300.....</b>	<b>65</b>
П.Недялков, С.Савов	
<b>Операции над евристични задачи, методи, идеи и технически обекти.....</b>	<b>71</b>
М.Лепаров	
<b>Времеви анализ на операция.....</b>	<b>85</b>
С.Спасов, Л.Димитров, Т.Нешков	
<b>Експериментално изследване на динамичното поведение на автомобилна джанта със свободно търкалящи се сачми в тороидален канал.....</b>	<b>99</b>
Я.Софронов, К.Стоичков, С.Кънчев, Ц.Любенов	
<b>Компютърно моделиране антропоморфного шагающего аппарата с сенсорной опорой..</b>	<b>103</b>
М.Ткач, Д.Гуменный	

---

<b>Распределенная информационная среда роботизированного производства с динамическим связыванием компонентов на основе интерпретации метамоделей</b> .....	111
О.Лисовиченко, Ю.Тимошин, М.Ткач, Т.Шемсединов	
<b>Изчисляване на заварени приспособления за транспорт и манипулиране на голямогабаритни индустриални турбини</b> .....	121
И.Мухтаров, И.Игнатов, М.Ангелов	
<b>Нейросетевая технология обучения системы поддержки принятия решения для электронных аппаратов</b> .....	125
В.Смолий	
<b>Разработване на библиотеки със стандартизирани графични символи за AutoCad, които се използват в учебния процес по дисциплината „Основи на инженерното проектиране“</b> .....	139
Г.Станчев	
<b>Разработване на библиотеки със стандартизирани графични символи за CadStar, които се използват в учебния процес по дисциплината „Основи на инженерното проектиране“</b> .....	143
Г.Станчев	

---

## САМОЦЕНТРИРАНЕ НА ЕЛАСТИЧНО ОКАЧЕНИ ВИСОКОСКОРОСТНИ РОТОРИ В ЧЕСТОТНИТЕ ДИАПАЗОНИ НАД ОСНОВНИТЕ РЕЗОНАНСИ

Венелин ЖИВКОВ<sup>1</sup> Яна СТОЯНОВА<sup>2</sup>

<sup>1</sup>катедра „Теория на механизмите и машините”, Технически университет - София, България  
e-mail: [jivkov@tu-sofia.bg](mailto:jivkov@tu-sofia.bg)

<sup>2</sup>катедра „Теория на механизмите и машините”, Технически университет - София, България  
e-mail: [yast@tu-sofia.bg](mailto:yast@tu-sofia.bg)

**Резюме:** Изследвани са възможностите за стабилизация и самоцентриране на едностранно еластично окачен ротор, чийто масов център се намира под еластичния такъв, при вертикален монтаж и скорости на въртене, надвишаващи резонансните, дори при наличие на минимален динамичен дебаланс. Възприети са хомогенно линейно еласто-дисипативно поле в единствения лагерен възел и малки премествания по петте обобщени координати. Построено е асимптотично решение на системата и са намерени амплитудно-честотните характеристики на параметрите на системата.

**Ключови думи:** стабилизация и самоцентриране, едностранно еластично окачен ротор, хомогенно линейно еласто-дисипативно поле, асимптотично решение.

### 1. ПОСТАНОВКА НА ЗАДАЧАТА И ДИНАМИЧЕН МОДЕЛ

Целта на настоящото изследване е установяване на възможностите за стабилизация и самоцентриране на едностранно еластично окачен ротор, чийто масов център се намира под еластичния такъв при вертикален монтаж и скорости на въртене надвишаващи резонансните, дори при наличие на минимален динамичен дебаланс. Възприето е хомогенно линейно еласто-дисипативно поле в единствения лагерен възел и малки премествания по петте обобщени координати, т.е. с изключение на основното въртене на ротора -  $\omega$ .

На фиг.1 е показан динамичният модел на разглежданата механична система. Инерциалната координатна система е  $S123$ , а тази свързана с ротора, съответно е  $\bar{S}\bar{1}\bar{2}\bar{3}$ , където  $S$  е масовият му център.

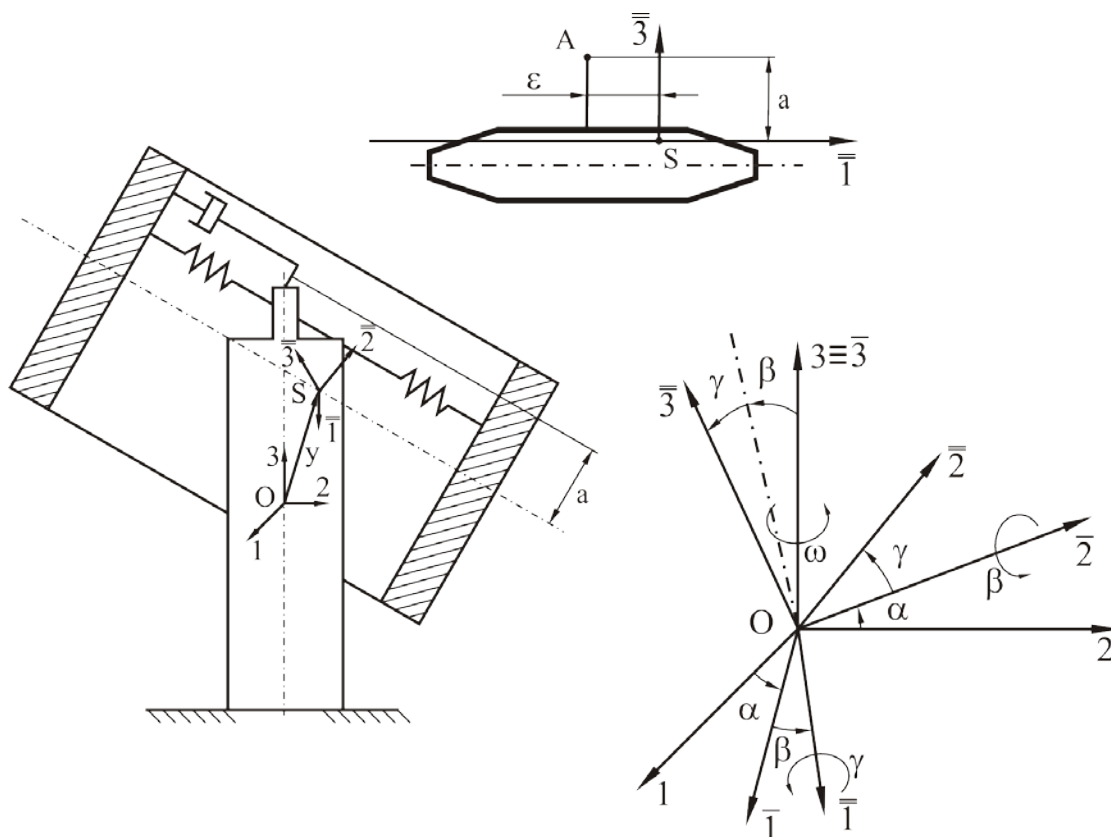
Практически, системата е със шест степени на свобода – три трансляции на ротора и три завъртания. На същата фигура са изобразени отстоянията на масовия център до геометричния център на ротора, както и до равнината на еласто-дисипативното поле.

Масовите и геометрични характеристики на разглежданата система така са подбрани, че основните резонанси да са значително под работните скорости на ротора, използван като кинетичен акумулатор.

### 2. УРАВНЕНИЯ ЗА ДВИЖЕНИЕ, НОМЕНКЛАТУРА И ПАРАМЕТРИ НА СИСТЕМАТА

Диференциалните уравнения описващи движението на автономната система (с неограничена мощност) са [3]:

$$\begin{cases} A_1\ddot{\psi} + C_1\omega\dot{\chi} + c_2a\dot{y}_2 - \beta_2a\dot{y}_2 + c_2a^2\psi + \beta_2a^2\dot{\psi} = -\varepsilon c_2a \sin \omega t - \varepsilon\omega\beta_2a \cos \omega t - \varepsilon\omega^2 (D_1 \cos \omega t + E_1 \sin \omega t) \\ A_1\ddot{\chi} - C_1\omega\dot{\psi} + c_2a\dot{y}_1 + \beta_2a\dot{y}_1 + c_2a^2\chi + \beta_2a^2\dot{\chi} = \varepsilon c_2a \cos \omega t - \varepsilon\omega\beta_2a \sin \omega t - \varepsilon\omega^2 (D_1 \sin \omega t - E_1 \cos \omega t) \\ m_1\ddot{y}_1 + c_2\dot{y}_1 + \beta_2\dot{y}_1 - c_2a\dot{\chi} - \beta_2a\dot{\chi} + 2m\omega\dot{y}_2 = -\varepsilon c_2 \cos \omega t + \varepsilon\omega\beta_2 \sin \omega t + \varepsilon\omega^2 \cos \omega t \\ m_1\ddot{y}_2 + c_2\dot{y}_2 + \beta_2\dot{y}_2 - c_2a\dot{\psi} - \beta_2a\dot{\psi} - 2m\omega\dot{y}_1 = -\varepsilon c_2 \sin \omega t + \varepsilon\omega\beta_2 \cos \omega t \end{cases} \quad (1)$$



Фиг.1 Динамичен модел на системата, еластични връзки, координатни системи

и началните условия

$$\psi(0) = \psi_0 + \varepsilon\psi_1, \dot{\psi}(0) = \dot{\psi}_0 + \varepsilon\dot{\psi}_1,$$

$$\chi(0) = \chi_0 + \varepsilon\chi_1, \dot{\chi}(0) = \dot{\chi}_0 + \varepsilon\dot{\chi}_1,$$

$$y_1(0) = y_{10} + \varepsilon y_{11}, \dot{y}_1(0) = \dot{y}_{10} + \varepsilon \dot{y}_{11},$$

$$y_2(0) = y_{20} + \varepsilon y_{21}, \dot{y}_2(0) = \dot{y}_{20} + \varepsilon \dot{y}_{21}.$$

В системата уравнения (1) липсват две такива, едното описващо ротацията на ротора около главната му инерционна ос, и второто – трансляцията на ротора по вертикалата. Първото не е включено поради автономността, т.е. не се разглежда взаимодействието на двигателя и трептящата система, а второто е много слабо свързано с останалите координати и в дясната му част има членове, които са малки от втори и трети порядък, поради което има практически тривиално решение.

Означенията, възприети в съответствие с фиг.1 и уравнения (1), са както следва:

$y_1, y_2$  - премествания в хоризонталната равнина на масовия център на ротора  $S$  относно инерциалната координатна система 1,2,3.

$\alpha, \beta, \gamma$  - карданни ъгли;

$$\psi = \gamma \cos \alpha - \beta \sin \alpha$$

$$\chi = \gamma \sin \alpha + \beta \cos \alpha, \quad \beta = \chi \cos \alpha - \psi \sin \alpha;$$

$$\alpha = \omega t$$

$c_2$  - еластична коравина в окачването (лагерния възел) [N/m];

$\beta_2$  - коефициент на дисипация, [Ns/m];

$\varepsilon, a$  - ексцентрицитет и разстояние от масовия център на ротора  $S$  до равнината на лагерния възел [m];

$m_1$  - маса на ротора [kg];

$$J = \begin{pmatrix} A_1 & 0 & -D_1 \\ 0 & A_1 & -E_1 \\ -D_1 & -E_1 & C_1 \end{pmatrix} - \text{инерционен тензор на}$$

маховика относно инерционната координатна система,  $[\text{kg m}^2]$ ;

Пресмятания са извършени при следните стойности на физичните и геометрични параметри на разглежданата система от фиг.1:

$$c_z = 5 \cdot 10^5 [\text{N/m}]; \beta_z = 5,5 \cdot 10^2 [\text{Ns/m}];$$

$$A_1 = 0,1 [\text{kg m}^2]; C_1 = 0,35 [\text{kg m}^2];$$

$$D_1 = 5 \cdot 10^{-4} [\text{kg m}^2]; E_1 = 10^{-3} [\text{kg m}^2];$$

$$m_1 = 5 [\text{kg}]; a = 0,06 [\text{m}]; \varepsilon = 3 \cdot 10^{-4} [\text{m}].$$

### 3. МЕТОД НА РЕШАВАНЕ

Системата диференциални уравнения (1) се записва в матричен вид както следва:

$$\dot{x} = Ax + \varepsilon f_1 \sin \omega t + \varepsilon f_2 \cos \omega t, \quad (3)$$

където

$$A = \begin{pmatrix} 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ -\frac{c_z a^2}{A_1} & -\frac{\beta_z a^2}{A_1} & 0 & -\frac{\omega C_1}{A_1} & 0 & 0 & -\frac{c_z a}{A_1} & \frac{\beta_z a}{A_1} \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \frac{\omega C_1}{A_1} & -\frac{c_z a^2}{A_1} & -\frac{\beta_z a^2}{A_1} & -\frac{c_z a}{A_1} & -\frac{\beta_z a}{A_1} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & \frac{c_z a}{m_1} & \frac{\beta_z a}{m_1} & -\frac{c_z}{m_1} & -\frac{\beta_z}{m_1} & 0 & -2\omega \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \\ \frac{c_z a}{m_1} & \frac{\beta_z a}{m_1} & 0 & 0 & 0 & 2\omega & -\frac{c_z}{m_1} & -\frac{\beta_z}{m_1} \end{pmatrix}, f_1 = \begin{pmatrix} 0 \\ -\frac{c_z a}{A_1} \\ 0 \\ -\frac{\beta_z a \omega}{A_1} \\ 0 \\ \frac{\beta_z \omega}{m_1} \\ 0 \\ -\frac{c_z}{m_1} \end{pmatrix}, f_2 = \begin{pmatrix} 0 \\ -\frac{\beta_z a \omega}{A_1} \\ 0 \\ \frac{c_z a}{A_1} \\ 0 \\ \frac{\omega^2 - c_z}{m_1} \\ 0 \\ \frac{\beta_z \omega}{m_1} \end{pmatrix},$$

се формират от коефициентите на уравненията (1),

$$x(t) = (\psi(t) \dot{\psi}(t) \chi(t) \dot{\chi}(t) y_1(t) \dot{y}_1(t) y_2(t) \dot{y}_2(t))^T.$$

Началните условия (2) се записват във векторен вид както следва:

$$x(0) = x_0^0 + \varepsilon x_1^0. \quad (4)$$

За решаването на системата, както и за определяне на амлитудно-честотните характеристики и фазово-честотните характеристики, се прилага методът на малкия параметър. Решението се търси във вида

$$x(t) \equiv x(t, \varepsilon) = x_0(t) + \varepsilon x_1(t) + O(\varepsilon^2), \quad (5)$$

където

$$x_0(t) = X(t)x_0^0, \quad x_1(t) = X(t)x_1^0 + \int_0^t X(t)X^{-1}(s)((A_1(s)A + A_2(s))X(s)x_0^0 + f_1 \sin(\omega s) + f_2 \sin(\omega s))ds,$$

а  $X(t)$  е фундаментална матрица от решения на

$$\frac{dX}{dt} = AX, \quad X(0) = E_8.$$

За дефиниране на характеристиките се определя частно решение от вида

$$\bar{x}(t, \varepsilon) = \varepsilon (a(\omega) \sin(\omega t) + b(\omega) \cos(\omega t)), \quad (6)$$

където 8-мерните вектори  $a(\omega)$  и  $b(\omega)$  са решения на алгебричната система

$$\begin{pmatrix} \omega E_8 & -A \\ -A & -\omega E_8 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} a(\omega) \\ b(\omega) \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} f_2 \\ f_1 \end{pmatrix}. \text{ Характеристиките}$$

на всеки от параметрите на системата се определят от равенствата:

$$\begin{aligned} A_{x_i}(\omega) &= \sqrt{a_i^2(\omega) + b_i^2(\omega)}; \\ \varepsilon_{x_i}(\omega) &= \arctg \frac{b_i(\omega)}{a_i(\omega)}, \quad i = 1, 2, \dots, 8, \end{aligned} \quad (7)$$

където  $A_{x_i}(\omega)$  е зависимостта, дефинираща амплитудно-честотната характеристика, а  $\varepsilon_{x_i}(\omega)$  е зависимостта, определяща фазово-честотната характеристика на всеки един от параметрите на системата.

На фиг. 2 до фиг. 7 са изобразени всяка една от избраните координати:  $y_1$ ,  $y_2$ ,  $\chi$ ,  $\psi$ ,  $\beta$  и  $\gamma$  като функция на времето в различни мащаби, както и съответните им амплитудно-честотни и фазово-честотни характеристики (на всяка фигура те са означени с (б) и (в)).

На фиг. 8 са изобразени траекториите на масовия център  $S$  на ротора при  $\omega = 800 \text{ s}^{-1}$  при стационарни трептения - елипса и в преход – окръжност с изместен център.

#### 4. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Анализът на получените резултати показва, че:

- при неограничена мощност на задвижването (автономно възбуждане) както преходните, така и стационарните трептения на системата са устойчиви;

- за скорости значително надвишаващи резонансите, при системи със значителни жирокопни моменти, се забелязва самоцен-триране на системата, добре известно явление в системите с една степен на свобода, т.е. практически ротацията става около масовия център – виж например фиг. 4(б) при  $\omega$  клонящо към безкрайност  $y_1$ , респективно  $y_2$  клони към нула;

- поради наличието на динамичния дебаланс  $\varepsilon$ ,  $D_1$  и  $E_1$ , както се и очакваше, стационарната траектория на масовия център е елипса.

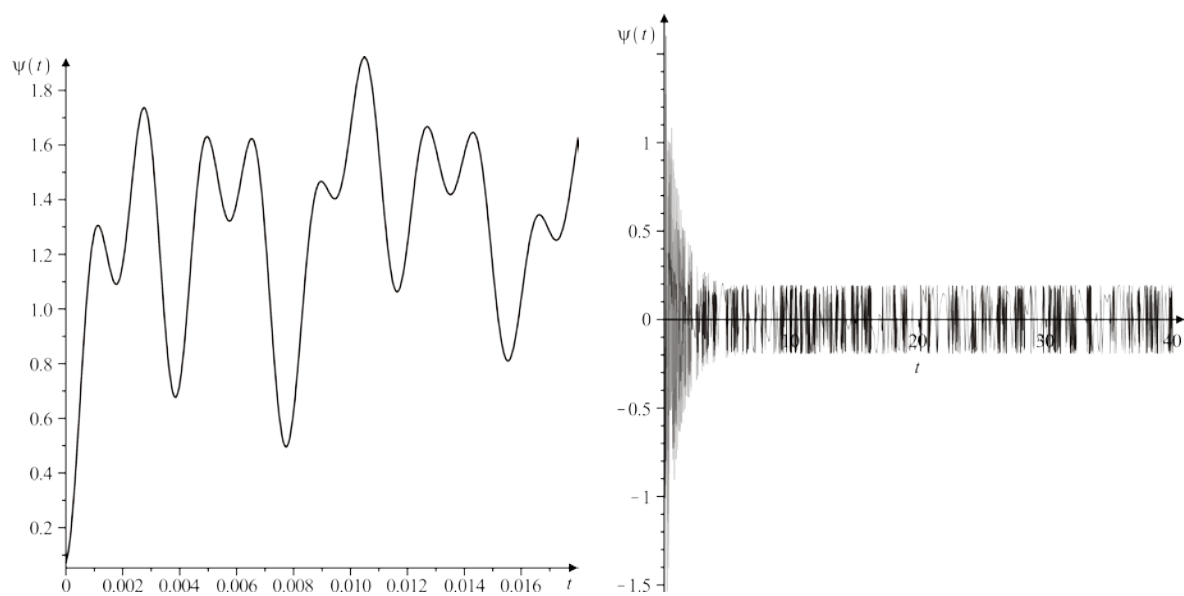
#### Благодарности

Научните изследвания, представени в настоящата публикация, са финансирани по Договор ДУНК 01/3 „УНИК за иновации и трансфер на знания в областта на микро/нано технологии и материали, енергийната ефективност и виртуалното инженерство” между НИС при ТУ-София и фонд "НАУЧНИ ИЗСЛЕДВАНИЯ", МОМН на РБ, 2009 г.

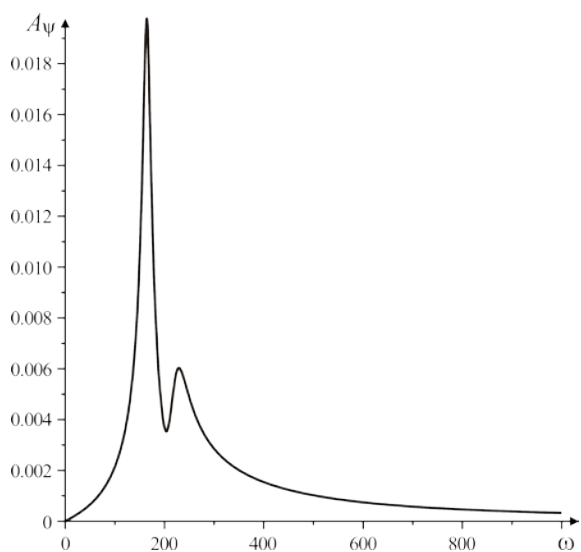
#### Литература

1. **Meirovich, L.** Elements of Vibration Analysis, McGraw-Hill Book Company, 1984.
2. **Jivkov, V.** Motion Equations of Elastic Suspended Kinetic Accumulator. *Godishnik VTUZ -- „Teoretichna Mehanika”,* Vol. 20 (1984), No. 2.
3. **Jivkov, V.** Stability of steady-state vibrations of a rotor in homogeneous elasto-viscous field, 11<sup>th</sup> National Congress on Theoretical and Applied Mechanics, 2-5 Sept. 2009, Borovets, Bulgaria, Journal of T.A. Mechanics, №1, 2010.

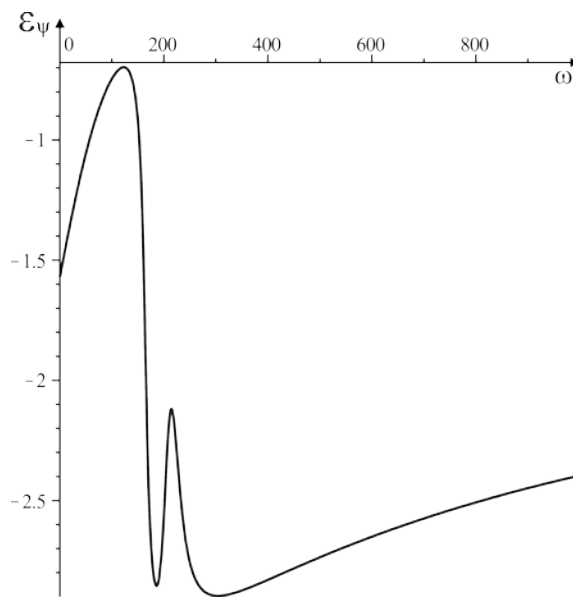




(а)

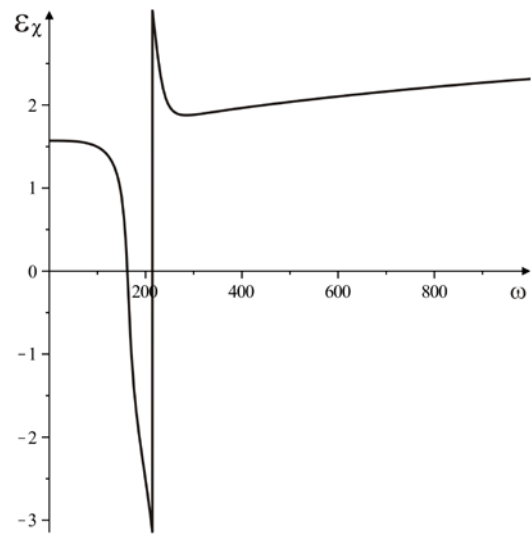
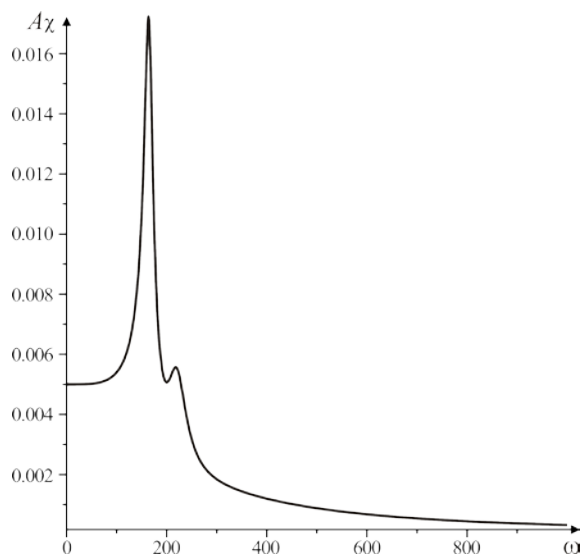
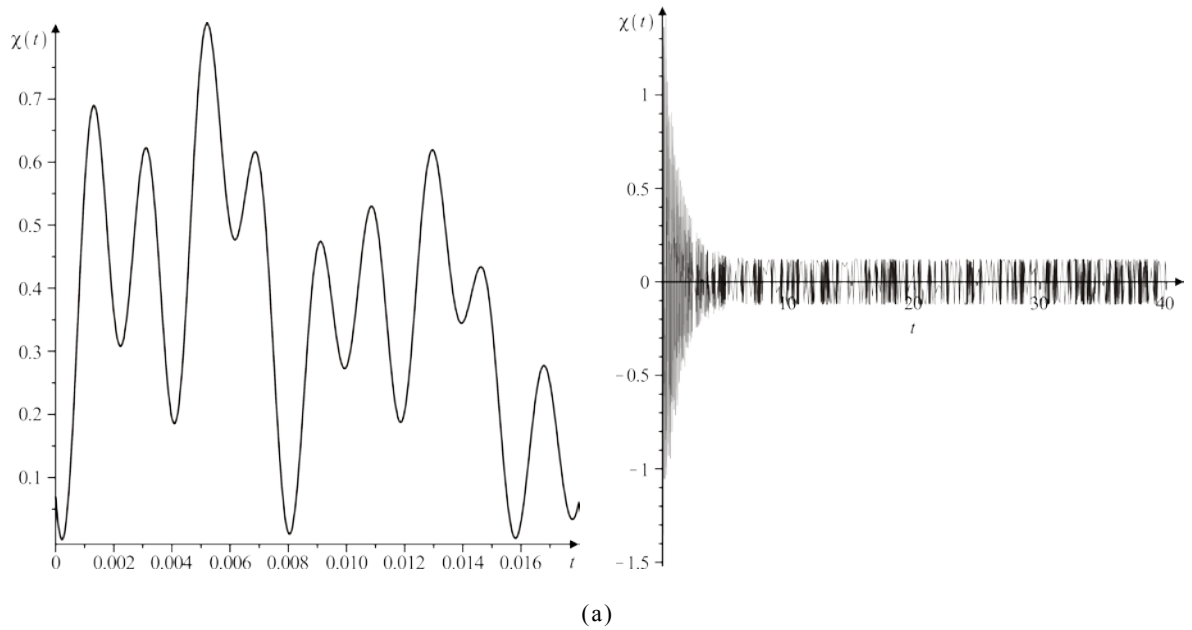


(б)

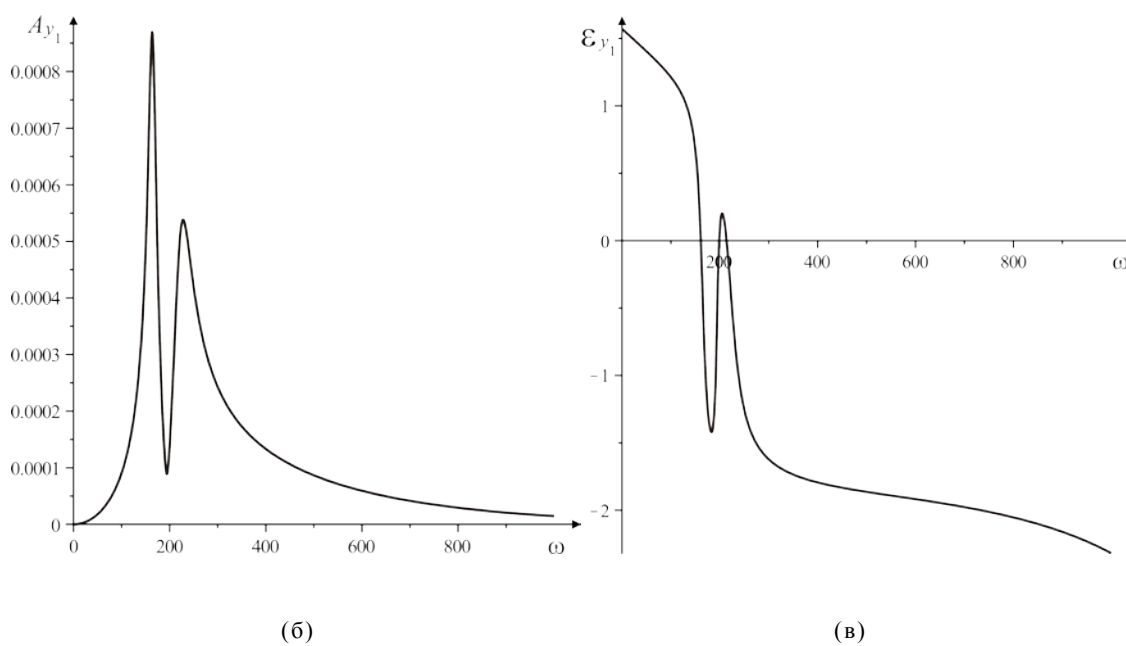
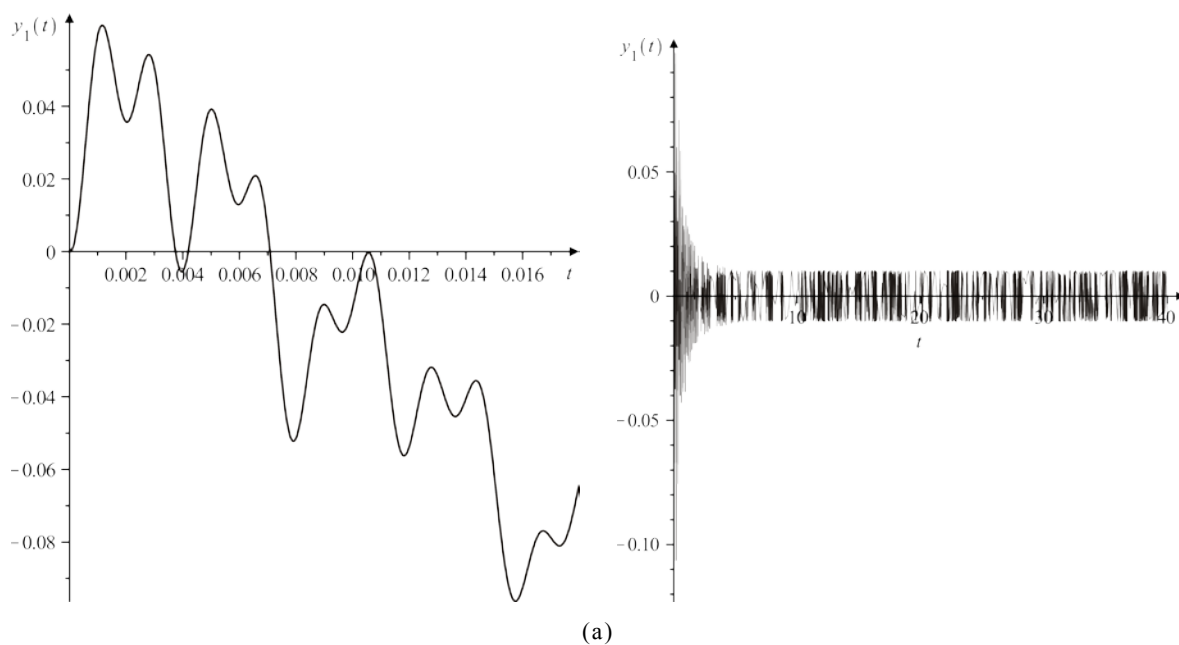


(в)

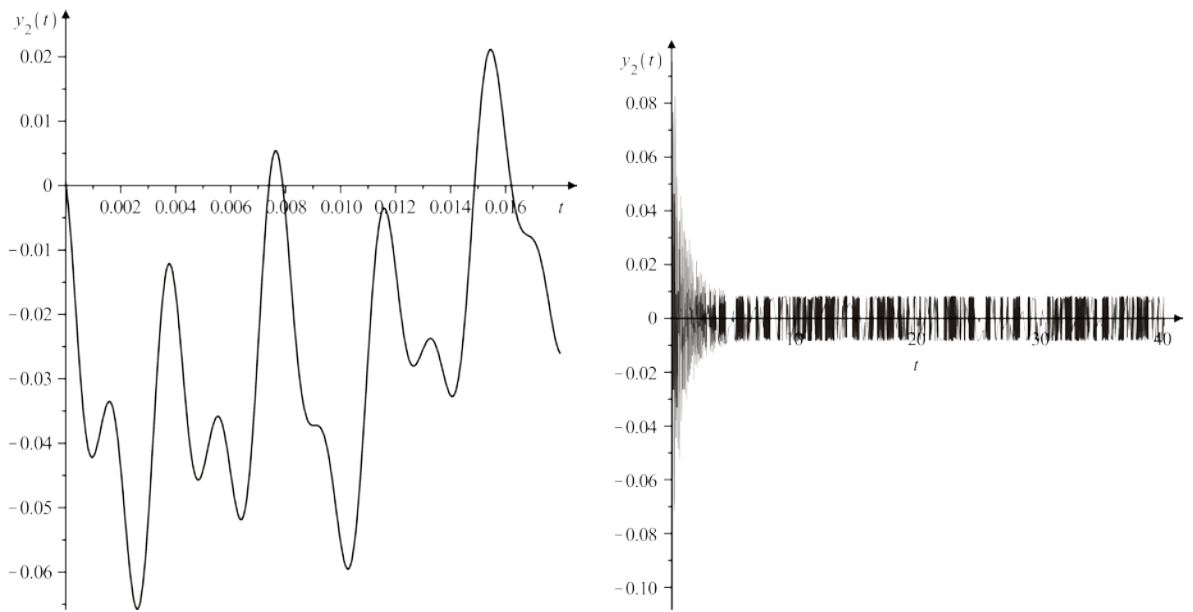
**фиг. 2** Резултати, свързани с ъгъла  $\psi$  : (а) зависимост  $\psi = \psi(t)$  при  $\omega = 800\text{s}^{-1}$  ;  
(б) амплитудно-честотна характеристика; (в) фазово-честотна характеристика



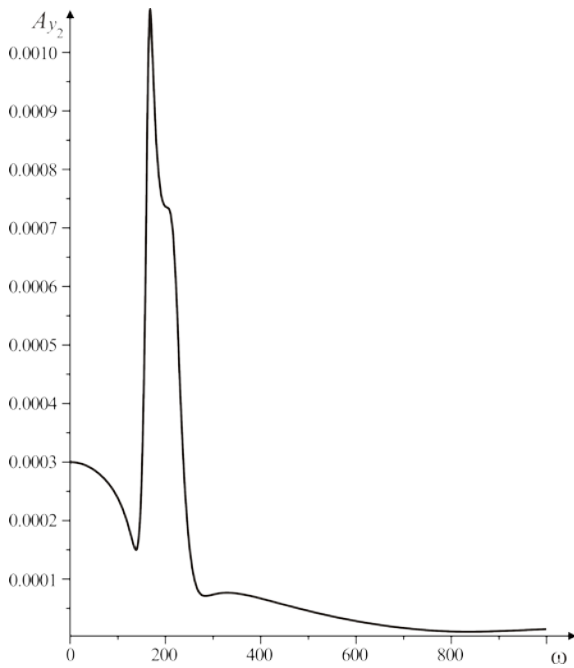
**фиг. 3** Резултати, свързани с ъгъла  $\chi$  : (а) зависимост  $\chi = \chi(t)$  при  $\omega = 800\text{s}^{-1}$  ;  
 (б) амплитудно-честотна характеристика; (в) фазово-честотна характеристика



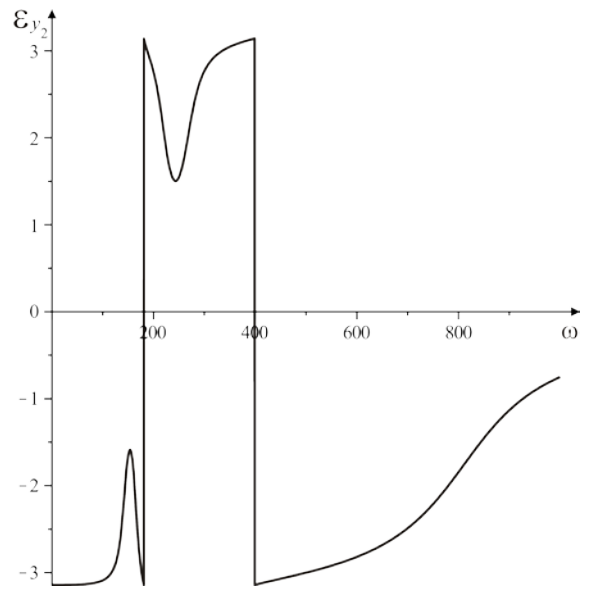
**Фиг. 4** Резултати, свързани с преместването  $y_1$ : (а) зависимост  $y_1 = y_1(t)$  при  $\omega = 800 \text{ s}^{-1}$ ; (б) амплитудно-честотна характеристика; (в) фазово-честотна характеристика



(а)

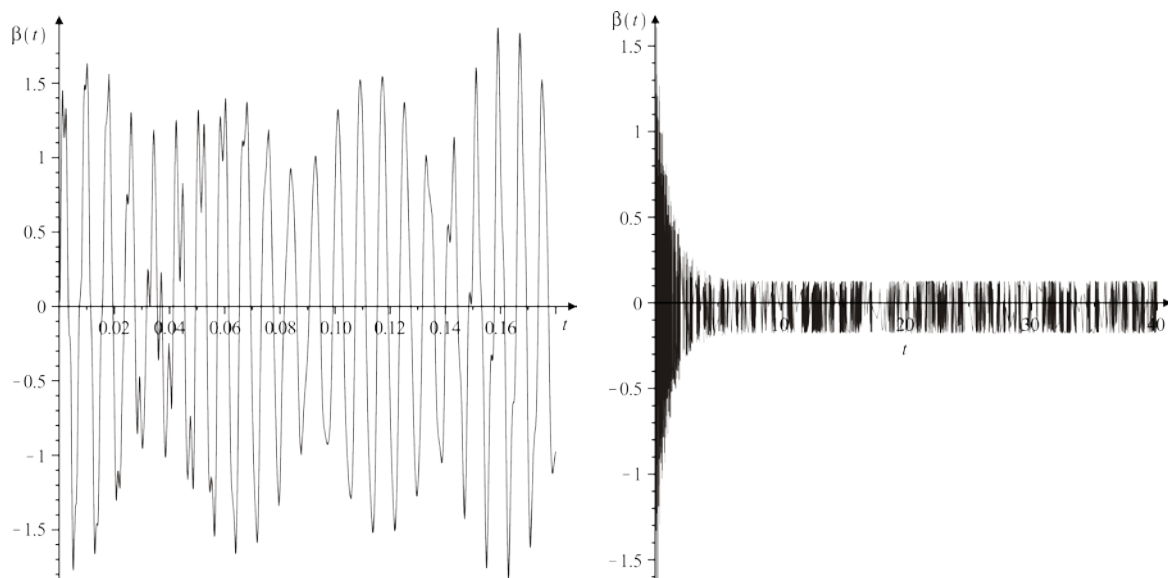


(б)

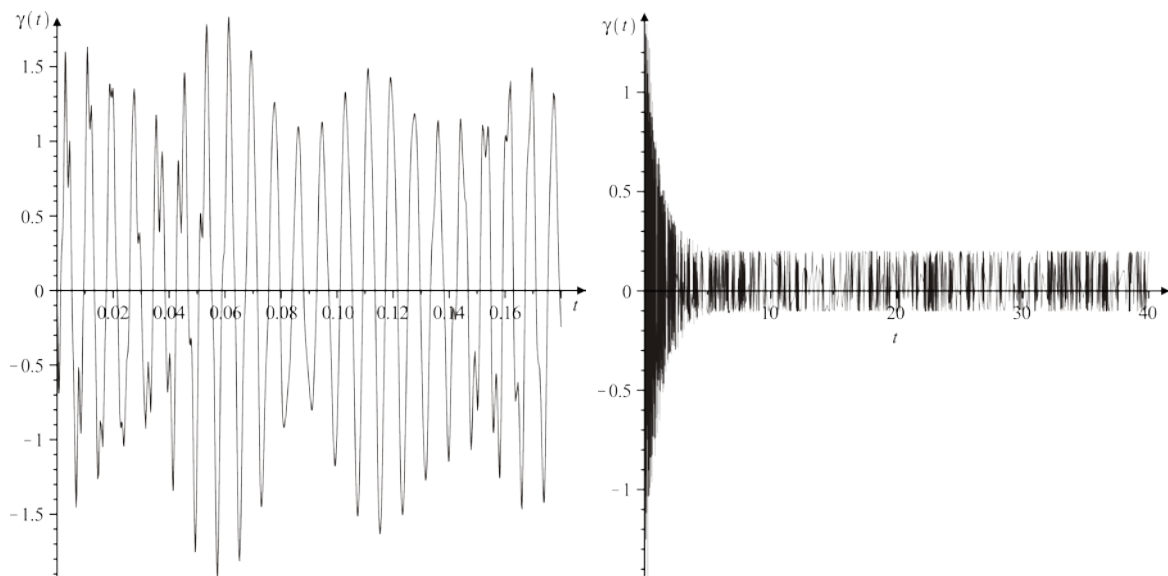


(в)

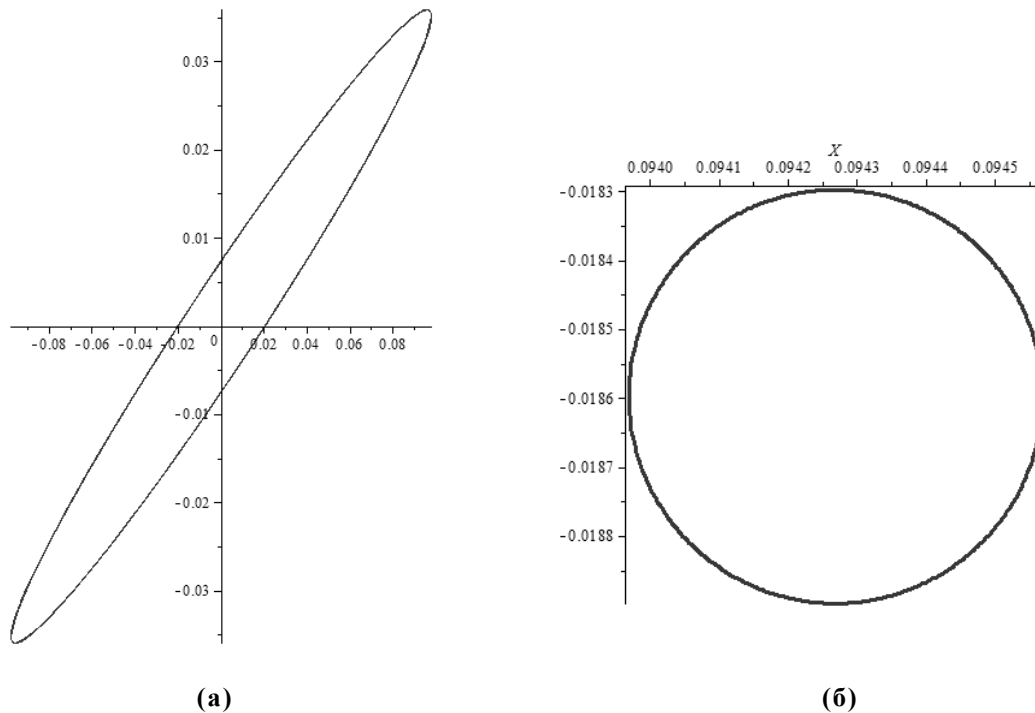
**фиг. 5** Резултати, свързани с преместването  $y_2$  : (а) зависимост  $y_2 = y_2(t)$  при  $\omega = 800\text{s}^{-1}$ ; (б) амплитудно-честотна характеристика; (в) фазово-честотна характеристика



фиг. 6 Зависимост  $\beta = \beta(t)$  при  $\omega = 800\text{s}^{-1}$ ;



фиг. 7 Зависимост  $\gamma = \gamma(t)$  при  $\omega = 800\text{s}^{-1}$ ;



Фиг. 8 Траектория на масовия център S: (а) при  $\omega = 800\text{s}^{-1}$ ; (б) в преход.

### SELF-CENTERING OF THE ELASTIC SUSPENDED HIGHSPEED ROTORS IN THE FREQUENCY RANGE ABOVE THE MAIN RESONANCES

Venelin JIVKOV<sup>1</sup> Yana STOYANOVA<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Mechanism and machine theory department, Technical University-Sofia, Bulgaria  
e-mail: [jivkov@tu-sofia.bg](mailto:jivkov@tu-sofia.bg)

<sup>2</sup>Mechanism and machine theory department, Technical University-Sofia, Bulgaria  
e-mail: [yast@tu-sofia.bg](mailto:yast@tu-sofia.bg)

**Abstract:** Opportunities for stabilization and self-centering of an unilateral resiliently suspended rotor are investigated when the rotor center of gravity is below the elastic one in vertical mounting and rotation speeds in excess resonance, even in the presence of a minimum dynamic unbalance. A homogeneous linear elasto-dissipative field in the one bearing assembly and small displacements on the five generalized coordinates are taken. An asymptotic solution of the system is constructed and amplitude-frequency responses of the system parameters are found.

**Keywords:** stabilization and self-centering, unilaterally suspended elastic rotor, homogeneous linear elasto-dissipative field, asymptotic solution.

## THE FOUR SIDES OF THE MODELING AND SIMULATION - IMPLEMENTATION OF CONTEMPORARY WEB TECHNOLOGIES

**Boris TUDJAROV**

Fundamentals and Technical Means of Design Department, Technical University of Sofia, Republic of Bulgaria  
e-mail: [bntv@tu-sofia.bg](mailto:bntv@tu-sofia.bg)

**Abstract:** Currently Internet is not used rationally in engineering practice and education. Mainly, the engineers and/or students are looking for sharing and citation of various electronic documents that include text, figures, tables and etc., without using the knowledge that they can provide for direct modeling and simulation. The results from the author's investigation on the applicability of the contemporary Web technologies for the needs of the modeling and simulations are given. Four sides of the process of modeling and simulation are defined and discussed. Experimental examples of conventional and Web-based modeling and simulation of identical example are represented and discussed. Two approaches for implementation of the X3D (eXtensible 3D) language for modeling and simulation are described, experimental applications are developed and examples are shown. The outcomes of such one Web-based modeling and simulation in the engineering practice and education (E-learning) are pointed.

**Key Words:** Modeling and simulation, Web Technologies, X3D, HTML5, CANVAS

### 1. INTRODUCTION

I've spent many hours of my life working on approaches and means (user-friendly Web-based applications) that help people solving engineering problems, including modeling and simulation. In this paper are presented some results from my investigation on the applicability of the contemporary Web technologies for the needs of the modeling and simulations.

It is obvious, that in our daily life Internet has become the most powerful tool for sharing information by the people around the world by supplying them [9, 11]:

- Faster communication (speedy communication);
- information resources (the Internet is a virtual treasure trove of information);
- entertainment (the Internet has become quite successful in trapping the multifaceted entertainment industry);
- social networking (the social networking has become so popular, that no one cannot imagine the online life without Facebook or Twitter);
- online services (by its online services the Internet has made life convenient: humans can book tickets, pay taxes, arrange travels and etc.);
- e-commerce (any type of commercial maneuvering or business deals can involve transfer of information across the globe via the Internet).

But despite the proven usefulness and importance of the Internet, here it has to be pointed that the Internet is not used rationally in engineering practice and education. By using different means (e-mails, cloud storage and etc.) the engineers and/or students exchange information and performance of concrete engineering tasks by the following ways:

- the engineers exchange through the Internet files of conventional CAD (Computer Added Design) and office systems (for example: AutoCAD, SolidWorks, MS Office and etc.);
- to overcome the restriction to work with the same system on both sides, the engineers exchange general product description model files - for example: STEP and IGES (the author has not information about available and approved full assembly description based on Web technologies – for example by eXtensible Markup Language XML[21]);
- the engineers can use the partial work solutions installed on the Internet - for example: Genetical Algorithm (GA) and calculator or Bacterial Algorithm (BA) tools [2, 4, 5].

Through Internet the engineers and/or students share and cite various electronic documents that include text, figures, tables and etc., but unfortunately, without to use the knowledge that they can provide for direct modeling and simulation. So, this paper is privy on the development of approaches and means for Web-based modeling and simulation. Two different approaches for implementation of the con-

temporary Web technologies for modeling and simulation are described, experimental applications are developed and examples are shown.

## 2. THE FOUR SIDES OF THE MODELING AND SIMULATION

The process of development of models and simulations depends on the four factors (shown on fig.1), called here “the four sides of the modeling and simulations”. It has to be paid attention to all of them when the engineer and/or student needs to develop model and simulation.

The meaning of the four sides can be explained as follow:

1) Knowledge – contains different fields knowledge, needed for the process of modeling and simulation: physics, mechanics, mathematics, programming, modeling and etc.;

2) Object - Modeling is the most important part of a simulation study and it all depends on the modelled object, its structure and behavior;

3) Goal & expectations – the purpose of the modeling and simulation is very important and it can be: fast prototyping and verification, fast algorithm development, remote monitoring, product presentation and etc.;

4) Tools – contains: different CAD systems, mathematical tools, tools for direct modeling and simulation, standards and etc.

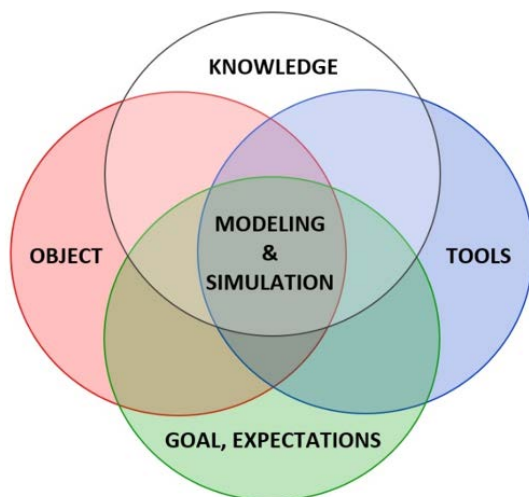


fig. 1. The four sides of the modeling and simulations

The presented work is related mainly to the 4<sup>th</sup> side – “Tools” and partly to the 3<sup>rd</sup> one – “Goal & expectations”. As “Tools” here are adopted some of contemporary Web technologies and Web based availability and usage are added to the usual “Goal & expectations”.

## 3. CONTEMPORARY WEB TECHNOLOGIES

The biggest problem here is which kind of modeling technology to use for to make easier the relations between model, calculations, visualization and simulations in Web environment.

XML (Extensible Markup Language) is a promising mean for providing the necessary structure for the Web based models and simulations. It is readily interpretable by both humans and machines, and permits multilingual documents and programming languages, facilitates multimedia representation and etc. XML define a syntax for creation of new standards and at the moment there are more than 220 XML based languages, known to the author. Such languages, related to the Web based assurance of the important relation: “calculations – model, visualization and simulation” are:

- COLLADA [10, 12] - a standard for exchanging digital assets among various graphics software applications;
- eXtensible 3D (X3D) [1, 26] - X3D is the ISO standard file format for representing 3D computer graphics, the successor to the Virtual Reality Modeling Language (VRML) [19];
- MathML[18] - a language describing mathematical notations.

There are also standards which are not XML based. For example WebGL [13] is a cross-platform, royalty-free web standard for 3D graphics, with an API based on OpenGL ES 2.0. Also, for the needs of creation of 2D graphics the engineers and/or students can use Canvas [23]. HTML5 [20] provides “canvas” element for to draw graphics, on the fly, on Web pages.

The approaches, discussed here allow simulation to be presented to the user on a Web page. There are two possibilities: the necessary calculations to be done on the client-side (in the Web browser) or on the server-side - to use the Common Gateway Interface (CGI) [16] or server-side scripting technologies [8].



Briefly, the main question, related to the work, can be defined as: How to create Web page with: fields for inputting the initial information, calculations, 2D graphics and 3D visualization?

On fig.2 are shown technologies, used by the author for the creation of the Web page for modeling and simulation.



fig. 2. Modeling and simulation Web page - technologies

#### 4. CONVENTIONAL AND WEB-BASED MODELING AND SIMULATION

##### 4.1 Bouncing ball task

For to imagine the differences between possibilities, given by the contemporary Web technologies (in our case: HTML, JavaScript [24], X3D, Vivaty [7, 25], WebGL through X3DOM [22] and Canvas) and conventional means (here: Matlab [14] and VRML), below are presented and discussed conventional and Web based modeling and simulation experiments of the easy understandable and presentable example of bouncing ball.

As a base of our experiments the model of bouncing ball in continuous time is used [15].

It can be specified how the ball falls freely under gravity by using the following second-order differential equation:

$$\ddot{h} = -g \quad (1)$$

Where  $h$  describes the position (the height) of the ball as a function of time, and  $g=9.81 \text{ m/s}^2$  is the acceleration due to gravity.

The description of the free-falling ball in terms of position (height)  $h$ , velocity  $v$  is and acceleration  $g$  is given by the following first-order differential equations:

$$\dot{h} = v \quad (2)$$

Derivative of position (height) is velocity.

$$\dot{v} = -g = -9.81 \quad (3)$$

Derivative of velocity is acceleration.

The bounce occurs after the ball hits the ground at height  $h \leq 0$ . At this point in time, the model of bounce has to be updated:  $h$  has to be reset to 0,  $v$  has to be reset by changing the direction (velocity is equivalent to the negative of its value just before the ball hit the ground) and it has  $v$  to be multiplied by the coefficient of restitution (for example 0.7) that reduces the speed just after the bounce.

It is clear, that the dynamics of a bouncing ball describes the ball when it falls down, when it hits the ground, and when it bounces up.

As it has already been described, the aim of the work is to combine the calculations, 2D graphics and 3D presentation and to realize the simulation of an example (in our case bouncing ball) by the use of conventional tools and by Web based technologies. Below is given information about the experimental applications and are pointed main moments of modeling and simulation process.

##### 4.2 Conventional modeling and simulation – Matlab and 3D VRML

Developed by MathWorks Matlab (matrix laboratory) is a widespread numerical computing environment and fourth-generation programming language. It uses VRML for creation of 3D animations and because of that author decided to build the 3D scene by a tool named “Vivaty Studio”[7, 25]. This tool can export 3D scenes in both formats used in the paper (VRML and X3D) and also different CAD models can be imported and their elements can be named with names given by the creator of the simulation (chosen by him, understandable for him, used by him). On this way the elements will be easily identified by their names and it will help to organize easy access to the 3D scene (for example by the calculation module). The name “dad\_ball” is used for to mark the ball element transformations in VRML and X3D files. So, by using of Vivaty Studio the 3D scene (containing 3 objects: ball, ground and blue sky

as background – see figures below) is created and exported as VRML and X3D files with names: “ball.wrl” for Matlab and “ball.x3d” for Web realization. Here, it is paid attention mainly to connection “calculations-3D visualization” and some parts of code, (given below in *italic*) of the developed experiments related to this connection, are discussed. Author thinks that this part of code is most interesting for developers of similar simulations.

The way of working with VRML scenes directly from Matlab language is as follow:

- World object has to be created by using the VRML file and following code:

```
world = vrworld('ball.wrl');
```

- The world has to be opened:

```
open(world);
```

- The virtual world can be viewed in the VRML viewer:

```
fig = view(world, '-internal');
```

```
vrdrawnow;
```

- Properties of the world are examined:

```
get(world)
```

- Finding nodes of the world:

```
nodes(world)
```

- Accessing VRML node

```
ball = vrnode(world, 'dad_ball')
```

- Viewing the fields of the node

```
fields(ball)
```

- Moving the ball node ( $x=0$ ;  $y=heights(j)$ ;  $z=0$ ), where  $heights(j)$  are the positions of the ball in every one  $j$  moment, calculated previously:

```
for j = 1:length(heights)
```

```
ball.translation = [0 heights(j) 0];
```

```
vrdrawnow;
```

```
pause(Ptime);
```

```
end
```

- For close and delete world after the end of the simulation can be used following commands:

```
close(world);
```

```
delete(world);
```

Before the code, described above, the positions ( $heights(j)$ ) of the ball have to be calculated.

2D presentation is made by the following usual used Matlab commands:

```
plot(times,heights);
```

```
xlabel('Time [Secs]');
```

```
ylabel('Height [meters]');
```

The result from this experiment (working screen) is shown on fig. 3.

On the same way engineers and/or students can create different and more complicated VRML scenes, which can be driven by Matlab code.

### 4.3 Web based modeling and simulation – Vivaty player plugin and X3DOM approaches

For the Web based experiment the scene “ball.x3d” is used. Here are briefly described the main steps of two approaches for the Web based simulation in regard to the connection “calculations-3D visualization”:

- 1) By the use of browser plugin (in this case Vivaty Player, same approach is used in [3]):

- The X3D scene has to be loaded by different JavaScript commands for different browsers (for more concrete information for this approach see Ajax3D site [6]);

- Establish a connection between the HTML host Document Object Model (DOM) [17] and the embedded X3D Scene Access Interface (SAI) - the “DOM” of X3D.

- The connection above is then used to send events from the DOM to the SAI and dynamically change the contents of the X3D scene;

- Node “the\_ball” is created by getting the node “dad\_ball” (same name is used in X3D file) by the command `getNode`:

```
the_ball=
```

```
web3Dbrowsercontext.getNode("dad_ball");
```

- Then “the\_ball” is used for to work directly with 3D scene by JavaScript commands, for example to translate the node ( $y$ -translation) can be used following command:

```
the_ball.translation.y = heights[i];
```

Same as at previous experiment the ball positions ( $heights[i]$ ) have to be calculated and after that 2D presentation (in Web variant by Canvas) is created and 3D simulation is done. The result from this experiment is shown on fig. 4 (the working screen is the same as on the experiment with WebGL and X3DOM, shown below).

- 2) By the use of WebGL through X3DOM:

X3D implementations (such as X3DOM) use WebGL (a programming interface from JavaScript to an OpenGL interface) to render interactive 3D scenes natively (without plug-in) in the Web browser.

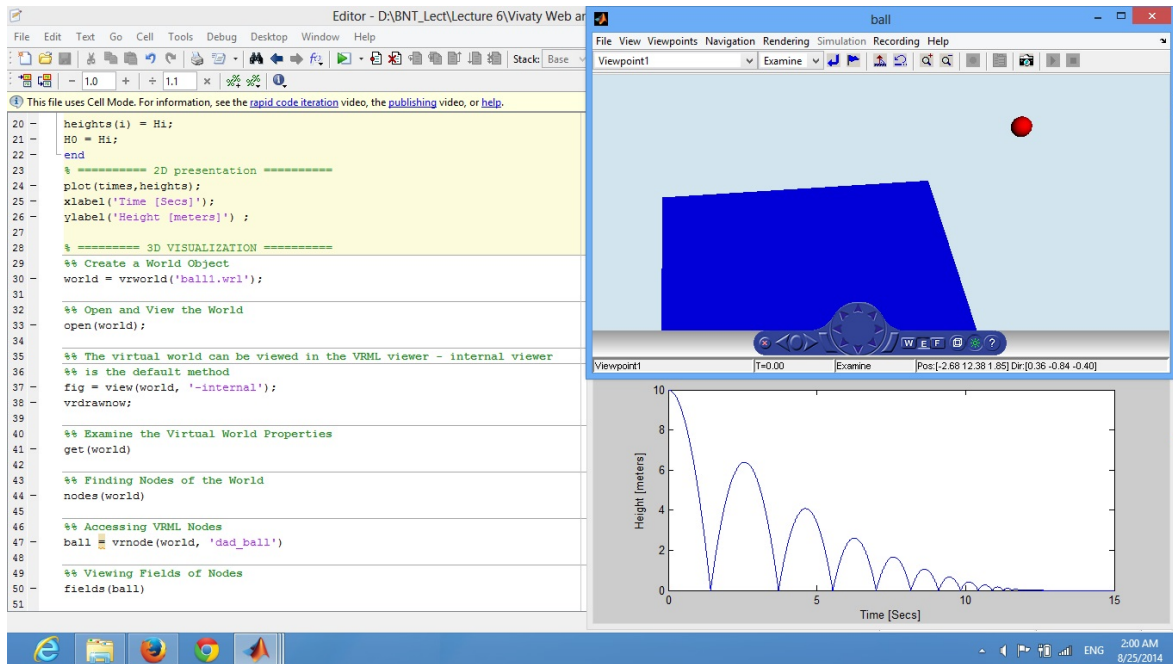


fig.3 Matlab VRML example (working screen)

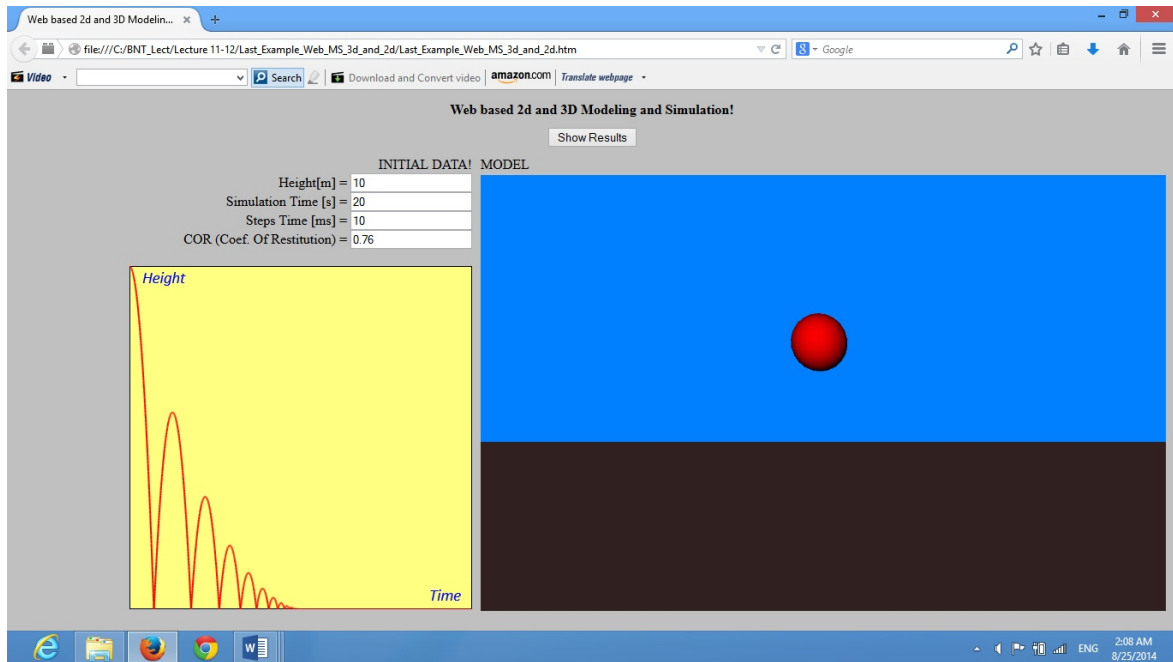


fig.4 Web based example (working screen)

For to realize the relation “calculations – 3D visualization” following steps are required:

- Within the <HEAD> section of Web page a link to X3DOM has to be included:

```
<script type="text/javascript" src="http://x3dom.org/release/x3dom-full.js"></script>
```

- The text of created by Vivaty Studio model is copied and pasted within <BODY> section:

```
<x3d width='800px' height='500px'>
model contents ...
</x3d>
```

- X3D node transform of the ball model is marked by id – “the\_ball”:

```
<Transform id='the_ball' translation='0 10 0'>
<Shape id='ball' containerField='children'>
<Appearance containerField='appearance'>
<Material id='Red' containerField='material'
ambientIntensity='.2' shininess='.2'
diffuseColor='1 0 0'/>
</Appearance>
<Sphere id='GeoSphere1'
containerField='geometry'
radius='.1'/>
</Shape>
</Transform>
```

By transform node the ball element is translated on initial position  $x=0$ ,  $y=10$ ,  $z=0$ ;

```
<Transform id='the_ball' translation='0 10 0'>
```

- JavaScript variable “ball” is created for to work directly with a model of a ball within 3D scene by getting the element by its id:

```
var ball = document.getElementById('the_ball');
```

- And now variable ball is your connection to the object ball from the scene and you can change the position and the size of it. For example, in our case, you have to translate it and translation is realized by following JavaScript command:

```
ball.setAttribute('translation', '0 '+heights[i]+' 0');
```

- The calculations of heights[i] and 2D presentations are realized by JavaScript and Canvas. The difference from the first approach is the other way of assurance of access to the Web page based 3D scene.

## 5. CONCLUSIONS

The experiments are realized by different means: HTML(initial release 1993), VRML(1994), JavaScript(1995), X3D(2004), Ajax3D(2006),

Matlab(2009b), Vivaty(2009), X3DOM(2009) and WebGL(initial release 2011). There are two viewpoints (user's and developer's viewpoint). It is clear that for the users it is preferable to use available free and everywhere Web means instead of Matlab. For the developers, experienced to use Math tools, it is easier to use Matlab features than Web programming languages, especially when it is expected for the simulation to be used complicated mathematical calculations, even more that contemporary Web means are under development. Above are presented two Web based approaches: with X3D player plugin and with X3DOM and WebGL. In the second approach there is no need to use plugins and the relation “calculations – 3D visualization” is easy programmable, so it has to be preferable for the developers. Because the same interactivity is assured and same final result is gained with both approaches, for the users it doesn't matter which Web approach is used.

As it has been already concluded the Internet is still not used rationally in the direction of solving engineering problems and helping to the engineering education by attractive and easy understandable interactive 3D presentations.

Here can be pointed following outcomes of the work (privy to the Web based modeling and simulation) in the engineering practice and E-learning:

- The interactive 3D web applications take less time to learn student complex things and makes them enjoy more during learning process;
- Learners will be supplied by an immediate feedback from the 3D web applications that will enhance their skills and abilities;
- 3D interactivity improves students' engagement and motivation: keeps learners interested and reinforces skills;
- Experiments' presentations become with realistic web visualization and flexible and safety (for example many experiments cannot be done because they are dangerous, 3D Web application can represent these dangerous experiments without the hazards and in case of mistake the experiment can be repeated without injury;
- Through Web based modeling and simulation it become easy to show to the learners not usually visible processes or relationships;
- Contemporary Web technologies can be used for the development of user-friendly engineering applications, capable to make mathematical

calculations and verification through modeling, visualization and simulation.

#### References

1. **Brutzman D., Daly L.** X3D; Extensible 3D Graphics for Web Authors, published by Morgan Kaufmann Publishers, Elsevier Inc., 2007, 471p.
2. **Penchev V., Tudjarov B.** An application of cloud programming, evolutionary optimization and analytic geometry for the needs of vehicle crash analysis, XIII International PhD Workshop, OWD 2011, 22–25 October 2011, Gliwice, Poland, pp.24-29.
3. **Tudjarov B., Bachvarov A., Boyadjiev I.** Web-based VR for Pre-Sales Service Customization, Proceedings of the 3rd Joint Conference PETO'08 and IMCM'08: Mass Customization of Services, Copenhagen, Denmark, 2008, pp.182-198
4. **Tudjarov B., Botzheim J., Kubota N.** Facilitation of Cognitive Robotics by Web based Computational Intelligent Models, 23rd 2012 International Symposium on Micro-Nano Mechatronics and Human Science, November 3-7, 2012, Nagoya, Japan, pp.144-148.
5. **Tudjarov B., Kubota N., Penchev V., Hristov V.** Web based Modeling and Calculation of Genetic Algorithms, IWACIII2011, <http://www.kti-machine.com/iwaciii2011/>, November 19 - 23, 2011, Suzhou, China.
6. <http://hypermultimedia.com/ajax3d/>. Accessed on 09.08.2012.
7. <http://mediamachines.wordpress.com/flux-player-and-flux-studio/>. Accessed on 09.08.2012.
8. <http://php.net/>. Accessed on 25.07.2013.
9. <http://www.buzzle.com/articles/advantages-disadvantages-internet.html>. Accessed on 26.08.2014.
10. <http://www.collada.org/>. Accessed on 26.08.2014.
11. <http://www.evolutionoftheweb.com>. Accessed on 25.07.2013.
12. <http://www.khronos.org/collada/>. Accessed on 25.07.2013.
13. <http://www.khronos.org/webgl/>. Accessed on 25.07.2013.
14. <http://www.mathworks.com>. Accessed on 25.08.2014.
15. <http://www.mathworks.com/help/stateflow/ug/modeling-a-bouncing-ball-in-continuous-time.html>. Accessed on 26.08.2014.
16. <http://www.w3.org/CGI/>. Accessed on 26.08.2014.
17. <http://www.w3.org/DOM/>. Accessed on 25.07.2013.
18. <http://www.w3.org/Math/>. Accessed on 25.07.2013.
19. <http://www.w3.org/MarkUp/VRML/>. Accessed on 26.08.2014.
20. <http://www.w3.org/TR/html5/>. Accessed on 26.08.2014.
21. <http://www.w3.org/XML>. Accessed on 26.08.2014.
22. <http://www.x3dom.org/>. Accessed on 26.08.2014.
23. [http://www.w3schools.com/html/html5\\_canvas.asp](http://www.w3schools.com/html/html5_canvas.asp). Accessed on 26.08.2014.
24. <http://www.w3schools.com/js/>. Accessed on 25.07.2013.
25. <http://www.web3d.org/projects/vivaty-studio>. Accessed on 26.08.2014.
26. <http://www.web3d.org/x3d/>. Accessed on 26.08.2014.



## КИНЕМАТИЧЕН АНАЛИЗ НА СДВОЕН СЪЕДИНИТЕЛ НА ХУК

Стефан ГАРАБИТОВ<sup>1</sup> Валери ИВАНОВ<sup>2</sup>

<sup>1</sup>катедра „Теория на механизмите и машините“, Технически университет - София, България  
e-mail: [stefang@tu-sofia.bg](mailto:stefang@tu-sofia.bg)

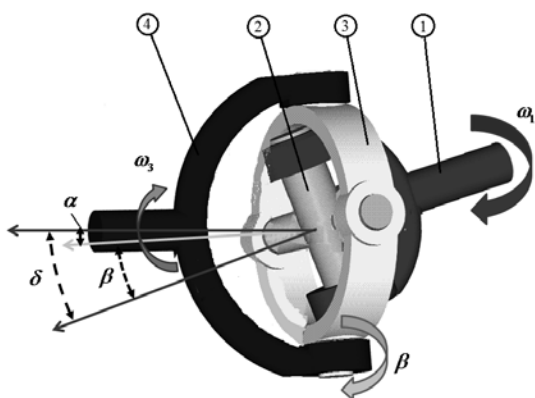
<sup>2</sup>катедра „Теория на механизмите и машините“, Технически университет - София, България  
e-mail: [valio23@yahoo.com](mailto:valio23@yahoo.com)

**Резюме:** Шарнира на Хук или известен също като Карданов съединител е компенсиращ съединител позволяващ свързването на два вала с наличие на ъглово изместване. Конструкцията е проста и надеждна, но има ред недостатъци, които са добре известни и анализирани. В статията се прави едно предложение за подобряване на качествените показатели на механизма и по специално на най големия недостатък на съединителя на Хук - неравномерността на изходящите обороти при постоянни входящи обороти и при наличие на ъглово отместване на входящия и изходящия вал. Предлаганата конструкция, на базата на два съединителя свързани последователно и удачно управление на допълнителната степен на свобода подобрява значително този показател при запазване на останалите преимущества на съединителя.

**Ключови думи:** съединител, Кардан, Хук, неравномерност

### 1. ПОСТАНОВКА НА ЗАДАЧАТА

Най големия недостатък на съединителя на Хук е неравномерността на изходящите обороти при постоянни входящи обороти при наличие на ъглово отместване на входящия и изходящия вал. Предлаганата конструкция, на базата на два съединителя свързани последователно. Тази конструкция внася една допълнителна степен на свобода в целия механизъм. Удачното управление на допълнителната степен на свобода може да подобри значително този показател. [1,2,3,4,5].



фиг.1 Общ вид на CAD модела на шарнира

### 2. ИЗГРАЖДАНЕ НА МОДЕЛ

Към водещия вал 1 е закрепено звено 2 като връзката между тях е въртяща и е перпендикулярна на въртящата връзка на водещия вал. Звеното 3 е свързано с звеното 2 също с въртяща връзка, която е перпендикулярна на предходната но по другата ос. Звеното 3 е свързано и с изходящия вал 4 също с въртяща връзка, перпендикулярна на предходната. Образува се сферичен механизъм при който всички звена се движат по сфери, които са концентрични една спрямо друга. Образно казано това са два съединителя на Хук един след друг с общо междинно звено.

Механизмът има две степени на свобода тъй като има повтарящи се ограничения. Едната от тях се консумира от водещото движение – ротацията на водещия вал, втората е възможността за въртене на звено 3 около изходящия вал – ъгъл  $\beta$ . Промяната на положението на това звено довежда да промяна на предавателното отношение на целия механизъм. Идеята е с промяната на положението на звеното 3 да се регулира неравномерността на предавателното отношение между входящия вал и изходящия вал.

Предавателните отношения в аналитичен вид за шарнира на Хук са известни [1,2,3]. Чрез двукратно прилагане се получават предавателните отношения на въпросния механизъм. Проблем представлява единствено определянето на ъгъла на завъртане на звено 2, който е необходим за окончателното предавателно отношение. Този

ъгъл е получен чрез диференциране на израза за ъгловата скорост. Посочените формули са преобразовани за да отразяват същността на разглеж-

дания проблем. По надолу са показани само тези, които имат пряко отношение към настоящата работа.

$$tg(\varphi_3) = tg(\varphi_1)\cos(\beta) \quad (1)$$

$$\varphi_3 = Arctg(tg(\varphi_1)\cos(\beta)) \quad (2)$$

$$\omega_2 = \omega_1 + \frac{\cos(\beta)\sin\left(\frac{\beta}{2}\right)\sin(\varphi_1)\omega_1}{1 - [\sin(\beta)]^2 [\sin(\varphi_1)]^2} \quad (3)$$

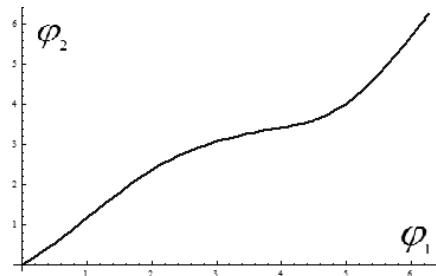
$$\varphi_2 = \varphi_1 + \frac{\cos(\beta)\sin\left(\frac{\beta}{2}\right)\sin(\varphi_1)\varphi_1}{1 - [\sin(\beta)]^2 [\sin(\varphi_1)]^2} \quad (4)$$

$$\omega_4 = \frac{\omega_2 \cos(\alpha)}{1 - [\sin(\alpha)]^2 [\sin(\varphi_2)]^2} \quad (5)$$

$$\omega_4 = \frac{\cos(\beta - \delta) \left( \omega_1 + \frac{\cos(\beta)\sin\left(\frac{\beta}{2}\right)\sin(\varphi_1)\omega_1}{1 - \sin^2(\beta)\sin^2(\varphi_1)} \right)}{1 - \sin^2(\beta - \delta)\sin^2 \left( \varphi_1 + \frac{\cos(\beta)\sin\left(\frac{\beta}{2}\right)\sin(\varphi_1)\varphi_1}{1 - \sin^2(\beta)\sin^2(\varphi_1)} \right)} \quad (6)$$

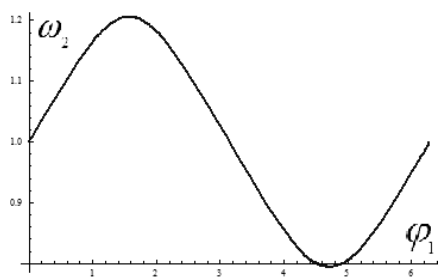
### 3. РЕЗУЛТАТИ ОТ ЧИСЛЕНОТО МОДЕЛИРАНЕ

Първата част от съединителя, която по същество е обикновен съединител на Хук, преобразува движението до вида известен от теорията. Формата на графиката на зависимостта на  $\varphi_2$  от  $\varphi_1$  при ъгъл на наклона  $\beta=30^\circ$  е показана на фиг.2, а тази на  $\omega_2$  от  $\varphi_1$  на фиг.3. Втората част на механизма, преобразува движението до това посочено на фиг.4 и формули(1,2,3,4,5).

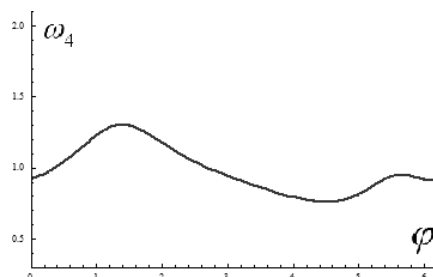


Фиг.2 Зависимост на ъгъла  $\varphi_2$  от  $\varphi_1$

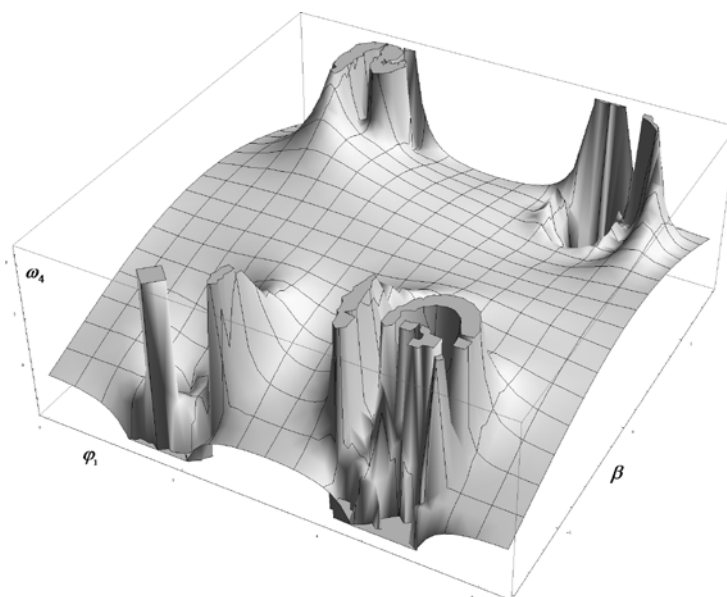




фиг.3 Зависимост на ъгловата скорост  $\omega_2$  от  $\varphi_1$



фиг.4 Зависимост на ъгловата скорост  $\omega_4$  от  $\varphi_1$



фиг.5 Зависимост на ъгловата скорост  $\omega_4$  от  $\varphi_1$  и от  $\beta$  при  $\delta=45^\circ$

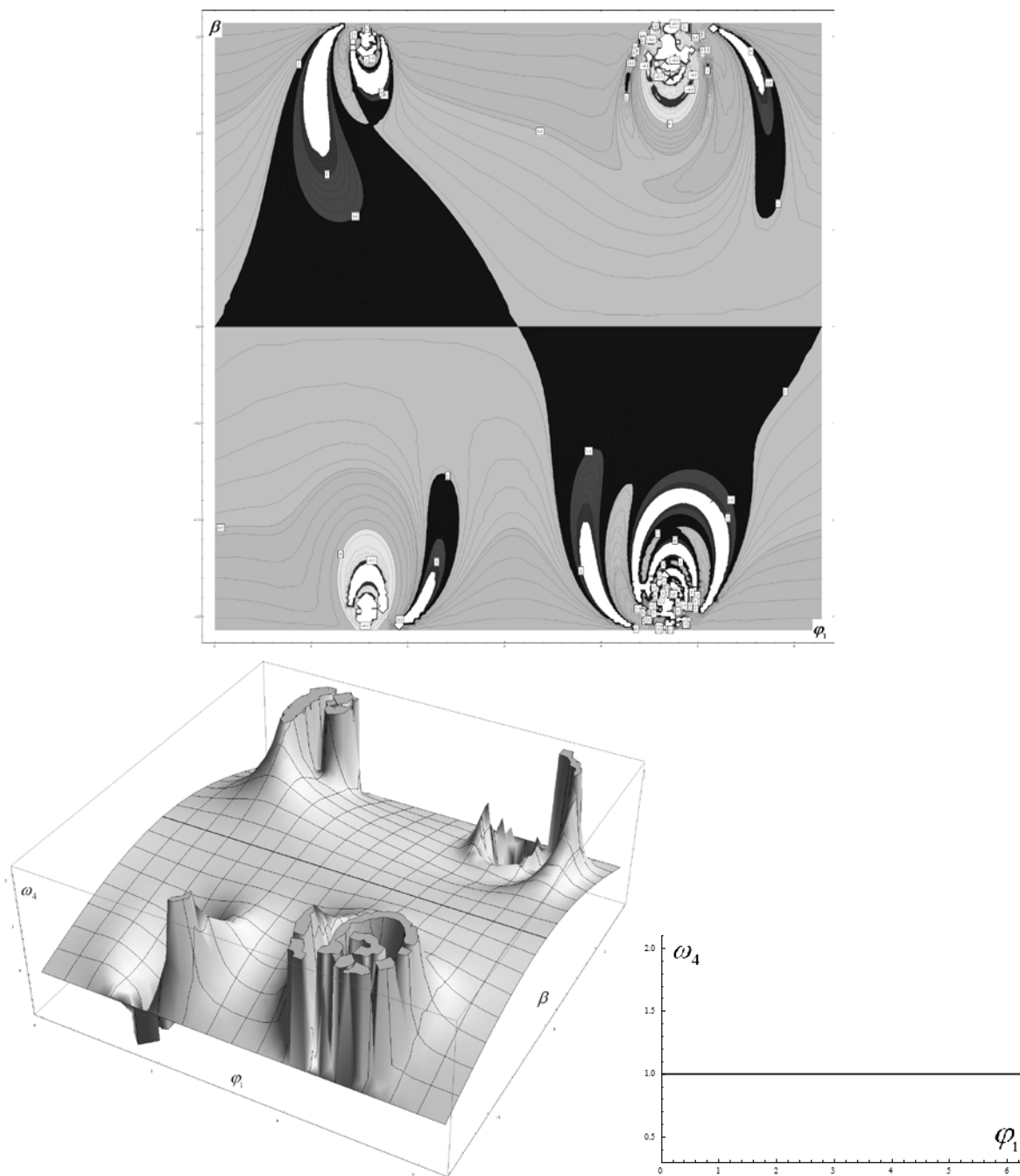
При наличието на втората степен на свобода т.е. ъгъла на завъртане  $\beta$  графиката на ъгловата скорост  $\omega_4$  от  $\varphi_1$  и зависимостта на  $\omega_4$  от  $\beta$  при  $\delta=45^\circ$  е показана на фиг. 5. Графиката е пространствена поради двете степени на свобода и формулата отразяваща зависимостта е (6).

При промяна на ъгъла  $\delta$  формата на зависимостта се променя, но се запазва характера на неравномерността. Интересна е графиката при стойност на  $\delta=0^\circ$ , показана на фиг. 6. При стойност на  $\beta=0^\circ$  стойността на  $\omega_4$  е константна и равна на 1. Т.е. при липса на ъглово отклонение предавателното отношение е равно на 1. Няколко случая при други стойности на  $\delta$  в плътностна 3D

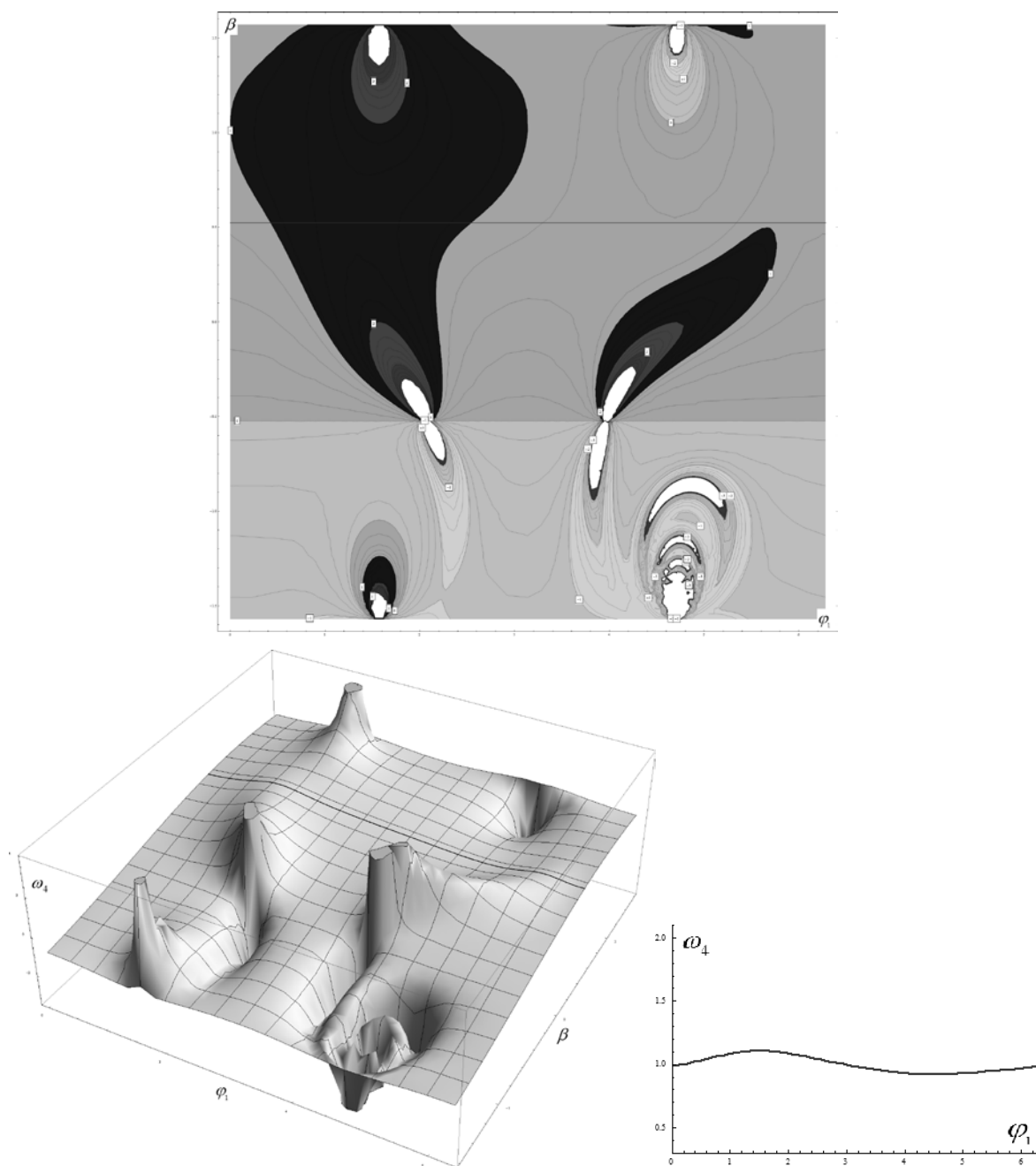
графика са показани на фиг.7, фиг. 8, фиг.9 и фиг.10.

Ако искаме чрез изменението на ъгъла  $\beta$  в процеса на движение да коригираме неравномерността на ъгловата скорост, то следва да изберем подходящ закон за изменение на ъгъла или пък подходяща стойност в рамките на случая. Трябва да се осигури движение на ъгловата скорост по траектория с най малки отклонения. Ако се гледа на 3D графиката като на планина, то пътеката трябва да бъде с най малка сумарна денivelация. При различните случаи на наклон  $\delta$  се оказва (само визуално - засега не е доказано), че при стойност на  $\beta=(\delta/2)^\circ$  неравномерността е най

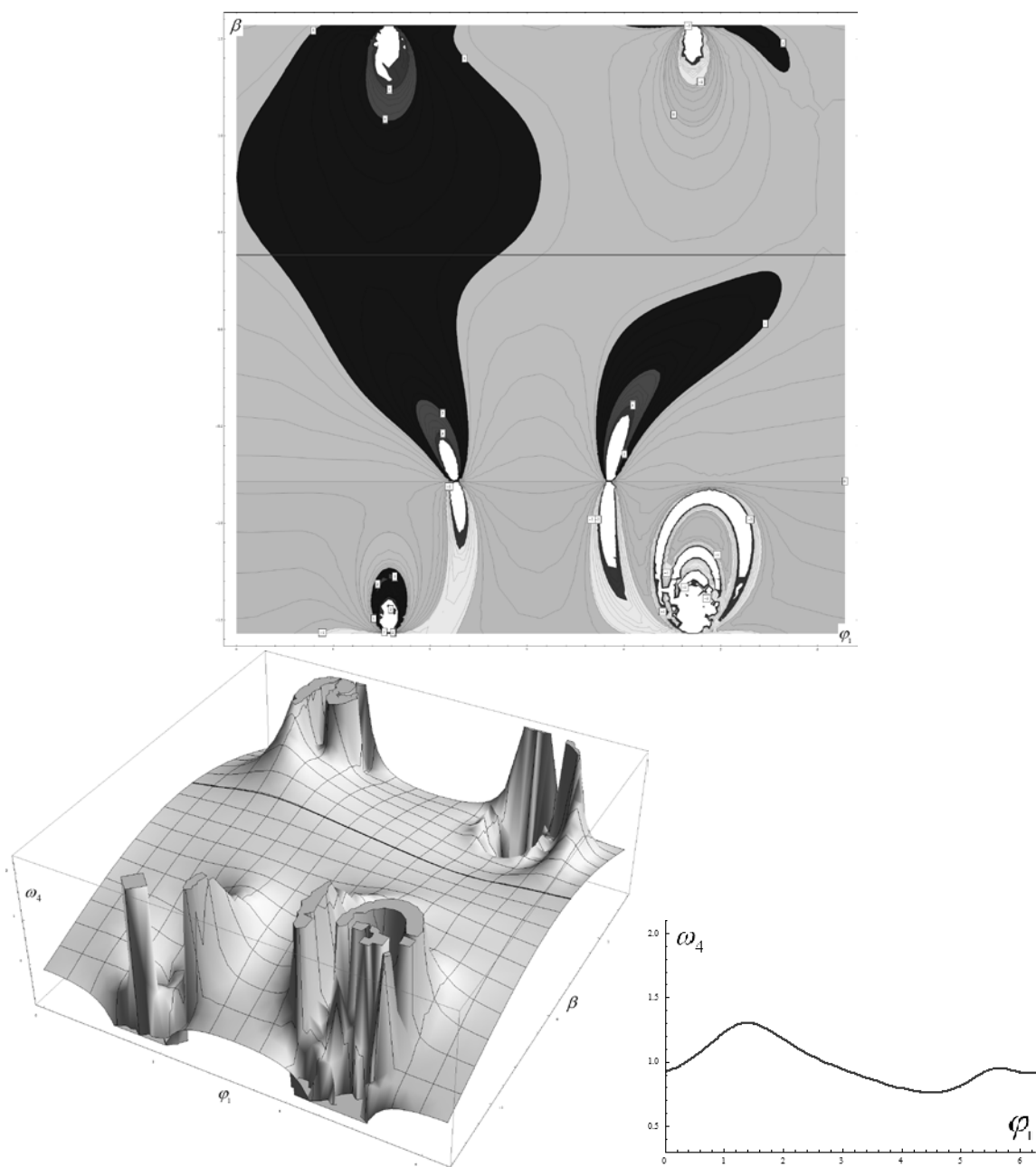
малка. Тези предложени стойности са отразени на фигурите с по плътна линия.



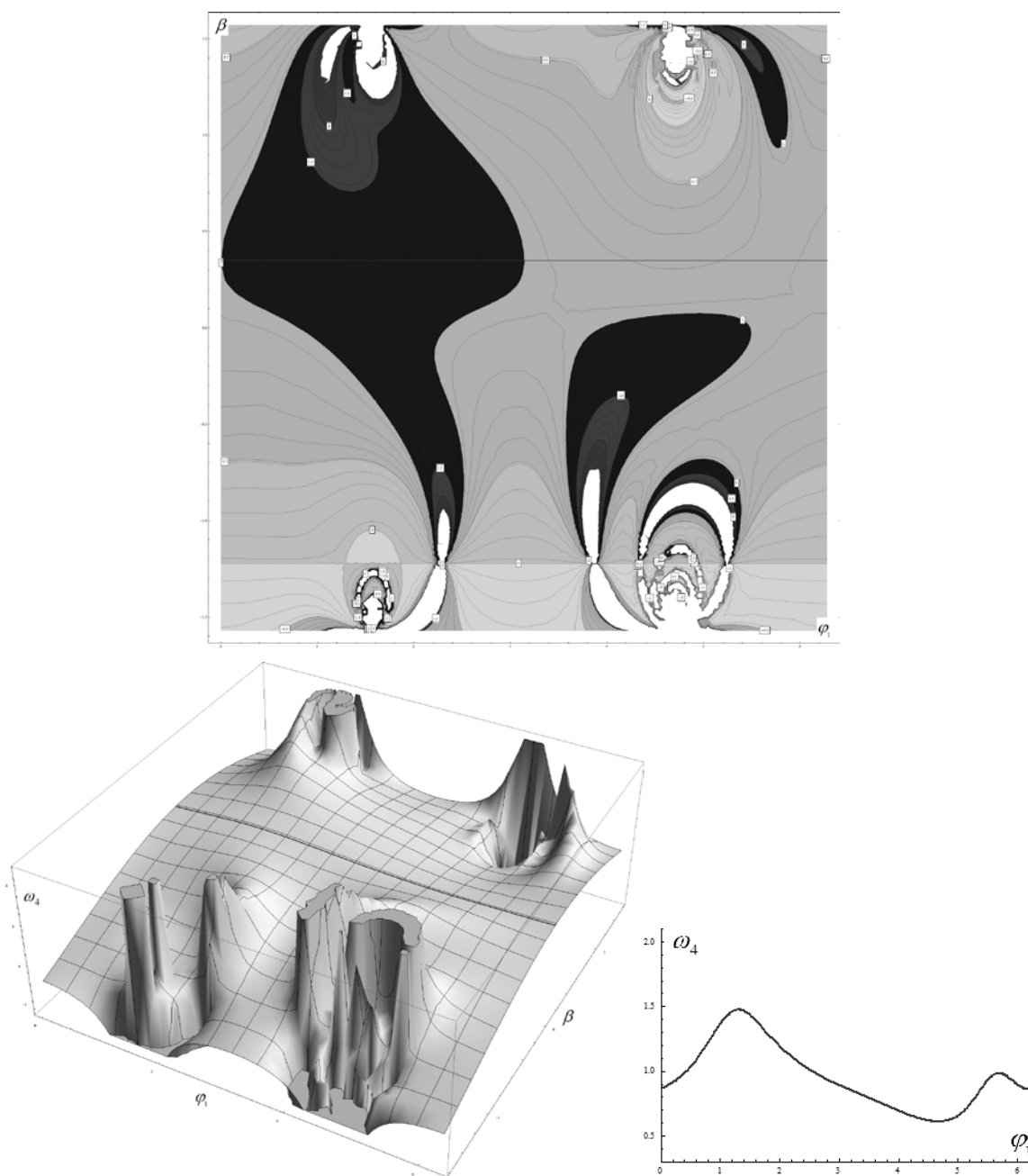
фиг.6 Ъгловата скорост  $\omega_4$  от  $\phi_1$  и от  $\beta$  при  $\delta=0^0$ . С черно е показана стойността при  $\beta=0^0$ .



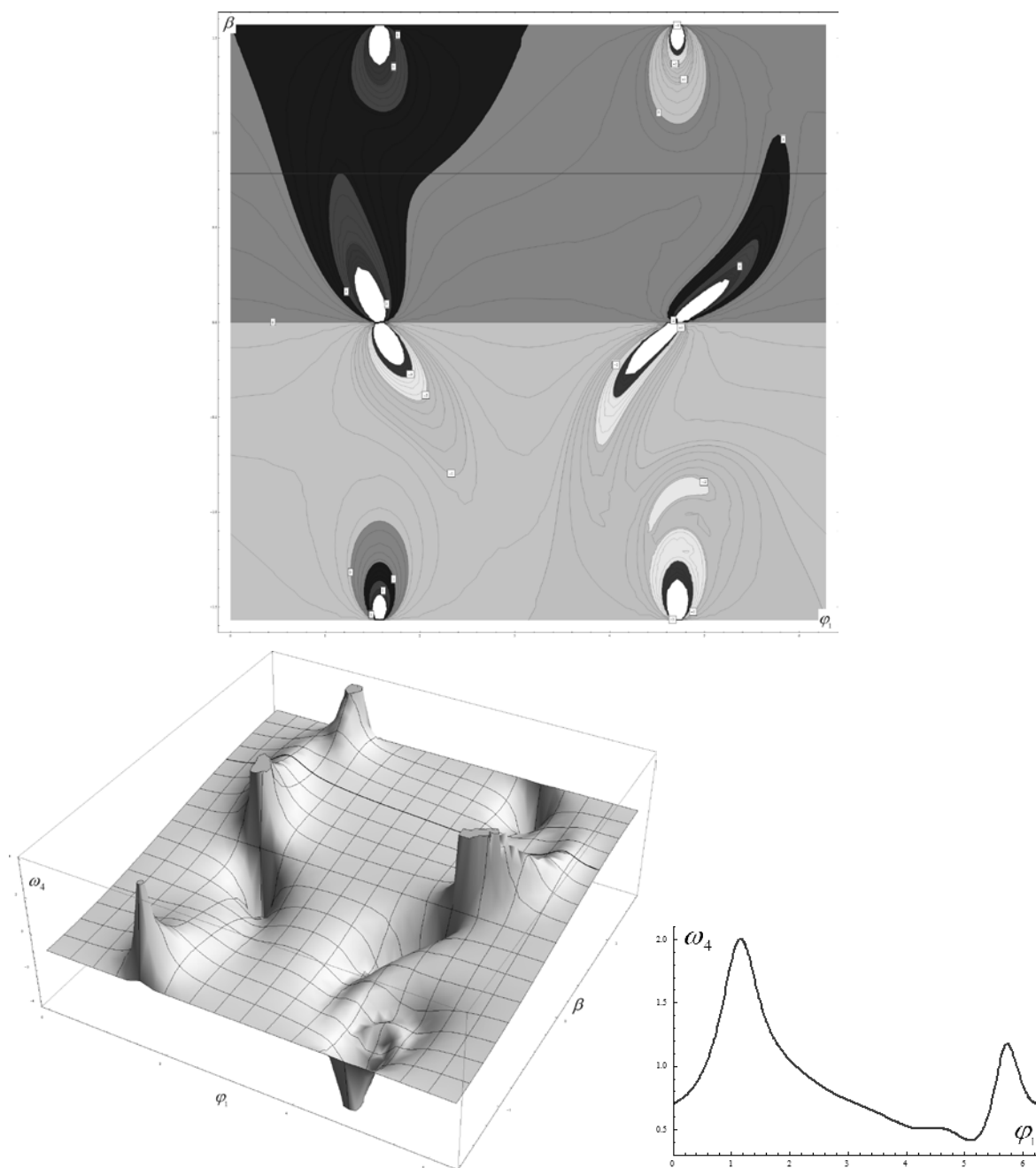
фиг.7 Ъгловата скорост  $\omega_4$  от  $\phi_1$  и от  $\beta$  при  $\delta=20^\circ$ . С черно е показана стойността при  $\beta=10^\circ$ .



**фиг.8** Ъгловата скорост  $\omega_4$  от  $\phi_1$  и от  $\beta$  при  $\delta=45^\circ$ . С черно е показана стойността при  $\beta=22^\circ$ .



фиг.9 Ъгловата скорост  $\omega_4$  от  $\varphi_1$  и от  $\beta$  при  $\delta=60^\circ$ . С черно е показана стойността при  $\beta=30^\circ$ .



**фиг.10** Ъгловата скорост  $\omega_4$  от  $\varphi_1$  и от  $\beta$  при  $\delta=90^\circ$ . С черно е показана стойността при  $\beta=45^\circ$ .

#### 4. АНАЛИЗ НА РЕЗУЛТАТИТЕ

При анализа на резултатите ясно се вижда тенденцията на намаляване на относителната неравномерност на изходящата ъглова скорост при правилно избрана стойност на управляващата крива. При избор на фиксирана стойност в рамките на определено ъглово отклонение е ясна тенденцията при стойност на ъгъла на свободното звено  $\beta=(\delta/2)^\circ$  да се получава най малка относителна неравномерност. Това е установено с числени експерименти, но все още не е доказано аналитично. Остава проблемът с реализирането на тази крива, или този ъгъл, което е сложна задача в практически реализиран механизъм. Цялата група осигуряваща закона на изменение трябва да се върти заедно с основния механизъм. Това може да се изпълни с използването на специално конструиран сферичен механизъм.

#### Благодарности

Научните изследвания, резултатите от които са представени в настоящата публикация са финансирани от Вътрешния конкурс на ТУ-София – №142ПД0003-05.

#### Литература

1. **I. I. Artobolevsky.** Mechanisms in modern engineering design, (N. Weinstein, Trans.) Moscow: Mir Publisher, (1900).
2. **H. I. F. Evernden.** The propeller shaft or hooke's coupling and the Cardan joint, Proceedings of the Institute of Mechanical Engineers, Automotive Division, 2 (1) (Jan. 1948)100-110.
3. **E. R. Wagner and C. E. Cooney.** Universal joint and driveshaft design manual, Advances in Engineering Series, No. 7, Society of Automotive Engineers, Warrendale, PA (1979).
4. **I. S. Fischer.** Internal force and torque transmission in a Cardan joint with manufacturing tolerances, Eng. Sci. D.Dissertation, Columbia University, New York (1985).
5. **J. E. Shigley and C. R. Mischke.** Standard handbook of machine design, McGraw-Hill, New York (1986).

### KINEMATIC ANALYSIS OF PAIRED HOOKE JOINT

Stefan GARABITOV<sup>1</sup> Valeri IVANOV<sup>2</sup>

<sup>1</sup>dept. „ Theory of Mechanisms and Machines ”, Technical University - Sofia, Bulgaria

e-mail: [stefang@tu-sofia.bg](mailto:stefang@tu-sofia.bg)

<sup>2</sup>dept. „ Theory of Mechanisms and Machines ”, Technical University - Sofia, Bulgaria

e-mail: [valio23@yahoo.com](mailto:valio23@yahoo.com)

**Abstract:** The Hooke's joint or also known as Cardan coupling are associated with power transmission systems. They are commonly used when there is needs for angular deviations in the rotating shafts. The construction is simple and reliable, but it has a number disadvantages that are well known and analyzed. The article makes a proposal to improve the quality parameters of the mechanism and in particular of the biggest disadvantage of clutch Hook - variability of output angular velocity at constant input velocity. This happens in the case in an angular displacement of the input and output shaft. The proposed structure is based on a spatial mechanism, and appropriate management of the additional degree of freedom. This significantly improves the smoothness of the rotation of the output shaft while retaining the other advantages of the mechanism.

**Keywords:** Hooke, Cardan, Quality parameters





## ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДА АНАЛИТИЧЕСКОГО ОПИСАНИЯ КУСОЧНО-АНАЛИТИЧЕСКИХ ЗАВИСИМОСТЕЙ

Константин БОЖКО<sup>1</sup> Антон СИЛЬВЕСТРОВ<sup>2</sup> Алексей СКРЫННИК<sup>2</sup>

<sup>1</sup>кафедра „ Научных, аналитических и экологических приборов и систем ”, НТУУ «КПИ» - Киев, Украина

e-mail: [bosh\\_a@mail.ru](mailto:bosh_a@mail.ru)

<sup>2</sup>кафедра „Теоретическая электротехника”, НТУУ «КПИ» - Киев, Украина

e-mail: [yadesign@inbox.ru](mailto:yadesign@inbox.ru); [kisostudio@rambler.ru](mailto:kisostudio@rambler.ru)

**Резюме:** Целью исследования было создание, на основе данных эксперимента объекта идентификации или аналитических исследований, единой аналитической модели. Частичные модели описываются как можно проще аналитическими зависимостями. Единая аналитическая зависимость строится путем взвешенного весовыми функциями сложения частных моделей. При такой постановке сохраняется аналитичность единой для всего диапазона модели. Исследования, результаты которых приведены в публикации, подтверждающие возможность разработки предложенным методом достаточно простой аналитической модели, которая по точности аппроксимации соответствует требованиям современных методов математического и объектно-ориентированного моделирования. Разработанные данным методом модели могут быть использованы для аналитических расчетов оптимальных режимов работы нестационарных стохастических объектов, диагностики их состояния, интерполяции и экстраполяции переменных объекта и для других целей путем идентификации локальных математических моделей и объединения их в полную аналитическую без существенного усложнения, как математической модели так и натурального эксперимента.

**Ключевые слова:** нелинейная модель, объект идентификации, аппроксимация, аналитическая модель, весовая функция

### 1. ВВЕДЕНИЕ

Опираясь на фундаментальные свойства объектов реального мира можно утверждать об отсутствии идеально-линейной зависимости между переменными состояния реальных объектов, так как коэффициенты связи между ними, в силу общей взаимосвязи элементов материального мира, являясь материальными, прямо или косвенно будут зависеть от переменных состояния объекта. Эта нелинейность вместе с естественной нестационарностью, неопределенностью и неавтономностью объектов материального мира, существенно усложняет задачу оптимального функционирования систем «реальный объект - система управления» [1]. Приведем в качестве примера некоторые электротехнические системы: генератор постоянного тока (ГПТ), электродвигатель постоянного тока (ДПТ), солнечная батарея (СБ). Целью управления данными объектами являются соответственно: инвариантность выходного напряжения  $U_{\text{я}}$  ГПТ к току  $I_{\text{я}}$  якоря, инвариантность скорости  $\Omega$  вращения вала ДПТ к моменту  $M_{\text{н}}$  нагрузки, обеспечение режима

максимальной мощности с СБ в условиях переменной солнечной интенсивности.

Необходимым условием решения задач является построение математических моделей «вход-выход» объектов управления, определения обратных моделей «выход-вход», которые дают возможность линеаризации системы управления и, как следствие, упрощение задачи оптимизации систем «регулятор- объект».

### 2. ПОСТАНОВКА И РЕШЕНИЕ ЗАДАЧИ

Учитывая свойства реальных объектов [1], необходимо на основе методов идентификации нелинейных объектов [1, 2, 3] построить их прямые и инверсионные математические модели и использовать их в задаче линеаризации характеристик системы «объект-регулятор» и/или оптимизации режима их работы.

Решение задач достигается двухшаговым алгоритмом: на первом этапе с реально существующей динамикой объекта [1, 6] определяется непараметрическая модель статической нелинейности, на втором – кусочно-аналитическая нелинейность с последующим ее простым преобра-

зованием в аналитическую во всем диапазоне переменных [2].

### 2.1 Сущность метода определения гладкой статической нелинейности с произвольной динамикой объекта

Динамика объекта описывается моделью Гамерштейна [5]:

$$\sum_{k=0}^n a_{n-k} \frac{d^{n-k} y(t)}{dt^{n-k}} = f[x(t)], \quad (1)$$

где  $f[x(t)]$  – статическая нелинейная зависимость от сигнала  $x(t)$ , сигнал выхода которой влияет на динамическую составляющую (левая часть уравнения (1)).

Задача состоит в том, чтобы по сглаженным зашумленным значениям измерений выхода  $\hat{y}(t_k)$  получить оценку  $\hat{f}(x)$  неизвестной статической нелинейности  $f(x)$ . С целью определения непараметрической модели  $\hat{f}[x(t)]$  гладкой статической нелинейности  $f[x(t)]$  определим скомпенсированный выход объекта  $y_{\text{ск}}$ , например для  $n = 2$  в виде

$$y_{\text{ск}}(t) = \hat{y}(t) - \beta_1 \frac{d\hat{y}(t)}{dt} - \beta_2 \frac{d^2\hat{y}(t)}{dt^2}, \quad (2)$$

где параметры  $\beta_1, \beta_2$  определяются при условии минимума критерия гладкости Пухова-Хатиашвили [6], то есть минимума среднего квадрата  $r$ -ой производной от  $\hat{y}(t)$  по  $x$ :

$$(\beta_1, \beta_2) = \operatorname{argmin} \sum_{k=1}^N \left( \frac{d^r y_{\text{ск}}(t_k)}{dx^r} \right)^2. \quad (3)$$

Для дискретных измерений  $\hat{y}(t_k)$  выходной переменной вместо  $r$ -ой производной используем преобразование соответствующей разности дискретной последовательности  $x(t_k)$ , которая измеряется с постоянным шагом во времени  $\Delta t$ , в последовательность с постоянным приращением  $\Delta x$ , но уже с переменным шагом во времени. Для этого надо выполнить сглаживание шумов во входной и выходной последовательностях измерений. Затем отсортировать значения входной переменной  $x(t_k)$  по возрастанию. Далее, для определения значений  $t_j$ , которые соответствуют

значениям входной переменной, изменяющийся с постоянным шагом, выполним интерполирование полученной последовательности с помощью сплайнов:

$$S_2(t) = x_k + m_k(t - t_k) + c_k(t - t_k)^2, \\ t \in [\bar{t}_k, \bar{t}_{k+1}], x \in [t_k, t_{k+1}]. \quad (4)$$

Значения  $t_{jk}$ , которые отвечают  $j\Delta x$ :

$$t_{jk} = t_k + \frac{1}{2c_k} \left( -m_k + \sqrt{m_k^2 + 4j c_k \Delta x} \right), \quad (5)$$

где  $j = \overline{1, l_k}$ ,  $l_k = [x(t_{k+1}) - x(t_k)] / \Delta x$ .

После определения всех  $t_{jk}$  вычисляются значения  $\hat{y}(t_{jk})$ ,  $d\hat{y}(t_{jk})/dt$  и т.п. Вместо производных по  $x$  используются конечные разности:

$$\Delta^r y_{\text{ск}} = \Delta^r \left[ \hat{y}(t) - \beta_1 \frac{d\hat{y}(t)}{dt} - \beta_2 \frac{d^2\hat{y}(t)}{dt^2} \right]. \quad (6)$$

Так, для  $r = 2$ :

$$\Delta^2 y_{\text{ск}} = [y_{\text{ск}}(t_{k+2}) - 2y_{\text{ск}}(t_{k+1}) + y_{\text{ск}}(t_k)] / (\Delta x)^2, \quad (7)$$

для  $r = 3$ :

$$\Delta^3 y_{\text{ск}} = \frac{y_{\text{ск}}(t_{k+3}) - 3y_{\text{ск}}(t_{k+2}) + 3y_{\text{ск}}(t_{k+1}) - y_{\text{ск}}(t_k)}{(\Delta x)^3}. \quad (8)$$

Минимизация (3) по  $\beta_1, \beta_2$  функционала (6), приводит к системе нормальных уравнений метода наименьших квадратов (МНК):

$$\begin{cases} \sum_{k=1}^N \left[ \Delta^r \hat{y}(t_k) - \Delta^r \frac{d\hat{y}(t_k)}{dt} \beta_1 - \Delta^r \frac{d^2\hat{y}(t_k)}{dt^2} \beta_2 \right] \Delta^r \frac{d\hat{y}(t_k)}{dt} = 0 \\ \sum_{k=1}^N \left[ \Delta^r \hat{y}(t_k) - \Delta^r \frac{d\hat{y}(t_k)}{dt} \beta_1 - \Delta^r \frac{d^2\hat{y}(t_k)}{dt^2} \beta_2 \right] \Delta^r \frac{d^2\hat{y}(t_k)}{dt^2} = 0 \end{cases}$$

По определению из (9) МНК-оценок параметров  $\beta_1, \beta_2$  непараметрическая модель гладкой статической нелинейности определяется по формуле

$$\hat{f}[x(t)] = \hat{y}(t) - \beta_1 \frac{d\hat{y}(t)}{dt} - \beta_2 \frac{d^2\hat{y}(t)}{dt^2}, \quad (10)$$

где правая часть уравнения (10) – это  $y_{\text{ск}}(t)$  (2).

### 2.2 Сущность метода построения аналитической зависимости для всего диапазона переменной

Полученная на предыдущем шаге непараметрическая модель (10) на основе теоремы Вейерштрасса [4] может быть аппроксимирована

степенным полиномом. Однако, если степень полинома достаточно высока, то в промежутках между точками измерений могут быть существенные пульсации, а для низкой степени – существенные погрешности аппроксимации. Чтобы обеспечить желаемую точность аппроксимации, нелинейность  $f(x)$  описывают кусочно-аналитическими моделями с логикой перехода от одной области в соседнюю с помощью сигнум-функций, которые однако не являются гладкими. Это усложняет дальнейшее использование таких логико-аналитических моделей, например при их дифференцировании в точках переключения. Сущность метода [3] описания непараметрических моделей параметрическими, аналитическими во всем диапазоне изменения  $x$ , заключается в применении для кусочно-аналитических моделей вместо сигнум-функций гладких (дифференцируемых) селективных функций, подобных частотным фильтрам, если вместо частоты иметь переменную  $x$ . Тогда аналитическое выражение  $f(x)$  приобретает вид:

$$f(x) = \sum_{i=1}^n \eta_i(x) \cdot f_i(x), \quad (11)$$

где  $f_i(x)$  – простые и достаточно точные локальные модели  $f(x)$ ,  $x \in [x_{i-1}, x_i]$ ,

$\eta_i(x)$  – аналитические для всего диапазона селективные для интервала  $[x_{i-1}, x_i]$  функции, например такого вида:

$$\eta_i(x) = \frac{1}{1 + (x_{i-1}/x)^m} - \frac{1}{1 + (x/x_i)^m}. \quad (12)$$

При достаточно больших значениях  $m$  селективные аналитические функции-«фильтры» (12) приближаются к сигнум-функциям

$$\varphi_i(x) = \begin{cases} 1, & x \in [x_{i-1}, x_i] \\ 0, & x \notin [x_{i-1}, x_i] \end{cases}, \quad (13)$$

оставаясь в отличие от (13) дифференцируемыми.

### 3. ПРИМЕРЫ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ

#### 3.1 Обеспечение независимости напряжения от тока якоря ГПТ.

Уравнение ГПТ представляет собой модель (1):

$$\begin{cases} U_{\text{я}} = E_{\text{я}}(I_{\text{я}}) - I_{\text{я}} \cdot R_{\text{я}} \\ L_{\text{я}} \frac{dI_{\text{я}}}{dt} + I_{\text{я}}(t) \cdot R_{\text{я}} + U_{\text{я}}(t), \end{cases} \quad (14)$$

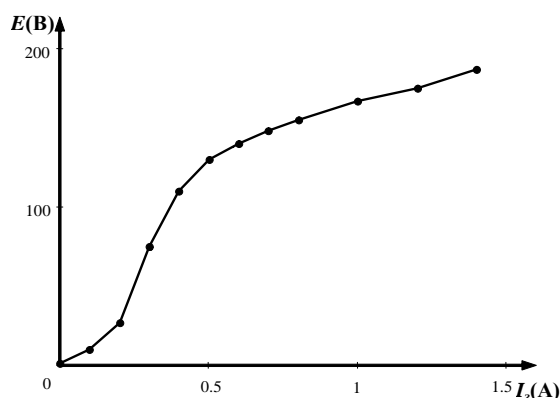
$$E(I_{\text{я}}) \cong (\beta_0 + \beta_1 I_{\text{я}} + \beta_2 I_{\text{я}}^3) \cdot \eta_1(I_{\text{я}}) + (\beta_3 + \beta_4 I_{\text{я}}) \cdot \eta_2(I_{\text{я}}), \quad (15)$$

$$\eta_1(I_{\text{я}}) = \left(1 + (1.43 \cdot I_{\text{я}})^{40}\right)^{-1},$$

$$\eta_2(I_{\text{я}}) = \left(1 + (0.7 \cdot I_{\text{я}}^{-1})^{40}\right)^{-1}, \quad (16)$$

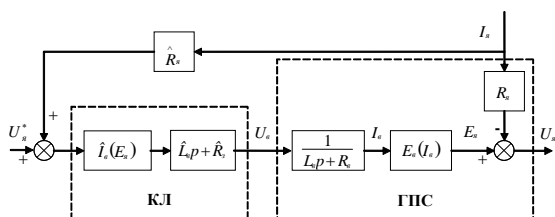
где  $R_{\text{я}}$  – электрическое сопротивление якоря ГПТ,  $L_{\text{я}}, R_{\text{я}}, I_{\text{я}}$  – индуктивность, сопротивление и ток цепи возбуждения магнитного потока, от которого нелинейно зависит электродвижущая "сила"  $E_{\text{я}}$  (15).

Параметры  $(\beta_0, \dots, \beta_4)$  параметрической модели (15) получено по МНК с непараметрической (фиг.1), а непараметрическую получено при условии (3).



Фиг.1 Зависимость (точки)  $E_{\text{я}}(I_{\text{я}})$  и ее аппроксимация (линия)

Для компенсации инерционности и линейризации канала управления ГПТ последовательно включено инверсное к модели (14,15) корректирующее звено (КЛ) (фиг.2). Символом  $p$  на фиг.2 обозначено операцию дифференцирования.



Фиг.2 Линейризованная инвариантная к  $I_r$  система управления ГПТ

Инверсная к (15) модель  $\hat{I}_e(E_r)$ , как решение уравнения (15):

$$\hat{I}_e(E_r) = \hat{I}_{e1}(E_r) \cdot \eta_1(E_r) + \hat{I}_{e2}(E_r) \cdot \eta_2(E_r) \quad (17)$$

где

$$\hat{I}_{e1}(E_r) = \sqrt[3]{\frac{E_r - \beta_0}{\beta_2} + \sqrt{\left(\frac{\beta_1}{3\beta_2}\right)^3 + \left(\frac{E_r - \beta_0}{2\beta_2}\right)^2}} + \quad (18)$$

$$+ \sqrt[3]{\frac{E_r - \beta_0}{\beta_2} - \sqrt{\left(\frac{\beta_1}{3\beta_2}\right)^3 + \left(\frac{E_r - \beta_0}{2\beta_2}\right)^2}}$$

$$\hat{I}_{e2}(E_r) = \frac{E_r - \beta_3}{\beta_4 - \beta_4}, \quad (19)$$

$$\eta_1(E_r) = \left(1 + (0.0067 \cdot E_r)^{40}\right)^{-1},$$

$$\eta_2(E_r) = \left(1 + (150 \cdot E_r^{-1})^{40}\right)^{-1}. \quad (20)$$

Как следует из уравнения (14, 15) ГПТ и (17, 20) КЛ, если оценки  $\hat{L}_e, \hat{R}_e, \hat{R}_r, \hat{E}_r(I_e)$  близки к истинным значениям параметров объекта, то в системе (фиг.2) имеет место как линейризация канала управления, так и почти полная компенсация действия тока  $I_r$ , как возмущающего воздействия:

$$U_r = U_r^* - (R_r - \hat{R}_r) \cdot I_r. \quad (21)$$

### 3.2 Обеспечение инвариантности скорости вращения вала ДПТ к моменту нагрузки, как возмущающего воздействия

Задача решается аналогично предыдущей, поэтому рассмотрим лишь определение из динамики статической нелинейной зависимости скорости  $\Omega(t)$  вращения вала ДПТ от напряжения  $U_r$ :

$$a_2 \frac{d^2 \Omega(t)}{dt^2} + a_1 \frac{d\Omega(t)}{dt} + \Omega(t) = f[U_r(t)], \quad (22)$$

где  $U_r$  изменяется ступенчато в пределах от  $-U_{r \max}$  до  $+U_{r \max}$ :

$$U_r(t) = U_{\max} \left[ -1 + \frac{1}{q/2} \sum_{k=1}^q 1(t - k\Delta t) \right], \quad q = 16,$$

$$1(t) = \begin{cases} 1, & t > k\Delta t \\ 0, & t < k\Delta t \end{cases} \quad (23)$$

Числовые значения параметров  $a_1, a_2$  неизвестны. Параметры тестирующего воздействия  $U_{\max} = 120 \text{ В}$ ,  $\Delta t = 1 \text{ с}$ . Начальные условия:  $\Omega(0) = -\Omega_{\max} = -300 \text{ рад/с}$ ,  $d\Omega(0)/dt = 0$ . Измерения выходного сигнала осуществлялось с шагом  $\Delta t = 0,1 \text{ с}$  при  $N = 200$  с 10%-ой погрешностью измерений в виде «белого шума».

Процесс идентификации  $f[U_r(t_k)]$  состоял из следующих шагов:

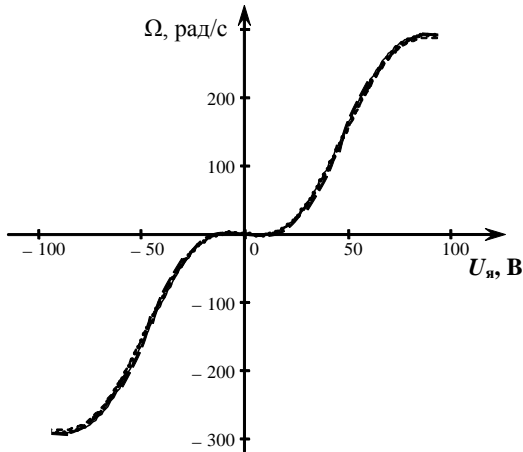
- 1) сглаживание входных  $[U_r(t_k)]$  и выходных  $\hat{y}_k$  ( $k = \overline{1, N}$ ) измеряемых значений;
- 2) упорядочение значений  $U_r(t_k)$  в порядке их роста;
- 3) Интерполяция этих значений с помощью интерполяционных сплайнов (4);
- 4) Определение значений,  $t_{kj}$  соответствующих равномерному изменению  $U_r(t_k)$  с постоянным шагом  $\Delta U$ ;
- 5) Вычисление значений  $\hat{y}(t_{kj})$ , а также конечных разностей первого и второго порядка от этих значений;
- 6) Минимизация по  $\beta_1, \beta_2$  функционала (3)

дала оценки  $\hat{\beta}_1 = 0,0196$ ,  $\hat{\beta}_2 = 0,000134$ . Непараметрическая модель нелинейности  $f(U_r)$  по формуле

$$f[U_r(t_k)] = y(t) - 0,0196 \frac{dy(t)}{dt} - 0,000134 \frac{d^2 y(t)}{dt^2}. \quad (10)$$

Результаты идентификации для  $r = 1, 2, 3$  приведены на фиг.3. Наименьшей оказалась погрешность для  $r = 2$ . Она составила менее 0,5%. Параметрическая модель бу-

дет подобна модели (15), где весовые функции  $\eta_1, \eta_2$  берутся по модулю от  $U_{я}$ .



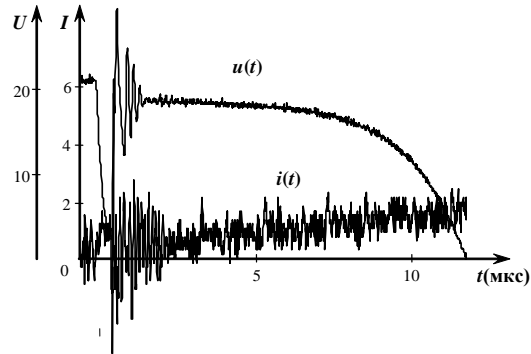
Фиг.3 Непараметрическая оценка  $f(U_{я})$  статической  $\Omega(U_{я})$  нелинейности методом компенсации динамики для  $r = 1, 2, 3$ .

### 3.3 Обеспечение режима максимальной мощности солнечной батареи

В системе «солнечная батарея – нагрузка» оптимальное управление (в смысле снятия максимальной мощности) заключается в регулировании сопротивления нагрузки  $R_H$  в зависимости от электродвижущей силы  $E$  и тока  $I$  батареи, а все вместе – от освещенности, медленное изменение которого во времени носит случайный характер. Статистически оптимальная система, настроенная на наиболее вероятную освещенность будет мало эффективной. Максимальной эффективности можно достичь, если периодически за очень короткое время определять вольт-амперную характеристику (ВАХ) батареи  $U(I)$  и соответственно ей регулировать  $R_H$ . Для этого на 10 мкс батарея с помощью электронных ключей отключается от нагрузки и подключается к катушке индуктивности  $L$  с небольшим дополнительным сопротивлением  $R_d$ , с которого снимается напряжение пропорциональное мгновенному току  $i(t)$ . Сигналы напряжения  $u(t)$  и тока  $i(t)$  (фиг.4) фиксируются и обрабатываются

быстродействующим электронным устройством, которое определяет ВАХ  $U(I)$ , максимум  $U^* \cdot I^*$  мощности и согласно ему оптимальное сопротивление  $R_H^*$ :

$$R_H^* = \frac{U^*}{I^*}. \quad (24)$$



Фиг.4 Графики измерений  $u(t)$  и  $i(t)$

Измерения (фиг.4)  $u(t)$  и  $i(t)$  имеют шумовую составляющую, динамическую колебательную составляющую в начале процесса разряда батареи на  $R_d L$ -нагрузку (колебания связаны с «паразитной» емкостью  $C_0$  электронного ключа), систематическую почти постоянную погрешность  $\Delta U$ , связанную с воздействием на  $u(t)$  параллельной к батарее  $R_d L$ -ветки:

$$\Delta U = E - \frac{E \cdot \frac{1}{R_{вн}} + L \cdot \frac{di}{dt} \cdot \frac{1}{R_d}}{\frac{1}{R_{вн}} \cdot \frac{1}{R_d}}, \quad (25)$$

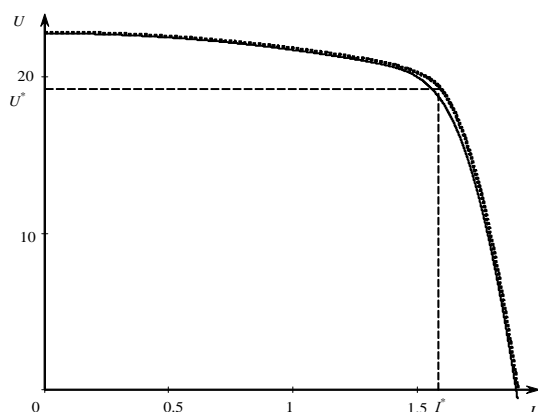
где при достаточно большом соотношении  $L/R_d$  экспонента тока катушки имеет линейный характер, поэтому производная  $di/dt$  почти неизменна.

Непараметрическую модель  $U(I)$  (фиг.5) и почти совпадающую с ней параметрическую получено в соответствии с алгоритмами (1÷12):

$$U(I) = \eta_1(I) \cdot (\alpha_1 + \alpha_2 I^2) + \eta_2(I) \cdot (\beta_1 + \beta_2 I + \beta_3 I^2), \quad (26)$$

где  $\eta_1(I) = \frac{1}{1 + (0.67 \cdot I)^{45}}$ ,  $\eta_2(I) = \frac{1}{1 + (1.5 \cdot I^{-1})^{45}}$ ,  
 $\alpha_1 = 20$ ,  $\alpha_2 = -1,06$ ,  $\beta_1 = -315$ ,  $\beta_2 = 432$ ,  
 $\beta_3 = -140$

Аналитическая модель зависимости мощности  $P$  от  $U$ , получим как произведение  $U(I)$  (26) на ток  $I$  (фиг.5).



фиг.5 Непараметрическая и параметрическая (26) модели ВАХ  $I(U)$  и зависимость  $P(U)$ .

Оптимальное значение  $I^*$  тока, найденное при условии максимальной мощности батареи

$$I^* = \operatorname{argmax}_U P = 1.56 \text{ A.} \quad (28)$$

Согласно (24) оптимальная нагрузка (24)  $R_H^* \cong 12,3 \text{ Ом}$  та  $P_{\max} = 30 \text{ Вт}$ .

#### 4. ВЫВОД

Как показано на примерах, рассмотренные методы непараметрической идентификации нелинейности отображения "вход-выход" из произвольных динамических режимов и параметрической идентификации кусочно-аналитических с преобразованием в полностью аналитическую модель, дают возможность в реальных условиях нестационарности, неопределенности и нелинейности объектов обеспечить оптимальность их функционирования.

#### Литература

1. Самсонов В.В., Сильвестров А.М. Нариси з теорії ідентифікації. К.: НУХТ, 2012. – 222с.
2. Сильвестров А.М., Скрынник О.М., Кривобока Г.І. Застосування теорії фільтрів для аналітичного опису логіко-аналітичних залежностей // Наукові вісті НТУУ "КПІ", – 2013, № 2. – С. 64–69.
3. Сильвестров А.М., Спінул Л.Ю., Скрынник О.М. Побудова математичних моделей складних нелінійних залежностей «вхід-вихід» об'єктів автоматизації // Збірник наукових праць кіровоградського національного технічного університету. "Техніка в сільськогосподарському виробництві, галузеве машинобудування, автоматизація", Випуск 25 (II), 2012, стор. 14-17.
4. Корн Г., Корн Т. Справочник по математике. М.: Наука, 1974. – 831с.
5. Льюнг Л. Идентификация систем. Пер с англ. Под ред. Цыпкина Я.З. – М.: Наука, 1991. – 432с.
6. Пухов Г.Е., Хатиашвили Ц.С. Модели технологических процессов, К.: Техніка, 1974. – 200с

## APPLICATION OF METHOD ANALYTICAL DESCRIPTION PIECEWISE ANALYTICAL DEPENDENCES

Konstantin BOSHKO<sup>1</sup>, Anton SILVESTROV<sup>2</sup>, Aleksey SKRYNNIK<sup>2</sup>

<sup>1</sup>scientific, analytic and ecological instruments and systems department, NTUU "KPI"-Kyiv, Ukraine  
 e-mail: [bosh\\_a@mail.ru](mailto:bosh_a@mail.ru)

<sup>2</sup>electrical engineering department, National Technical University of Ukraine "KPI"-Kyiv Ukraine  
 e-mail: [yadesign@inbox.ru](mailto:yadesign@inbox.ru); [kisostudio@rambler.ru](mailto:kisostudio@rambler.ru)

**Abstract:** Creation, on the basis of given experiment of object of identification or analytical researches, single analytical model was a research objective. Partial models are described as it is possible more simply analytical dependences. Unified analytical dependence is under construction by the addition of private models weighed by weight functions. At such

statement analyticity of Single model for all range remains. Results are presented in this publication confirm the possibility of developing the proposed method sufficiently simple analytical model that the accuracy of approximation meets modern methods and object-oriented modeling. The models developed by this method can be used for analytical calculations of optimum operating modes of non-stationary stochastic objects, diagnostics of their condition, interpolation and extrapolation of variables of object and for other purposes by identification of local mathematical models and their association in full analytical without essential complication, as mathematical model and natural experiment.

**Keywords:** nonlinear model, object identification, approximation, analytical model, weight function





## СТЕНД ЗА ИЗСЛЕДВАНЕ НА ОБЕМНИ ДОЗАТОРИ

**Валентин ИВАНОВ**

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

**Резюме:** Работата описва разработен стенд за изследване на обемни дозатори. Обемните дозатори (обемните помпи) намират приложение в много области на човешката дейност, като основно се разглежда медицината. Описани са основните характеристики, принципът на действие и методиката за работа с установката. Стендът дава възможност да се измерват: обемният разход (дебитът) на обемните дозатори, налягането преди и след обемните дозатори, и честотата на въртене. Показан е пример за изследване характеристиките на медицински обемен дозатор. В примерът се разглежда влиянието на геометричните параметри на обемния дозатор, честотата на въртене на помпената глава и просвета на деформираното сечение на еластичния шлаух върху обемния разход на медицинския обемен дозатор.

**Ключови думи:** обемен дозатор, помпа, медицинско устройство

### 1. ВЪВЕДЕНИЕ

В съвременното развитие на медицината се развиват насоките за усъвършенстване и налагане на безопасни и многофункционални технически решения и достижения. Тези предпоставки дават на инженерите широко поле за изява. Постиженията навлизат във всички области на общественно-икономическия живот на човека. Чрез тях се облекчава неговата трудова дейност, повишава се интелектът му. Хората се въоръжават с модерни и мощни средства за решаване на най-разнообразни задачи в бита, техниката и не на последно място в здравеопазването. Грижата за опазване на човешкото здраве, борбата за удължаване на човешкия живот са били и ще бъдат винаги актуални. Днес здравните заведения са обзаведени с модерна медицинска техника. Постремежът да се обновява техническата база от уреди.

Медицински помпи (дозатори) за инфузия са апарати за вливане и транспортиране на различни по съдържание течности с различно предназначение, при което подаваният дебит може да се регулира в широки граници. Вливат се воден разтвор на натриев хлорид (0,85%), разтвори на глюкоза, витамини, антибиотици, медикаменти засилващи сърдечната и маточна дейности, медикаменти влияещи на процесите на кръвосъсирването

(фибриноген), разтвори с аминокиселини и реагенти за лабораторни изследвания и пр [3]. При много случаи основното лечение се свежда до кръвопреливане или вливане на медикаменти с помощта на перисталтични инфузионни помпи [4].

Освен в медицинската промишленост този тип дозатори намират широко приложение и в:

- Полиграфическата промишленост (подаване на мастила, разтворители и др.)
- Хранително-вкусовата промишленост (производство на майонеза, кетчуп, горчица и др.)
- Химическата промишленост
- Атомната енергетика
- Производството на бои, лакове и др.
- Леката промишленост
- Изследователските лаборатории
- Транспортиране на агресивни течности, запалими течности и др. [1]

### 2. УСТРОЙСТВО И ПРИНЦИП НА ДЕЙСТВИЕ НА УСТАНОВКАТА

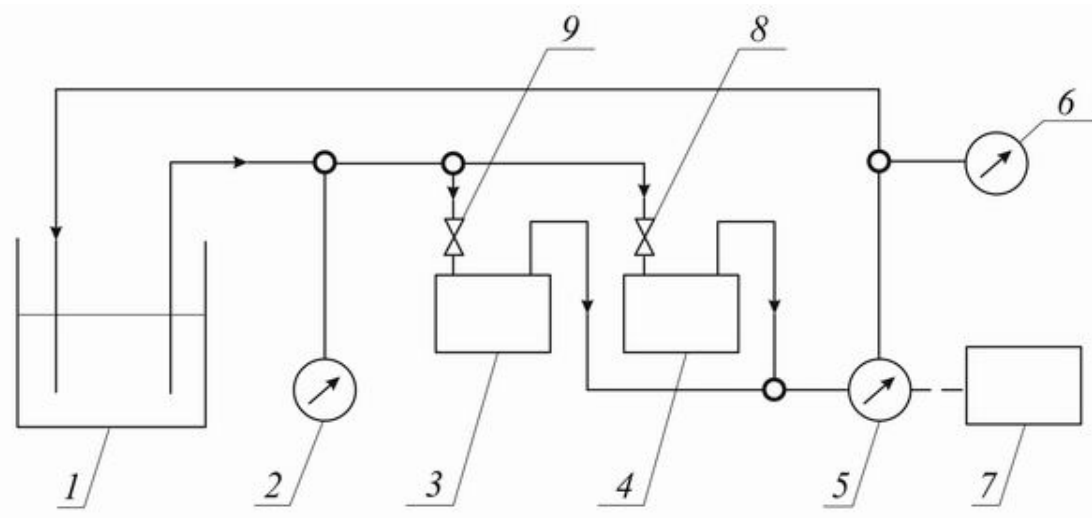
Стендът е предназначен за измерване на основните характеристики на перисталтичните помпи. Те са: обемен разход (дебит), пулсации на обемния разход и налягане на входа и изхода на помпата.

Схемата на опитната постановка е показана на фиг. 1. За течност при експериментите се използва

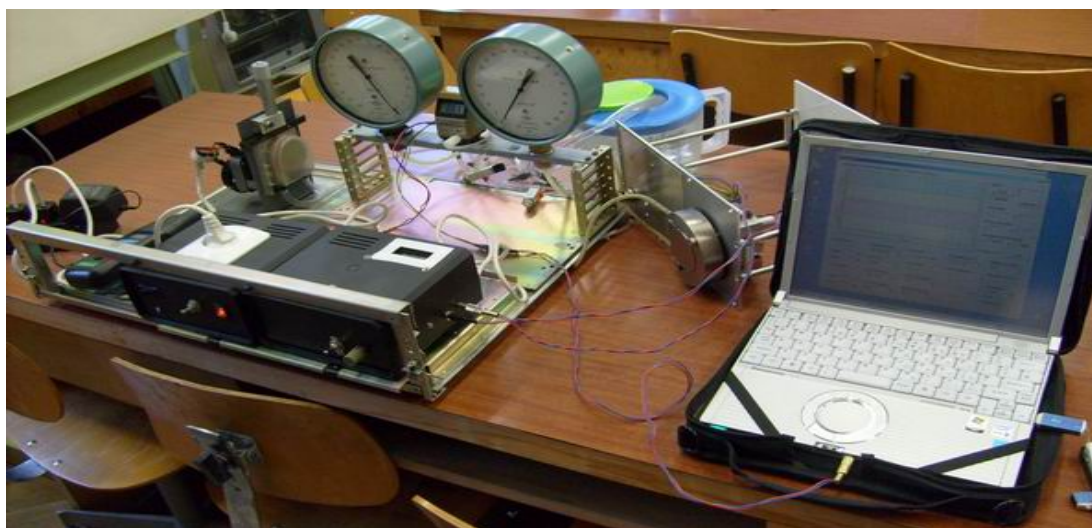
вода, тъй като тя има най-близки показатели, най-вече по отношение на вискозитета и плътността, до течностите, които се транспортират в медицината и освен това е най-достъпна. Течността се намира във ваната 1, която е разграфена в единици за обем. Двете помпи, на които се измерват характеристиките са дадени на схемата с 3 и 4. Подналягането се измерва с помощта на образцовия вакуумметър 2, а надналягането – с образцовия манометър 6. Дебитът на помпите се

измерва с разходомера 5, който има цифров изход и посредством него е свързан с компютъра 7. По такъв начин моментният дебит се отчита по дисплея на разходомера 5, а пулсациите чрез компютъра 7 с програма за осцилоскоп. С помощта на вентилите 8 и 9 превключваме двете помпи да работят поотделно или заедно в противофаза.

Външният вид на стенда за изследване на перисталтичните помпи е показан на фиг.2.



фиг.1 Принцилна схема на установката за изследване на обемни дозатори



фиг.2 Външен вид на стендът за изследване на обемни дозатори

### 3. ПРИМЕРНИ ДАННИ

Стендът е изработен в катедра “Прецизна техника и уредостроене”. Той има възможност да измерва следните параметри:

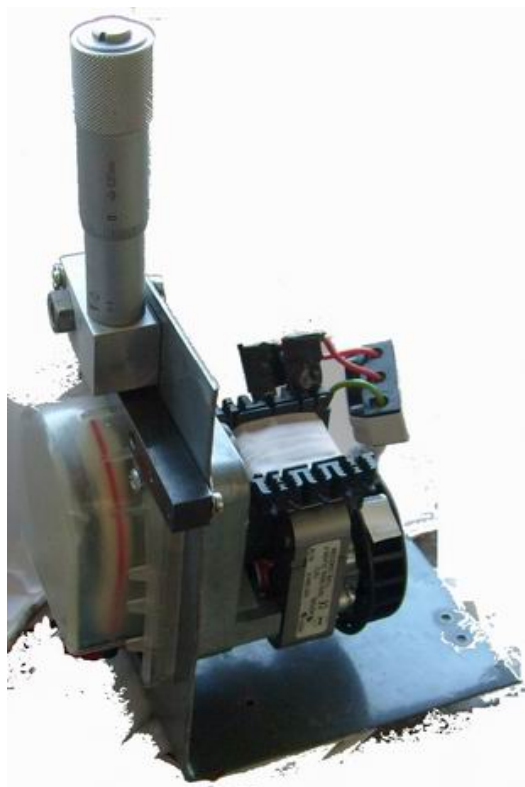
- обемен разход в границите от 10 до 120 ml/min;
- вакуум в границите от 0 до 98 066,5 Pa;

- налягане в границите от 0 до 156 906,4 Pa;
- честота на въртене в границите от 5 до 100 000 min<sup>-1</sup> (това е обхватът на измерване на тахометъра).

В табл. 1 са дадени показателите на медицинската помпа (използва се перисталтична помпа – ПП1).

табл.1 Параметри на медицинската помпа – ПП1

Вътрешен диаметър на шлауха $d$ (mm)	Външен диаметър на шлауха $D$ (mm)	Дебелина на стената на шлауха $\delta$ (mm)	Диаметър на ролките $D_P$ (mm)	Диаметър на скобата $D_{СК}$ (mm)	Монтажен диаметър на шлауха $D_{СП}$ (mm)	Брой ролки $n_P$	Дебелина на шлауха $t$ (mm)
4,8	7,9	1,55	14	56,36	48,46	2	7



фиг.3 Външен изглед на медицинската помпа

Външният вид на медицинския дозатор (който също е изработен в катедра “Прецизна техника и уредостроене”) е даден на фиг.3.

Медицинската помпа е снабдена с микрометрична глава, с която се измерва просвета  $z$  в еластичния тръбопровод, влияещ върху дебита на помпата.

### 4. ЕКСПЕРИМЕНТАЛНИ РЕЗУЛТАТИ

Резултатите от експериментите са дадени в табл.2 (в зависимост от геометричните параметри на обемния дозатор), табл.3 (в зависимост от честотата на въртене на помпената глава) и табл.4 (в зависимост от степента на деформация на шлауха), като е изследвано влиянието на някои параметри на върху обемния разход на медицинската помпа. Останалите параметри са с числени резултати, дадени в табл.1.

табл.2 Резултати за обемния разход в зависимост от геометричните параметри на помпата

Вътрешен диаметър на шлауха $d$ (mm)	Външен диаметър на шлауха $D$ (mm)	Дебелина на стената на шлауха $\Delta V$ (mm)	Диаметър на ролките $D_P$ (mm)	Диаметър на скобата $D_{СК}$ (mm)	Монтажен диаметър на шлауха $D_{CP}$ (mm)	Брой ролки $n_P$	Дебелина на шлауха $t$ (mm)	Измерен дебит $Q_H$ (ml/min)
4,8	7,9	1,55	14	56,36	48,46	2	7	108,81
3,1	7,9	2,4	14	56,36	48,346	2	7	43,9
4,8	7,9	1,55	14	56,36	48,46	2	7	108,81
4,8	7,9	1,55	16,1	56,36	48,46	2	7	104,92
4,8	7,9	1,55	18,25	56,36	48,46	2	7	101,25
4,8	7,9	1,55	14	56,36	48,46	2	7	108,81
4,8	7,9	1,55	14	50,12	42,22	2	7	89,9
4,8	7,9	1,55	14	56,36	48,46	2	7	108,81
4,8	7,9	1,55	14	56,36	48,46	3	7	94,23
4,8	7,9	1,55	14	56,36	48,46	4	7	80,11

табл.3 Влияние на честотата на въртене върху дебита

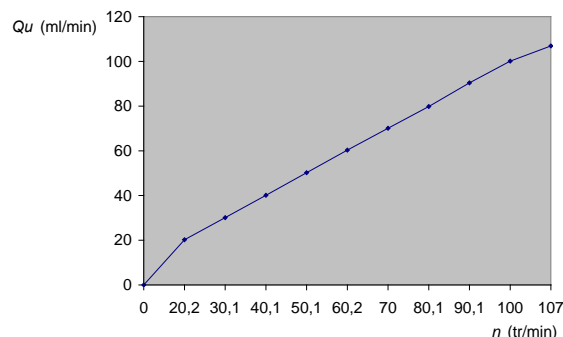
Обемен дозатор	Честота на въртене $n$ (min <sup>-1</sup> )	Измерен дебит $Q_H$ (ml/min)
ППП	53,8	108,8
ППП	50,1	101,21
ППП	45,2	90,96
ППП	40,3	81,21
ППП	35,3	71,1
ППП	30,1	60,82
ППП	25,1	50,84
ППП	20,4	41,32
ППП	15,3	30,9
ППП	10,2	20,61

Честотата на въртене на ротора на помпената глава влияе върху дебита на перисталтичната помпа по линейна зависимост.

Формулата, по която се определя дебита в зависимост от честотата на въртене е показана на (1) [2]:

$$Q_{cp} = V_p \cdot n \quad (1)$$

Графично обемният разход във функция от честотата на въртене на ротора на помпената глава за ППП е изобразен на фиг.4.



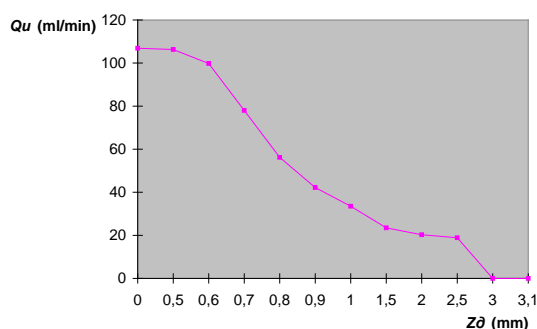
фиг.4 Графично изображение на влиянието на честотата на въртене върху дебита на помпата

Влиянието на степента на деформация върху обемния разход е показано в табл.4. На фиг.5 е показано графичното изображение на това влияние.

табл.3 Влияние на просвета върху дебита

Обемен дозатор	Просвет на деформираното сечение	Измерен дебит
----------------	----------------------------------	---------------

	на шлауха $z_0$ (mm)	$Q_H$ (ml/min)
ПП1	0	106,91
ПП1	0,5	106,32
ПП1	0,6	99,84
ПП1	0,7	78
ПП1	0,8	56,2
ПП1	0,9	42,25
ПП1	1	33,51
ПП1	1,5	23,56
ПП1	2	20,33
ПП1	2,5	18,95
ПП1	3	0
ПП1	3,1	0



фиг.5 Графично изображение на влиянието на просвета върху дебита на помпата

#### Литература

1. **Иванов В.** Особенности на перисталтичните помпи. София, Сп. Машиностроене и електротехника – научен брой, 7-8/2005, стр. 26-29 с..
2. **Иванов В.** Определяне на обемния разход на перисталтичните помпи. XVI Национален научен симпозиум с международно участие “Метрология и метрологично осигуряване’2006”, Созопол, 12-16 септември, 2006.
3. [www.ismatec.com](http://www.ismatec.com). Посетен на 09.01.2011г.
4. [www.masterflex.com](http://www.masterflex.com). Посетен на 09.01.2011г.

## EXPERIMENTAL STAND FOR RESEARCH ON VOLUME DISPENSERS

Valentin IVANOV

Department of precision engineering and measurement instruments, Technical University-Sofia, Bulgaria  
e-mail: [ygi@tu-sofia.bg](mailto:ygi@tu-sofia.bg)

**Abstract:** This work describes developed stand for Research on volume dispensers. Volume dispensers (volumetric pumps) are used in many areas of human activity, mainly considered in the medicine. Here are described the main characteristics, the principle of action and methods for working with the unit. The stand allows to measure: volume flow of the volume dispensers, pressure before and after volume dispensers, and rotational speed. Here is a shown an example of researching of the characteristics of the medical volume dispenser. This example examines the impact of geometric parameters of the volumetric dispenser, the rotational speed of pump head and the clearance of the deformed section of elastic tubing on the volumetric flow of medical volumetric dispenser.

**Keywords:** volume dispenser, pump, medical device



## ИССЛЕДОВАНИЕ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ПРОЦЕССОВ В ДВЕНАДЦАТИПУЛЬСНОМ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕ С ДВУХЗОННЫМ РЕГУЛИРОВАНИЕМ ВЫХОДНОГО НАПРЯЖЕНИЯ

Владислав МИХАЙЛЕНКО<sup>1</sup> Александра КОТЕЛЬНИКОВА<sup>2</sup>  
Алексей ЩЕЛКОНОГОВ<sup>2</sup> Ярослав ВОЛОГИН<sup>3</sup>

<sup>1</sup>кафедра „теоретической электротехники”, Национальный технический университет Украины „Киевский политехнический институт” - Киев, Украина, 03056, проспект Победы 37, корпус 20  
e-mail: [VladislavMihailenko@i.ua](mailto:VladislavMihailenko@i.ua)

<sup>2</sup>кафедра „Автоматики и управления в технических системах”, Национальный технический университет Украины „Киевский политехнический институт” - Киев, Украина

<sup>3</sup>кафедра „Возобновляемых источников энергии”, Национальный технический университет Украины „Киевский политехнический институт” - Киев, Украина

**Резюме:** В статье проведено исследование электромагнитных процессов в электрических цепях с полупроводниковыми коммутаторами. Создано математическую модель для анализа электромагнитных процессов в полупроводниковых преобразователях с широтно-импульсным регулированием выходного напряжения. Показано графики, что показывают электромагнитные процессы в электрических цепях.

**Ключевые слова:** электромагнитные процессы, выходное напряжение и ток, ток нагрузки.

### ВСТУПЛЕНИЕ

Тенденции качественного преобразования электрической энергии позволяют использовать в преобразовательных установках звено высокой частоты с частотой переключения вентелей значительно большей от частоты переменного напряжения [1-4]. В роботах [1, 4] показана целесообразность использования структур преобразователей частоты (ПЧ) с однократной модуляцией при построении схем вторичного электроснабжения для комплексов диагностики электромеханических устройств с различным видом входной энергии. У данной работе проводится исследование электромагнитных процессов в полупроводниковом преобразователе с широтно-импульсным регулированием (ШИР) постоянного напряжения при двухзонном регулировании.

**Целью работы** есть анализ электромагнитных процессов в электрических цепях с полупроводниковыми коммутаторами.

### АНАЛИЗ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ПРОЦЕССОВ

Обобщенная структурная схема преобразователя показана на рис. 1. На структурной схеме позначены: СМ1 и СМ2 – силовые модуляторы (СМ) фазных и линейных напряжений соответственно, ВВ1 и ВВ2 – высокочастотные выпрямители в цепях фазных и линейных напряжений, Н – нагрузка. Силовые модуляторы, которые подключены к энергетической сети параллельно и соединены по выходу последовательно, представляют собой звено высокой частоты преобразователя.

Каждый из СМ содержит  $n$  инверторов выпрямленного напряжения (ИВН), нагруженных на согласующие трансформаторы.

При составлении математической модели преобразователя с компьютерной ориентацией ее использования используется метод многопараметрических функций [2], которых предусматривает предварительное представление алгоритмического уравнения преобразователя. При этом приемем такие допущения: входная энергетическая сеть симметрична и ее внутренне сопротивление равно нулю, транзисторы и диоды ИВН представляются идеальными ключами, согласующие трансформаторы в каждой из зон регулирования выходного напряжения не имеют потерь, а нагрузка преобразователя имеет эквивалентный активно-индуктивный характер.

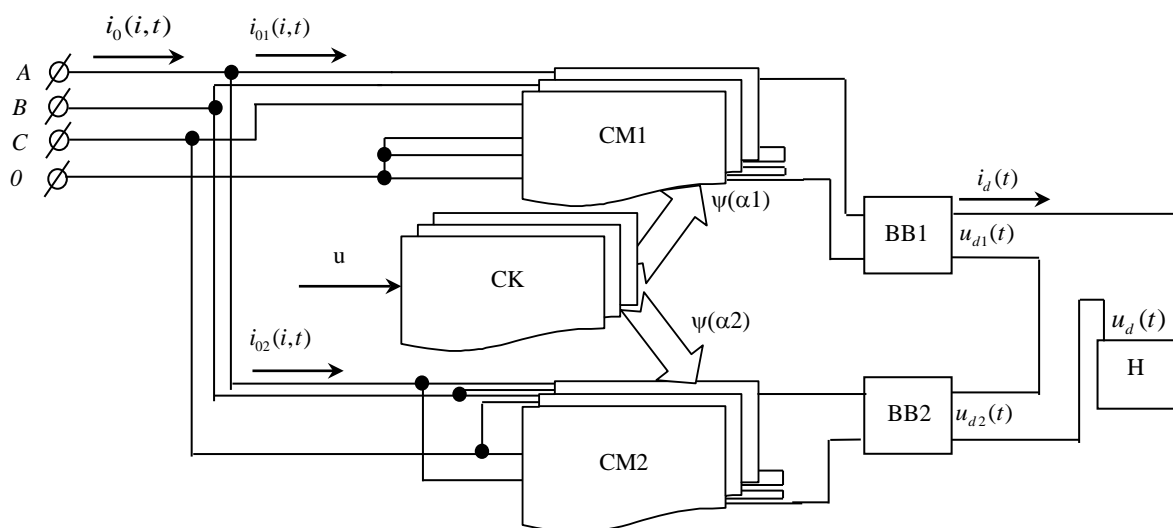


рис. 1. Обобщенная структурная схема преобразователя

Алгоритмическое уравнение преобразователя запишем в виде [2]:

$$u_d(t) = u_{d1} + u_{d2} = \frac{1}{k_T} \left( \sum_{i=1}^3 \sum_{n=1}^{N=2} u_{01}(i, t) \Psi_{\hat{\lambda}1}(i, t) \times \right. \\ \left. \times \left| \Psi_{\hat{\sigma}}(n, i, N, t) \right| + \sum_{j=1}^3 \sum_{n=1}^N u_{0e}(j, t) \Psi_{\hat{\lambda}e}(j, t) \left| \Psi_{\hat{\sigma}}(n, j, N, t) \right| \right), \quad (1)$$

где:  $\Psi_{\hat{\lambda}1}(i, t) = \text{sign} \left[ \sin \left( \omega_1 t - \frac{(i-1)2\pi}{3} \right) \right]$  – модулирующие функции, совпадающие по времени с фазными напряжениями сети питания.

$\Psi_{\hat{\lambda}2}(j, t) = \text{sign} \left[ \sin \left( \omega_1 t + \frac{\pi}{6} - \frac{(j-1)2\pi}{3} \right) \right]$  – модулирующие функции, совпадающие по времени с линейными напряжениями сети питания.

$u_{01}(i, t) = E_m \sin \left( \omega_1 t - \varphi - \frac{(i-1)2\pi}{3} \right)$  – мгновенные значения входных фазных напряжений сети

питания,  $u_{02}(j, t) = E_m \sin \left( \omega_1 t + \frac{\pi}{6} - \varphi - \frac{(j-1)2\pi}{3} \right)$

– мгновенные значения входных линейных напряжений сети питания,  $E_m$  – амплитудное значение фазного напряжения;  $\omega_1 = 2\pi f_1$  и  $\varphi$  –

круговая частота и начальная фаза напряжения

питания;  $\Psi_1(n, N, i, t) = \frac{1}{2} \sum_2 \text{sign}(\sin(\omega_1 t \pm \alpha_1(t)))$

– эквивалентные модулирующие воздействия CM1,

$\Psi_2(n, N, j, t) = \frac{1}{2} \sum_2 \text{sign}(\sin(\omega_1 t \pm \alpha_2(t)))$  – эквивалентные модулирующие воздействия CM2,

$j = 1, 2, 3$ ;  $i = 1, 2, 3$  – номера линейных и фазных напряжений энергетической сети соответственно;  $k_T$  – коэффициент трансформации согласующих трансформаторов;  $\alpha_1(t)$  и  $\alpha_2(t)$  – углы управления для CM1 и CM2 соответственно;  $\varphi$  – начальная фаза эквивалентных модулирующих воздействий.

Из (1) видно, что выходное напряжение преобразователя достигнет максимальной величины при условии  $\alpha_1(t) = \alpha_2(t) = 0^\circ$ . В этом случае частота пульсаций выходного напряжения  $\omega_i = 12\omega_1$ , а (1) примет вид

$$u_d(t) = \frac{1}{2k_T} \left( \sum_{i=1}^3 \sum_{n=1}^{N=2} \left| U_{1m} \sin \left( \omega_1 t - \frac{(i-1)2\pi}{3} \right) \right| + \right. \\ \left. + \sum_{j=1}^3 \sum_{n=1}^{N=2} \left| U_{1m} \sin \left( \omega_1 t + \frac{\pi}{6} - \frac{(j-1)2\pi}{3} \right) \right| \right). \quad (2)$$



Из выражения (2) легко найти среднее значение выходного напряжения, которое запишем как

$$U_{d0} = 2,7k_T(U_{11} + U_{12}) = 2,7k_T(U_{21} + U_{22}), \quad (3)$$

где:  $U_{11}$ ,  $U_{12}$ , и  $U_{21}$ ,  $U_{22}$  – соответственно действующие значения напряжений первичных и вторичных обмоток согласующих трансформаторов СМ фазных и линейных напряжений энергетической сети.

Мгновенные, а также среднее значение (3) выходного напряжения  $u_d(t)$  принимают нулевую величину при  $\alpha_1(t) = \alpha_2(t) = 90^\circ$ . Во всём диапазоне изменения  $\alpha_1(t)$  и  $\alpha_2(t)$  регулировочная характеристика преобразователя принимает вид

$$U_{d\alpha} = 2,7(U_{21} + U_{22})\gamma, \quad (4)$$

где:  $\gamma = t_1/T_2$  – коэффициент заполнения;  $t_1$  – ширина импульса выходного напряжения при ШИР;  $T_2$  – период модулирующего воздействия;  $t_1 = 0 \div T_2$ ;  $T_2 = 2\pi/\omega_2$

Диаграммы выходных напряжений ВВ1 и ВВ2  $u_{d1}(t)$  и  $u_{d2}(t)$  для СМ1 и СМ2, а также напряжение на нагрузке  $u_d(t)$ , построенные по (1) и (4) при изменении величины углов управления  $\alpha_1(t)$  и  $\alpha_2(t)$  по линейному закону в координатах  $\vartheta = \omega_1 t$ , представлены на рис. 2.

Ток через нагрузку  $i_d(t)$  НПП при работе на активно-индуктивную нагрузку находим из решения дифференциального уравнения, составленного для одноконтурной  $RL$ -цепи при влиянии напряжения нагрузки  $u_d(t)$ :

$$H(t, i_d) = \frac{u_d(t)}{L} - \frac{R}{L} i_{d0}, \quad (5)$$

где  $i_{d0}$  – мгновенное значение тока нагрузки, которое определяется начальными условиями при  $t = 0$ ;  $H(t, i_d)$  – вектор-столбик промежуточных решений относительно тока нагрузки в фиксированные моменты времени;  $i_d(t)$  – мгновенные значения тока нагрузки.

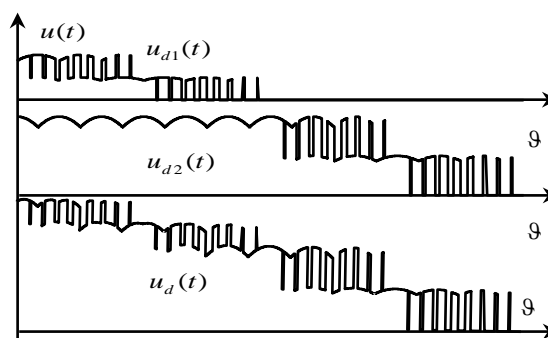


рис. 2. Диаграммы выходных напряжений ВВ1 и ВВ2  $u_{d1}(t)$  и  $u_{d2}(t)$ , и напряжение на нагрузке  $u_d(t)$

Решение (5) найдено, как

$$I_d = \text{rkfixed}(i_d, t_H, t_K, p, H), \quad (6)$$

где  $I_d$  – матрица решений (5), которая содержит вектор-столбец мгновенных значений тока нагрузки  $i_d(t)$  в дискретном времени, отмеченном шагом  $p$ , фиксированного временного интервала  $t_H \dots t_K$ .

С учетом (6) входной ток высокочастотного выпрямителя СМ1 находим из выражения вида

$$i_{21}(t) = i_d(t) \Psi_{\hat{\Delta}\hat{\Delta}1}(t), \quad (7)$$

где  $\Psi_{\hat{\Delta}\hat{\Delta}1}(t) = \text{sign} \left( \frac{1}{k_T} \sum_{i=1}^3 \sum_{n=1}^N u_{01}(i, t) \Psi_{\hat{\Delta}1}(i, t) \Psi_1(n, i, N, t) \right)$  –

единичная за амплитудой модулирующая функция, которая совпадает за фазой и частотой с начальной фазой и частотой высокочастотного квазисинусоидального напряжения СМ1.

Входной ток высокочастотного выпрямителя СМ2 находим из выражения вида

$$i_{22}(t) = i_d(t) \Psi_{\hat{\Delta}\hat{\Delta}2}(t), \quad (8)$$

где  $\Psi_{\hat{\Delta}\hat{\Delta}2}(t) = \text{sign} \left( \frac{1}{k_T} \sum_{i=1}^3 \sum_{n=1}^N u_{0e}(i, t) \Psi_{\hat{\Delta}2}(i, t) \Psi_2(n, i, N, t) \right)$  –

единичная за амплитудой модулирующая функция, которая совпадает за фазой и частотой с начальной фазой и частотой высокочастотного квазисинусоидального напряжения СМ2.

Учитывая выражения (7) и (8), входные токи  $i_{d1}(n, N, i, t)$  инверторов каждой  $n$ -й зоны регулирования находим так

$$i_{1d1}(n, N, i, t) = \frac{i_2(t)\psi_1(n, N, i, t)}{k_T}, \quad (9)$$

а токи  $i_{1d2}(n, N, j, t)$  инверторов каждой  $n$ -й зоны регулирования находим так

$$i_{1d2}(n, N, j, t) = \frac{i_2(t)\psi_2(n, N, j, t)}{k_T}. \quad (10)$$

Для определения выходных токов выпрямителей  $i$ -х фаз энергетической сети во всем диапазоне регулирования выходного напряжения выполняем суммирование входных токов всех зон регулирования в каждой  $i$ -й фазе, учитывая выражения (9) и (10)

$$i_{1d1}(i, t) = i_{1d1}(1, N, i, t) + i_{1d1}(2, N, i, t), \quad (11)$$

где  $i_{1d1}(1, N, i, t)$  и  $i_{1d1}(2, N, i, t)$  – входные токи инверторов  $i$ -х фаз для первой и второй зоны регулирования.

А для определения выходных токов выпрямителей  $j$ -х линейных напряжений энергетической сети во всем диапазоне регулирования выходного напряжения также выполняем суммирование входных токов всех зон регулирования

$$i_{1d2}(j, t) = i_{1d2}(1, N, j, t) + i_{1d2}(2, N, j, t), \quad (12)$$

где  $i_{1d2}(1, N, j, t)$  и  $i_{1d2}(2, N, j, t)$ , – входные токи тнверторов  $j$ -х линейных напряжений для первой и второй зоны регулирования.

Входные токи выпрямителей  $i$ -х фазных напряжений энергетической сети находим из выражения вида

$$i_{01}(i, t) = i_{1d1}(i, t)\psi_{\Delta 1}(i, t). \quad (13)$$

Токи  $j$ -х линейных напряжений энергетической сети определяем так

$$i_{12}(j, t) = i_{1d2}(j, t)\psi_{\Delta 2}(j, t). \quad (14)$$

Учитывая (14) входные токи СМ2 находим из соотношений

$$\begin{aligned} i_{02}(1, t) &= i_{12}(1, t) - i_{12}(3, t), \\ i_{02}(2, t) &= i_{12}(2, t) - i_{12}(1, t), \\ i_{02}(3, t) &= i_{12}(3, t) - i_{12}(2, t). \end{aligned} \quad (15)$$

Входные фазные токи  $i_{01}(i, t)$  энергетической сети питания в каждой  $i$ -й фазе, учитывая выражения (13) и (15), находим из выражения:

$$i_0(i, t) = i_{01}(i, t) + i_{02}(i, t), \quad (16)$$

Диаграммы входных токов  $i$ -х фаз энергетической сети в координатах фазных напряжений, построенные по (16), показано на рис. 3.

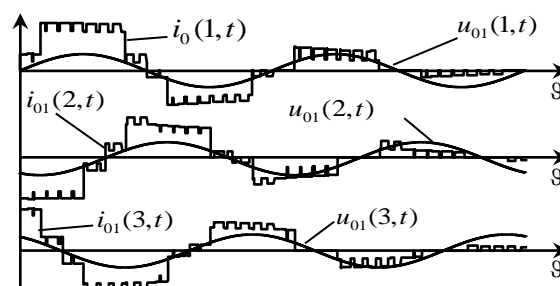


рис. 3. Диаграммы входных токов в координатах фазных напряжений

Кроме приведенных соотношений и диаграмм разработанная модель позволяет анализировать формы напряжений и токов на выходе отдельных СМ, а также их элементах в процессе зонного регулирования выходного напряжения преобразователя.

## ВЫВОДЫ

Таким образом, в данной работе было проведено исследование электромагнитных процессов в электрических цепях с полупроводниковыми коммутаторами. Используя метод многопараметрических модулирующих функций было найдено ток и напряжение нагрузки, входные токи преобразователя. В работе развит метод многопараметрических функций в части разработки новой математической модели с многозонным регулированием выходного напряжения и определения модулирующих функций для анализа по подсистемным составляющим структуры электрических цепей с полупроводниковыми коммутаторами.

## Литература

1. Макаренко М., Сенько В., Юрченко Н. Системний аналіз електромагнітних процесів у напівпровідникових перетворювачах електроенергії модуляційного типу. Київ, Національна академія наук, Інститут електродинаміки, 2005, 241 с.
2. Макаренко Н., Михайленко В. Аналіз електромагнітних процесів у перетворювачах з багатозонним регулюванням вихідної напруги функціями багатопараметричного виду. Техн. електродинаміка. Тем. вип. "Силова електроніка та енергоефективність", 2002, Ч. 1, с. 19–22.
3. Макаренко Н., Михайленко В., Юрченко Н. Аналіз електромагнітних процесів в

двенадцатипульсном преобразователе с зонным регулированием выходного напряжения. Вестник НТУ "Харьковский политехнический институт". "Проблемы автоматизированного электропривода. Теория и практика", 2002, Т. 1, с.233–234.

4. **Макаренко Н., Михайленко В.** Деякі аспекти системного аналізу електромагнітних процесів у

напівпровідникових перетворювачах електроенергії. Вестн. НТУ "Харьковский политехнический институт". "Проблемы автоматизированного электропривода. Теория и практика", 2005, Вып. 45, с.384–385.

## STUDY OF THE ELECTROMAGNETIC PROCESSES IN DVENADCATIPULISNOM CONVERTER WITH TWO ZONED REGULATIONS OF THE OUTPUT VOLTAGE

Vladislav MIHAYLENKO<sup>1</sup> Alexander KOTELNIKOVA<sup>2</sup>  
Aleksy SCHELKONOGOV<sup>2</sup> YARoslav VOLOGIN<sup>3</sup>

<sup>1</sup>chair „Teoretical electrical engineers”, National technical university of the Ukraine „Kiev pollytechnic institute” - Kiev, Ukraine, 03056, avenue of the Victory 37, body 20

e-mail: [VladislavMihailenko@i.ua](mailto:VladislavMihailenko@i.ua)

<sup>2</sup>chair „Automations and management in technical system”, National technical university of the Ukraine „Kiev pollytechnic institute” - Kiev, Ukraine

<sup>3</sup>chair „Renewed sources to energy”, National technical university of the Ukraine „Kiev pollytechnic institute” - Kiev, Ukraine

**Abstract:** Analysis of the electromagnetic processes is organized in crarre in electric circuit with semiconductor commutator. Mathematical model is created for analysis of the electromagnetic processes in semiconductor converter with width pulsed regulation of the output voltage. It is shown graphs that show the electromagnetic processes in electric circuit.

**Keywords:** electromagnetic processes, output voltage and current, current of the load.



## ОТНОСНО АНАЛИЗА НА ПЪТНО – ТРАНСПОРТНИ ПРОИЗШЕСТВИЯ И РЕШАВАНЕТО НА ОБРАТНИ И НЕКОРЕКТНИ ЗАДАЧИ

**Васил ПЕНЧЕВ**

катедра „Основи и технически средства за конструиране”, Технически университет - София, България  
e-mail: [vasil\\_penchev@tu-sofia.bg](mailto:vasil_penchev@tu-sofia.bg),

**Резюме:** В настоящата работа, целта, която е поставена от автора е да се представи връзката между анализа на пътно-транспортните произшествия и решаването на обратни и некоректни задачи. Представен е възможен начин за решаване на една обратна, некоректна задача за нуждите на анализа на птп, чрез интегрално уравнение на Фредхолм и функция на Грин. Лесен начин за решаване на диференциални уравнения, описващи движението на механична система (при наличието на обратна и некоректна задача) е чрез интегрално уравнение на Фредхолм от първи род и ядро (в случая – функция на Грин). Представения подход може да се използва за анализа на множество видове пътни инциденти и/или тяхната верификация.

**Ключови думи:** пътно – транспортно произшествие (ПТП), автотехническа експертиза, некоректни задачи

### 1. УВОД

В последно време в нашето ежедневие, наред с обществено политическите събития има и събития, отличаващи се с голяма честота – това са пътно – транспортните произшествия (ПТП). Те са свързани с нанасянето на материални и нематериални щети и за съжаление, често пъти резултатите от тях са отнети човешки животи. Във визираните случаи Българското законодателство е инкриминирало такива събития. При наличието на инкриминирано събитие следващата стъпка е инициране на наказателно производство срещу извършителя с неговите досъдебна и съдебна фаза. При извършването на процесуално – следствени действия по установяване на обективни данни относно събитието, важна роля играе назначената автотехническа експертиза. Решаването на задачите, поставени в назначената експертиза, анализът и моделирането на пътно – транспортното произшествие е ресурсоемка задача, която често пъти поставя пред изготвящият го субект множество трудности.

Основен фактор за качеството на изготвения анализ е комплексното взаимодействие между знания, умения и опит на експерта.

От експертната практика е известно, че една много голяма част лицата, ангажирани с изготвяне на автотехнически експертизи прибягват по

една или друга причина, до употребата и приложението на унифицирани методики, чрез които лесно и бързо могат да изготвят своите експертни заключения. Методиките са базирани на известни до момента в експертната литература модели, както и на основата на различни теории [1, 2, 3]. Факт е обаче, че всеки конкретен случай е специфичен сам за себе си и е необходимо при решаването на задачата да се предприеме индивидуален подход.

### 2. АВТОТЕХНИЧЕСКА ЕКСПЕРТИЗА, ОБРАТНИ ЗАДАЧИ, НЕКОРЕКТНИ ЗАДАЧИ

Автотехническата експертиза е комплекс от дейности, свързани с прилагането на редица знания и умения от страна на експерта [4]. В частност автотехническата експертиза анализира и пътно – транспортните произшествия, като най – често поставените задачи пред експерта са: 1. Да се определи мястото на удара; 2. Да се определи скоростта на всеки участник в произшествието в момента на удара; 3. Да се определи техническата възможност за предотвратяване на произшествието. Задачите, които следва да бъдат решавани при анализ на ПТП използват за изходни данни, данните снети от местопроизшествието – а те се ограничават най-често до: 1. участници в събити-

ето установени в крайни положения и нулеви скорости на движение; 2. следи и други веществени доказателства, оставени на местопроизшествието. Данните най-често се описват, чрез координатите им, измерени спрямо т.нар. в експертната и съдебната практика „ориентир”, което от инженерна гледна точка е началото на локална координатна система, свързана с местопроизшествието.

Въз основа на тези данни с цел да се отговори на поставените на експерта въпроси е необходимо да се извърши анализ на движението на участниците. Постановката на такъв тип задача е: известни са: геометричните и масовите параметри на участниците в събитието и крайните условия на задачата, търсим нейните начални условия.

При решаването на задачи от автотехническата експертиза е необходимо да се извърши механо-математическо моделиране на движението на участващите обекти (субекти) въз основа на адекватен механо-математически модел и тъй като са известни крайните условия на задачата, то е необходимо моделирането да се извърши ретроспективно. Следователно пред експерта е поставена за решаване „обратна задача”. Обратна задача е задача, при която се търсят условията, при които се получава даден числен отговор т.е. „задача, която се възстановява като се тръгне от отговора”[5].

Обратните задачи, съгласно [6], се делят на различни видове, в зависимост от търсената функция, някои от които са:

1. *Ретроспективна* – когато е необходимо да се намерят началните условия;

2. *Гранична* – при необходимост от намиране на функция, входяща в граничното условие;

3. *Задача за продължение* – задача, при която началните условия са неизвестни, а допълнителната информация и граничните условия са зададени само в определена подобласт на основната дефиниционна област. Необходимо е да се намери (продължи) решението в цялата дефиниционна област;

4. *Коефициентна* – задача, при която се възстановяват коефициентите участващи в основното уравнение.

В анализа на ПТП много често се налага да се решават задачи от първия вид, като и останалите представени видове не трябва да бъдат изключвани. Поради различни причини и фактори (обективни и субективни), началната информация на която се базира последващия анализ на произшествието е разнообразна и почти винаги с липсващи данни, което води до решаването на задачи от представените по-горе типове.

Решаването на обратни задачи, в много от случаите води до решаването на т.нар. некоректни задачи. Според Адамар [6,7] коректно поставена задача от типа

$$Aq = f \quad (2.1)$$

е задача, която удовлетворява едновременно следните условия:

- За произволно  $f \in F$ , съществува решение  $q_T \in Q$  на уравнението (2.1) (*условие за съществуване на решението*);

- Решението  $q_T$  на уравнението (2.1) е единствено в  $Q$  т.е. съществува обратния оператор  $A^{-1} : F \rightarrow Q$  (*условие за единственост на решението*);

- За произволна околност  $O(q) \subset Q$ , решението  $q_T$  на (2.1) се намира в околност  $O(f) \subset F$  такава, че при  $\forall f_\delta \in O(f)$  елемента  $A^{-1} f_\delta = q_\delta$  принадлежи на околността  $O(q_T)$  т.е. оператора  $A^{-1}$  е непрекъснат (*условие за устойчивост на решението*), където  $Q$  и  $F$  са топологични пространства,  $A$  - проекция на пространството  $Q$  в  $F$  ( $A : Q \rightarrow F$ ), а  $O(q)$  – околност на елемента  $q \in Q$ .

В заключение следва да се отбележи, че коректна е всяка задача, която удовлетворява горните три изисквания. В противен случай, при наличие на поне едно неизпълнено от горните условия е налице некоректна задача.

Решенията на некоректно поставени задачи са приближени решения, които са „чувствителни” към малки изменения на изходните данни и се използват на използване на допълнителна информация относно решението.



фиг. 1 Обратни и некоректни задачи

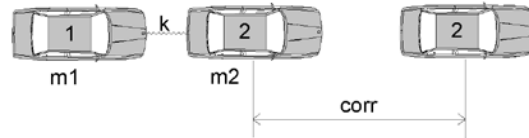
Връзката между обратни и некоректни задачи е представена на фиг.1. Видно от представената фигура е, че некоректните задачи са част от обратните задачи.

При решаване на некоректни задачи се използва най-често т.нар. регуляризация, а механизмите, употребявани за намиране на съответните решения или квазирешения трябва да бъдат съобразени с естеството на поставения проблем, тъй като съществуват и множество други методи за намиране на решения на обратни и некоректни задачи – регуляризация по Тихонов, градиентни методи, числови решения.

### 3. ВРЪЗКА МЕЖДУ АНАЛИЗА НА ПТП И ОБРАТНИТЕ И НЕКОРЕКТНИ ЗАДАЧИ

Постановката на задачата е следната: превозното средство 1 (ПС1) се движи със скорост „ $v_1$ ”, превозно средство 2 (ПС2) с „ $v_2$ ”. В представения пример участниците в събитието са с маси „ $m_1$ ” и „ $m_2$ ”. Преди взаимодействието между тях превозните средства се движат с указаните скорости. За нуждите на настоящото изследване се приема, че превозно средство „2” е спряло (т.е.  $v_2 = 0$ ). В момента от време „ $t_1$ ” се осъществява централен попътен сблъсък между превозните средства. Приемаме, че след удара движението на превозните средства е транслационно, праволинейно, под действието на времезависими сили – инерционни и съпротивителни. Мястото на ПС2, на което то се е установило в покой след удара е известно. Не е известна скоростта на движение на ПС1 преди и в момента на удара т.е. задачата се свежда до намиране при какви условия превозно средство 2 може да достигне до положението в което е установено

в момента на огледа. Представянето на задачата е дадено на фиг. 2.



фиг. 2 Постановка на задачата [10]

Движението на ПС2 се описва с помощта на уравнението (1), където  $F(t)$  – функция, описваща времезависимите сили под чието действие се осъществява движението на автомобила

$$m_2 \ddot{x} = \sum F(t), t \in [0, t_n] \quad (1)$$

Въз основа на постановката на задачата, изложена по – горе е известно:

$$x(0) = 0, \text{ и } \dot{x}(0) = 0 \quad (2)$$

Очевидно е, че за решаване е поставена обратна задача – да се определи дясната страна на уравнението (1) т.е. функцията  $F(t)$  от известните решения (2).

Решението на такъв тип задачи се свеждат до решение на диференциалното уравнение от  $n$ -ти ред (3) за произволен интервал  $[a, b]$ :

$$a_n(x)y^{(n)}(x) + a_{n-1}(x)y^{(n-1)}(x) + \dots + a_1(x)y'(x) + a_0(x)y(x) = f(x) \quad (3)$$

с крайни условия (4) и (5)

$$y(a) = 0, y'(a) = 0, \dots, y^{(k-1)}(a) = 0 \quad (4)$$

$$y(b) = 0, y'(b) = 0, \dots, y^{(m-1)}(b) = 0 \quad (5)$$

където  $a_j(x), j = 0, 1, \dots, n$ , са дадени функции, непрекъснати в интервала  $[a, b]$ ,  $|a_n(x)| > 0$  при  $x \in [a, b]$ , а  $k, m \in \mathbb{Z}$  и удовлетворяват условията:  $k \geq 0, m \geq 0, k + m = n$ .

Решаването на по-горе формулираната обратна задача (1) в случаи на точно известни данни не представлява трудност.

Задачата (1) е неустойчива [6]. Следователно е налице едно от условията за наличие на некоректна задача.

В този случай възможен метод за решаването на задачата е задачата да се сведе до решаване на

линейно интегрално уравнение [8] (уравнение на Фредхолм от I-ви род). Добър начин за решаване на това уравнение е използването на функцията на Грин [7]. От [9] е известно, че:

$$y(x) = \int_a^b G(x, \zeta) f(\zeta) d\zeta \quad (6)$$

където  $G(x, \zeta)$  е функцията на Грин на (3) – (5)

Използвайки интегрално уравнение и интегрирайки (1) с условията (2) получаваме:

$$x(t) = \int_0^t \int_0^{\theta} f(\zeta) d\zeta d\theta \quad (7)$$

След еднократното интегриране се получава

$$x(t) = \int_0^t (t - \zeta) f(\zeta) d\zeta, \quad t \in [0, t_n] \quad (8)$$

Уравнението (8) е уравнение на Волтера от първи род относно неизвестната функция  $f(\zeta)$ .

Ако въведем функцията  $G(t, \zeta)$  [7], тогава:

$$\begin{aligned} G(t, \zeta) &= t - \zeta, \quad n\pi u 0 \leq \zeta \leq t \leq t_n \\ G(t, \zeta) &= 0, \quad n\pi u 0 \leq t \leq \zeta \leq t_n \end{aligned} \quad (9)$$

$$x(t) = \int_0^m G(t, \zeta) f(\zeta) d\zeta \quad (10)$$

Изхождайки от (9), уравнението (8) ще придобие видът (10), което е решимо интегрално уравнение. Въз основа на показания начин, след въвеждане на изходните данни на задачата, се извършват пресмятанията, следвайки описаните по – горе стъпки.

#### 4. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В настоящата статия авторът е представил подход, основаващ се на решаване на диференциално уравнение (решаване на една обратна и некоректна задача) чрез свеждането ѝ до интегрално уравнение на Фредхолм от първи род с ядро на функция на Грин. Предимството на така приложени метод се явява това, че задачата се свежда до решаване на линейно уравнение от първи род. Недостатък на метода е, че в някой от случаите функцията на Грин е трудно определима. Направена е връзка между представения метод за решаването на такъв тип обратни и некоректни задачи с конкретна задача от автотехническата експертиза,

като следва да се отбележи, че в голяма част от случаите на анализ на ПТП са налице дадените по горе основания – т.е в много голяма част от случаите на анализ на ПТП (дори би могло да се твърди - и във всички такива) се налага да се решават обратни и неизменно свързаните с тях некоректни задачи. Въпроса относно коректността при анализа на ПТП е винаги актуален, тъй като параметрите, участващи в математическия модел са чувствителни и често устойчивостта на диференциалните уравнения описващи движенията на участниците не е гарантирана. Представената методика може да се прилага успешно за изследване на удар между участници в ПТП. В тази посока ще бъде и по-нататъшната работа на автора – приложението на теорията на обратните и некоректни задачи при изследването на ПТП. Моделът е основа на по – нататъшна работа върху изследването на ПТП в условията на неопределености като се предвижда да се разработят приложения за автоматизирано решаване на задачите и въз основа на получените резултати да се извършва визуализация.

#### Литература

1. **Пенчев В.** Аспекти в развитието на АТЕ в България част 1, БСИП, БР. 4/2010, стр. 19-25
2. **Пенчев В., Б. Туджаров** Аспекти в развитието на АТЕ в България част 2, БСИП, БР.4/2010, стр. 27-33.
3. **Пенчев В.**, Подход и средства за документирание, анализ и визуализация на ПТП в Web среда, дисертация за придобиване на ОНС „Доктор”, София, 2013
4. Наредба № 1/1996 г. за автотехнически експертизи
5. **Вацкичева, М.** Физичните величини в обратните задачи, Годишник на СУ „Св. Кл. Охридски”, Физически факултет, 2005, 98, стр. 161-165
6. **Кабанихин, С.И.**, Обратные и некорректные задачи. Новосибирск: СНИ, 2009. 457 с. ISBN 5-98365-003-3
7. **Денисов, А.М.**, Введение в теорию обратных задач. Москва: МГУ, 1994. 208 с. ISBN 5-211-03079-6
8. **Сизиков, В.С.** Устойчивые методы обработки результатов измерений. Санкт Петербург: „Спец. Лит”, 1999. 240 с.
9. **Ноймарк, М.А.** Линейные дифференциальные операторы, Москва: Наука, 1969
10. **Tudjarov V., N. Kubota, V. Penchev, V. Hristov** – Web based Modeling and Calculation of Genetic Algorithms – International Workshop on Advanced Computational Intelligence and Intelligent Informatics, IWACIII 2011, November 19-23, Suzhou, China



## **ABOUT VEHICLE CRASH ANALYSIS AND INVERSE AND ILL-POSED PROBLEMS**

**Vasil PENCHEV Boris TUDJAROV**

Fundamentals of design department, Technical University-Sofia, Bulgaria

e-mail: [vasil\\_penchev@tu-sofia.bg](mailto:vasil_penchev@tu-sofia.bg), e-mail: [bntv@tu-sofia.bg](mailto:bntv@tu-sofia.bg)

**Abstract:** The aim of this paper is the relation between the vehicle crash analysis and inverse and ill posed problems. The author presents possible way for solving of inverse and ill posed problem for the needs of vehicle crash accident investigation using Fredholm's integral equation and Green's function. The easiest way for solving of inverse problem through differential equation which describes object movement is the use of Fredholm's integral equation and kernel (in this work – Green's function). The model can be used for investigation of different types of vehicle crash accidents and/or their verification. The future work will be in direction for preparing of applications for automatic solving of the task and to create a relation with module for visualization of the results.

**Keywords:** vehicle crash accident investigation, inverse and ill-posed problems



## ОПРЕДЕЛЯНЕ НА СИЛИ И НАПРЕЖЕНИЯ ПРИ ВИГ ЗАВАРЯВАНЕ НА ТЪНКИ ПЛОЧИ ОТ СТОМАНА 316L

ИВАН МУХТАРОВ

катедра „Съпротивление на материалите”, Технически университет - София, България

e-mail: [i\\_muhtarov@tu-sofia.bg](mailto:i_muhtarov@tu-sofia.bg)

**Резюме:** С програмния пакет ANSYS са решени топлинната и якостно-деформационната задача за определяне на температурното поле, временните и остатъчни напрежения при автогенно ВИГ заваряване с челен шев на плочи с дебелина 2 mm от неръждаема стомана AISI 316L. Разгледани са особеностите на използвания компютърен модел с двойно елипсоиден топлинен източник. Проверка на числените резултати е извършена с помощта на опитен стенд за измерване на температури и възникващи при заваряване сили. Остатъчните напрежения в близост до шева са определени тензометрично по метода с пробиване на отвор. Получено е добро съответствие между резултатите от числени и натурни експерименти.

**Ключови думи:** метод на крайните елементи, механика на заваряването, температурно поле, остатъчни напрежения, ВИГ заваряване

### 1. ВЪВЕДЕНИЕ

Аустенитните неръждаеми стомани, като AISI 316L, притежават отлични механични характеристики и висока корозионна устойчивост в широк температурен диапазон. Те се прилагат широко в хранително-вкусовата, химическата промишленост и енергомашиностроенето. Остатъчните напрежения в тях предизвикват нежелани деформации, водят до образуване на пукнатини, повишена склонност към местната загуба на устойчивост и др. [2].

Поставя се задачата да се разработи компютърен модел за изчисляване на остатъчни напрежения в заварени с челен шев плочи от стомана 316L с размери 200x115x2. За проверка на числените резултати е използван опитен стенд. Чрез динамометър са измерени сили възникващи при заваряването. Остатъчните напрежения в близост до шева са определени с тензометрични розетки по метода с пробиване на отвор.

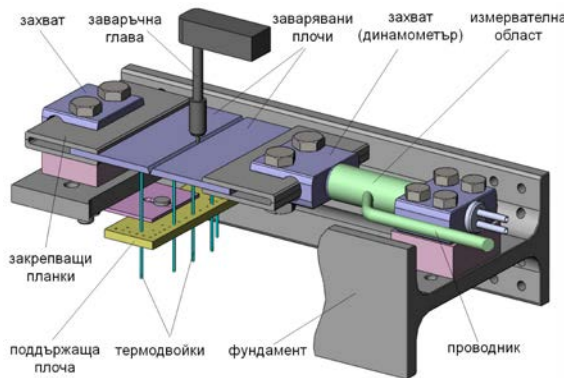
### 2. ОПИТЕН СТЕНД

Опитният стенд показан на фиг. 1 представлява разглобяема статично неопределена конструкция включваща заваряваните плочи. Стендът се състои от фундамент изработен от двойно Т-образен профил, към който чрез захвати се закрепват заваряваните плочи. Единият захват е специално монолитно тяло с цилиндричен тръбен участък, върху чиято повърхност са залепени тензометрични възприематели даващи възможност за измерване на възникващи сили. Този захват представлява комбиниран динамометър, който се свързва с измервателна тензометрична апаратура чрез проводник. За измерване на температурни цикли в избрани точки се използват термодвойки поставени в глухи отвори. Грешката от нелинейност на динамометъра е под 1% [1, 3].

### 3. КОМПЮТЪРЕН МОДЕЛ

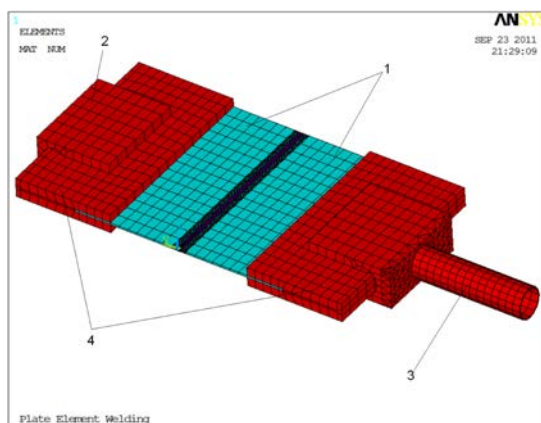
Компютърният модел е разработен с универсалния софтуер по МКЕ ANSYS. Приложен е последователен подход за решаване на термо-механичната задача [1, 2], при който се пренебрегва влиянието на деформациите върху температурното поле. Решението се осъществява

на два етапа, които се решават последователно. В първия етап се определя температурното поле, след което температурните изменения се преобразуват в силови възлови товари от термично разширение и свиване, които се прилагат върху механичния модел и създават напрежения и деформации.



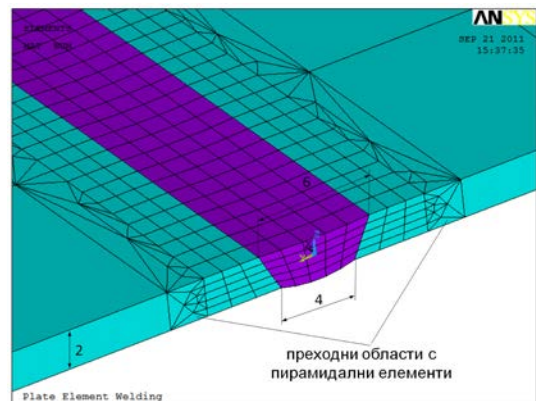
фиг. 1 Опитен стенд

Геометричният модел е показан на фиг. 2. Той включва заваряваните плочи 1, захватите 2, 3 и закрепващите планки 4. Фундаментът е пренебрегнат, тъй като има многократно по-голяма коравина от останалите елементи на стенда. Така се постига намаляване на общия брой елементи в модела и значително се съкращава времето за изчисления.



фиг. 2 Геометричен модел и използвана мрежа

На фиг.3 е показана мрежата в областта на шева. В зоната на термично влияние са използвани 20 възлови елементи SOLID186. В останалата част от модела са генерирани 8 възлови елементи SOLID185. Общият брой елементи е 14960 с 50621 възела. В преходната област са използвани пирамидални елементи осъществяващи връзка между елементите с голям и малък среден размер.



фиг. 3 Мрежа в околошевната област

Използван е двойно елипсоиден топлинен източник с гаусово разпределение на плътността на топлинния поток [1, 2]. Количеството топлина, което се отделя от електрическата дъга се определя от заваръчния ток и напрежение с отчитане на КПД на процеса.

Нарастването на шева се моделира с използване на техниката за активиране и деактивиране на елементи (birth and death). При нея елементите, до които не е достигнал фронта на топлинния източник (заваръчната дъга) са деактивирани чрез умножаване на членове им в матриците на топлинните капацитети и коравини с число близко до нула. Критерий за активиране е повърхност движеща се синхронно с центъра на топлинния източник, намираща се на разстояние два елемента пред контура на елипсоида.

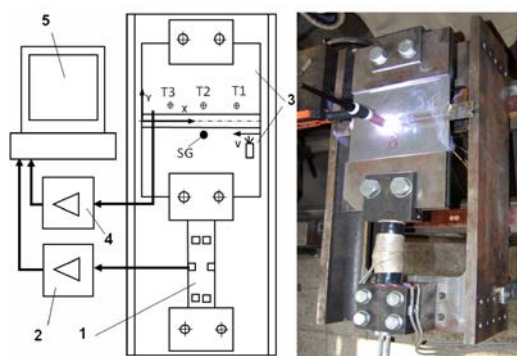
За да се определят остатъчните напрежения в плочите, след като те са демонтирани от опитния стенд, в крайния етап от решаването на задачата е

извършено деактивиране на закрепващите планки 4. По този начин се премахват напреженията, които се образуват в плочите от реакциите в закрепването.

Използван е билинеен изотропен модел на пластично поведение зависещо от температурата. При задаване на коефициента на термично разширение се задава референтна температура, като за заварявания материал тя е околната температура, а за добавъчния - солидус температурата на съответния метал.

#### 4. ЕКСПЕРИМЕНТАЛНА СХЕМА

Натурните експерименти са осъществени със схема показана на фиг. 4. Аналоговият сигнал от тензометричните възприематели на динамометричния захват 1 се обработва от многоканален тензометричен усилвател 2. Температурите в избрани точки (Т1-Т3) от плочите 3 се измерва чрез изолирани от корпуса NiCr-Ni термодвойки с характеристики: диаметър 3mm; клас на точност 2; грешка  $\pm 0,75\%$  в температурен интервал 333-1100 °C. Аналоговият сигнал от термодвойките се обработва от многоканален усилвател 4. Цифровите сигнали от усилвателите 2 и 4 се записват от специално разработен за целта софтуер в компютъра 5.



фиг. 4 Експериментална схема

Числените експерименти са извършени с материални характеристики от [4] показани в табл.

1, където:  $T$  – температура;  $c$  – топлинен капацитет;  $k$  – топлопроводност;  $E$  – коефициент на еластичност;  $\nu$  – модул на Поасон;  $R_{p0,2}$  – граница на провлачване;  $E_T$  – тангентен модул;  $\alpha$  – коефициент на линейно разширение.

табл. 1 Материални характеристики [4]

T °C	c J/kg.K	k W/m.K	E GPa	$\nu$ -	$R_{p0,2}$ MPa	$E_T/E$ -	$\alpha$ $^{\circ}C^{-1}$
20	500	15,0	200	0,278	318	0,014	$16,5 \cdot 10^{-6}$
200	510	17,5	186	0,288	205	0,014	$17,5 \cdot 10^{-6}$
400	550	20,0	172	0,298	132	0,014	$18,5 \cdot 10^{-6}$
600	585	22,5	154	0,313	105	0,014	$18,8 \cdot 10^{-6}$
800	630	25,5	127	0,327	77	0,014	$15,7 \cdot 10^{-6}$
1000	631	28,3	96	0,342	50	$1 \cdot 10^{-4}$	$14,0 \cdot 10^{-6}$
1200	654	31,1	50	0,350	10	$1 \cdot 10^{-4}$	$13,8 \cdot 10^{-6}$
1340	669	33,1	10	0,351	10	$1 \cdot 10^{-4}$	$12,6 \cdot 10^{-6}$
1400	675	66,2	10	0,353	10	$1 \cdot 10^{-4}$	$10,0 \cdot 10^{-6}$

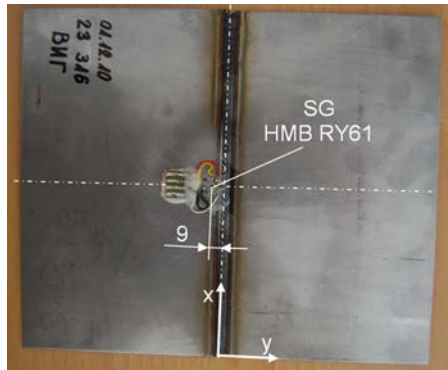
Заваръчният процес е автогенен с постоянен ток и се реализира с апарат Kempt Mastertig 2300 позволяващ прецизно регулиране на параметрите. Използван е торичан електрод с диаметър 2,4 mm и защитен газ аргон с дебит 6,5 l/min. Параметрите на заваряване са: ток 100 A; напрежение 9,7 V; скорост на заваряване 3,5 mm/s; топлинен поток 1341,3 J/cm. Шевове са инспектирани и съответстват на изискванията за вътрешни и външни дефекти в ISO 15614-1.

В точка SG показана на фиг. 5 са измерени остатъчните напрежения след демонтиране на плочите. Използван е тензометричният метод с пробиване на отвор изпълнен съгласно стандартната процедура ASTM E837 [5]. Всички тензометрични материали са на фирма HMB GmbH. Плочите със залепената тензометрична розетка RY61 и осите, спрямо които са определени напреженията са показани на фиг. 5.

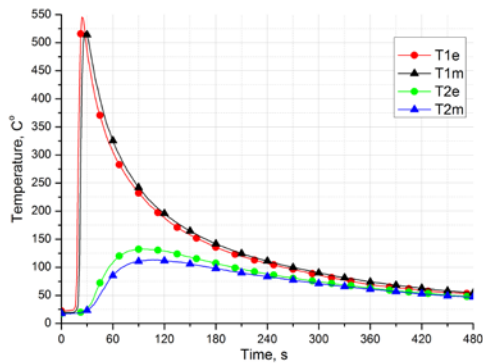
#### 4. РЕЗУЛТАТИ

На фиг. 6 е показано сравнение между изчислените и измерените температури в точки T1 и T2 (виж фиг. 4). T1m и T2m са изчислени температури, T1e и T2e – измерени чрез термодвойки. След 480 s температурите се уеднаквяват в ре-

зултат от топлопроводността на материала. Съответствието между изчислените и измерените стойности е добро, разликата е до 5%.

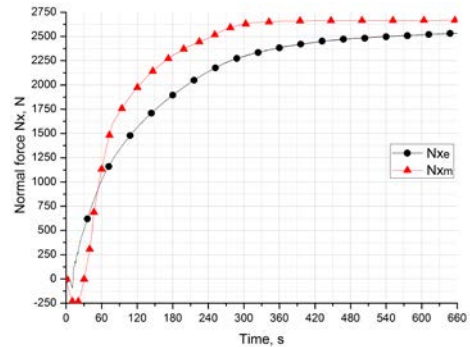


фиг. 5 Разположение на използваната тензометрична розетка



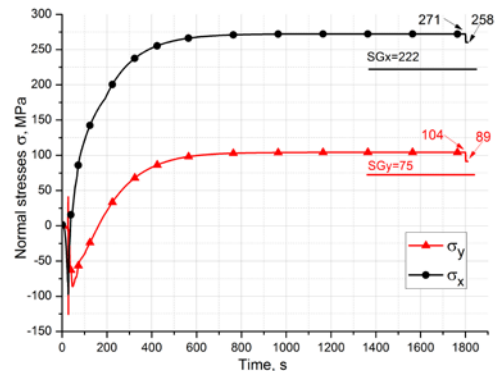
фиг. 6 Изчислени и измерени температури в точки T1 и T2

На фиг. 7 са сравнени измерената от динамометъра нормална сила  $N_{xe}$  и определената от компютърния модел  $N_{xm}$ . В началото се наблюдава кратковременна отрицателна стойност в следствие от термичното разширение на заваряваните плочи. При охлаждането на образците, разширението преминава в свиване предизвикващо опън достигаш константна стойност след 600 s от началото на процеса.



фиг. 7 Измерената и изчислена нормална сила  $N_x$

Фиг. 8 показва изменението на напреженията  $\sigma_x$  (надлъжно на шева) и  $\sigma_y$  (напречно на шева) определени за точка SG (виж фиг. 5) чрез компютърния модел и измерени по метода с пробиване на отвор в същата точка  $SG_x$  (надлъжно) и  $SG_y$  (напречно). Скокът в стойностите за време  $t=1800$  s съответства на момента на деактивиране на закрепващите плочи.



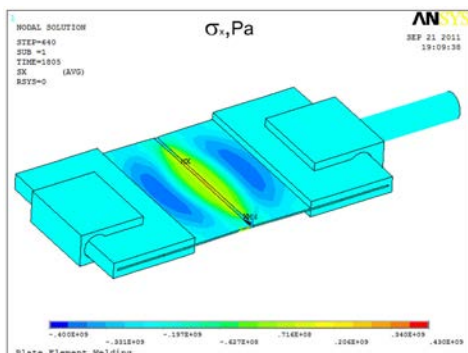
фиг. 8 Изчислени и измерени нормални напрежения в точка SG

Вижда се, че измереното надлъжно остатъчно напрежение  $\sigma_x$  е 222 MPa и е около 70% от границата на провлачване на основния материал. Напречното остатъчно напрежение  $\sigma_y$  е 75 MPa, като се получава отношение  $\sigma_x/\sigma_y=2,96$ .

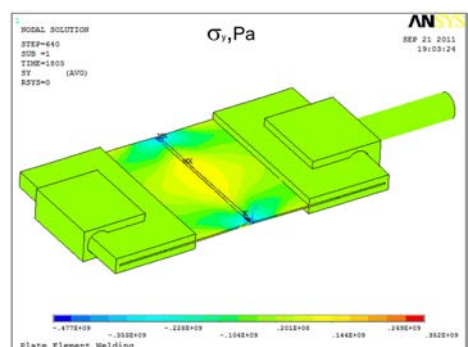
Изчислените стойности на нормалните и напречните остатъчни напрежения в момента  $t=1800$  s са  $\sigma_x=258$  MPa и  $\sigma_y=89$  MPa с отношение

$\sigma_x/\sigma_y=2,90$  съответстващо на отношението между измерените стойности.

Фиг. 9 и 10 показва полетата на остатъчните напрежения в момента  $t=1805$  s, след деактивиране на закрепващите плочи (след демонтиране на плочите).



фиг. 9 Поле на надлъжните нормални остатъчни напрежения



фиг. 10 Поле на напречните нормални остатъчни напрежения

#### 4. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Могат да се направят следните изводи:

- разработеният компютърен модел определя заваръчните термични цикли с разлика от измерените стойности под 5%;

- Моделът изчислява силите възникващи при заваряването с добра точност за време  $t>600$  s;
- изчислените нормално и напречно остатъчно нормално напрежение за разгледаната точка имат отклонения от измерените стойности съответно 16% за  $\sigma_x$  и 19% за  $\sigma_y$ . Получено е отношение  $\sigma_x/\sigma_y=2,90$ ;
- отклоненията при време  $t<480$  s могат да се обяснят с незадоволителната точност на материалните характеристики за температури над  $800^\circ\text{C}$ ;
- базирайки се на съответствие между измерени и изчислени сили, стендът и разгледания компютърен модел откриват възможност за оптимизиране на термо-механичните материални характеристики прилагани при компютърен анализ на заваръчни процеси;

#### Благодарности

Авторът изказва благодарност на доц. Теофил Ямболиев от лабораторията по заваряване в ТУ-София, Филиал Пловдив за осигуреното финансиране и сътрудничеството при осъществяване на експериментите.

#### Литература

1. Лазов Л., И. Мухтаров И., В. Цонев В. Метод за изследване на възникващи сили при заваряване с челен еднослоен шев, TechSys, 2009
2. Goldak J, Akhlaghi M. Computational welding mechanics, Springer, 2005
3. Jamboliev T., Muhtarov I., Petrov T. Investigation of The Temperature Field and Forces Under GMAW of Double Pass But Welds, The 2<sup>nd</sup> South-East European IIV International Congress , 2009
4. [http://www.lucefin.com/wp-content/files\\_mf/1.4404a316170.pdf](http://www.lucefin.com/wp-content/files_mf/1.4404a316170.pdf). Посетен на 10.11.2011 г.
5. ASTM Standard E 837. Determining residual stresses by the hole-drilling strain-gage method.

## **FORCES AND RESIDUAL STRESSES IN AISI 316L THIN STAINLESS STEEL PLATES DUE TO CONVENTIONAL GAS TUNGSTEN ARC WELDING**

**IVAN MUHTAROV**

Department of Strength of Materials, Technical University, Sofia, Bulgaria

[i\\_muhtarov@tu-sofia.bg](mailto:i_muhtarov@tu-sofia.bg)

**Abstract:** FEM software (ANSYS) is used to solve the thermal and mechanical problems considering temperature field and residual stresses in butt weld joint of 2 mm thick plates of AISI 316L stainless steel subjected to constant current autogenous GTAW welding. Features of the computational model using a double ellipsoidal thermal source are discussed. A special experimental device was used to measure the temperature and the internal forces due to welding. The hole-drilling strain gauge method was applied to measure the residual stresses near of the weld bead. The numerically obtained results and the experimental data show good agreement.

**Keywords:** Finite element method, Welding mechanics, Temperature field, Residual stresses, TIG welding, Hole-drilling



## ДИНАМИЧНО МОДЕЛИРАНЕ НА СИСТЕМАТА ВЪТРЕШЕН КОНУС-КОРПУС НА КОНУСНА ИНЕРЦИОННА ТРОШАЧКА ТИП КИД-300

Петко НЕДЯЛКОВ<sup>1</sup> Симеон САВОВ<sup>2</sup>

<sup>1</sup>катедра „Машини елементи и неметални конструкции”, Технически университет - София, България  
e-mail: [nedpetko@tu-sofia.bg](mailto:nedpetko@tu-sofia.bg)

<sup>2</sup>катедра „Механизация на мините”, Минно-геоложки университет „Св. Иван Рилски” - София, България  
e-mail: [ss.ss@abv.bg](mailto:ss.ss@abv.bg)

**Резюме:** В настоящата разработка е представена методиката на създаването на динамичен (механо-математичен) модел на системата вътрешен конус-корпус на конусна инерционна трошачка тип КИД-300. За целите на симулационното изследване на динамиката на системата в хоризонталната равнина (по направление на дадена ос) е създаден равнинен двумасов модел с две степени на свобода на системата вътрешен конус-корпус. Този модел представлява теоретично приближение към натурния модел на системата вътрешен конус-корпус на трошачката и същевременно описва динамиката на тази многомасова система в равнината. За създаването на динамичния модел са направени нужните идеализации и постановки, но е отредено подобаващо място на параметризирането и изясняването на взаимовръзките между телата представени в модела както и последващо параметриране на модела. Представени са резултатите за: - амплитудно-честотната характеристика на системата при единично въздействие, а също така и резултати за: -вибропреместването (трептенията) на корпуса на машината в хоризонталната равнина при различни настройки на трошачката.

**Ключови думи:** динамично моделиране, вибропреместване, система вътрешен конус-корпус, КИД-300

### 1. УВОД

Конусните инерционни трошачки (КИД) са вибрационни машини (фиг.1), при които и двата конуса (вътрешен и външен) извършват определен вид пространствено движение. В задвижващата система на вътрешния конус липсва твърда кинематична връзка. Задвижването на вътрешния конус се осъществява посредством инерционен вибратор от дебалансен тип.

Корпусът на машината заедно с външния конус притежават шест степени на свобода – три транслационни движения (3Т) и три ротационни (3R). Вътрешният конус спрямо корпуса и външния конус на машината има три ротационни степени на свобода (3R) реализирани посредством сферичен плъзгащ лагер. Дебалансният вибровъзбудител има една ротационна степен на свобода (1R) спрямо вътрешния конус, която се осъществява чрез цилиндричен плъзгащ лагер.

Равнинният двумасов модел с две степени на свобода описва динамиката на системата вътрешен конус-корпус, но при движение на телата само в равнината  $xu$  и то по направление на ос  $Ox$  или  $Oy$ . Използва се ясно ориентирана координатна система, като оста  $z$  е насочена нагоре по

оста на машината. Динамиката на системата е идентична по ос  $x$  и по ос  $y$ . Този модел се явява теоретично приближение към натурния модел на машината при следните предпоставки:

- разглеждане на движението на модела само в една равнина и то по направление на една ос;
- налагане на ограничения в степените на свобода на пространствения модел.

### 2. ИДЕАЛИЗАЦИИ И ПРИЕМАНИЯ

Динамичният модел е съставен, като тримерните тела са представени само с масовите си характеристики. При параметрирането на модела масите на телата са приети както следва:

- маса на тяло №1, която включва масата на вътрешния конус, масата на дебалансния вибратор и половината от масата на задвижващия го карданен вал (фиг.1);
- маса на тяло №2, която включва масата на корпуса заедно с външния конус, масата на опорния блок на карданния вал и половината от масата на карданния вал (фиг.1).

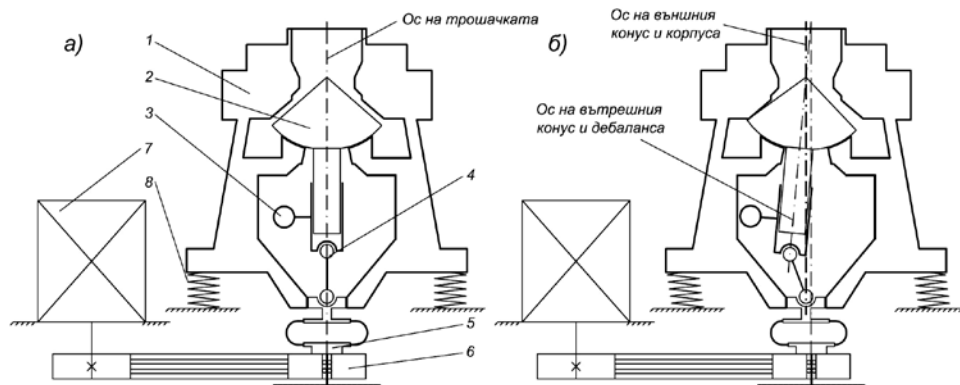
За опростяване на теоретичното изследване на равнинния модел ще се използват следните идеализации:

- системата извършва транслационно движение по направление само на една обобщена координата (ос  $x$ );
- кинетичната енергия на системата има само транслационни съставляващи;
- разглеждат се само линейни съпротивителни сили представени чрез дисипативната функция на Релей, пренебрегват се силите на Кулоново триене и съпротивленията от по-висока от първа степен на скоростта;
- разглеждат се само малки трептения (премествания) на системата;
- активната външна сила, която въздейства на системата се приема да бъде силата създавана от дебалансния вибратор.

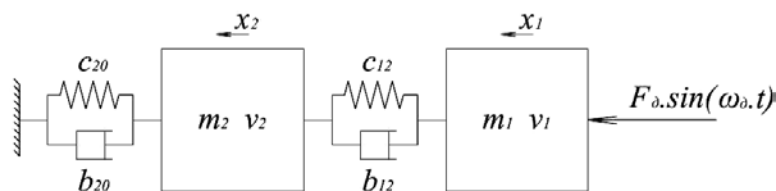
### 3. ПОСТАНОВКА НА ДИНАМИЧНОТО МОДЕЛИРАНЕ

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

При така направените идеализации и приемания, системата представена на фиг.2 може да се приеме за напълно линейризирана.



фиг. 1 Кинематична схема на задвижващата система на КИД-300



фиг. 2 Линейризиран равнинен динамичен модел – двумасова схема на взаимодействие между корпуса и вътрешния конус на КИД-300

Означенията на фиг.2 представляват съответно:

$m_1, m_2$  – маси на двете тела;

$v_1, v_2$  ( $\dot{x}_1, \dot{x}_2$ ) – линейни скорости на двете тела;

$x_1, x_2$  – линейни премествания на двете тела;

$c_{12}$  – еластична връзка между тяло №1 и №2 (еластична връзка между външния и вътрешния конус – слоя материал);

$c_{20}$  – еластична връзка между тяло №2 и неподвижна опора (еластична връзка между фундамента и корпуса на машината – гумени виброизолатори);

$b_{12}$  – дисипативна връзка между тяло №1 и №2, моделираща дисипативните свойства на слоя материал;

$b_{20}$  – дисипативна връзка между тяло №2 и неподвижна опора, моделираща дисипативните свойства на гумените виброизолатори;

$F_{\delta}$  – сила създавана от дебалансния вибратор на машината;

$\omega_{\delta}$  – ъглова скорост на дебалансния вибратор.

#### 4. СЪЗДАВАНЕ НА ДИНАМИЧНИЯ МОДЕЛ

Целта на създаването на динамичен модел (механо-математичен) е да се използват възможностите за теоретично изследване на динамичните параметри на системата с математически средства, като за улеснение се ползват компютърни приложения [2,3]. Динамичният равнинен двумасов модел може да се изгради, съгласно принципа на Даламбер или чрез използване на диференциалните уравнения на Лагранж. Този модел е изграден въз основа на принципа на Даламбер.

Съгласно принципът на Даламбер, който формулира условието за динамично равновесие на системата: Инерционната сила уравновесява всички сили в системата или математически изразено:

$$\vec{\Phi} = \sum_{i=1}^n \vec{F}_i + \sum_{i=1}^m \vec{R}_i \quad (1)$$

където:

$\vec{\Phi} = m \cdot \ddot{x}$  – инерционна (Даламберова) сила;

$\sum_{i=1}^n \vec{F}_i$  – сума от всички външни сили – равнодействаща сила на системата;

$\sum_{i=1}^m \vec{R}_i$  – сума от всички реакции на връзките – равнодействаща сила от връзките.

Тъй като се разглежда модел, който извършва транслационно движение по направление само на една координата векторният запис се изпуска, като се използват следните обобщени зависимости за силите:

$$\Phi_i = m_i \cdot \ddot{x}_i, \quad N \quad (2)$$

$$R_i^{el} = c_i \cdot \delta_i, \quad N \quad (3)$$

$$R_i^d = b_i \cdot \dot{\delta}_i, \quad N \quad (4)$$

където:

$\ddot{x}_i$  – линейно ускорение;

$c_i$  – коефициент на коравина (еластична връзка);

$b_i$  – коефициент на демпфиране (дисипативна връзка);

$\delta_i$  – деформация в еластичен елемент.

Външната сила, която е приложена върху първото тяло е силата създавана от дебалансния вибратор на трошачката, а към второто тяло няма приложена активна външна сила. На тази база се получават следните зависимости:

$F_1 = F_{\delta} \cdot \sin(\omega_{\delta} \cdot t)$ ,  $N$  и  $F_2 = 0$ ,  $N$ , а диференциалните уравнения за движение на двете отделни тела, следователно са:

$$1) \Phi_1 = F_1 - R_1^{el} - R_1^d \quad (5)$$

$$2) \Phi_2 = F_2 + R_1^{el} + R_1^d - R_2^{el} - R_2^d \quad (6)$$

или обединени в система диференциални уравнения, съответно се получава:

$$\begin{cases} m_1 \cdot \ddot{x}_1 + c_{12} \cdot (x_1 - x_2) + b_{12} \cdot (\dot{x}_1 - \dot{x}_2) = F_{\delta} \cdot \sin(\omega_{\delta} \cdot t) \\ m_2 \cdot \ddot{x}_2 - c_{12} \cdot (x_1 - x_2) + c_{20} \cdot x_2 - b_{12} \cdot (\dot{x}_1 - \dot{x}_2) + b_{20} \cdot \dot{x}_2 = 0 \end{cases} \quad (7)$$

Преходът към матрична форма на база системата диференциални уравнения е:

$$\begin{bmatrix} m_1 & 0 \\ 0 & m_2 \end{bmatrix} * \begin{bmatrix} \ddot{x}_1 \\ \ddot{x}_2 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} b_{12} & -b_{12} \\ -b_{12} & b_{12} + b_{20} \end{bmatrix} * \begin{bmatrix} \dot{x}_1 \\ \dot{x}_2 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} c_{12} & -c_{12} \\ -c_{12} & c_{12} + c_{20} \end{bmatrix} * \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} F_{\delta} \cdot \sin(\omega_{\delta} \cdot t) \\ 0 \end{bmatrix} \quad (8)$$

от тук аналогично следва преходът към:

$$A \cdot \ddot{x} + B \cdot \dot{x} + C \cdot x = F(t) \quad (9)$$

като използваните означения в ур-е 9 съответстват на ур-е 8.

#### 5. ПАРАМЕТРИРАНЕ НА ДИНАМИЧНИЯ МОДЕЛ

Инерционните и дисипативните параметри на модела, както и параметрите на еластичните елементи са представени в таблица 1 заедно с техните размерности.

табл. 1 Параметри на динамичния модел

Инерционни параметри на модела		
Параметър	Стойност	Размерност
$m_1$	124,46	kg
$m_2$	714,16	kg
Дисипативни параметри на модела		
Параметър	Стойност	Размерност
$b_{12}$ ( $b=4$ mm)	67566,5	N.s/m
$b_{12}$ ( $b=6$ mm)	54313,7	N.s/m
$b_{12}$ ( $b=8$ mm)	45896,1	N.s/m
$b_{20}$	11725,53	N.s/m
Параметри на еластичните елементи		
Параметър	Стойност	Размерност
$c_{12}$ ( $b=4$ mm)	101889622	N/m
$c_{12}$ ( $b=6$ mm)	65839384	N/m
$c_{12}$ ( $b=8$ mm)	47013045	N/m
$c_{20}$	105642	N/m

Равнинният модел се използва за изследване на трептенията в хоризонталната равнина  $xу$ , като получените резултати за вибропреместването по двете оси  $x$  и  $y$  са идентични, но дефазирани с ъгъл  $\pi/2$  rad. В първия случай обобщените координати на движение са еквивалентни на  $x_1, x_2$ , а във втория случай са еквивалентни на  $y_1, y_2$ .

### 6. РЕЗУЛТАТИ ОТ СИМУЛАЦИОННОТО ИЗСЛЕДВАНЕ НА ДВИЖЕНИЕТО НА СИСТЕМАТА ВЪТРЕШЕН КО-НУС-КОРПУС

С помощта на така създадения равнинен двумасов модел е направено симулационно изследване (в програмна среда на MatLab) на равнинните принудени трептения на машината по направление на ос  $x$ . Изследвани са равнинните принудени трептения на тяло №2 по направление на ос  $x$ , като е променяна само честотата на въртене на дебалансния вибратор (в диапазон  $f=18\div 31$  Hz), а стойностите на останалите параметри (статичен инерционен момент на дебалансния вибратор и широчина на статичния разтоварен отвор на машината) са постоянни. Използваните настройки за симулационното изследване са:

1)  $f=18$  Hz,  $\omega_0=113,10$  rad/s,  $S_0=0,09441$  kg.m и  $b=6$  mm;

2)  $f=25$  Hz,  $\omega_0=157,08$  rad/s,  $S_0=0,09441$  kg.m и  $b=6$  mm;

3)  $f=31$  Hz,  $\omega_0=194,78$  rad/s,  $S_0=0,09441$  kg.m и  $b=6$  mm.

При така поставените условия за матрици  $A, B$  и  $C$  (ур-я 8 и 9) се получава:

$$A = \begin{bmatrix} 124,46 & 0 \\ 0 & 714,16 \end{bmatrix};$$

$$B = \begin{bmatrix} 54313,7 & -54313,7 \\ -54313,7 & 66039,2 \end{bmatrix};$$

$$C = \begin{bmatrix} 65839384 & -65839384 \\ -65839384 & 65945026 \end{bmatrix}$$

Стойността на активната външна сила, която въздейства на системата и която предизвиква вибропреместване на машината по ос  $x$  е определена по:

$$F_x^v = m_{mp} \cdot a_x, \quad N \quad (10)$$

където  $m_{mp}=838,62$  kg е масата на трошачката, а  $a_x$  е виброускорението на машината по ос  $x$ , което е измерено експериментално при работа на трошачката със съответните настройки (1), 2) и 3)) и неговите стойности са:  $a_x^{(1)}=0,372$  m/s<sup>2</sup>;  $a_x^{(2)}=0,698$  m/s<sup>2</sup> и  $a_x^{(3)}=1,393$  m/s<sup>2</sup>. Съответно за дясната част на ур-е 9 се получават следните матрици:

$$F^{(1)}(t)=[312,32 \cdot \sin(113,1 \cdot t); 0]^T;$$

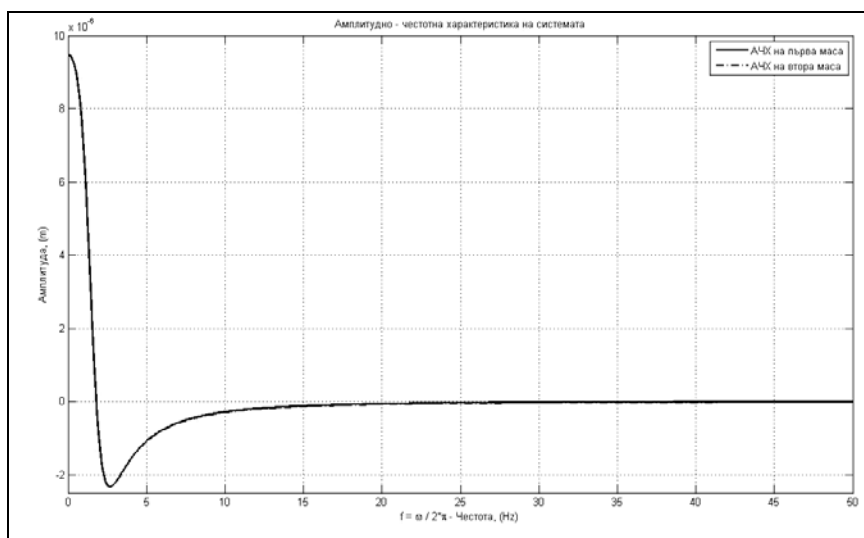
$$F^{(2)}(t)=[585 \cdot \sin(157,08 \cdot t); 0]^T;$$

$$F^{(3)}(t)=[1168,3 \cdot \sin(194,78 \cdot t); 0]^T.$$

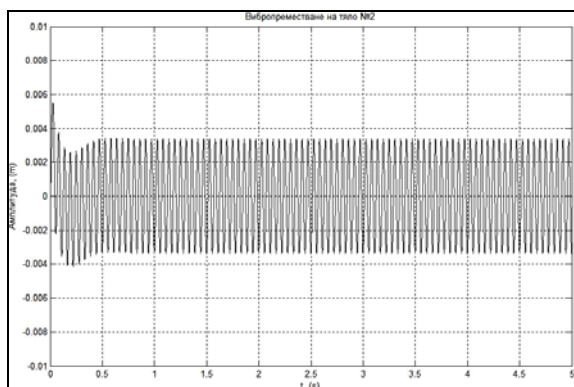
На фигура 3 е представена амплитудно-честотната характеристика на двумасовата система при движение на телата в равнината  $xу$  по направление на ос  $x$  (ос  $y$ ), която е получена при единично въздействие, съответно в програмна среда на MatLab.

Амплитудно-честотните характеристики на двете тела (както се вижда от фиг.3) се покриват почти напълно. Този ефект се получава поради високите стойности на коефициента на коравина на слоя материал.

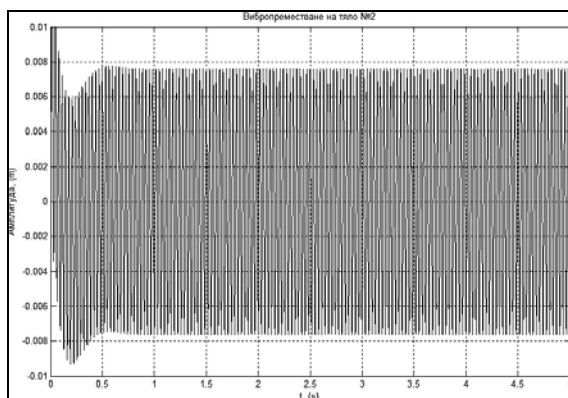
На фигури 4, 5 и 6 са представени резултатите за вибропреместването (трептенията) на корпуса на машината в хоризонталната равнина  $xу$  по направление на ос  $x$ , които са получени от направеното симулационно изследване на равнинния двумасов модел в програмна среда на MatLab.



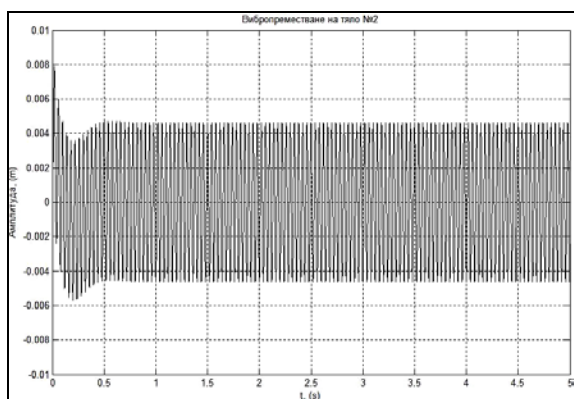
фиг. 3 Амплитудно-честотна характеристика на равнинния двумасов модел



фиг. 4 Трептения на корпуса на машината по ос x (1)



фиг. 6 Трептения на корпуса на машината по ос x (3)



фиг. 5 Трептения на корпуса на машината по ос x (2)

Както се вижда от получените резултати стойността на амплитудата на вибропреместването на корпуса на машината по направление на ос x (ос y) при настройки на машината (1), (2) и (3), съответно е 0,003367 m (фиг.4); 0,004626 m (фиг.5) и 0,007608 m (фиг.6).

## 7. ИЗВОДИ

- Равнинният двумасов динамичен модел с две степени на свобода на вътрешния конус и корпуса на машината предоставя възможности за изследване на движението на трошачката в хоризонталната равнина.

- Моделът дава възможност да се симулира и изследва движението на вътрешния конус и корпуса на трошачката в хоризонталната равнина, като могат да се променят настройките на машината, параметрите на опорните тампони и физико-механичните характеристики на разтрошавания материал.
- От модела може да се получи информация за амплитудата на вибропреместването, виброскоростта и виброускорението на двете тела в хоризонталната равнина.
- Моделът може да се използва при проектиране и конструиране на трошачки тип КИД, съответно за определяне на оптималното съотношение между масите на вътрешния конус и корпуса на машината и за синтез на параметрите на опорните тампони.

#### Литература

1. **Вражилски Др.** Изследване на работния процес и параметри на вибрационен сепаратор. Автореферат на дисертация, ТУ-София, 2010 г.
2. **Лазов Л.** Изследване на работния процес и параметри на ударно-отражателна трошачка. Автореферат на дисертация, ТУ-София, 2008.
3. **Недялков П.** Динамично моделиране и изследване на работния процес и параметри на вертикална вибро-импулсна мелница. Автореферат на дисертация, ТУ-София, 2009.
4. **Савов С., Недялков П.** Изследване на цилиндричен плъзгащ лагер на конусна инерционна трошачка. Българско списание за инженерно проектиране, брой 21, януари 2014, стр. 17-22, ISSN 1313-7530.
5. **Савов С., Недялков П.** Изследване на зависимостите в зърнометричните характеристики при работа на КИД-300. Българско списание за инженерно проектиране, брой 18, април 2013, стр. 129-135, ISSN 1313-7530.
6. **Цуцков Е., Недялков П., Лазов Л., Вражилски Д.** Методика за синтез на двумасови вибрационни машини. Годишник на МГУ „Св. Иван Рилски“, том 48, Св. III, 2005.
7. **Assenov E., Vrajilski D.** Study of kinematical and dynamical parameters of vibration separator” списание „Машиностроене и електротехника”, специален брой XI 2006г.
8. **Craig J.** Introduction to robotics, mechanics and control. Addison-Wesley Longman, Boston, Second edition, USA 1989.
9. **De Silva C.** Vibration: fundamentals and practice. CRC Press Boca Raton, London New York Washington, USA 2000.
10. **Nedyalkov P.** FEM Modelling and Characteristics Research of Cylindrical Journal Bearing for Cone Inertial Crusher /KID - 300”, RECENT, Vol. 15, №2 (42), July 2014, Brashov, Romania, pp. 112-116, ISSN: 1582-0246 & ISSN: 2065-4529.
11. **Savov S., Nedyalkov P., Mochev D.** Particle size distributions of the cone inertial crusher (KID-300) products”, Proceedings of Bolkan Conference of Mineral Processing, Sozopol 2013, pp. 150-153.

## DYNAMICAL MODELING OF INNER CONE-HOUSING SYSTEM OF CONE INERTIAL CRUSHER (KID-300)

**Petko NEDYALKOV<sup>1</sup> Simeon SAVOV<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>Department of Machine Elements and Non-metallic Constructions, Technical University-Sofia, Bulgaria  
e-mail: [nedpetko@tu-sofia.bg](mailto:nedpetko@tu-sofia.bg)

<sup>2</sup>Department of Mining Mechanization, University of Mining and Geology “St. Ivan Rilski” - Sofia, Bulgaria  
e-mail: [ss.ss@abv.bg](mailto:ss.ss@abv.bg)

**Abstract:** The paper describes a synthesis of dynamical model for a inner cone-housing system of one cone inertial crusher (KID-300). The first step of dynamical modeling is synthesis of two mass plain model with two degrees of freedom. This model is theoretical approximation to the natural model of inner cone-housing system of the crusher and also describes the dynamics of this multi-mass system in the plane. The paper presents idealization way, schemes and parameters of the system. One of results presented amplitude-frequency characteristic of the system. Also there are achieved results for the vibration of the housing in the horizontal plane at different settings of the crusher.

**Keywords:** dynamical modeling, vibration, inner cone-housing system, KID-300

## ОПЕРАЦИИ НАД ЕВРИСТИЧНИ ЗАДАЧИ, МЕТОДИ, ИДЕИ И ТЕХНИЧЕСКИ ОБЕКТИ

Михаил ЛЕПАРОВ

катедра „ОТСК”, Технически университет - София, България

e-mail: [mleparov@tu-sofia.bg](mailto:mleparov@tu-sofia.bg)

**Резюме:** Под операция в настоящата работа се разбира въздействия върху обект с цел негова промяна или промяна на приложението му. Операциите представляват инструменти, чрез които се манипулират съществуващи обекти за намиране на техни взаимозаменяеми (по отношение на функция или приложение) обекти. В работата са разгледани операции над евристични задачи, евристични методи, евристични идеи и технически обекти. Предложените операции са: модификация (промяна на обект чрез търсене на множество варианти на части от описанието му), трансформация (промяна на обект чрез промяна на части от описанието му) и мултипликация (приложението на обекта в други обекти, различни от изходния такъв). Операциите са представени чрез евристични алгоритми и примери за приложение на алгоритмите. Те са разработени от автора чрез логичен анализ и могат да се използват при техническо творчество, проектиране на технически обект и търсене на варианти на произволен технически обект.

**Ключови думи:** операция, евристична задача, евристичен метод, евристична идея, технически обект, проектиране

### 1. ВЪВЕДЕНИЕ

Процесът на решаване на евристичен проблем (еП) може да се представи като съвкупността

$$eП = (eЗ, eМ, eЧ, eИ), \quad (1)$$

където с „e” е означена евристичността на проблема, със З- задачата, която се решава, с М- методът, чрез който ще се решава задачата, с Ч- човекът, който ще използва метода и ще открие И- идеята (решението).

Елементите от (1) eЗ, eМ и eИ могат условно да бъдат обединени под наименованието „евристичен обект” (eО). Човекът се изключва от eО, тъй като той принципно се различава от останалите елементи- той генерира eЗ, ползува eМ и разкрива eИ.

Под операция над eО в настоящия труд се разбира въздействия върху eО с цел негова промяна или промяна на приложението му.

Операциите над eО са важни, защото eЗ, eМ и eИ участват в процеса на проектиране на технически обект (ТО), както и във всякаква творческа дейност. Вариантността в процеса на проектиране се използва:

- при липса на добро решение в резултата на процеса на проектиране;

- за избор на оптимално решение сред множество възможни решения;

- за обединяване на елементи на няколко добри варианта.

Операциите над eО могат да бъдат:

а) общи (универсални) операции, отнасящи се за всеки eО;

б) специфични операции за всеки eО.

Целта на настоящата работа е да предложи някои общи операции над eЗ, eМ и eИ. Те са получени чрез логичен анализ. В достъпната специализирана литература не бяха открити изследвания по посочения въпрос.

Използуваната терминология е в съответствие с тази от [2].

### 2. ОПЕРАЦИИ

#### 2.1. Операции над eЗ, eМ и eИ

Една систематизация на операциите по различни класификационни признаци е предложена в табл.1.

табл. 1 Видове операции

Класификационен признак	Вариантност
1. Изходен обект	1.1. eЗ 1.2. eМ 1.3. eИ 1.4. ТО 1.5. Др.
2. Брой изходни обекти	2.1. Един

	2.2. Два 2.3. Повече
3. Вид операции	3.1. Модификация 3.2. Трансформация 3.3. Мултипликация

Някои възможни общи операции са:

- модификация на еО- промяна на еО чрез търсене на множество варианти на части от описанието му;

- трансформация на еО- промяна на еО чрез промяна на части от описанието му; трансформираният еО изпълнява същата главна функция както изходния еО;

- мултипликация на еО- под мултипликация на еО в настоящата работа се разбира приложението на еО в други обекти, различни от изходния такъв;

По- долу са дадени техните алгоритми и примери за приложението им. Тъй като операциите се отнасят до евристични обекти, то и алгоритмите са евристични, т.е. те не са формализирани, а представляват поредица от направляващи стъпки. Алгоритмите са получени чрез логичен анализ.

### 2.1.1. Операция „Модификация на евристичен обект”

Алгоритъм

1. Уточняване на проблема.
2. Избор на изходен еО.
3. Определяне на съществените (ключовите) думи  $D_i$  в изходния обект.

#### 4. „Само...ли?”:

4.1. За всяка дума  $D_i$  от т.3:

4.1.1. Поставя се въпроса: „Само...(съществената дума) ли...(част или всички останалите думи от решението) може да бъде?”, като въпросът се оформя правилно от граматична и същностна гледна точка. При възможност  $D_i$  се премества близо до началото на изречението.

4.1.2. Търсят се отговори на поставения въпрос.

4.1.3. Всеки отговор заменя  $D_i$ . Полученият обект ще представлява модификация на изходния еО.

#### 5. Класификация:

5.1. Всяка съществена дума  $D_i$  (нейни синоними) от т.1.1 се класифицира по различни възможни признаци. Задаване на въпроси към  $D_i$

спомога за получаване на класификационни признаци. Видовете въпросителни местоимения и наречия в българския език са:

Кой (коя, кое, кои)...?

Какво, що...?

Кого, кому?

Какъв (каква, какво, какви)...?

Колко...?

Чий (чия, чие, чи)...?

Как...?

Кога...?

Къде...?

Защо...?

5.2. Проверява се дали решенията по отделните думи се явяват решение на изходния проблем. При необходимост се правят съответни промени в описанието на проблема. При положителен отговор е налице модификация на еО.

### 2.1.2. Операция “Трансформация на евристичен обект”

Алгоритъм

1. Формулиране на проблема.
2. Описва се еО.
3. Определят се съществените (ключови) думи  $D_i$  от описанието. Тези думи се явяват съществените съставни части на еО.

#### 4. Различна степен на конкретност:

4.1. Всяка съществена дума от т.3 се представя:

4.1.1. С по- общи термини, които се заместват в различни комбинации в изходното описание. По този начин се получават нови описания на еО. Търси се решение на проблема.

4.1.2. С по- конкретни термини, всеки от които се замества в изходното описание. Търси се решение на проблема.

4.2. Комбинират се заместените съществени думи. Търси се решение на проблема.

Заб. При необходимост се извършва тълкуване на новите думи (съчетания) и/или се променя описанието.

При необходимост се извършват съответни промени в описанието с цел решение на проблема.

#### 5. Синоними и сродни думи:

5.1. За всяка  $D_i$  от т.3:

5.1.1. Уточняват се синонимни или близки по значение думи  $S_i$ , вкл. и чрез търсене на сино-



нимни или близки по значение думи на синонимните или близките по значение думи. Препоръчва се използването на синонимен речник.

5.1.2. Заменя се думата  $D_i$  в описанието на изходния еО последователно с всяка дума  $C_i$  и се търси решение на проблема.

Заб. При необходимост се извършва тълкуване на новите думи (съчетания) и/или се променя описанието.

#### **6. Размяна на места на думите:**

6.1. За всяка дума  $D_i$  от т.3:

6.2. Разменят се местата на  $D_i$  и съседните ѝ думи и се свързват така, че комбинацията да е правилна в граматично и смислово отношение и се търси решение на проблема.

Заб. При необходимост се извършва тълкуване на новите думи (съчетания) и/или се променя описанието.

#### **7. Метафори:**

7.1. За всяка дума  $D_i$  от т.3:

7.1.1. Заместване с подходяща метафора.

7.1.2. Тълкува се метафората в полученото словосъчетание, напр. чрез задаване на подходящи въпроси.

7.1.3. По тълкуването се променя описанието на еО и се търси решение на проблема.

#### **8. Символи:**

8.1. За всяка дума  $D_i$  от т.3:

8.1.1. Представя се символно.

8.1.2. Тълкува се полученият символ в словосъчетанието.

8.1.3. По тълкуването се променя описанието на еО и се търси решение на проблема.

#### **9. Др. вид включвания:**

9.1. Търсене на нов вид думи, напр. антоними, омоними, пароними, хиперболи, алегории, анти тези и др.

9.2. За всяка дума  $D_i$  от т.3:

9.2.1. Заместване с думата от т.9.1.

9.2.2. Тълкува се полученото словосъчетание.

9.2.3. По тълкуването се променя описанието на еО и се търси решение на проблема.

#### **2.1.3. Операция „Мултипликация на евристичен обект“**

Алгоритъм

1. Уточняване на проблема на изходния еО.

2. Сравняване на сходни еО:

Под сходни еО се разбират еО, които имат еднакви или близки главни евристични функции (главна функция на евристичен обект).

2.1. Определяне на главната евристична функция на изходния еО.

2.2. Определяне на сходни обекти.

2.3. Търсене сред сродните еО на такива, в които има вложени (предложени) оригинални или тривиални идеи. Търсенето може да стане и в база данни, в която са въведени оригинални или тривиални идеи за тяхната възможна или реализирана промяна (ако такава база съществува).

2.4. За всеки сроден еО:

2.4.1. Уточняване на същността на оригиналните решения.

2.4.2. За всяко решение от т.2.4.1:

а) приемане, че същността на оригиналното решение или конкретното оригинално решение се явява решение на изходния еО и

б) приспособяване на взаимствуваното решение към изходния еО; за тази цел се извършват необходимите промени в него, като главната му функция не трябва да се изменя.

#### **3. Сравняване на случайни еО:**

3.1. Избор на случайни еО.

3.2= 2.3, но за случайни обекти.

3.3= 2.4, но за случайни обекти.

#### **2.2. Примери**

##### **2.2.1. Евристична задача ( $eO = e3$ )**

#### **А. Операция „Модификация на евристична задача“**

1. Търси се модификация на задача.

2. Търси се нова реализация на ножница.

3.  $D_i$ : нова, реализация, ножница.

4.1.1, 4.1.2. „Само нова ли реализация на ножницата може да бъде?“; не- реализацията може за е комбинация ретро- нова.

Само реализация на ножницата ли може да бъде?; не- може и нов външен вид, както и допълнителна функция.

Само на ножница ли може да бъде?; не- може да бъде и някой сроден обект, напр. гилотина.

4.1.3. Търси се ретро- нова (комбинация) на ножница.

Търси се нов външен вид на ножница.

Търси се допълнителна функция на ножница.

*Търси се нова реализация на гилотина.*

5.1. *(нова, необичайна, невиджана, небивала, оригинална, самобитна, неизвестна, непозната, модерна)*

- *според степен на новост: малка, средна, голяма;*
- *според стила: традиционен стил, футуристичен, фантастичен, др.*
- *според обхват: частично обхващане на еО, пълно обхващане на еО; (реализация, изпълнение, осъществяване)*
- *според размерност: пространствено, равнинно, линейно, точково; (ножица)*
- *според броя на движещите се части: 2,1;*
- *според вид на движение: завъртане (лост от I род, лост от II род), постъпателно движение, завъртане (дискове);*
- *според участието на човек: ръчна, автоматична;*
- *според вида на задвижването от човек: с ръка, с крак (педал);*
- *според наличие на обезопасяване: обезопасени, не обезопасени;*

5.2. *Търси се нова реализация на ножица с малка (средна, голяма) новост;*

*Търси се нова реализация на ножица в традиционен (футуристичен, фантастичен) стил;*

*Търси се нова реализация на ножица при частично (пълно) обхващане на ножицата.*

*Търси се нова пространствена реализация на ножица.*

*Търси се нова равнинна реализация на ножица.*

*Търси се нова линейна реализация на ножица.*

*Търси се нова точкова реализация на ножица.*

*Търси се нова реализация на ножица по отношение на броя на движещите се части.*

*Търси се нова реализация на ножица по отношение на вида на движение.*

*Търси се нова реализация на ножица по отношение на участието на човек.*

*Търси се нова реализация на ножица по отношение на вида на задвижването от човек.*

*Търси се нова реализация на ножица по отношение на вида на обезопасяването.*

*Търси се нова реализация на движещите се части на ножица.*

**Б. Операция “Трансформация на евристична задача”** - вж. [7]

**В. Операция „Мултипликация на евристична задача”**

Анализът на множество изследователски задачи, за които се очаква, че са най-пълно и прецизно формулирани, показва, че всяка еЗ може да бъде представена чрез структурата [7]

$$З = (A, B, C, D, E, F, G), \quad (2)$$

където А е разпоредително действие за решаване на задачата; В- решението на задачата; това, което трябва да се получи в резултат на решаването на задачата, С- обектът, който подлежи на въздействие при решаването на задачата; D – определение, чрез което се доизяснява някой от структурен елемент; Е- принадлежност на структурен елемент към включващ го обект; F- условие, при което трябва да се извърши решението; G- очакван резултат от решаването на задачата.

Разпоредителното действие А е глагол или отглаголното съществително, чрез които се поставя задачата, *напр. да се разработи, да се построи, разработване, построяване и др.* В някои случаи то липсва и се замества от решението на задачата В, което не се представя като съществително, а като дейност, която следва да се извърши, *напр. класифициране, моделиране и др.*

Решението В като правило се придружава от определение (D), което го доизяснява, като определението може да бъде преди или след конкретното решение. Изключение са случаите когато решението е конкретизирано чрез една дума.

Горното се отнася и за обекта С.

Определението често е във вид на прилагателно име и се намира преди елемента, когото определя. В някои случаи то е след елемента във вид на съществително име (имена), което може да бъде допълнено с подходящо прилагателно (прилагателни) име.

Резултатът G доизяснява и конкретизира решението В, т.е. показва какво конкретно се очаква от решението на задачата. В някои случаи G е определен в В. Може да се каже, че често G указва

и посоката за движение при търсене на решение на евристичната задача.

Задължителните структурни елементи на задачата са: решението В, определението на решението D/B (ако то не е конкретизирано чрез В), обектът С, определението на обекта D/C (ако той не е конкретизиран чрез С) и резултатът G (ако той не е конкретизиран чрез В).

#### 1. Дефиниране на задача.

2.1. Главна евристична функция е предназначението на еО. Нека еО е механизъм за заключване на врата. Неговата главна функция е: преобразуване на входно движение.

2.2. Вариаторен механизъм, направляващ механизъм.

2.3. (вариаторен механизъм) Да се изведат (А) геометричните (D/B) и кинематичните (D/B) зависимости (В) за вариаторния механизъм (С).

(направляващ механизъм) Създаване (А) на компютърен (D/B) модел (В) за оптимизационен синтез (D/B) по безкрайно близки положения (F) на четиризвенен (D) направляващ (D) механизъм (С) на портален кран (E).

2.4. Да се изведат геометричните и кинематичните зависимости за механизма за заключване на вратата.

Създаване на компютърен модел за оптимизационен синтез на механизма за заключване на вратата.

3.1. Да се проследи (А) влиянието (В) на фактори (D/B), оказващи въздействие върху поведението (D/C) на изследваните (D/C) материали (С) при разрушаване от умора (F).

Изследване (А) на формообразуването на детайли (В) в дамското (D/C) горно (D/C) облекло (С).

3.2. Да се проследи влиянието на фактори, оказващи въздействие върху поведението на изследваните съставни части на механизма за заключване на вратата.

Изследване на формообразуването на детайли в механизма за заключване на вратата.

#### 2.2.2. Евристичен метод (eO= eM) .

**А. Операция „Модификация на евристичен метод (модул, основна идея)“**

Анализът на множество методи показва, че някои от тях се състоят от един, а други от няколко сравнително независими модули. Под модул се разбира метод (част от метод, структурата на който eM може да се представи като

$$eM = (e3, A^*, T, \Pi), \quad (3)$$

където e3 е евристичната задача, A\*- аналогът за решаване на задачата, T- технология за използване на аналога и П- път за търсене на решение.

Трябва да се отбележи, че при някои методи, напр. метод “Морфологичен анализ и синтез”, самият обект и сродните му обекти се явяват аналога.

Технологията Т се извършва по определени правила, характерни за вида на технологията, които правила подлежат на формализация. По тази причина Т е структурен елемент, който се поддава на формализация и автоматизация. Всъщност единственият елемент, който е напълно творчески е пътят за търсене на решение П.

#### Модификация на метод „Фокусни обекти“

1. Търсене на модификация на съществуващ eM.

2. Метод “Фокусни обекти”.

3. Структурните елементи на метода са: A\*- случайна прилагателна дума, T- връзка между A\* и фокуса. Съществени думи са: Д<sub>1</sub>- прилагателно и Д<sub>2</sub>- връзка (между A\* и фокуса).

4.1.1. а) (прилагателно) „Само прилагателно ли може да бъде?“;

б) (връзка) ” Само връзка ли може да бъде?“;

в) “Само връзка между A\* и фокуса ли може да бъде?“.

4.1.2. а) може да бъде и: съществително име, глагол, предлог, съюз и др. граматични части на речта;

б) може да включи и различieto между тях;

в) може да бъде връзка между фокуса и A\*, между e3 и фокуса, както и между e3 и A\*;

5.1. (прилагателно) качествено (за: размер, цвят, вкус, свойство и др.), относително (за: вещество, място, принадлежност, предназначение и др.);

(връзка) права, обратна; между структури, между свойства; причина и следствие; функционална, корелационна; слаба, силна.

5.2. Някои възможни модификации, получени по видовете структурни елементи от (3) и т.5.1, както и техни комбинации, са дадени в табл.2.

табл.2 Някои модификации на еМ „Фокусни обекти”

Метод	A*	T	Особености на метода
1. Фокусни обекти 4	Случайна съществителна дума	Връзка между A* и фокуса	Търсене на връзка между съществителна дума и фокуса
2. Фокусни обекти 5	Случаен глагол	Връзка между A* и фокуса	Търсене на връзка между глагол и фокуса
3. Фокусни обекти 6	Случайна дума (прилагателна, съществителна, глагол, др.)	Различие между A* и фокуса	Уточняване на различното между A* и фокуса и търсене по него на решение
4. Фокусни обекти 7	Случайна дума (прилагателна, съществителна, глагол, др.)	Връзка между фокуса и A*, т.е размяна на местата на A* и фокуса	Разменят се местата на аналога и фокуса, напр. вместо „часовников полилей” ще стане „полилеен часовник”
5. Фокусни обекти 8	-	Връзка между e3 и фокуса	За аналог служат думите на e3. Същите се класифицират по различни признаци и се свързват с фокуса
6. Фокусни обекти 9	Случайна дума (прилагателна, съществителна, глагол, др.)	Връзка между e3 и A*	Търсене на връзка между e3 и A*, а по нея- решение
7. Фокусни обекти 10	Случайна прилагателна дума	Връзка между A* и фокуса	Заместват се различни видове качествени прилагателни думи, всяка от които се приема за A*
8. Фокусни обекти 11	Случайна прилагателна дума	Връзка между A* и фокуса	Заместват се различни видове относителни прилагателни думи, всяка от които се приема за A*
9. Фокусни обекти 12	Случайна прилагателна дума	Връзка между A* и фокуса	Заместват се различни видове прилагателни думи (качествени и относителни), всяка от които се приема за A*
10. Фокусни обекти 13	Случайна прилагателна дума	Обратна връзка между A* и фокуса	Уточнява се връзката по отношение на какво ще се търси, напр. чрез въвеждане на нова случайна дума- посредник
11. Фокусни обекти 14	Случайна прилагателна дума	Връзка по структурата и по свойствата между A* и фокуса	Търсене на видовете връзки (по структурата и по свойствата) между A* и фокуса, а по всяка от тях- решение
12. Фокусни обекти 15	Случайна прилагателна дума	Връзка по причина и следствие между A* и фокуса	Първоначално се приема, че връзката е причина, а след това- че е следствие, напр. връзката (решението) се реализира преди или по време на работа на еО, а следствието – по време или след работа
13. Фокусни обекти 16	Случайна дума (прилагателно, съществително, глагол, др.)	Връзка между A* и фокуса	Търсене на различни видове връзки (т.5.1) между A* и фокуса, а по всяка от тях- решение

По- долу са дадени две конкретни модификации на метода “Фокусни обекти”.

**Конкретни модификации на метод „ Фокусни обекти”**

Алгоритъмът на метода е даден в [9], както и в [2], т.1-4.

### Модификация 1

#### Алгоритъм 1

1. Уточняване на проблема.
2. Определяне на съставните части (основните функции) на обекта.
3. Определяне на фокуса - съществена дума (съществени думи), характеризираща проблема. Фокус може да бъде дума от проблема- самият обект или част от него (напр. *отверка, дръжка, крайник*) или самия проблем (напр. *"Външен вид", "Допълнителна функция", "Друга реализация"*)
4. **Съществителни думи:**
  - 4.1. Избор на съществителни думи - наименования на обекти от околната за изходния ТО среда.
  - 4.2. Избор на случайни съществителни думи.
  - 4.3. Свързване на думите от т.4.1 и т.4.2 с фокуса с помощта на подходящи предлози и/или съюзи.
  - 4.4. Търсене по асоциация или аналогия на решение на проблема.

*Пример за приложение на модификация 1 (ТО-чаша)*

1. *Търси се нов вид чаша, нова нейна реализация, или допълнителна функция.*
2. *Странична повърхнина, дъно, дръжка.*
3. *Фокус 1 „Чаша (странична повърхнина, дъно, дръжка)“.*
  - Фокус 2 *“Външен вид на чаша”.*
  - Фокус 3 *“Допълнителна функция на чаша”.*
  - Фокус 4 *“Друга реализация на чаша”.*
- 4.1. *Маса, ваза, рафт.*
- 4.2. *Верижка, пръстен, бъчва.*
- 4.3. *Чаша във вид на маса (плот, крака).*

*Чаша във вид на ваза. Чаша с допълнителна функция на ваза.*

*Чаша във вид на рафт. Чаша с допълнителна функция на рафт.*

*Чаша от верижка. Чаша с допълнителна функция на верижка. Чаша, изпълнена като верижка.*

*Чаша с пръстен. Чаша, изпълнена като пръстен.*

*Чаша във вид на бъчва.*

4.4. *(чаша- маса) чашата е с крачета тип “барок”;*

*(чаша- ваза) чашата е във формата на миниатюрна ваза с дръжка;*

*(чаша- рафт) дръжката на чашата представлява плоска част, която е перпендикулярна на оста на чашата (аналогия с рафт);*

*(чаша- верижка) през кухини в горната част на чашата преминава естетично верижка или панделка;*

*(чаша- пръстен) около чашата е монтиран метален пръстен с орнаменти по него;*

*(чаша- бъчва) чашата има две дъна (като бъчва) и в горния край- два отвора ( за отпиване и влизане на въздух); ако двата отвора се затворят, напр. с гумени тапи, лесно се подготвят предварително и пренасят.*

### Модификация 2

#### Алгоритъм 2

1. Уточняване на проблема.
2. Определяне на съставните части (основните функции) на обекта.
3. Определяне на фокуса - съществена дума (съществени думи), характеризираща проблема. Фокус може да бъде дума от проблема- самият обект или част от него (напр. *отверка, дръжка, крайник*) или самия проблем (напр. *"Външен вид", "Допълнителна функция", "Друга реализация"*)
4. **Глаголи.**
  - 4.1. Избор на „технически“ глаголи.
  - 4.2. Избор на случайни глаголи.
  - 4.3. Свързване на глаголите от т.4.1 и т.4.2 с фокуса чрез подходящи съединителни думи.
  - 4.4. Търсене по асоциация или аналогия на решение на проблема.

*Пример приложение на модификация 1 (ТО-чаша)*

- 4.1. *Измервам, осветявам.*
- 4.2. *Говоря, усмихвам се.*
- 4.3. *Чаша, която измерва...*

*Чаша, която осветява...*

*Чаша, която говори...*

*Чаша, която се усмихва...*
- 4.4. *(измервам) чаша с вграден спиртомер, който отчита алкохолните градуси;*

(осветявам) чаша на дъното на която свети диод; батерията е поставена в специално нейно отделение; вариант- светодиода свети при липса на течност в чашата;

(говоря) чаша с вграден чип и батерия, при накланянето на която (отпиване) произнася някоя мъдра мисъл;

(усмихвам се) при накланяне на чашата (отпиване) изобразени очи в корпуса ѝ се запълват с цветна течност и се създава впечатление за зачакливо намигване.

**Б. Операция „Трансформация на евристичен метод (модул, основна идея)“**

1. Търси се нов еМ чрез трансформация на изходен еМ.

2. Нека изходният еМ е “Емпатия”. Алгоритъмът на метода е даден в [2].

3. Структурните елементи са едни от най-съществените думи  $D_i$  от описанието. За метод „Емпатия“ те са:  $A^*$ - изходен еО,  $T$ - отъждествяване с еО. В случая  $D_1$ : изходен и  $D_2$ : отъждествяване.

4.1.1 (изходен) свързващ (отъждествяване) отнасяне (отношение)

4.1.2. (изходен) елементарен (отъждествяване) възприемане

5.1. (изходен) начален (пръв, основен), инициален, първоначален (пръв, първичен, встъпителен), отпразнен.

(отъждествяване) уподобявам (сравнявам, уравнивам), уеднаквявам (изравнявам, приравнявам, уравнивам), идентифицирам, оприличавам.

Заб. В скоби са дадени синоними на думата пред скобите, като повтарящите думи са пропуснати.

Тълкуването на съчетанието е представено като “Особености на метода” в табл.3.

6. (изходен обект) обектов изход, (отъждествяване с еО) еО се отъждествява с...

Тълкуването на съчетанието е представено като “Особености на метода” в табл.3.

7.1. (изходен) изходно одухотворяване (отъждествяван) отъждествено имплантиране

Тълкуването на някои съчетания е представено като “Особености на метода” в табл.3.

8.1. (изходен еО) възможен символ: път (отъждествяване с еО) възможен символ: дух

8.1.2. (път) подреждам (подредени кори) (дух) метаморфози (преобразувам)

8.1.3. Вж. “Особености на метода” в табл.3.

9.1. Антоними.

9.2.1. Антоними: отъждествяване- разграничаване.

Входен еО, разграничаване от еО.

9.2.2. (разграничаване от еО) аргументираното разграничаване (отхвърлянето) от съществуващо решение спомага намирането на ново решение.

9.2.3. Вж. “Особености на метода” в табл.3.

Заб. Използуването на тълковен речник за съответна дума може да подскаже посока за размисъл.

Трябва да се отбележи, че някои модификации значително се отдалечават от същността на еМ „Емпатия“.

табл.3 Трансформации на еМ на базата на еМ “Емпатия”

Метод	$A^*$	$T$	Особености на метода
Емпатия 2	Свързващ еО	Отъждествяване	Отъждествяване с връзката между изходен и друг еО
Емпатия 3	Изходен еО	Отношение	Взаимно обицуване на изходния еО и друг еО
Емпатия 4	Елементарен еО	Отъждествяване	Отъждествяване с изходен еО, който в значителна степен се опростява
Емпатия 5	Изходен еО	Възприемане	Анализира се $A^*$ от гл.т. на всички сетива- картина, звук, мирис, вкус, тактилност
Емпатия 6	Изходен еО	Сравнявам	Увеличаване или намаляване на размерите на еО докато стане с размерите на човек (с по- големи размери и с

			<i>по малки размери) и отъждествяване с него</i>
<i>Емпатия 7</i>	<i>Изходен еО</i>	<i>Уеднаквявам</i>	<i>Уеднаквяване на структурата и/или свойствата на съставните части на изходния еО</i>
<i>Емпатия 8</i>	<i>Изходен еО</i>	<i>Приравнявам</i>	<i>Уеднаквяване на структурата и/или свойствата на изходния еО с тези на друг еО</i>
<i>Емпатия 9</i>	<i>Обектов изход</i>	<i>Отъждествяване</i>	<i>Отъждествяване с тази част от еО, с която човек контактува, вкл. и визуално</i>
<i>Емпатия 10</i>	<i>еО се отъждествява с друг еО</i>		<i>Отъждествяване на един еО с друг еО (двойна емпатия)</i>
<i>Емпатия 11</i>	<i>Изходен еО</i>	<i>Одухотворявам</i>	<i>Съставните части на еО са отделни "хора", които комуникират помежду си</i>
<i>Емпатия 12</i>	<i>Изходен еО</i>	<i>Имплантирам</i>	<i>Прехвърляне на елементи и/ или свойства от една съставна част на изходния еО върху друга негова част</i>
<i>Емпатия 13</i>	<i>Изходен еО</i>	<i>Подреждам</i>	<i>Преподреждане на съставните на изходния еО по отношение на съседство, ред на сглобяване и др.</i>
<i>Емпатия 14</i>	<i>Изходен еО</i>	<i>Метаморфоза</i>	<i>Преминаване на изходния еО от своята форма в друга чрез приемане на нов външен вид и/ или функции</i>
<i>Емпатия 15</i>	<i>Изходен еО</i>	<i>Разграничаване</i>	<i>Аргументирано разграничаване от решение на изходния еО с цел търсене на ново решение</i>

**В. Операция „Мультипликация на евристичен метод (модул, основна идея)“**

Като пример за операцията може да се използва [6], където основните идеи на операцията са спазени, макар и без да се следва буквално алгоритъма, даден по-горе.

**2.2.3. Евристична идея (еО= еИ)**

**А. Операция „Модификация на евристична идея“**

Нека е зададен проблем и една идея (изходна идея) за неговото решение. Под модификация на идея се разбира нова идея, която:

- е получена на базата на изходната идея и
- се явява решение на проблема.

Пример – вж. [2, метод „Кражба на идеи“] (разликите в алгоритмите на разглежданата операция и метода „Кражба на идеи“ са незначителни)

**Б. Операция „Трансформация на евристична идея“**

1. Търси се нов външен вид или допълнителна функция, или друга реализация на функция на ТО “Врата”.

2. Нека еО- изходна идея е:

“При завъртване на дръжката и дърпане или бутане вратата се отваря.”

3. Д<sub>1</sub>: завъртване, дръжка, дърпане, бутане, отваря.

4.1.1. (завъртване) местене; възможна идея: “При местене нагоре (надолу) на дръжката и дърпане или бутане вратата се отваря”, т.е. дръжката се движи вертикално нагоре или надолу;

(дръжка) лост; възможна идея: “При завъртване на лоста...”, т.е. дръжката представлява лост от I род, като и двете части на лоста участвуват в ключалката;

(дърпане) придвижване; възможна идея: “При завъртване на дръжката и придвижване на вратата...”, напр. вратата е закрепена чрез

пантите за вертикален (хоризонтален) лост, който може да се премества в отвора в стената;

(бутане) придвижване; възможна идея: както по-горе;

(отваря) премества; възможна идея: „При завъртване на дръжката и дърпане или бутане вратата се премества”, напр. вратата се измества навън или навътре, успоредно на касата;

4.1.2. (завъртване) специфично завъртване; възможна идея: „При въртене на дръжката се завъртва неподвижно свързан с нея палец, който попадайки в касата на вратата възпрепятствува отварянето на вратата (езиче и ключалка липсват)“;

(дръжка) кобилица; възможна идея: доразвитие на идеята от фиг.1м- „При въртене на едната или другата част на кобилицата-дръжка вратата се отваря в едната или в другата посока“;

(дърпане) разтягане; възможна идея: „Чрез издърпване на връв се навива пружина, която „автоматично“ отваря вратата“;

(бутане) пъхам; възможна идея: „Вратата се отваря чрез натискане с крак на дръжка тип „педал““;

(отваря) развързвам; възможна идея: „Пантите на вратата представляват пръстени, закрепени за горната част на касата“;

5.1.1. Синонимните думи, открити чрез синонимен речник са: (завъртвам) превъртвам, вървам, обръщам, завинтвам;

(дръжка) ръчка, ръкохватка;

(дърпам) тегля, опъвам;

(бутам) тикам, тласкам, блъскам, лашкам, побутвам, пипам;

(отварям) разтварям, разгръщам, разгъвам, разпервам, открехвам, откривам.

5.1.2, 5.1.3.

(превъртвам) „При превъртване на дръжката и дърпане или бутане вратата се отваря“; превърта се спирална пружина; при въртене на дръжката може да се навива пружина, която издърпва езичето на бравата (фиг.1а); на фиг.1б е даден вариант- при въртене на дръжката езичето попада в отвор в нея;

(въртвам) „При въртване на дръжката и дърпане или бутане вратата се отваря“; въртенето се извършва около средата на дръжката (фиг.1в);

(обръщам) „При обръщане на дръжката и дърпане или бутане вратата се отваря“; традиционното положение на дръжката е показано на фиг.1г; възможността за обръщане на дръжката е илюстрирана на фиг.1д;

(завинтвам) „При завинтване на дръжката и дърпане или бутане вратата се отваря“; завинтване се резбово съединение; дръжката може да бъде с резба с едра стъпка;

(ръчка) „При завъртване на ръчката и дърпане или бутане вратата се отваря“; една възможна ръчка е показана на фиг.1е;

(ръкохватка) „При завъртване на ръкохватката и дърпане или бутане вратата се отваря“; ръкохватката от фиг.1ж е тип „волян“;

(тегля) „При завъртване на дръжката и теглене или бутане вратата се отваря“; при издърпване на дръжката езичето, начертано на фиг.1з с по-дебела линия се изтегля от гнездото си;

(опъвам) „При завъртване на дръжката и опъване или бутане вратата се отваря“; издърпването на гумена верига предизвиква отварянето на вратата (фиг.1и);

(тикам) „При завъртване на дръжката и дърпане или тикане вратата се отваря“; тика се например количка; бравата се движи линейно и перпендикулярно на плота, като се плъзга по съчми, закрепени в сепараторни пръстени;

(тласкам) „При завъртване на дръжката и дърпане или тласкане вратата се отваря“; на вратата са добавени тежести, така че при отварянето ѝ да се извършват физически усилия;

(блъскам) „При завъртване на дръжката и дърпане или блъскане вратата се отваря“; вратата, чиито стени са прозрачни, е пълна с вода, която се движи при отваряне и затваряне;

(лашкам) „При завъртване на дръжката и дърпане или лашкане вратата се отваря“; за да се отвори вратата трябва да се придвижи в едната от двете посоки (бутам или дърпам);

(побутвам) „При завъртване на дръжката и дърпане или побутване вратата се отваря“; дръжката се побутва, а тя премества езичето (фиг.1к);

(пипам) „При завъртване на дръжката и дърпане или пипане вратата се отваря“; при



докосване на вратата тя се отваря (сензор, който задействува ел. магнит);

(разтварям) „При завъртване на дръжката и дърпане или бутане вратата се **разтваря**“; врата тип „прозорец“ - с две крила и затваряща се по средата;

(разгръщам) „При завъртване на дръжката и дърпане или бутане вратата се **разгръща**“; вратата се завъртва около вертикална ос (фиг. 1л,м);

(разгъвам) „При завъртване на дръжката и дърпане или бутане вратата се **разгъва**“; плотът се навива около цилиндър, разположен в единия край на отвора за врата;

(разпервам) „При завъртване на дръжката и дърпане или бутане вратата се **разперва**“; вратата е съставена от метални елементи тип „щори“, които могат да се завъртват около оста си; две рамки притискат елементите; при отваряне на едната рамка елементите могат да се завъртват около оста си, пропускайки светлина и въздух;

(открехвам) „При завъртване на дръжката и дърпане или бутане вратата се **открехва**“; във вратата има по-малка вратичка, през която се преминава приведен с цел физически упражнения;

(откривам) „При завъртване на дръжката и дърпане или бутане вратата се **открива**“; плотът на вратата е съставен от плат; отварянето и затварянето става чрез щип;

6. Някои възможни размени и решения са:

“При бутане на дръжката и дърпане или завъртване вратата се отваря“; възможна идея: вратата се отваря с две ръце - с едната ръка се бутане едната част на дръжката, а другата дърпа останалата ѝ част с цел по-лесно отваряне;

“При отваряне на дръжката и дърпане или бутане вратата се завъртва“; възможна идея: плотът на вратата може лесно да се преобръща, така че вътрешната страна да става външна и обратното, като двете страни на плата са в различни цветове;

“При завъртване на вратата и дърпане или бутане дръжката се отваря“; възможна идея: върху вратата е монтирана картина, при завъртането на която се разкрива ключалката;

7. Някои метафори са:

възкръснало завъртване; възможна идея: вратата има формата на кръст;

дръжка дъждовна; възможна идея: дръжка, която е с вградено отопление през студено време; дърпане на вятъра; възможна идея: врата, състояща се от няколко крила, светването на които последователно създава илюзия за движение;

бутане с пътя; възможна идея: на вратата е монтирано столче за детето, което се люлее при отваряне и затваряне на вратата;

отваря се мисълта; възможна идея: плотът на вратата се състои от две прозрачни части - плоскости, между които се стича вода

8.1. Някои възможни символи и възможни идеи са:

(завъртване) вентилатор; възможна идея: врата с вградени технически обекти, напр. с плазмен дисплей, радиоприемник, вентилатор, ваза, поставка за книги, шкаф и др.

(дръжка) чанта; възможна идея: вратата лесно се демонтира и превръща в дъска за гладене на дрехи или в легло или маса или всичко заедно;

(дърпане) обидна; възможна идея: плотът е изграден от гума;

(бутане) ключ; възможна идея: “ключът” е химикалка, чрез която се написва текст-парола на екран, който разпознава написаното и дава команда за отваряне на вратата;

(отваря) сърце; възможна идея: плотът е под формата на сърце или под формата на главата на Мики Маус (детска стая);

9. Някои подобни думи и възможни идеи са:

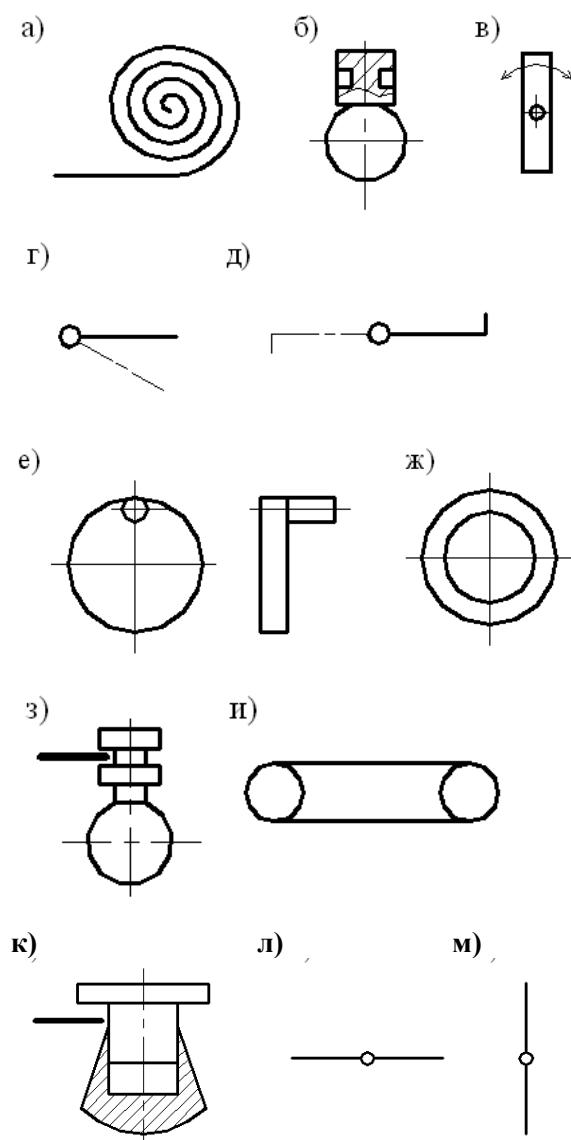
(завъртване) неподвижност; възможна идея: дръжката е закрепена на касата;

(дръжка) пръчка; възможна идея: във прозрачната врата са вградени сухи листа и клони;

(дърпане) бутане; възможна идея: при опит за нередламентирано отваряне на вратата, тя “избутва” нежеланите лица чрез включване на лай на едро куче;

(бутане) смачкване; възможна идея: вратата е съставена от различни части или само изглежда като направена от кръпки;

(отваря) затваря; възможна идея: при докосване на дръжката (отваряне и затваряне) дръжката започва да свети (ако е тъмно);



фиг.1 Някои решения за ТО "Врата"

**В. Операция „Мултипликация на евристична идея“ - вж.[3]**

**2.3. Операции над ТО**

Тъй като всеки ТО може да се представи като една или повече идеи, изразяващи неговите съществени особености (напр. главна функция, инженерна идея, инженерни ефекти и др.), а върху всяка от идеите може да се приложат опе-

рациите над идеи, а по резултата да се препроектира ТО, следва, че ТО също е обект, върху който могат да се приложат горните общи операции. При това те могат да се използват както при съществуващ ТО, така и в процеса на проектиране на ТО.

За процеса на проектиране операциите служат както за промяна на задачата, така и за промяна на метод и за промяна на получена идея, т.е. въздействието може да бъде упражнено през целия път на процеса на проектиране с цел промяна на получения резултат.

Някои специфични операции над ТО са:

- рекурсия [8], под която се разбира операция над зададен ТО, при която многократно се използват (извикват) едни и същи атрибути на процеса на проектиране на варианти на ТО с цел получаване на такива варианти;
- инверсия [4], която представлява операция над обект, при която един елемент на обекта се заменя с друг, като двата обекта- изходният и новият притежават една и съща главна функция;
- взаимстване [5]- взаимстване на материализация от обект- донор по зададено описание на обект- реципиент;
- вариантност [1]- операция, при която варианти се получават чрез търсене на вариантност на елементите, съставлящи ТО или на вариантност на елементите от процеса на неговото проектиране.

Трябва да се отбележи, че поради своята важност операциите са съществени за всеки обект и процес. Ето защо за всеки обект и процес е от значение разкриването на съществените им елементи и изследването на общите и специфичните операции над тези елементи. Напр. за процеса на проектиране някои от съществените елементи, изискващи разкриване на операциите над тях са:

- операции над съществуващ ТО като цяло;
- операции над описания на ТО като цяло или на най- често използваните описания поотделно;
- операции над функции (функционална декомпозиция и композиция) като цяло и на отделните видове съществени функции;
- операции над физически принцип на действие [2];
- операции при концептуално проектиране;
- операции при геометрично проектиране;
- операции при изследователско проектиране;
- др.

Операциите над евристични обекти може да се използват:

- като операции за търсене на варианти на изходен ТО;

- за търсене на варианти на евристични задачи, методи и идеи в различните етапи на процеса на проектиране на ТО;

- като елемент от метод за проектиране (метод „Вариантни решения” [1]);

- като се комбинират с метод за проектиране „Взаимствуване” [5]; за тази цел всеки вариант, получен чрез тях се приема за изходен ТО и по него се прилага метод „Описание на съществуващ ТО” [5], а след това метод „Взаимствуване” [5].

### 3. ИЗВОДИ

В работата се предлагат три общи операции „Модификация“, „Трансформация“ и „Мултипликация“, предназначени за евристични обекти-задача, метод, идея, технически обект и др. Те представляват инструменти, чрез които се манипулират обекти за намиране на взаимозаменяеми (по отношение на функция или приложение) нови обекти.

Операциите са представени чрез евристични алгоритми и илюстрирани чрез примери. Резултати от работата могат да се използват в техническото творчество, проектирането на произволен технически обект, както и за изграждането на теория на проектирането.

#### Литература

## OPERATIONS OVER HEURISTIC TASKS, METHODS, IDEAS AND TECHNICAL OBJECTS

Michail LEPAROV

Department of Fundamentals and Techniques of Design, Technical University-Sofia, Bulgaria

e-mail: [mleparov@tu-sofia.bg](mailto:mleparov@tu-sofia.bg)

**Summary:** Under an operation in this work are understood impacts on object in order to modify it or change its application. Operations are tools to manipulate existing objects in order to find their interchangeable (in terms of function or application) objects. In the work operations on heuristic tasks, heuristic methods, heuristic ideas and technical objects are examined. The proposed operations are: modification (changing the object by searching many variants of parts of its description), transformation (changing the object by changing parts of its description) and multiplication (applying the object to other objects different from the source one). The operations are represented by heuristic algorithms and examples of application of the algorithms. They were developed by the author through logical analysis and can be used in technical creativity, design of technical objects and searching variants of any technical object.

**Keywords:** operation, heuristic task, heuristic method, heuristic idea, technical object, design



## ВРЕМЕВИ АНАЛИЗ НА ОПЕРАЦИЯ

Спас СПАСОВ<sup>1</sup> Любомир ДИМИТРОВ<sup>2</sup> Тодор НЕШКОВ<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Тривиум АД, Ямбол, България  
e-mail: spas.z.spasov@gmail.com

<sup>2</sup>катедра МЕНК, Технически университет - София, България  
e-mail: lubomir\_dimitrov@tu-sofia.bg

<sup>3</sup>катедра АДП, Технически университет - София, България  
tnesh@tu-sofia.bg

**Резюме:** Индустриалното предприятие функционира чрез управление на траекториите на подвластните му обекти. Това са обектите, изграждащи структурата на оборотния поток на предприятието, и обектите, изграждащи неговата технологична среда. Управлението на предприятието преминава през проектиране и реализация на множеството операции, изграждащи отделните траектории. Познанията за операциите и за тяхното управление са от особено значение за успешното съществуване на индустриалното предприятие в динамичната среда на глобална конкуренция и демасовизация на производството. Операциите имат общовалиден познавателен модел. Този модел може да послужи за концептуална база за ефективно управление на отделните операции и в резултат на предприятието като цяло. В настоящата статия е направен детайлен анализ на начина, по който отделните структурни части на операцията влияят върху общия ѝ период за реализация. В заключение е представен подход за определяне на оптималния брой обекти в операционните партиди. Този анализ е необходима база да се определи по-нататък производителността и икономичността на операциите и да се разработят инженерни организационно-стойностни анализи.

**Ключови думи:** операция, настройка, изпълнение, обект, траектория, времеви анализ, манипулационен анализ, демасовизиращо се производство.

### 1. УВОД

В литературата [1,2] се среща твърдението, че в своят труд [3] Адам Смит за пръв път описва технологичния процес при разделение на труда. Приблизително 150 години по-късно, в началото на 20-ти век, в резултат на работата на Фредерик Тейлър, на неговите последователи и съвременници се формира университетската дисциплина „Научно управление“ [2,4]. Тя поставя основен фокус върху управлението на работните задачи – управление на операциите в производствените участъци на предприятията. Операциите първо биват дефинирани, а след това се разделят в набори от взаимно свързани елементарни дейности – манипулации. След това манипулациите се разместват, комбинират и оптимизират, провеждат се и необходимите обучения, а целта е да се увеличи ефективността на отделните операции и в резултат на производствения процес в цялост. През първата половина на XX век се стига до извода, че тази концепция може да бъде пренесена и в сферата на другите процеси, протичащи в предприятията. Скоро след това се появяват мно-

жество нови дисциплини, които за жалост отместват фокуса на първоначалните идеи [2]. Първоначалните идеи на научното управление се пренасят от САЩ и Западна Европа в Русия и Япония, а в следствие и в други страни от източна Азия, където търпят самостоятелна еволюция.

Днес, почти 300 години след началото на индустриалната революция – в условията на демасовизация [5] и глобална конкуренция от трето поколение [6], в които знанията и методите за тяхното придобиване и управление се разглеждат като основа на конкурентното предимство, научната концепция за управление (проектиране и реализация) на операциите в индустриалното предприятие е все още непълна [9]. Настоящата статия е насочена именно в тази сфера на научното познание. Работата по нея е част от създаването на единна теория на индустриалните предприятия [10,11,12], разработвана от екип млади ентусти и реализирана в софтуерна система за организиране на познанията в индустриалното предприятие, носеща търговско наименование „Система за ефективно моделиране на бъдещето на активите“. За целите на проекта много от общоприетите понятия бяха прецизирани, бяха въведени и

някои нови. Тук ще обясним с какви понятия си служим в изложението:

*Субект* е човешки индивид или група индивиди, обединени в организация, в чийто целеви фокус попада даден обект или множество от обекти. В нашия анализ субектът, или човекът, в определени условия се явява и обект. За разлика от другите обекти, човекът има способността да генерира идеи и има свободна воля, което е основна на човешките взаимоотношения.

*Обект* за субекта е неговата представа за гранично определена в пространството и времето съвкупност от свойства на материята.

Свойствата на обекта субектът характеризира с множество качествени, количествени, времево-пространствени и стойностни параметри. В контекста на настоящата статия можем да отъждествим понятието обект с детайл, изделие, пакет познания, описващи технологичните маршрути и др.

*Траектория на обект* отразява конкретна представа на субекта (организацията на индустриалното предприятие) за управляемото съществуване на обект. Тя се представя като континуум от състояния на обекта, описващи съществуването му, като съвкупност от свойства във време-пространството (хронотоп), между две негови определени като начално и крайно за траекторията състояния.

*Операция* е управлявана част от траектория (маршрут) на обект, идентифицирана с: начално за операцията състояние на обекта; крайно за операцията състояние на обекта; операционно технологично поле, в рамките на което се извършва операционно въздействие за привеждане на обекта от начално в крайно за операцията състояние.

Нека доуточним, че операцията се дефинира чрез две последователни състояния на обекта от дадена траектория и фрагмент от *технологичната среда* на предприятието, чието въздействие върху обекта го привежда от едното в другото състояние. Тези състояния биха могли да бъдат две последователни междинни състояния от траекторията на обекта, началното и следващото го междинно състояние или междинно състояние и крайното състояние, или началното и крайното състояние от траекторията на обекта. Състоянията на обекта от дадена траектория, определящи една

операция, разгледани спрямо нея наричаме *предоперационно* и *следоперационно* състояние на обекта, а него наричаме *операционен обект*. Наред с това съществуват специфични случаи, при които се дефинират и междинни, вътрешни за операцията състояния – например при преустановяване в рамките на операцията или при необходимост от междинен контрол.

Управлението на операцията се състои от определяне, задаване и реализиране на крайното операционно състояние на обекта от определено, зададено и реализирано начално негово състояние, чрез задаване и реализиране на операционно въздействие, осъществено от определен фрагмент от технологичната среда на индустриалното предприятие, в съответствие с волята на управляващия субект (индустриалната организация). Този фрагмент от технологичната среда на индустриалното предприятие наричаме *операционно технологично поле*, което се асоциира с: фрагмент от техническата среда на предприятието, представен чрез *операционно място*; познанията, необходими за реализация на различните видове операции, за които е проектирано технологичното поле; длъжностният работник – оператор, който по силата на своята воля превръща идеите, представите, познанията на индустриалната организация в реалност.

Операционното място е ограничен фрагмент от *техническата среда* на индустриалното предприятие, съдържащ необходимите елементи, достатъчни за реализация на множеството операции в технологичното поле. В рамките на операционното място това множество от технически елементи се структурира, като се обособяват: една или няколко *операционни зони*, реализиращи същинското операционно въздействие; една или няколко *комплектоващи зони*, които имат допълващо значение и съдържат елементи, необходими за окомплектоване на операционните зони за реализация на конкретна операция.

Наличието на повече от една операционни зони в операционното място позволява да се осъществят успоредно няколко операции в технологичното поле или да се увеличи производителността на една операция.

Най-ниското структурно ниво на операционното място наричаме *технически оператор*, съ-

държаш набор от елементи на *техническата операционна среда*, съсредоточени като единен фактор на вътрешно операционно (манипуляционно) въздействие. Спрямо техническите оператори се дефинират отделните пакети от манипулации и познанията за тяхното осъществяване.

Например при стругови операции върху едрогабаритни детайли, в една операционна зона можем да обособим следните технически оператори:

- технически оператор за вътрешно операционно транспортиране, представляващ кран или манипулатор, окомплектован с необходимите елементи за захващане на детайла – например кука, сапан или магнитна лапа;
- технически оператор за струговане, представляващ стругова машина, окомплектована с необходимите елементи за установяване, закрепване и обработване на детайла.
- технически оператор за контрол след обработване, представляващ работен плот, окомплектован с необходимите приспособления и инструменти за позициониране и измерване на постигнатите в операцията стойности на характеризиращите обекта параметри – например размери.

Както ще видим, тези нива на абстракция са необходими за намиране на общите принципи при разработване и анализ на операциите. От гледна точка на разработването и повишаването на ефективността на операциите в [11,12] са представени концепциите за *сегментен* и *манипуляционен* анализ на операцията. Но за да стигнем до тях, трябва да познаваме общата структура на операцията и начинът, по който влияят отделните ѝ структурни части върху общата ѝ ефективност – точно това е конкретната задача на настоящата статия.

В проучването [9] е установено, че в съвременния операционен мениджмънт се поставя знак на равенство между понятията процес и операция [13,14,15,16]. Все пак някои западни източници и японските управленски теории разграничават процес от операция. Те дори разглеждат дейностите по настройване и изпълнение като отделни операции, осъществяващи се на едно физически отграничено място. При тях понятието процес в аспекта на индустриалното предприятие е тъждествено на въведеното тук понятие траектория на обект [1,17,18,19,20,21].

Тук структурираме операцията в две неотделими части, съвкупният резултат от които наричаме *реализация на операция*. Тези части са:

- *настройка* на операционното технологично поле за операция;
- *изпълнение на операция*.

Всяка от тези части се подразделя на крайно множество сегменти, а всеки сегмент – на множество манипулации, свързани с единните целенасочени, успоредни или последователни действия (операционни въздействия) на един или няколко длъжностни работници – оператори, и един или няколко технически оператори.

Реализацията на всяка операция протича в рамките на определен времеви период, който наричаме *времеви период на реализация на операция* и определяме по следния начин:

$$TP(Op_j) = TP_{stn}(Op_j) + TP_{prf}(Op_j)$$

където:

$Op_j$  – произволна ( $j$ -та) операция (*operation*) от реда операции по разглеждана траектория;

$TP(Op_j)$  – времеви период (*time period*) на реализация на операцията;

$TP_{stn}(Op_j)$  – времеви период на настройка (*setting*) за операция;

$TP_{prf}(Op_j)$  – времеви период на изпълнение (*performance*) на операция.

## 2. АНАЛИЗ НА ПЕРИОДА НА НАСТРОЙКА ЗА ОПЕРАЦИЯ

Анализът на времето за настройка на технологичното поле за операция се базира на анализа на двата основни вида дейности, които се изпълняват през него. Времеви период на настройка за операция не зависи от броя на обектите, преминаващи през съответната операция:

$$TP_{stn}(Op_j) \neq f[QN(Ob)]$$

където  $QN(Ob)$  е количеството (*quantity*) на преминаващия през операцията обект;

Видовете дейности, които се изпълняват през времеви период на настройка за операция, се разделят на две групи:

- 1) *Настройка на операционната зона* за изпълнение на операция – включваща дейности по привеждане в единство (пълна операционна комплектованост) на всички технически оператори, включени в структурата на операционната зона за

конкретната операция, като постигнатото единство се захранва с необходими консумативи и енергия. Пълното настройване на операционната зона (*full setting of operating zone*) изисква определен времеви период, който означаваме с  $TP_{fsopzn}(Op_j)$ ;

2) *Актуална подготовка на множество от длъжностни работници*: те усвояват нужните познания, за да извършат конкретната операция – чертежи на началното и крайното състояние на обекта, операционни инструкции и т.н. Актуалната подготовка (*actual preparation*) изисква съответен времеви период, който означаваме с  $TP_{ap}(Op_j)$ .

За да се определи продължителността на времевия период за *настройка за операция* чрез времевите периоди за *настройка на операционната зона* и *актуална подготовка на длъжностните работници* е необходимо да се разгледат случаите:

- Възможност за паралелно изпълнение на двете дейности.
- Липса на възможност за паралелно изпълнение на двете дейности. В този случай актуално подготвените длъжностни работници изпълняват и всички дейности за настройка на операционната зона.

Времевият период на възможно паралелно изпълнение на дейностите за *настройка на операционната зона* и *актуална подготовка на длъжностните работници* означаваме с  $\mu_{stn}(Op_j)$ . Така се получава:

$$TP_{stn}(Op_j) = TP_{fsopzn}(Op_j) + TP_{ap}(Op_j) - \mu_{stn}(Op_j)$$

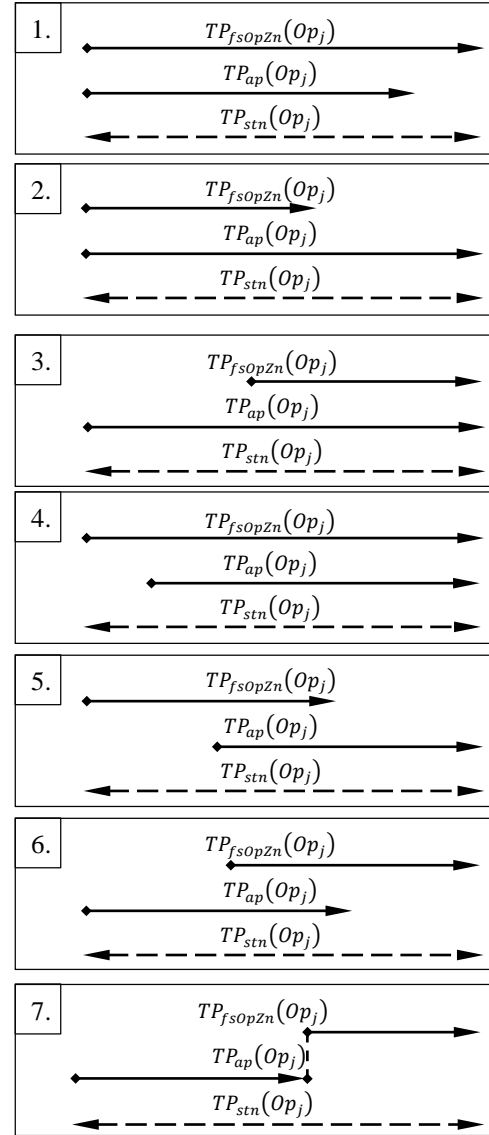
На фиг. 1 са представени случаите на взаимно разположение на времевите интервали за *настройка на операционната зона* и *актуална подготовка на длъжностните работници*.

В случаите от „1“ до „4“ има пълно паралелно изпълнение, като дейностите за настройка на операционната зона и актуална подготовка на длъжностните работници наричаме *независими*.

Съществуват множество варианти на инженерни решения за пълно паралелно изпълнение, при което по-дългият от двата времеви периода съдържа изцяло по-късия, като вариантите на взаимното им времево разположение се развиват от едновременно започване („1“ или „2“) до едновременно завършване („3“ или „4“). И за четирите случая са валидни следните зависимости:

$$\mu_{stn}(Op_j) = \min[TP_{fsopzn}(Op_j), TP_{ap}(Op_j)]$$

$$TP_{stn}(Op_j) = \max[TP_{fsopzn}(Op_j), TP_{ap}(Op_j)]$$



фиг. 1

В случаите „5“ и „6“ има частична паралелност, като дейностите за настройка на операционната зона и актуална подготовка на длъжностните работници наричаме *частично зависими*. За тези случаи следва:

$$\mu_{stn}(Op_j) < \min[TP_{fsopzn}(Op_j), TP_{ap}(Op_j)] \neq 0$$

$$TP_{stn}(Op_j) = TP_{fsopzn}(Op_j) + TP_{ap}(Op_j) - \mu_{stn}(Op_j)$$



За да бъде зададен от разработващия инженер един от тези варианти на разположение на времеви периоди, трябва да са налице съответни причини. Такива причини могат да бъдат изисквания изпълнението на дейности от единия основен вид да са необходимо условие за изпълнение на дейностите от другия основен вид.

Случаите „5“ и „6“ се срещат изключително рядко в практиката. Например в случай „5“ за да започне актуална подготовка на длъжностните работници, е необходимо да е извършено някакво действие по настройка на операционната зона. В случай „6“ актуалната подготовка включва и елементи от дейностите за настройка на операционната зона. Тези дейности длъжностният работник, който се подготвя за операцията, ще изпълни, след като някой друг е започнал настройването на операционната зона. При операции, за които не е налично обстоятелство на зависимост между настройката на операционната зона и актуалната подготовка на длъжностните работници, в етапа на разработване на операцията трябва да се заложат вариантите от „1“ до „4“, като най-доброто инженерно решение е тези две основни дейности да завършват едновременно.

В случай „7“ няма паралелност, като дейностите за настройка на операционната зона и актуална подготовка на длъжностните работници наричаме *зависими*. Това е случаят, в който актуално подготвените за изпълнение на операцията длъжностни работници извършват и настройването на операционната зона. Тоест за да изпълни длъжностният работник настройването на операционната зона, е необходимо преди това той да премине актуалната си подготовка. Това е един от най-често срещаните случаи. За този случаи следва:

$$\mu_{stn}(Op_j) = 0$$

$$TP_{stn}(Op_j) = TP_{fsoPzn}(Op_j) + TP_{ap}(Op_j)$$

Осмият случай на взаиморазположение на двата периода е невъзможен, поради това че преди да започне изпълнението на операцията, актуално подготвеният длъжностен работник трябва да се увери, че настройването на операционната зона е приключено, а това е случай „5“ от фиг. 1.

За да получи разработващият инженер пълно описание на операцията в частта ѝ *настройване за операция*, е необходимо той да определи и

предварително да зададе типа взаиморазположение между времеви периоди за настройка на операционната зона и актуална подготовка на длъжностните работници в един от трите основни варианта:

1) Независими: случаите, когато определените за *изпълнение на операцията* длъжностни работници не участват в настройването на операционната зона.

2) Частично зависими: случаите, когато са налице обстоятелства, поставящи в зависимост актуалната подготовка и настройването на операционната зона. В този вариант е необходимо да бъде посочена и тяхната последователност. За този вариант е в сила:

$$TP_{stn}(Op_j) = \max[TP_{ap}(Op_j); TP_{fsoPzn}(Op_j)]$$

$$TP_{stn}(Op_j) = TP_{fsoPzn}(Op_j) + TP_{ap}(Op_j) - \mu_{stn}(Op_j)$$

$$TP_{stn}(Op_j) = TP_{ap}(Op_j) + TP_{fsoPzn}(Op_j)$$

За да се получи оптимален резултат, при разработване на операции в този вариант е необходимо да се направи подобен *манипуляционен анализ* [4,11,22,23] на дейностите по настройване на операционната зона и актуална подготовка. Те се структурират в редове от изграждащи ги манипулации. След това се посочват връзките – последователността на манипулациите от двата реда. Определят се времеви периоди за изпълнение на всяка от манипулациите и в двата реда. Въз основа на последователността на манипулациите и определените единични времена се определя моментът, в който започва паралелното изпълнение на настройване на операционната зона и актуална подготовка на длъжностните работници.

Въз основа на това се определят периодът на възможно паралелно изпълнение  $\mu_{stn}(Op_j)$  и периодът за настройване за операция  $TP_{stn}(Op_j)$ .

3) Зависими: в случаите, когато длъжностният работник, който ще изпълнява операцията, освен актуалната си подготовка извършва и дейностите по настройване на операционната зона.

Общото за трите случая („1“), („2“) и („3“) изразяване на времеви период за настройване за операция е:

$$TP_{stn}(Op_j) = TP_{fsoPzn}(Op_j) + TP_{ap}(Op_j) - \mu_{stn}(Op_j)$$

при което:

$$\mu_{stn}(Op_j) = \min[TP_{fsoPzn}(Op_j), TP_{ap}(Op_j)]$$

или:

$$\mu_{stn}(Op_j) < \min[TP_{fsoPzn}(Op_j), TP_{ap}(Op_j)]$$

или:

$$\mu_{stn}(Op_j) = 0$$

## 2.1. Анализ на периода на актуална подготовка на длъжностните работници

Актуалната подготовка на длъжностните работници е дейност, която се изпълнява от самите тях. Те възприемат и съхраняват познания за изпълнението на операцията – познанията за управление на операционната среда. Познанията за изпълнение на операцията се съдържат в инженерната разработка на съответната траектория на обекта. При разработване на операциите от дадена траекторията, за всяка от тях се определят необходимите познания, достатъчни за постигане на целевите (крайните за операциите) свойства на обекта.

За да се определи периодът, нужен за актуална подготовка на длъжностните работници, от съществено значение е способността на човека (тоест служителите, обезпечавачи длъжностните работници – оператори) да усвоява знания, които да може да използва успешно за изпълнение на операцията. Времеви период за целенасочено усвояване на такива познания и умения е в обратнопропорционална зависимост от честотата на възприемане и прилагане на съответните познания. Тоест колкото по-често се възприемат, възпроизвеждат и използват знания, времеви период за този процес намалява. Това явление е добре познато в практиката на всеки човек – за да се усвояват нови знания бързо и ефективно, е необходимо да са изградени вече навики за учене, умения за възприемане и критическа обработка на информацията [10,24,25,26]. Трайното усвояване на знания е резултат от многократни усилия за възприемане, възпроизвеждане и използване (*repetitio mater studiorum*). Формално изразена тази зависимост изглежда по следния начин:

$$TP_{ap}(Op_j) = G\{fr[C(Op_j)]\}$$

където:

$C(Op_j)$  – познания за изпълнение на операцията;  
 $fr[C(Op_j)]$  – честота на възприемане и възпроизвеждане на познанията;  
 $G\{fr[C(Op_j)]\}$  – функция на обратна пропорционалност на времеви период за актуална подготовка спрямо честотата на възприемане и възпроизвеждане на познанията.

Означаваме с  $Op_j^1$  първото възприемане и възпроизвеждане на познания за изпълнение на операцията, а следващите повторения на този процес с  $Op_j^k$ , където  $k=1 \div n$ . Тогава за всяко  $1 \leq m \leq l \leq n$  следва:

$$TP_{ap}(Op_j^1) > TP_{ap}(Op_j^m) \geq TP_{ap}(Op_j^l) \geq TP_{ap}(Op_j^n)$$

От това, че за всяко конкретно  $k$ -повторение на операцията съществуват конкретни познания, които са специфични единствено и само за него (например количеството на обекта, идентификацията на производствения ордер; времеви интервали или датата на реализация) следва условието, че  $TP_{ap}(Op_j^k) > 0$ . Минималният период необходим за възприемане на познанията за всяко конкретно изпълнение на операцията ще бъде:

$$TP_{ap}^0(Op_j) = \min[TP_{ap}(Op_j^k)]$$

Разгледаният тук подход за определяне на времеви период за актуална подготовка е базиран на допускане за равномерно обратнопропорционално развитие на  $TP_{ap}(Op_j)$  спрямо развитието на  $fr[C(Op_j)]$ . Задаването на обратно пропорционалната функция на определяне на  $TP_{ap}(Op_j)$  се извършва по начина, разгледан долу.

При съставяне на манипулационни анализи с цел разработване или повишаване на ефективността на дадена операция, разработващият инженер трябва да е в състояние да определи, а в последствие да зададе следните параметри:

- 1)  $TP_{ap}(Op_j^1)$  – период, необходим за актуална подготовка на длъжностните работници на организацията при първо изпълнение на операцията.
- 2)  $TP_{ap}^0(Op_j)$  – минимален период за процеса на възприемане на операционни познания;
- 3)  $fr[C(Op_j)]$  – честота на възприемане и възпроизвеждане на познанията за изпълнение на операцията, при което се задават:

- $et$  – времевата мярка, в която ще се определя честотата;
- $STP(Op_j)$  – статистически времеви период (*statistical time period*), спрямо който ще се определя честотата;
- $\{a_i, a_{i+1}\}$  – множество от интервали на стойността на честотата на възприемане и възпроизвеждане на познанията за изпълнение на операцията, при което:  $i = 1 \div d, d \in \mathbb{Z}; a_1 = 0; a_d = \max(a_i)$  е оценената като пределна честота, при която се постига  $TP_{ap}^0(Op_j)$ . Тази оценка е изцяло субективна и се дава от разработващия инженер. При

нейното задаване следва да се има предвид и сложността на комплекса познания, нужни за изпълнение на операцията, тоест за различните видове обекти и операции, тази горна граница може значително да се различава.

Въз основа на тези параметри можем да определим продължителността на периода за актуална подготовка спрямо постигната, в интервала  $\{a_i, a_{i+1}\}$ , стойност на  $fr[C(Op_j)]$ :

$$TP_{ap}(Op_j^i) = TP_{ap}^0(Op_j) + \frac{TP_{ap}(Op_j^1) * (a_d - a_i)}{a_d}$$

При постигане на пределната честота –  $a_d$ , за всяко  $i > d$ , можем да допуснем, че  $a_i = a_d$ , от което следва:

$$TP_{ap}(Op_j^i) = TP_{ap}^0(Op_j)$$

Определената стойност на  $TP_{ap}(Op_j^i)$  следва, преди всичко, да се постига в периода на обучение на длъжностния работник за реализация на дадения вид операции. Но тя се мени във времето. Ако за определен статистически времеви период е постигната максимална честота –  $fr[C(Op_j)]$ , то в следващ период е възможно тя да спадне (поради липса на необходимост от изпълнение на операцията) и следователно времеви период за актуална подготовка на длъжностните работници да се повиши. Предпоставка за това е природната склонност на човек да забравя, когато не използва знанията си дълго време. Това отчасти обосновава необходимостта от организационно обективизиране на познанията в информационната база на индустриалното предприятие. Други предпоставки за организационно обективизиране на познанията за операция са необходимостта от обучение на новопостъпилите служители, оптимизиране ефективността на операциите – придобиване на възможност от страна на индустриалното предприятие за тяхното пълно управление. Това са необходими предпоставки за превръщане на предприятието в „самообучаваща се организация“, посочено в [8] като една от ключовите технологии на нашия век.

За да се добие пълна представа за процеса на актуална подготовка, респективно за неговото проектиране и ефектиране, е необходимо да разгледаме концепцията: *матрица на познанията за операция* [11,12]. Тук не можем цялостно да разгледаме тази матрицата, но само ще споменем, че тя представлява сечение между:

1) Структурата на познанията за операция по съдържание. Познанията за операция по съдържание се класифицират като:

- Базови познания;
- Функционални познания;
- Принципно и реализационни познания.

2) Структурата на познанията за операция по носители и начин на обезпечаване. Познанията за операция по носители и начин на обезпечаване се класифицират като:

- Лични субективизирани познания;
- Лични обективизирани познания;
- Организационно обективизирани познания.

### 3. АНАЛИЗ НА ПЕРИОДИТЕ НА ИЗПЪЛНЕНИЕ И РЕАЛИЗАЦИЯ НА ОПЕРАЦИЯ

За разлика от периода за настройване, времеви период за еднократно или многократно изпълнение на операцията е функция от количеството на операционния обект:

$$TP_{prf}(Op_j) = f[QN(Ob)]$$

В зависимост от възможностите на операционното технологично поле и от типа на преминаващите през него обекти, изпълнението на операцията се извършва за:

- **Пакетно количество** (или пакет обекти). Това е максимално количество от обекта, върху което се осъществява едновременно операционно въздействие. Това количество означаваме с „*pc*“ (*package*), при което  $pc \geq 1, \in \mathbb{Z}$ . В случаите, когато количеството от обекта в един пакет е равно на единица, говорим за единично количество. В този смисъл единичното количество е частен случай на пакетното количество. В следващата част на изследването за единично количество ( $pc = 1$ ) ще използваме означението „*e*“.

- **Партидно количество** или партида обекти. Това е количество от обекта, което преминава през операционното технологично поле за конкретна операция по конкретен (производствен) ордер. Това количество означаваме с „*bt*“ (*batch*).

Броят изпълнения на операцията определяме посредством зависимостта:

$$m(Op_j) = \frac{bt(Op_j)}{pc(Op_j)}, \in \mathbb{Z}$$

В зависимост от конкретното операционно задание, изпълнението на операцията можем да класифицираме като:

- Еднократно изпълнение на операцията. Тук са възможни следните два подслучая: Еднократно изпълнение върху единица количество от обекта и еднократно изпълнение върху пакет от обекта. В този случай  $bt = pc$  и  $m(Op_j) = 1$ .

- Многократно изпълнение на операцията. Тук са възможни следните два подслучая: Многократно изпълнение върху транспортна партида от обекта и многократно изпълнение върху производствена партида. В този случай  $bt > pc$  и  $m(Op_j) > 1, \in \mathbb{Z}$ .

Производствената партида е количеството от обекта по конкретен (производствен) ордер. Транспортната партида е част от производствената партида, която се придвижва монолитно в средата на предприятието.

Следователно в зависимост от възможностите на операционното технологично поле, от типа на преминаващите през него обекти и от конкретното операционно задание, изпълнението на операцията можем да класифицираме като:

- еднократно върху единица от обекта;
- еднократно върху пакет от обекта;
- многократно върху единица от обекта;
- многократно върху пакет от обекта.

Видовете дейности, които се извършват през времевия период на изпълнение на дадена операция, за всяко нейно единично изпълнение се разделят на две групи:

1) *Същинско изпълнение (execution)* на операцията – неговият период означаваме с  $TP_{exc}(Op_j)$ ;

2) *Подготвително-заклучителни дейности*, свързани със същинското изпълнение на операцията – техният общ период означаваме с  $TP_{prf}(Op_j)$ , а той се определя по зависимостта:

$$TP_{prf}(Op_j) = TP_{pr}(Op_j) + TP_{fn}(Op_j)$$

където:

$TP_{pr}(Op_j)$  – подготвителният (*preparatory*) период;

$TP_{fn}(Op_j)$  – заклучителният (*final*) период за единично изпълнение на операцията.

### 3.1. Анализ на периодите на реализация и еднократно изпълнение на операция

Еднократното изпълнение на операцията може да се определи както за прекъснатите (дискретни производствени) технически процеси, така и за непрекъснатите (поточни производствени) технически процеси. Като при вторите (поточните) измерването на производителността се извършва чрез дискретизиране на времевите периоди. В този случай за еднократно изпълнение се приема изпълнението за единица време – т.е. разглеждат се като дискретно-поточни технически процеси.

Тук използваме понятието технически процес по отношение на характерните вътрешно операционни въздействия върху обекта – например: лене, транспортиране, струговане, фрезование, заваряване, галванизация и т.н., като държим тези въздействия да се отличават от по-общата употреба на понятието процес в перспективата на индустриалното предприятие, която отъждествяваме с понятието траектория на обект.

За краткост към прекъснатите и непрекъснатите технически процеси ще се обръщаме чрез обекта, върху който въздействат, като съответно го наричаме: *дискретен обект* или *дискретно-поточен обект*.

#### 3.1.1. Анализ на периодите на реализация и еднократно изпълнение върху единица от обекта

Този случай е характерен за дискретни обекти. Времевият период на реализация с еднократно изпълнение на операцията означаваме с  $TP_e(Op_j)$ . Тук при разработване на операцията се определят:

1) Периодът за същинско единично изпълнение на операцията –  $TP_{e,exc}(Op_j)$ ;

2) Подготвително-заклучителният единичен период –  $TP_{e,prf}(Op_j)$ , чрез определяне на  $TP_{e,pr}$  и  $TP_{e,fn}(Op_j)$ .

Тогава можем да определим периода за еднократното изпълнение на операцията:

$$\begin{aligned} TP_{e,prf}(Op_j) &= TP_{e,exc}(Op_j) + TP_{e,pr}(Op_j) \\ &= TP_{e,exc}(Op_j) + TP_{e,pr}(Op_j) + TP_{e,fn}(Op_j) \end{aligned}$$

От горните зависимости за пълния период на реализация с еднократно изпълнение на операцията върху единица обект следва:

$$TP_e(Op_j) = TP_{stn}(Op_j) + TP_{e,prf}(Op_j)$$

#### 3.1.2. Анализ на периодите на реализация и еднократно изпълнение върху пакет от обекта

Този случай е характерен за дискретни и за поточни обекти. Тук различаваме четири подслучая, при разглеждането на които ще използваме параметъра „ $pc$ “, за да обозначим броя на обектите в пакета:

**А.** При дискретни обекти и операционно технологични полета с потенциал за едновременно въздействие върху пакет от обекти (детайли). Тук подготвително-заключителният период е сума от съответните периоди за всеки обект от пакета, а същинското изпълнение на операцията е върху целия пакет. В този случай при разработването определяме:

1) Периода за същинско пакетно изпълнение на операцията –  $TP_{pc,exc}(Op_j)$ ;

2) Подготвително-заключителния период за пакетно изпълнение при дискретни обекти:

$$TP_{pc,pr}(Op_j) = TP_{pc,pr}(Op_j) + TP_{pc,fn}(Op_j) \\ = pc * [TP_{e,pr}(Op_j) + TP_{e,fn}(Op_j)] = pc * TP_{e,prf}(Op_j)$$

**Б.** При дискретно-поточни или поточни обекти, за въздействието върху които операционното технологично поле има съответни възможности. Тук подготвително-заключителните дейности, както и същинското изпълнение на операцията се извършват върху целия пакет. В този случай при разработването се определят:

1) Периодът за същинско пакетно изпълнение на операцията –  $TP_{pc,exc}(Op_j)$ ;

2) Подготвително-заключителният период за пакетно изпълнение при дискретно-поточни обекти:

$$TP_{pc,prf}(Op_j) = TP_{pc,pr}(Op_j) + TP_{pc,fn}(Op_j)$$

**В.** При обекти, които в началото на операцията се намират в дискретно-поточно състояние, а в края ѝ се намират в дискретно състояние.

**Г.** При обекти, които в началото на операцията се намират в дискретно състояние, а в края ѝ се намират в дискретно-поточно състояние.

Подслучаите „В“ и „Г“ са междинни и могат да бъдат сведени до подслучаите „А“ и „Б“.

След определяне на времевите периоди за същинско пакетно изпълнение и подготвително-заключителните дейности можем да определим периода на еднократното изпълнение на операцията върху пакет от обекта:

$$TP_{pc,prf}(Op_j) = TP_{pc,exc}(Op_j) + TP_{pc,prf}(Op_j)$$

От горните зависимости за пълния период на реализация с еднократно изпълнение на операцията върху пакет от обект следва:

$$TP_{pc}(Op_j) = TP_{stn}(Op_j) + TP_{pc,prf}(Op_j)$$

Тъй като единичното изпълнение е частен случай на пакетното изпълнение, при което количеството в пакета е един обект, в следващата част на изложението ще използваме това означение, като имаме предвид, че:  $pc \geq 1, \in \mathbb{Z}$ .

### 3.2. Анализ на периодите на реализация и многократно изпълнение на операция

Многократно (партидно) изпълнение на операция разглеждаме като повторение на еднократното изпълнение толкова пъти, колкото е количеството на обекта, определено в съответна мярка и разпределено в пакети за изпълнение. Основната цел на анализа е да се установят зависимостите между времевите периоди на еднократно и многократно изпълнение на операция, за което ще използваме резултатите от анализа в предходните раздели.

В зависимост от конкретната операция, разгледана в система с възможностите на технологичното поле, са възможни инженерни решения на едновременно изпълнение на дейностите от подготвителната и заключителната части на изпълнението и частта на същинското изпълнение, осъществявани върху последователни пакети от обекта.

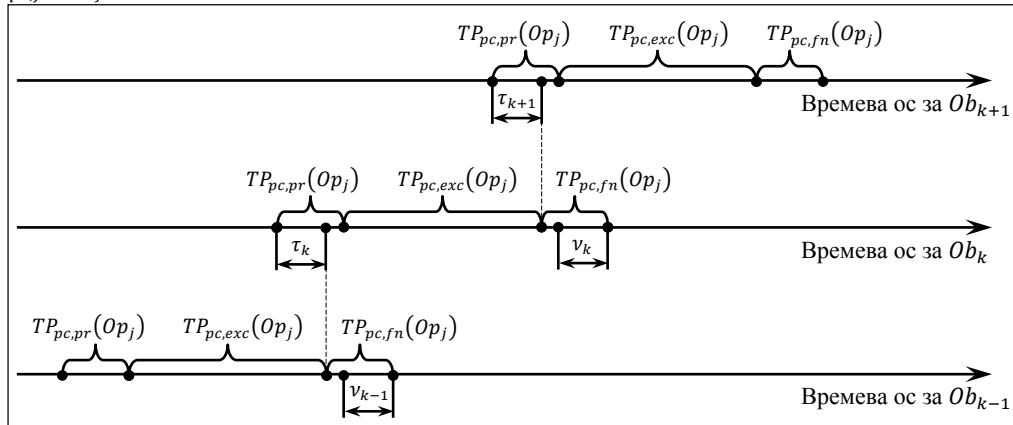
Нека разгледаме пример за многократно изпълнение на операция върху три последователни пакета (или единици) от операционен обект, които означаваме като:  $Ob_{k-1}$ ,  $Ob_k$  и  $Ob_{k+1}$ . За всеки от трите пакета подготвителният ( $pr$ ), заключителният ( $fn$ ) и периодът на същинско изпълнение ( $exc$ ) са еднакви. При това в етапа на разработване на операцията са създадени такива условия, че през периода на същинското изпълнение на операцията върху  $Ob_k$  операторът извършва контролни действия върху началното и крайното състояние на  $Ob_{k-1}$  и  $Ob_{k+1}$ , като част от подготвително-заключителните дейности на свързаните с тях операции. Разположението на времевите периоди спрямо трите пакета обекти е представено на фиг.2, на която са означени:

$v_{k-1}$  – времеви период на паралелно изпълнение на заключителните дейности от  $Op_j$  върху  $Ob_{k-1}$  с изпълнението на  $Op_j$  върху  $Ob_k$ , при което:  $0 \leq v_{k-1} \leq TP_{pc,fn}(Op_j)$ ;

$\tau_k$  – времеви период на паралелно изпълнение на подготвителни дейности от  $Op_j$  върху  $Ob_k$  с изпълнението на  $Op_j$  върху  $Ob_{k-1}$ , при което:  $0 \leq \tau_k \leq TP_{pc,pr}(Op_j)$ ;

$\nu_k$  – времеви период на паралелно изпълнение на заключителните дейности от  $Op_j$  върху  $Ob_k$  с изпълнението на  $Op_j$  върху  $Ob_{k+1}$ , при което:  $0 \leq \nu_k \leq TP_{pc,fn}(Op_j)$  и  $\nu_k = \nu_{k-1}$ ;

$\tau_{k+1}$  – времеви период на паралелно изпълнение на подготвителни дейности от  $Op_j$  върху  $Ob_{k+1}$  с изпълнението на  $Op_j$  върху  $Ob_k$ , при което:  $0 \leq \tau_{k+1} \leq TP_{pc,pr}(Op_j)$  и  $\tau_{k+1} = \tau_k$ .



фиг.2

За комплексния времеви период на изпълнение на операцията върху партидата от трите пакета:  $Ob_{k-1}$ ,  $Ob_k$  и  $Ob_{k+1}$ , получаваме израза:

$$TP_{bt,prf}(Op_j; Ob_{k-1}, Ob_k, Ob_{k+1}) = 3 * TP_{pc,prf}(Op_j) - (\tau_k + \nu_{k-1} + \tau_{k+1} + \nu_k)$$

В разгледания пример има паралелност на подготвително-заключителните дейности и на същинското изпълнение на операцията. Възможни са инженерни решения, които да постигнат паралелност между различни структурни части на комплексния времеви период –  $TP_{bt,prf}(Op_j)$ , при следните условия:

1)  $\tau_k$  – времеви период на паралелно изпълнение на подготвителни дейности от операцията ( $Op_j$ ) върху  $Ob_k$  с подготвително-заключителните дейности и същинското изпълнение на операцията ( $Op_j$ ) върху  $Ob_{k-1}$ , при което:  $0 \leq \tau_k \leq TP_{pc,prf}(Op_j) - TP_{pc,pr}(Op_j)$  и  $\tau_i = const$  за всяко  $i = 1 \div (m = bt/pc)$  – т.е. периодите на паралелно изпълнение на подготвителните дейности за всяко  $i$ -то изпълнение на операцията са равни помежду си.

2)  $\nu_k$  – времеви период на паралелно изпълнение на заключителни дейности от операцията

( $Op_j$ ) върху  $Ob_k$  подготвително-заключителните дейности и същинското изпълнение на операцията ( $Op_j$ ) върху  $Ob_{k+1}$ , при което:  $0 \leq \nu_k \leq TP_{pc,prf}(Op_j) - TP_{pc,fn}(Op_j)$  и  $\nu_k = const$  за всяко  $i = 1 \div (m = bt/pc)$  – т.е. периодите на паралелно изпълнение на заключителните дейности за всяко  $i$ -то изпълнение са равни помежду си.

3)  $\lambda_k$  – времеви период на паралелно изпълнение на подготвително-заключителните дейности от операцията ( $Op_j$ ) върху  $Ob_k$  с различни структурни части на времевите периоди на операцията ( $Op_j$ ) върху  $Ob_{k-1}$  и  $Ob_{k+1}$ . Този времеви период се определя чрез уравнението:  $\lambda_k = \tau_k + \nu_k$ , при което:  $0 \leq \lambda_k \leq 2 * [TP_{pc,prf}(Op_j) - TP_{pc,pr}(Op_j)]$  и  $\lambda_i = const$  за всяко  $i = 1 \div (m = bt/pc)$  – т.е. времевите периоди на паралелно изпълнение на подготвително-заключителните дейности за всяко  $i$ -то изпълнение са равни помежду си.

При непълно изпълнение на горните условия се губи част от ефекта, който се постига в следствие от паралелното изпълнение на дейностите. Съпоставка между операция с паралелно изпълнение и операция без паралелно изпълнение е направена на фиг.3.

За да се постигне комплексен период на изпълнение –  $TP_{bt,prf}(Op_j)$  при еднократно и многократно изпълнение на операция, е необходимо предварително да са определени и зададени:

1) Видът на обекта (дискретен, дискретно-поточен или поточен) в начално и крайно състояние при изпълнение на операцията –  $Op_j$ ;

2)  $pc(Op_j)$  – пакетно количество от обекта при еднократно изпълнение на операцията;

3)  $bt(Op_j)$  – партидното количество от обекта, спрямо което ще се осъществява многократно изпълнение на операцията;

4)  $TP_{pc,exc}(Op_j)$  – единичен (пакетен) период за същинско изпълнение на операцията;

5)  $TP_{pc,prf}(Op_j)$ ,  $TP_{pc,pr}(Op_j)$ ,  $TP_{pc,fn}(Op_j)$ , при спазване на правилото:

$$TP_{pc,prf}(Op_j) = TP_{pc,pr}(Op_j) + TP_{pc,fn}(Op_j)$$

6)  $\tau_k$ ,  $\nu_k$  и  $\lambda_k = \tau_k + \nu_k$ .

Тогава можем да определим комплексния времеви период на многократно изпълнение ( $m = bt/pc$ ) на операцията върху операционна партида по следното уравнение:

$$\begin{aligned} & TP_{bt,prf}(Op_j) \\ = & m(Op_j) * TP_{pc,prf}(Op_j) - \{[m(Op_j) - 2]\lambda_k + \nu_1 + \tau_m\} \\ = & m(Op_j) * TP_{pc,prf}(Op_j) - [m(Op_j) - 1]\lambda_k \end{aligned}$$

където:

$TP_{bt,prf}(Op_j)$  – период за изпълнение на операцията върху от обекта с количество „ $bt$ “;

$TP_{pc,prf}(Op_j)$  – период за изпълнение на операцията върху пакет от обекта;

$m(Op_j) = bt(Op_j)/pc(Op_j)$  – количеството (брой) на многократното изпълнение на операцията върху партидата с количество от обекта –  $bt$ .

$\nu_1$  – период на паралелно изпълнение на заключителни дейности на първия пакет от обекта;

$\tau_m$  – период на паралелно изпълнение на подготвителни дейности за последния пакет от обекта;

$\lambda_k = \tau_k + \nu_k = \nu_1 + \tau_m$  – времеви период за паралелно изпълнение на подготвително-заключителните дейности.

При инженерно решение за изпълнение на операция ( $Op_j$ ) без паралелност ( $\tau_k = 0$ ,  $\nu_k = 0$  и  $\lambda_k = 0$ ) горното уравнение придобива вида:

$$TP_{bt,prf}(Op_j) = m(Op_j) * TP_{pc,prf}(Op_j)$$

#### 4. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Общият вид на уравнението, описващо периода на реализиране на операция при еднократно изпълнение върху пакет от обекта, е следният:

$$\begin{aligned} TP_{pc}(Op_j) &= TP_{snt}(Op_j) + TP_{pc,prf}(Op_j) \\ &= TP_{ap}(Op_j) + TP_{fsopzn}(Op_j) - \mu_{stn}(Op_j) \\ &+ TP_{pc,pr}(Op_j) + TP_{pc,exc}(Op_j) + TP_{pc,fn}(Op_j) \end{aligned}$$

Общият вид на уравнението, описващо периода на реализиране на операция при многократно изпълнение върху пакет от обекта, е следният:

$$\begin{aligned} TP_{bt}(Op_j) &= TP_{snt}(Op_j) + TP_{bt,prf}(Op_j) \\ &= TP_{ap}(Op_j) + TP_{fsopzn}(Op_j) - \mu_{stn}(Op_j) \\ &+ \{m(Op_j) * TP_{pc,prf}(Op_j) - [m(Op_j) - 1]\lambda_k\} \end{aligned}$$

Средния период за изпълнение на операцията върху един пакет от партидата определяме така:

$$TP_{i(bt)}(Op_j) = \frac{TP_{bt}(Op_j)}{m(Op_j)}$$

Въз основа на последната зависимост можем да определим оптималния минимален размер на партидата от обекти. За целта нека разгледаме пример, в който параметрите, свързани с реализацията на конкретна операция ( $Op_j$ ), са определени и зададени по следния начин:

$TP_{ap} = 10, [min]$  – период на актуална подготовка на длъжностен работник оператор;

$TP_{fsopzn} = 15, [min]$  – период на настройване на една операционна зона от актуално подготвения оператор;

$\mu_{stn} = 5, [min]$  – период за паралелно изпълнение на актуалната подготовка и за настройването на операционната зона за изпълнение на операция;

$TP_{stn} = 10 + 15 - 5 = 20, [min]$  – период на настройка на операционното технологично поле за операция;

$TP_{pc,exc}(Op_j) = 10, [min]$  – период за същинско пакетно изпълнение на операцията;

$TP_{pc,pr} = 3, [min]$  – подготвителен период за пакетно изпълнение на операцията;

$TP_{pc,fn} = 6, [min]$  – заключителен период за пакетно изпълнение на операцията;

$TP_{pc,prf} = 10 + 3 + 6 = 19, [min]$  – период за изпълнение на операцията върху пакет от обекта;

$\tau_k = 2, [min]$  – период на паралелно изпълнение на подготвителни дейности;

$\nu_k = 5, [min]$  – период на паралелно изпълнение на заключителни дейности;

$\lambda_k = 2 + 5 = 7, [min]$  – период на паралелност на подготвително-заключителните дейности;

$pc = 1, [бр.]$  – пакетно количество от обекта при

еднократно изпълнение на операцията;  
 $bt = 1 \div 50$ , [бр.] – партидното количество от обекта;  
 $m = bt/pc = 1 \div 50$ , [бр.] – брой изпълнения на операцията;

За периода на реализиране на операция при многократно изпълнение върху пакет от обекта получаваме уравнение с променлив аргумент „ $m$ “:

$$TP_{bt}(Op_j; m = 1 \div 50) = 20 + \{m * 19 - [m - 1] * 7\}$$

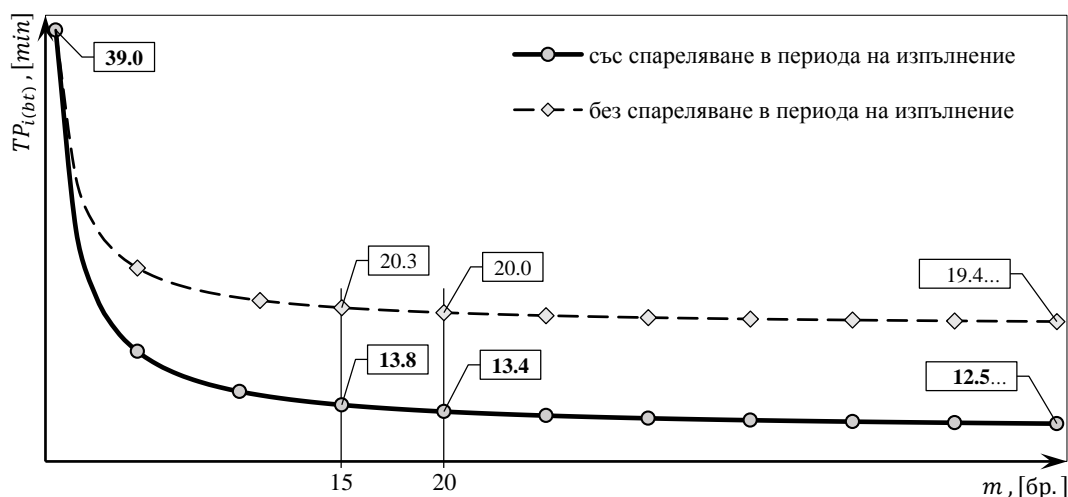
Функционалната зависимост за периода на реализация на операцията върху един пакет от партидата при спареляване на дейностите в периода на изпълнение, е следната:

$$TP_{i(bt)}(Op_j; m = 1 \div 50) = \frac{20 + \{m * 19 - [m - 1] * 7\}}{m}$$

нейното решение е представено в графичен вид на фиг.3.

На същата фигура е представено и в графичен вид зависимостта за периода на изпълнение на операцията върху един пакет от партидата, без паралелност на дейностите в периода на изпълнение на операцията:

$$TP_{i(bt)}(Op_j; m = 1 \div 50) = \frac{20 + \{m * 19\}}{m}$$



фиг.3

На базата на описаните зависимости е възможно да се разработи аналитичен апарат, чрез който да бъде определяна оптималната стойност на партидите спрямо предварително зададени критерии – например критична граница на относителното изменение между последователните стойности на  $TP_{i(bt)}$  или критична стойност на ъгъла между абсцисата и тангентата към кривата  $TP_{i(bt)}$ . Подобни критерии се използват и при субективното визуално определяне на оптималната стойност спрямо графичното решение на задачата. Субективно определеният оптимален минимален размер на партидата, отбелязан на фиг.3, е 15 броя.

Дотук разгледахме определянето на оптималното количество на партидата спрямо периода на реализиране при многократно изпълнение на една

операция от дадена траектория на обект. По-комплексна е задачата да се определи оптималният размер на партидата спрямо множеството операции, изграждащи разглежданата траектория. Но решението на тази задача единствено спрямо времето не носи преки практически ползи, тъй като общата ефективност се определя като комплекс от параметрите производителност, икономичност и напрегнатост на траекторията спрямо множеството изграждащи я операции. Разгледаният в настоящата статия апарат е достатъчна база да се изследва по-нататък ефективността на траекториите на обекти и да се определят оптималните партиди. Установяването на оптималните количества по траекториите на обектите заедно с определяне на стойността, която индустриалното предприятие



влага в тях, се извършва чрез разработване на *инженерен организационно-стойностен анализ* [10,11,12].

## 6. ИЗВОДИ

В настоящата разработка е направен пълен анализ на времевите периоди при реализация на операция в двете и основни структурни части настройката и изпълнение, при това за първи път се отчита времевият период, необходим за актуална подготовка на длъжностните работници за изпълнение на операцията. За да се добие пълна представа за процеса на актуална подготовка, респективно за неговото проектиране и ефектиране, е необходимо да бъде разгледана концепцията: *матрица на познанията за операция*.

Направените анализи на структурните части на общия времеви период за реализиране на операция имат за цел да послужат при анализа на производителността и икономичността на операцията, респективно при определяне и оптимизиране на стойността, която индустриалното предприятие влага в траекториите на обектите.

Познаването на общата структура на операцията прави възможно разработването на общоприложими сегментни и манипулационни анализи на операцията.

### Литература

1. **Groover M.** Automation, Production Systems, and Computer-Integrated Manufacturing 3rd ed. New Jersey, Person Education Inc., 2007.
2. **Wren D., Bedeiam G.** The Evolution of Management Thought, 6th ed. New York, John Wiley & Sons, Inc., 2009.
3. **Смит А.** Богатството на Народите (1776). София, ИК „РАТА“, 2010.
4. **Taylor F.** The Principles of Scientific Management. New York, London, Harper & Brothers Publishers, 1919.
5. **Toffler A.** The Third Wave. New York, William Morrow and Company, Inc., 1980.
6. **Friedman T.** The World is Flat (Further Updated and Expanded - Release 3.0 - 2nd ed.). Farrar, Straus and Giroux, 2007.
7. **Drucker P.** The Age of Discontinuity (Guidelines to Our Changing Society). New York, Transaction Publishers, 1992.
8. **Senge P.** The Fifth Discipline (The Art & Practice of The Learning Organization). New York, Doubleday, 2006.
9. **Спасов С.** Изследване на смисловото съдържание на понятието „операция“ в индустриалното предприятие. София, Машиностроителен факултет, Технически университет София, 2013, Инженерно Проектиране, том 19.
10. **Пан.** Идеини опори на инженерно доминиран управленски модел. София, Фондация ИнжКУБ, 2011.
11. **Пан.** Някои понятия от общопонятийната система на инженерно доминиран управленски модел. София, Фондация ИнжКУБ, 2012.
12. **Спасов С. и др.** Дефицитът от ключово знание за реиндустриализация в икономиката на знанието. Велико Търново, FABER, 2014.
13. **Aalst W., Hee K.** Workflow Management, Models, Methods and Systems. Massachusetts, The MIT Press, 2002.
14. **Chrysolouris G.** Manufacturing Systems: Theory and Practice, 2nd ed. New York, Springer, 2006.
15. **Günther O., Kletti W., Kubach U.** RFID in Manufacturing. Berlin, Springer, 2008.
16. **Schenk M., Wirth S., Müller E.** Factory Planning Manual (Situation-Driven Production Facility Planning). Berlin, Springer, 2010.
17. **Лайкър Д., Майер Д.** Талантът на Тойота. София, Рой комюникейшън, 2010.
18. **Синго С.** Быстрая переналадка. Москва, Альпина Бизнес Букс, 2006.
19. **Синго С.** Изучение производственной системы Тойоты. Москва, Институт стратегических исследований, 2006.
20. **Grote, K. and Antonsson, E.** Handbook of Mechanical Engineering. New York, Springer, 2009.
21. **Shingo S.** A Study of the Toyota Production System from an Industrial Engineering Viewpoint. Massachusetts, Productivity Press, 1989.
22. **Training Within Industry Service (TWI).** Job Instruction. Washington, War Manpower Commission, 1944.
23. **Weaver, Patrick.** Henry L. Gantt, 1861–1919 (Debunking the myths, a retrospective view of his work). Texas, PM World Journal, vol 1, issue 5, December 2012.
24. **Allen C.** The Instructor The Man and The Job (A Hand Book for Instructors of Industrial and Vocational Subject). London, J.B. Lippincott Company, 1919.
25. **Dietz J., Bavens B.** Learn by Doing (The story of Training Within Industry 1940-1970). New Jersey, Art Type, Inc., 1970.
26. **Straker D.** Changing Minds – In Detail. London, Copyright by David Straker, 2010.

## OPERATION'S TIME ANALYSIS

Spas SPASOV<sup>1</sup> Lubomir DIMITROV<sup>2</sup> Todor NESHKOV<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Trivium, Yambol, Bulgaria

e-mail: spas.z.spasov@gmail.com

<sup>2</sup>MENK department, Technical University of Sofia, Bulgaria

e-mail: lubomir\_dimitrov@tu-sofia.bg

<sup>3</sup>ADP department, Technical University of Sofia, Bulgaria

tnesh@tu-sofia.bg

**Abstract:** An industrial company works by managing the routes (trajectories) of its objects. These are objects designed for production routs and objects from the factory technological setting. Company management includes design and implementation of operations that have different routes. Knowledge for operations and for their management is of fundamental importance for the industrial company functioning in global competition and mass customization of industrial production. We claim that all operations have common cognitive model. This model could be a base for the company effective management. In the paper presented, a detailed analysis is made on the interaction of operation segments and their influence on the time of its performance. At the end of the paper, a method for optimization of operation batches is presented as well. These analyses could serve as a basis for further determination of operation efficiency, economy and for development of engineering value analysis.

**Keywords:** operation, operation setting up, performance, object, trajectory, time analysis, manipulation analysis, batch production.

## ЕКСПЕРИМЕНТАЛНО ИЗСЛЕДВАНЕ НА ДИНАМИЧНОТО ПОВЕДЕНИЕ НА АВТОМОБИЛНА ДЖАНТА СЪС СВОБОДНО ТЪРКАЛЯЩИ СЕ САЧМИ В ТОРОИДАЛЕН КАНАЛ

Явор СОФРОНОВ Костадин СТОИЧКОВ Стефан КЪНЧЕВ Цветелин ЛЮБЕНОВ  
катедра „Теория на механизмите и машините”, Технически университет - София, България  
e-mail: [kks@tu-sofia.bg](mailto:kks@tu-sofia.bg)

**Резюме:** В настоящата работа са публикувани резултати от проведени експериментални изследвания върху автомобилна джантата с гума и твърдо монтиран към джантата тороидален канал, в който свободно се търкалят сачми. Доказва се възможността за намаляване на биенето на джантата с подобна конструкция при вариране на количеството на сачмите и при отчитане на скоростта на въртене.

**Ключови думи:** автомобилна джантата, тороидален канал, сачми, биене

### 1. ВЪВЕДЕНИЕ

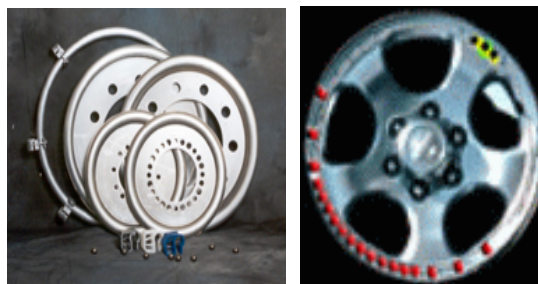
Подходът за използването на свободни движещи се сачми, поместени в телата на различни машиностроителни продукти е известен.

Например, в своя труд [Сарафска,2006] прави задълбочени изследвания върху т.нар. *безоткатни чукове* и постига нова оптимизирана конструкция, базираща се на патентни решения, датиращи от началото на 20-ти век.

По-късно в един следващ труд [Илиев, 2007] са постигнати подобни на показаните в настоящата статия резултати, при изследвания с челно-цилиндрични фрези с поместени в корпуса им свободно търкалящи се сачми и е защитена нова патентована конструкция. Подобен ефект е получен при вал-фреза за лешене и шевинговане на кожи в кожарската индустрия [Симов, 2003]. Защитена е и конструкцията на автомобилна джантата със свободни тела в корпуса [Любенов, 2008].

Фирмата Centramatic, [TAABS,2005] също използва подобен ефект от свободно движещи се маси в своя конструкция на джантата.

На фиг.1 са показани конструктивни решения на фланци с тороидални канали и рентгенова снимка на джантата със свободни сачми на Centramatic, поместени в тороидален канал - в движение.



Фиг.1 Конструктивни разработки на Centramatic [TAABS,2005]

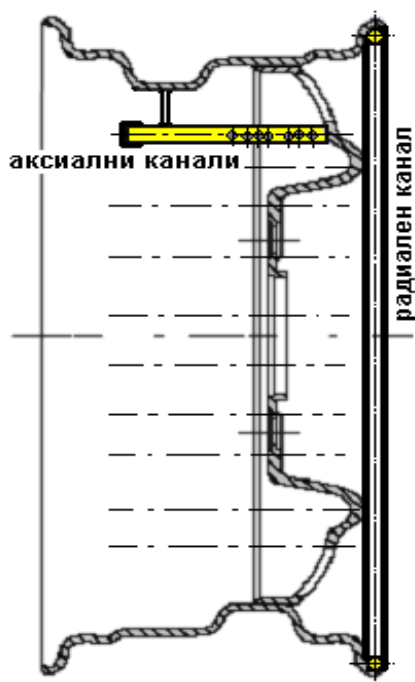
Ефективността на това решение се доказва, като се наблюдава намаляване на износването на гумите. Препоръчва се фланецът с тороидалния канал със свободни сачми в него, да се монтира разглобяемо между двете гуми на тежкотоварните автомобили.

Целта на настоящата разработка е да се направи експериментално лабораторно изследване върху специално оборудвана на нов вид конструкции, състояща се от кръгово огъната и монтирана към джантата тръба във вид на тороидален канал, в който са насипани определено количество свободно движещи се сачми. По време на експеримента се отчита и скоростта на въртене на джантата.

### 2. СЪЩНОСТ НА ИЗСЛЕДВАНЕТО

Проведено е експериментално изследване в лабораторните условия на ТУ-София. За целта е

конструирана автомобилна джанта с монтиран върху нея тороидален канал (фиг.2), в който се насипват строго контролирани като количество (тегло) свободно движещи се стоманени сачми. Експериментите са осъществени с помощта на планиран експеримент от типа ПФЕЗ<sup>2</sup>, според методиката от [Ангелов,1995].



фиг. 2 Чертеж на експерименталната джанта

Като входни фактори в експеримента участват: масата – m, g, на сачмите и скоростта на въртене – V, km/h, на автомобилното колело (джанта с гума). В качеството на задвижващ агрегат се използва струг С13, оборудван със специален дорник. Използва се апаратура Smart balancer 2 на фирмата Schenk Co. (www.schenk.com) за оценка на динамичното поведение на въртящи се ротори. На фиг. 3 е показана снимка на опитната установка.

Таблица № 1 отразява стойностите на радиалното и аксиалното биене на колелото без наличието на сачми в тороидалния канал.

Таблица № 2 илюстрира матрицата на планирания експеримент.



фиг.3. Снимка на опитната установка – струг С13, дорник и джанта с гума, монтирана в нея

табл. 1

Скорост на въртене на джантата		Рад. и акс. биене	
		$\Delta_R$	$\Delta_A$
min <sup>-1</sup>	km/h	$\mu\text{m}$	$\mu\text{m}$
315	31,5	25	17
200	20	29	15
100	10	25	13

табл. 2

№	Скорост на въртене, V	Маса на сачми-те, m	$\Delta_{RE}$	$\Delta_{RM}$	$\Delta_{AE}$	$\Delta_{AM}$
	код	код	$\mu\text{m}$			
	min <sup>-1</sup> km/h	g				
1	+1	-1	32	33	13	14,2
	315 31,5	15				
2	0	-1	23	22,8	16	12,9
	200 20	15				
3	-1	-1	25	28,8	11	13,2
	100 10	15				
4	+1	0	32	29,7	13	12,6
	315					

		31,5					
	0	0	20				
5		200	20	16	20,7	11	11,9
		20	20				
6	-1	0	20	27	27,2	11	12,1
		100	20				
		10	20				
7	+1	+1	25	23	29,3	16	14,7
		315	25				
		31,5	25				
8	0	+1	25	22	21,3	13	13,5
		200	25				
		20	25				
9	-1	+1	25	22	24,2	14	13,7
		100	25				
		10	25				

Използваните символи в таблицата имат следното значение:

- $\Delta_{RE}$ ,  $\mu\text{m}$  – средна експериментална стойност на радиалното биене на колелото;
- $\Delta_{AE}$ ,  $\mu\text{m}$  – средна експериментална стойност на аксиалното биене на колелото;
- $\Delta_{RM}$  и  $\Delta_{AM}$ ,  $\mu\text{m}$  – стойности за радиалното и аксиалното биене на колелото, получени с помощта на математико-статистическите модели.

Търсените модели са от вида:

$$Y = b_0 + b_1 \cdot X_1 + b_2 \cdot X_2 + b_{12} \cdot X_1 \cdot X_2 + b_{11} \cdot X_1^2 + b_{22} \cdot X_2^2. \quad (1)$$

Съгласно формулите на Ангелов [1995]:

$$b_0 = 0,55556 \cdot \sum_{j=1}^9 X_{0j} \cdot Y_j - 0,33333 \cdot \sum_{i=1}^2 \sum_{j=1}^9 X_{ij} \cdot Y_j$$

$$b_i = 0,16667 \cdot \sum_{j=1}^9 X_{ij} \cdot Y_j$$

$$b_{ik} = 0,25000 \cdot \sum_{j=1}^9 X_{ij} \cdot X_{kj} \cdot Y_j$$

$$b_{ii} = 0,50000 \cdot \sum_{j=1}^9 X_{ij}^2 \cdot Y_j - 0,33333 \cdot \sum_{j=1}^9 Y_j$$

както и с помощта на програмния продукт MATLAB [MATLAB,2012], са получени следните

два математико-статистически модела в кодиран вид:

$$\Delta_{RM} = 20,6687 + 2,1667 \cdot X_1 + 2,1667 \cdot X_2 + 1,500 \cdot X_1 \cdot X_2 + 6,5007 \cdot X_1^2 - 0,4993 \cdot X_2^2 \quad (2)$$

и

$$\Delta_{AM} = 11,89 + X_1 - 0,5 \cdot X_2 - 0,3329 \cdot X_1^2 + 2,1671 \cdot X_2^2. \quad (3)$$

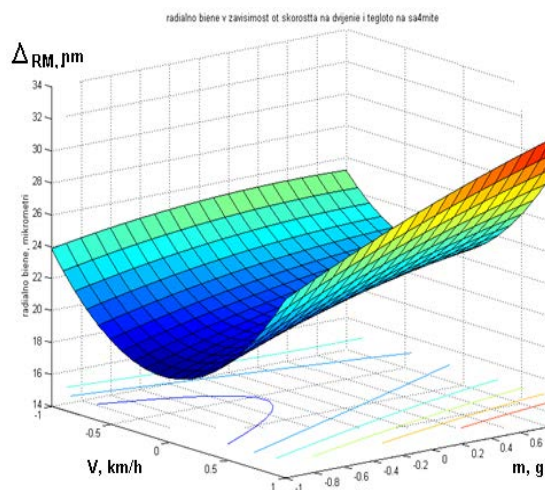
С използването на F-критерия на Роналд Фишър [Ангелов,1995] са направени проверките за значимост на коефициентите в моделите, както и на тяхната адекватност.

За целта с помощта на програмен продукт за модела на  $\Delta_{RM}$  чрез изключването на коефициента с най-малката стойност ( $b_{22}$ ) е получено доказателство за значимостта на всички коефициенти, а проверката за адекватност е направена отново с изключването на  $b_{22}$ .

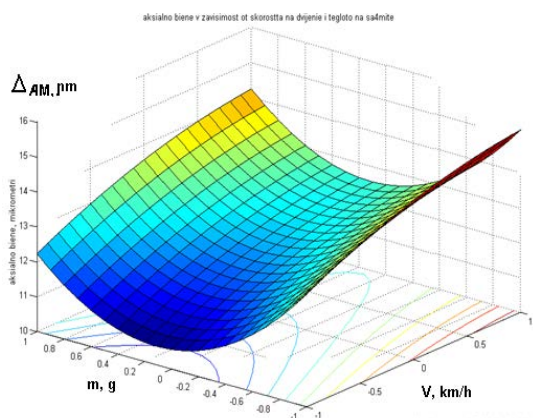
За модела (2) на  $\Delta_{AM}$  е доказано, че коефициентът  $b_{12}$  е незначим и впоследствие от това той е изключен от модела при проверката за адекватност. И за двата модела са потвърдени хипотезите за адекватност.

С помощта на възможностите на MATLAB са построени графиките на зависимостите  $\Delta_{RM} = f(V, m)$  и  $\Delta_{AM} = f(V, m)$ .

На фиг.4 и фиг.5 са показани тези зависимости, които имат седловиден характер.



Фиг.4 Зависимостта  $\Delta_{RM} = f(V, m)$



фиг.5 Зависимостта  $\Delta_{AM} = f(V, m)$

### 3. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Получените резултати могат да бъдат интерпретирани по следния начин:

1. Двата модела имат сходен характер, съдейки по вида на графиките. Зависимостите са тип седловидни (минимакс) със слабо изразена параболичност по едната ос и силно изразена по другата.

2. За постигането на минимум на  $\Delta_R$  оказва влияние скоростта  $V$  на ротация на колелото, а за постигането на минимум на  $\Delta_A$  – масата  $m$  на сачмите.

3. В рамките на факторното пространство е постигнато оптимизиране (минимизиране) на биенето на колелото при скорост на въртене  $V = 20$  km/h и при маса  $m = 20$  g за сачмите.

4. Коефициентът  $b_{11} = 6,5007 \gg b_{22} = 0,4993$  в първия модел (1) за  $\Delta_{RM}$ , от което може да се допусне, че при други стойности на входните фактори, и най-вече при по-висока скорост на ротация, ще бъде постигната нова минимизация.

5. От получените емпирични стойности за двата вида биене, както и от тези, получени посредством двата модела (1) и (2), отразени в таблица № 1, се вижда, че при сравнението им със стойностите, отразени в таблица № 2, се наблюдава подобрене в динамиката на колелото при въвеждането на иновативното решение.

### Литература

1. Ангелов, Н.П., Изследване и изпитване на металорежещи инструменти, Издателство на ТУ-София, 1995. [Ангелов,1995], 202 с.
2. Илиев, П.Л., Фрези със свободни тела в тялото, Дисертация за присъждане на образователната и научна степен доктор, ТУ-София, 2007. [Илиев,2007]
3. Любенов, Ц.Е., Н.П.Ангелов, М.Й.Денчев, Автомобилна джанта, Патент за полезен модел, BG 987 U1, B60 B21/00, Бюлетин № 8 на Патентното ведомство на Република България, 2008. [Любенов,2008]
4. Сарафска, Д.А., Безоткатен чук, Дисертация за присъждане на образователната и научна степен доктор, ТУ-София, 2006. [Сарафска,2006]
5. Симов, С.С., Изследване на деформациите на вал-фреза за обработване на кожи, Сборник с доклади от Международната научна конференция "УНИТЕХ '03", Габрово, 20-21 ноември, 2003. (стр. I-428...I-431) [Симов,2003]
6. MATLAB Image Processing Toolbox. User's Guide, "The Math-Works Inc.", 2012. [www.mathworks.com](http://www.mathworks.com), [MATLAB,2012]
7. TAABS Catalog, 2005, [www.taabs-int.com](http://www.taabs-int.com). [TAABS,2005]

## EXPERIMENTAL STUDY ON DYNAMIC BEHAVIOR OF THE CAR RIMS WITH FREE ROLLING BALL IN THE ANNULAR GROOVE

Yavor SOFRONOV Kostadin STOICHKOV Stefan KANCHEV Cvetelin LIUBENOV  
 Technical University of Sofia, Bulgaria  
 e-mail: [kks@tu-sofia.bg](mailto:kks@tu-sofia.bg)

**Abstract:** In this article are published results from experimental studies related to automotive wheel rim and tire with a toroid channel with free rolling balls inside. It was demonstrated the possibility of reducing the circular runout of wheel rim with a similar construction while varying the quantity (weight) of balls and taking into account the speed of rotation.

**Keywords:** wheel rim, toroid channel, balls, circular runout

## КОМПЬЮТЕРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ АНТРОПОМОРФНОГО ШАГАЮЩЕГО АППАРАТА С СЕНСОРНОЙ ОПОРОЙ

Михаил ТКАЧ Дмитрий ГУМЕННЫЙ

Национальный технический университет Украины «КПИ»  
e-mail: [mmtkach@gmail.com](mailto:mmtkach@gmail.com), e-mail: [dmytrogumennyu@kpi.ua](mailto:dmytrogumennyu@kpi.ua)

**Аннотация:** На основе предложенного критерия соблюдения равновесия шагающего аппарата и разработанного метода управления его равновесием построена компьютерная модель с интегрированным блоком обработки распределения силы реакции опорной поверхности на аппарат. Построение модели базируется на применении методов механики твердого тела, а ее динамические свойства представлены в форме уравнений Лагранжа, преобразований углов Эйлера и плоско-параллельного переноса материальных точек. Инерционные свойства модели аппарата представлены в виде тензора инерции для стержней. В качестве актуаторов кинематических пар модели использованы компьютерные модели двигателей постоянного тока, а для обратной связи модели тахогенераторов и тензочувствительных матриц. Показана взаимосвязь между положением точки центра масс аппарата и распределением силы реакции опорной поверхности. Также, в работе проведен сравнительный анализ существующих моделей шагающих аппаратов.

**Ключевые слова:** антропоморфный шагающий аппарат, сенсорная система шагающего аппарата, равновесие шагающего аппарата, силы реакции опорной поверхности, компьютера модель шагающего аппарата, многосвязная механическая модель шагающего аппарата.

**Введение.** Сегодня существует много моделей антропоморфных шагающих аппаратов (АША), которые с определенной точностью описывают поведение человека в зависимости от особенностей задачи, для решения которой они были построены. Эти модели отличаются сложностью, детализацией, применяемыми типами приводов и сенсоров, уровнем развития и степенью интеграции системы управления (СУ), методами настройки опций звеньев и шарниров, описанием взаимодействия с окружающей средой. Важным отличием между моделями являются концептуальные подходы к их построению. Так, классическим подходом к построению модели АША является представление его как кинематической цепи твердых тел, связанных шарнирами, которые имеют длины и массы. Типы шарниров и их количество определяют количество степеней свободы модели. Кроме этого, степень свободы модели также определяется способностью АША к перемещению относительно своего первоначального положения. Существует две формы представления технических моделей: аналитическая и компьютерная. В классических работах, посвященных моделированию АША и способам задания его движения, аппарат представлен в аналитической форме уравнений Лагранжа, тогда как угловые перемещения звеньев определяются

средствами направляющих косинусов и углов Эйлера, а инерционные параметры звеньев описаны моментами инерции. Более поздние работы, включающие в свой состав построение модели АША, использовали методы компьютерного моделирования (КМ). Указанные методы не имеют кардинальных отличий от аналитической формы, кроме необходимости перерасчета пространственного положения звеньев и подачи их инерционности в виде тензора. Использование компьютерного метода моделирования имеет существенное преимущество в упрощении представления модели, что актуально при формировании моделей высокой степени свободы.

Анализ работ [6 - 10, 13 - 17] по данной проблематике показал наличие зависимости между положением точки нулевого момента и соблюдением равновесия КМ АША. Взаимодействие с окружающей средой, в частности с опорной поверхностью (ОП), рассматривалось в работах [1 - 5, 7, 11, 13, 15]. В работах [8, 9, 12] для управления равновесием АША использовались координаты положения точки ноль-момента, тогда как в работах [16,17] о таком взаимодействии лишь упоминалось.

Из анализа существующих подходов к построению КМ АКА видно, что большинство моделей ориентированы на решение задач управ-

ления аппаратом по данным об угловом отклонении точки центра масс АША, тогда как параметры взаимодействия с окружающей средой не учитываются.

В связи с этим, целью данной публикации является построение компьютерной модели АША, которая соответствует следующим требованиям:

- аппарат должен иметь возможность перемещения в трехмерном пространстве;
- аппарат должен иметь не менее восемнадцати степеней свободы;
- звенья аппарата должны характеризоваться инерционностью;
- аппарат должна иметь датчики давления на ОП;
- компьютерная модель ОП должна иметь возможность задавать рельеф;
- модель аппарата должна быть наблюдаемой по следующим параметрам: угловым и линейным положениям точки центра масс (ТЦМ), линейным положениям точки проекции центра масс (ТПЦМ), углам и моментам в шарнирах;
- компьютерная модель должна быть управляемой по значениям угловых моментов в шарнирах.

**Построения КМ АША.** Для построения КМ АША использовано программное обеспечение SimScapе SimMechanics. Мониторинг положения и динамика составляющих АША выполнены с помощью пакета SimMechanics.

Построение КМ АША требует начального установления системы координат АША в трехмерном пространстве. Для этого применен блок Ground (рис. 1) с координатами 0,0,0 - соответственно, осей x, y, z. Для удобства мониторинга положения ТЦМ АША, начальные координаты 0,0,0 наследуются дочерним звеном корпуса АША - А. Учитывая возможность шестимерного смещения звена А, возникает необходимость мониторинга этого смещения, который осуществляется через шарнир типа Bushing, имеющий пять портов для мониторинга положения ТЦМ.

Блок Initial Condition (рис. 1) выполняет функцию задания начального отклонения положения звена А от нулевых координат. Блок Body Sensor считывает параметры углов, скоростей и моментов и передает эти данные в виде вектора для мониторинга или обработки. Блоки Join

Sensor считывают угловые параметры кинематической пары и передает их для управления или мониторинга положением звена аппарата. Эти данные являются аналогом данных, полученных из гироскопа, и применяются для количественного сравнения моделей АША.

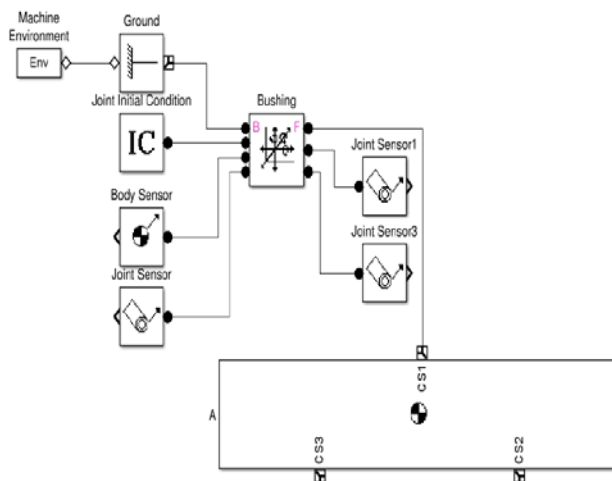


рис.1 Блок начальной установки системы координат АША

Кинематическая цепь  $AB_r B_l C_r C_l D_r D_l$ , попарно связанная шарнирами, формирует общий вид КМ АША, который показан на рис. 2.

Звено А, соответствующее корпусу АКА, насчитывает в своем составе три точки: CS1, CS2, CS3, которые определяются относительными координатами, представленными в матричном виде:

	x	y	z
CS1	0	0	0
CS2	0	-0.4	0.15
CS3	0	-0.4	-0.15

Точки CS1, CS2, CS3 выполняют роль портов для кинематического взаимодействия со звеньями Вг и Вл в составе АША через соответствующие шарниры. Кроме точек кинематического взаимодействия, в составе звена А также определена точка CG, указывающая относительные координаты центра тяжести данного звена, и задана таким вектором:



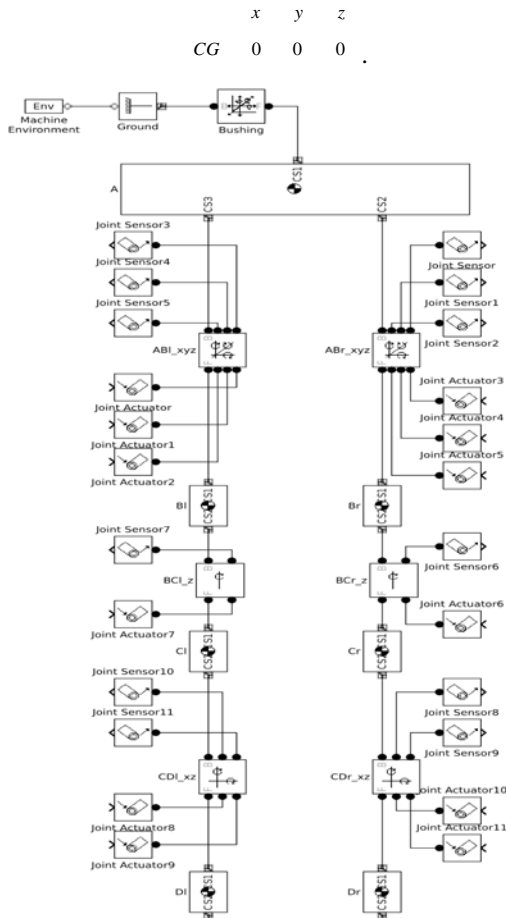


рис. 2 Общий вид КМ АША

Координаты точек ( $CS1$ ,  $CS2$ ,  $CS3$ ,  $CG$ ) определены относительно точки центра взаимодействия с блоком Ground через порт  $CS1$  и совпадают с ним по координатам. Для описания инерционности звена А, масса звена определена параметром  $mas_A$  и имеет значение 30 кг.

Момент инерции, действующий на звено А, определяется следующим уравнением:  $I_A = mas_A * len_A^2$ , где  $len_A$  — длина звена корпуса. Инерционность измеряется величиной  $kg * m^2$  и изменяется в зависимости от постановочной фазы движения АША.

Однако, учитывая переменную конфигурацию звеньев АША, его свойство изменять точки при-

косновения к ОП, инерционность звеньев аппарата и его корпуса, в частности, определяются неоднозначно и зависят от постановочной фазы.

В случае, если одна из конечностей АША касается ОП и сила взаимного трения между указанным звеном и ОП достаточно высокая, момент инерции звена А имеет свойства, присущие обратному маятнику переменной конфигурации и зависит от:

- инерционности рассматриваемых звеньев  $A, B$  и их углов;
- инерционности суммы звеньев бедра, голени и стопы, которая касательной к ОП.

Для перемещения в плоскости, момент инерции подается через следующий тензор:

$$I'_A = I_A^{poz6} + I_A^{na6},$$

$$I_A^{poz6} = \frac{1}{12} * \begin{bmatrix} x & y & z \\ I_x & 0 & 0 \\ 0 & I_y & 0 \\ 0 & 0 & I_z \end{bmatrix},$$

$$I_x = \frac{\left[ \left[ mas_A * len_A^2 \right] * \cos(\alpha^z * \sin(\alpha^z)) \right]}{2} + \left[ mas_B * len_B^2 \right] + \left[ \left[ mas_C * len_C^2 \right] * \cos(\gamma^x) * \sin(\gamma^z) \right];$$

$$I_y = \frac{\left[ \left[ mas_A * len_A^2 \right] * \cos(\alpha^y * \sin(\alpha^z)) \right]}{2} + \left[ mas_B * len_B^2 * \sin(\beta^z) \right] + \left[ mas_C * len_C^2 * \sin(\gamma^z) \right];$$

$$I_y = 0.$$

$$I_z = \left[ \frac{\left[ \left[ mas_A * len_A^2 \right] * \cos(\gamma^y) * \sin(\alpha^z) \right]}{2} + \left[ mas_B * len_B^2 * \sin(\beta^2) \right] + \left[ mas_C * len_C^2 * \sin(\gamma^z) \right] \right].$$

$$mas_B * len_B^2;$$

$$I_A^{нав} = \frac{1}{3} * \begin{matrix} x & y & z \\ I_x & 0 & 0 \\ 0 & I_y & 0 \\ 0 & 0 & I_z \end{matrix},$$

$$I_x = I_z = \frac{[mas_A * len_A^2 + len_B^2] * \cos(\beta^z)}{2} +$$

Стоит заметить, что в случаях, когда углы в шарнирах близки к 0 или 90 градусов, возникает искажение тензора, которое связано с изменением представления момента инерции к виду  $I = mr^2$ . Для решения этой проблемы передача моментов и сил в шарниры осуществляется средствами компьютерного моделирования. Тогда, инерционность звена А не зависит от тензоров моментов инерции других звеньев и записывается в следующей форме:

$$I_A = \begin{matrix} x & y & z \\ \left[ \frac{mas_A}{12} * len_A^2 \right] & 0 & 0 \\ 0 & [mas_A * len_A^2] & 0 \\ 0 & 0 & \left[ \frac{mas_A}{12} * len_A^2 \right] \end{matrix}$$

где момент в плоскости у определяется, как инерция стержня с малым радиусом - E. Представление инерционности звена А в виде стержня связано с начальной пространственной ориентацией этого звена в АША. Пересчет взаимной инерции звеньев выполняется средствами моделирования автоматически. В случае прикосновения обеих конечностей к ОП, момент инерции звена А зависит от:

- инерционности корпуса и углов между А и В, причем, значения углов переменны в зависимости от амплитуды колебания звеньев АВ;
- инерции звеньев бедер и голени с соответствующими статическими значениями углов.

Очевидно, что в рассматриваемом случае инерционность АША имеет существенные отличия от метода расчета инерционности маятниковых систем. Так, во время наклона претерпевают изменения угловые величины  $\alpha^x, \alpha^y, \alpha^z$ . Поэтому, с учетом условия неотрывности опор

АША от ОП, общий момент инерции звена А определяться из следующего уравнения:

$$I'_A = I_A^i + I_A^{i+1},$$

$$I_A^{позб} = \frac{1}{3} * \begin{matrix} x & y & z \\ [I_x^i + I_x^{i+1}] & 0 & 0 \\ 0 & [I_y^i + I_y^{i+1}] & 0 \\ 0 & 0 & [I_z^i + I_z^{i+1}] \end{matrix},$$

$$I_x^{i,i+1} = \left[ \begin{matrix} mas_A * \\ \left[ (len_A^2 + len_B^2) * \cos(\alpha^{x,i}) \right] \\ + len_C^2 * \cos(\gamma^{x,i}) \end{matrix} \right] + \left( [mas_B * len_B^2] + [mas_C * len_C^2] \right) * \cos(\gamma^{x,i});$$

$$I_y^{i,i+1} = (mas_A * len_A^2 + mas_B * len_B^2) * \cos(\alpha^{x,i}) + mas_C * len_C^2;$$

$$I_z^{i,i+1} = [mas_A * (len_A^2 + m)]$$

где i - указатель на конечность АША.

Средствами компьютерного моделирования было показано, что инерционность звена А имеет характер идентичен предыдущей формуле.

Поскольку звено А определяется в декартовой системе координат и в расчетах используется соответствующий математический аппарат, то и значение инерционности также представлены в виде проекций на заданные оси.

Подобно паре звеньев АВ пара ВС связана шарниром, обеспечивающим одну степень свободы пары. Формирование пары звеньев ВС показано на рис. 3, где:  $ABrx_a, ABry_a, ABrz_a$  - каналы передачи моментов с СУ к приводам;  $ABrx_s, ABry_s, ABrz_s$  - каналы передачи угловых скоростей с сенсоров в СУ.

Мониторинг взаимовлияния звеньев А с В, реализуется средствами блоков *Scope* (который визуализируют данные текущих межзвенных углов) и *Display*, отражающий значения моментов на приводах АША (рис. 3).

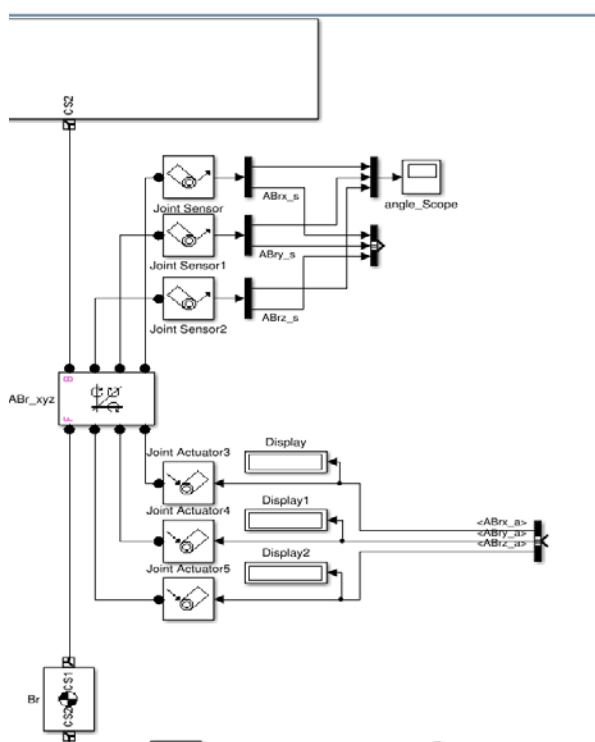


рис. 3 Модель кинематической пары "корпус-голень" с интегрированными актуаторами и сенсорами

Кинематическое взаимодействие звеньев  $Br, l$  со звеньями  $Cr, l$  построено средствами одноосных шарниров  $BCr, l_z$ , приводимых в действие в плоскости  $z$  приводами  $Joint Actuator$  управляющей величиной обобщенного момента шарнира  $BCr, l_z_a$ . Тогда, текущее взаимоположение звеньев определяется средствами сенсора  $Joint Sensor$  в виде угловой скорости, которая, в свою очередь, передается на СУ каналами  $BCr, l_z_s$  (рис. 4), где:  $Br, Cr$  — звенья АША;  $BCr_z$  — одноосевой шарнир;  $Joint Sensor$  - датчик текущего угла и углового ускорения;  $Joint Actuator$  - привод;  $angle\_Scope$  - осциллограф текущего угла;  $Display$  - монитор текущего момента на приводе;  $BCr_z_a, BCr_z_s$  — каналы передачи момента и угловой скорости соответственно.

Звено  $Cr, l$  подсоединяются к указанным шарнирам в точках  $CS1$ , которые заданы в соответствии с [3] и представлены координатами:

	$x$	$y$	$z$
$CG$	0	-0.25	0
$CS1$	0	0	0
$CS2$	0	-0.5	0

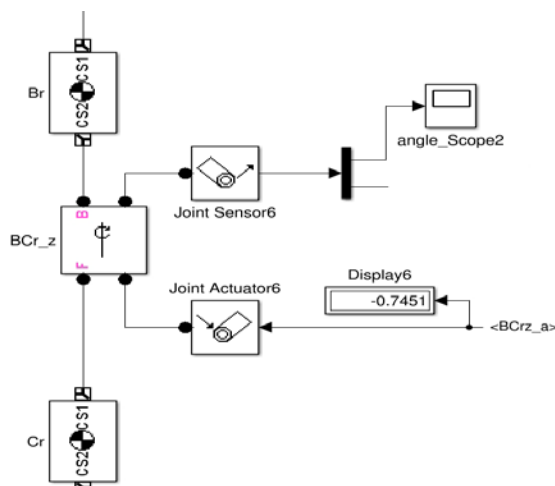


рис. 4 Модель кинематической пары "бедро-голень" с интегрированными актуаторами и сенсорами

Тогда, матрица перехода к новым углам Эйлера будет иметь вид:

	$x$	$y$	$z$
$R1$	0	0	1

Аналогично формированию описанной выше кинематической цепи, сформирована кинематическая цепь и другой опоры АША, которые связаны в единую систему посредством звена А.

Особую роль в модели АША для задачи соблюдения равновесия играет модель ОП. Учитывая группу факторов взаимного влияния, данная модель обладает группой характеристик, а именно:

- пространственной фиксацией;
- инвариантом геометрической формы;
- определенной и неоднородной упругостью;
- мониторингом положения звеньев АША относительно ОП.

Для обеспечения перечисленных требований, в состав модели АША интегрировано звено тензосенсорной системы, расположенной на стопе АША со стороны прикосновения к ОП. Учитывая

однозначность положения тензочувствительных матриц, они взаимодействуют со звеньями стоп посредством жестких шарниров типа Weld, представленных на рис. 5.

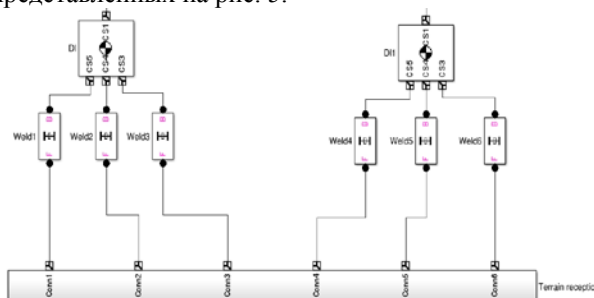


рис. 5 Подключение модели АША к модели ОП средствами шарниров на звеньях стоп

Для предоставления ОП перечисленных свойств, синтезирована модель, которая отражена на рис. 6. Взаимодействие ОП и АША происходит посредством шести звеньев (по три на стопу), содержащих сенсорную матрицу, чувствительную к взаимному наложению элементов. Таким образом, мониторинг и анализ взаимного проникновения звеньев тензочувствительных датчиков АША (Body, Body1 - 5 (рис. 6)) в координаты положения звеньев ОП - Ground (рис. 6) отражают неявным образом силу реакции ОП. Следует отметить, что между звеньями АША и ОП не существует четко выраженной механической связи (рис. 6). Формирование силы реакции описывается на основе двух факторов:

- удар АША по ОП;
- сила трения, действующая на АША.

Таким образом, силу реакции ОП в каждой точке на стопе АША можно представить в виде уравнения:

$$N = \frac{Kmv^2}{2} + mg,$$

$$m = mas_A + 2 * (mas_B + mas_C + mas_D);$$

$$g = 9.81;$$

$$v = \frac{D * O}{dt},$$

$$D = \begin{pmatrix} f(x) & 0 & 0 \\ 0 & f(y) & 0 \\ 0 & 0 & f(z) \end{pmatrix}, O = \begin{pmatrix} 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{pmatrix}$$

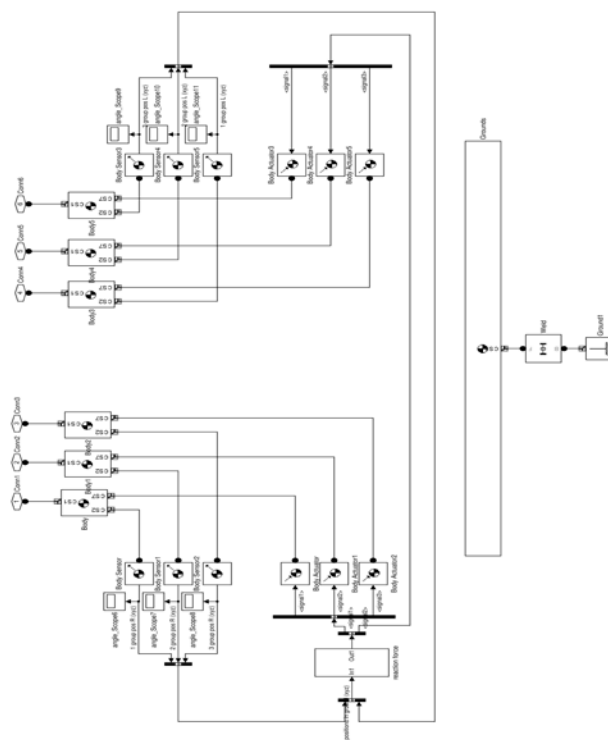


рис. 6 Модель ОП и взаимосвязь с тензочувствительными элементами АША

где:  $f(x), f(y), f(z)$  - функции, которые определяют текущее положение стоп АША и получены в результате компьютерного пересчета положения звена А. Учитывая то, что параметры  $f(y)$  определяют расстояние от середины плоскостей тактильных матриц Body, Body 1.5, то можно определить значения  $N$  для каждой дискретной ячейки тактильных сенсоров АША.

**Заключение.** Предложена в работе КМ АША, которая базируется на информации об обратной связи по значению сил реакции ОП и текущим значениям углов в кинематических парах аппарата, позволяет обрабатывать методы и критерии управления по следующим параметрам:

- отслеживание перемещения АКА в трех плоскостях при восемнадцати степенях свободы;
- учитывать инерционность звеньев при управлении аппаратом;

- диагностировать распределение силы реакции ОП и определять положение ТПЦМ АКА на поверхности передвижения.

Перечисленные возможности КМ АКА позволяют наблюдать параметры взаимодействия с ОП и симулировать динамику поведения аппарата на произвольной поверхности. Предложенная КМ АКА может быть применена в качестве экспериментального объекта для СУ АКА, основанной на методах распределения силы реакции ОП.

#### Литература

1. **Dmytro Gumennuy, Mikhail Tkach, Alexey Chkalo**, «A Hybrid Control Method for Stabilizing if Walking Robot on Irregular Surface Using Plantar Pressure Sensors», ECCOMAS Multibody Dynamics 2013 1-4 July, 2013, University of Zagreb, Croatia, pp. 307 - 309
2. **Ткач М. М., Гуменний Д. О., Якунина Н. О.**, «Моделювання руху антропоморфного крокуючого апарата на довільній твердій поверхні», // Адаптивні системи автоматичного управління. - 2012. - № 21(41). - С. 114-122.
3. **Ткач М. М., Гуменний Д. О.**, «Керування рівновагою антропоморфного крокуючого апарата за інформацією про екстремуми на поверхні руху», // Стратегии качества в промышленности и образовании, Proc. of Annual Conf. 2012.
4. **Dmytro Gumennuy**, «Antropo-morphic walking robot: tactile foot sensoration», Biologically Inspired Cognitive Architectures Society 2013.
5. **Ткач М. М., Гуменний Д. О.**, «Управління рівновагою крокуючого апарата за даними про опору поверхню», //Збірник трудів міжнародної конференції «Автоматизация: проблемы, идеи, решения» - 2013 — 10 с.
6. **T. Takuma, K. Hosoda, M. Ogino, and M. Asada**, “Stabilization of quasi-passive pneumatic muscle walker,” in Proceedings of the Fourth International Symposium on Human and Artificial Intelligence Systems, 2004, pp. 370–375.
7. **D. Owaki, A. Ishiguro**, “Enhancing stability of a passive dynamic running biped by exploiting a nonlinear spring,” in Proceedings of the IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems, 2006, pp. 4923–4928.
8. **M. Ogino, K. Hosoda, and M. Asada**, “Learning energy-efficient walking with ballistic walking,” in Adaptive Motion of Animals and Machines, H. Kimura, K. Tsuchiya, A. Ishiguro, and H. Witte, Eds. Springer-Verlag Tokyo, 2006, pp. 155–164.
9. **Mochon, T. A. McMahon**, “Ballistic walking,” Journal of Biomechanics, vol. 1, no. 46, pp. 9–14, 2002.
10. **S. Miyakoshi**, “Memory-based bipedal walking control on the slope and uneven surface,” in Proceedings of the Annual Conference of the Robotics Society of Japan (in Japanese), 2006, p. CDROM
11. **Ткач М. М., Гуменний Д. А.**, “Система управління дотримання рівноваги антропоморфним крокуючим апаратом” // Міжвідомчий науково-технічний збірник “Адаптивні системи автоматичного управління”. - 2014 No 1. - с. 61 — 79
12. **Ткач М. М., Гуменний Д. А.**, «Исследование движения антропоморфного шагающего аппарата на произвольной твёрдой поверхности» // Межведомственный научно-технический сборник “Научно - теоретический и практический журнал Современный научный вестник”. - No 50 (189) 2013. - с. 64 – 69.
13. **T. McGeer**, “Passive Dynamic Walking,” CSS-IS-TR, 88-2, 1988 Omid Mphamad Nezami, Mohammad Reza Meybodi, «Biped Robot Walking using a Combination of Truncated Fourier Series and GALA (Genetic Algorithm parameters adaption using Learning Automata), International Journal of Machine Learning and Computing, Vol. 2, No. 5, October 2012
14. **T. Kinugasa, K. Yoshida**, “3D Passive Dynamic Walkers with Flat Feet and Ankle Springs: Experiment and Analysis For Longer and More Stable Step,” Proc. of Intl. Symp. On Mobiligence, 425-430, 2009.
15. **T. Kinugasa, K. Yoshida**, “3D Passive Dynamic Walkers with Flat Feet and Ankle Springs: Experiment and Analysis For Longer and More Stable Step,” Proc. of Intl. Symp. On Mobiligence, 425-430, 2009.
16. **T. Kinugasa, et al.**, “Experimental Analysis of 3D Passive Dynamic Walking: body’s shape, CoM and stability,” Proc. of SICE Annual Conf. 2010, 1825-1830, 2010.

## COMPUTER SIMULATION ANTHROPOMORPHIC WALKING MACHINE TOUCH FOOT PLATE

**Michael ТКАЧ Dmytro GYMENNYU**

National Technical University of Ukraine - "KPI"

e-mail: [MMTkach@google.com](mailto:MMTkach@google.com), e-mail: [DmytroGumennyu@kpi.ua](mailto:DmytroGumennyu@kpi.ua)

**Abstract:** Based on the proposed criterion of balancing and walking machine developed method to manage its balance built a computer model with an integrated processing unit allocation reaction force supporting surface. Building a model based on the application of the methods of solid mechanics, and its dynamic properties are presented in the form of Lagrange equations and transformation of the Euler angles. Inertial properties of the inertia tensor are presented for rods. As a model of kinematic pairs of actuators used computer models of DC motors and feedback model tacho generators. Shows the relationship between the position of the point of the center of mass system and the distribution of the reaction forces supporting surface.

**Keywords:** anthropomorphic walking machine, walking machine sensor system, balance walking machine, the reaction force bearing

## РАСПРЕДЕЛЕННАЯ ИНФОРМАЦИОННАЯ СРЕДА РОБОТИЗИРОВАННОГО ПРОИЗВОДСТВА С ДИНАМИЧЕСКИМ СВЯЗЫВАНИЕМ КОМПОНЕНТОВ НА ОСНОВЕ ИНТЕРПРЕТАЦИИ МЕТАМОДЕЛИ

Олег ЛИСОВИЧЕНКО Юрий ТИМОШИН Михаил ТКАЧ Тимур ШЕМСЕДИНОВ

Национальный технический университет Украины - "КПИ", Украина

e-mail: [olisov@tk.kpi.ua](mailto:olisov@tk.kpi.ua), [y.timoshin@gmail.com](mailto:y.timoshin@gmail.com)

**Резюме:** Для роботизированных производств актуальной задачей является добавление новых и обновление программно-технических компонентов уже работающих систем без относительно длительного периода адаптации к рабочей среде и остановки производственных процессов, что может быть достигнуто созданием виртуальной информационной среды обработки данных и сообщений указанных систем с использованием технологии динамически связываемых компонентов на основе интерпретации метамодеи описания и управления. В статье рассматриваются актуальные вопросы создания и настройки такой среды с использованием облачных сервисов.

**Ключевые слова:** роботизированное производство, прикладная среда, распределенные приложения, виртуальная обработка, динамическое связывание, метаданные, интерпретация метамодеи, метапрограммирование, брокеры обработки, облачные сервисы

**Введение.** Расширение числа используемых программно-технических систем, которые используются для роботизированных производств, с каждым годом демонстрирует динамику многообразия, что ставит перед разработчиками и производителями сложную задачу согласования их компонентов на уровне интерфейсов, обработки сообщений и событий. Также требуется решение задач управления данными и формированием соответствующей информации по анализу эффективности процессов обработки и хранения больших объемов разноплановых данных, которые порождаются технологическими системами нижних уровней [1].

Сами по себе расширение и большие объемы данных требуют повышенных информационно-обработывающих ресурсов, что заставляет обратить свое внимание на перспективные ИТ технологии, которые предоставляют облачные сервисы и виртуализация.

Различия виртуализации и облачных технологий - многослойность. Виртуализация предусматривает развертывание прикладного ПО в виртуальных машинах, т.е. между приложением и аппаратной частью есть 2-3 слоя виртуализации. Например, C# приложение запущенное в виртуальной машине .NET, которая, в свою очередь, запущена в операционной системе

Windows, а та запущена в виртуальной машине, эмулирующей выделенный сервер. Виртуальная же машина, в среде облачной виртуализации создается внутри кластера из физических серверов. Настоящее облачное приложение разворачивается прямо на самом кластере физических машин, без виртуализации. Примеры таких облачных приложений: Gmail, MS Office 360, Facebook, Ebay, Amazon, QQ, Youtube, Skype, Dropbox и т.д.

Облачные вычисления на сегодняшний момент предоставляют аппаратные мощности и позволяют наращивать, масштабировать и формировать необходимые виртуальные машины для установки в них программного обеспечения. Операционные системы нижнего уровня, предоставляющие среду для развертывания виртуальных машин, называемые гипервизорами, достаточно хорошо развиты и имеют широкое применение. Операционные системы, работающие на виртуальных машинах практически идентичны в работе с теми системами, что эксплуатируются на обычных серверах и рабочих станциях, что позволяет быстро портировать из облака все прикладное программное обеспечение, наработанное под Windows и Linux/Unix платформы. Но это лишь временное решение проблемы, главная идея облаков - "все как сервис", т.е. само

программное обеспечение должно претерпевать изменения и полное перерождение.

Старые подходы, когда программы устанавливались на рабочее место, совершенно не подходят в облачной среде, хотя могут по инерции продлить жизнь старому ПО. По сути, это мало чем отличается от того, что компания может развернуть на своем мощном сервере с помощью технологий виртуализации, а идея облачных вычислений для этого временного решения чужда. Все идет к тому, что мы будем получать не только "аппаратное обеспечение как сервис", "платформу как сервис" и "инфраструктуру и как сервис", но и "базы данных как сервис", "программное обеспечение как сервис", "ИТ услуги как сервис" и даже "безопасность как сервис". Многие компании идут простым путем разворачивания старого ПО на чуждой ему инфраструктуре и платформе облаков, теряя при этом в производительности (из-за виртуализации) и довольствуясь только лишь удобством наращивания мощностей, повышения стабильности и упрощения резервного копирования. При этом из виду упущены главные возможности облачных вычислений:

1. Централизация делает возможным групповую работу над базами данных (и вообще любыми источниками данных) разделяемых в реальном времени в рабочем пространстве;

2. Впервые пропадает понятие версий программного обеспечения, пользователи работают непрерывно и постоянно в самой новой версии, при этом, нет проблем с несовместимостью, конфликтом версий, также значительно уменьшаются проблемы при модификациях структур данных - на новые структуры переходят сразу все модули прикладных программ и все пользователи одновременно;

3. Защита данных и безопасность тоже становятся услугами, а при потере, выходе из строя, изъятии или краже персонального компьютера, ноутбука или планшета, все риски потери и утечки данных минимизированы, т.к. локальных данных нет;

4. Пользователю нет необходимости владеть программным обеспечением и нести расходы по его обслуживанию, настройке, администрированию, обновлению, созданию резервных копий, размещению на серверах, подключению в интер-

нет и т.д. Всем этим занимается несколько компаний: компания-держатель центра обработки данных и компания-держатель сервиса (т.е. провайдеры аппаратных и программных услуг соответственно).

5. Гибкость маркетинга и построения тарифных планов позволяет теперь все подсчитать, поэтому пользователь может рассчитывать на оплату пропорционально израсходованным ресурсам памяти, процессора, пропускной способности сети, а на прикладном уровне тарифные планы могут включать количество записей в базах данных, человеко-часы подключенных клиентов, все, вплоть до отдельной платы за поштучное использование функций.

Слой нового прикладного программного обеспечения сейчас почти отсутствует, конкуренция среди производителей на нем минимальна, а спрос огромен. До прикладного ПО дело дойдет не скоро, пока провайдеры довольствуются простыми решениями и массовыми коммуникационными сервисами. Первые облачные программы – это, например, социальные сети, Википедия, Google Documents, MS Office 360, Amazon, и другие веб - приложения массового пользования. Если на рынке появятся среды для производств, прикладные базы данных, программные продукты для логистики, бухгалтерии, системы управления взаимодействием с клиентами, системы планирования и проектного менеджмента, то спрос на них будет обеспечен.

Что же необходимо для создания приложений для облачных прикладных приложений?

Прежде всего - платформа для разработки прикладного ПО и баз данных.

Под платформой понимается прикладная виртуальная машина - виртуальная машина для запуска в ней прикладных баз данных и прикладного ПО. Такая платформа должна предоставлять удобный интерфейс доступа к данным, коммуникационным возможностям, средствам визуализации и обработки данных.

А главное решать следующие задачи:

- Управление состоянием модели предметной области и метамодели на сервере;
- Управление сессиями пользователей;
- Задачи синхронизации и блокировки параллельных процессов и доступа к ресурсам;
- Задачи логирования данных и отладки;



-Набор средств визуализации и построения пользовательских интерфейсов;

-Кэширование данных и оптимизация/акселерация исполнения бизнес-логики;

-Средства доступа к данным в разных СУБД: реляционных (например sql-совместимых), иерархических (например файловые системы), ключ-значение (например memcached) и т.д.;

-Средства сетевой коммуникации, межсерверного взаимодействия (сервис-сервис);

-Средства администрирования.

## **I. АРХИТЕКТУРА РАСПРЕДЕЛЕННОЙ ИНФОРМАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ С ДИНАМИЧЕСКИМ СВЯЗЫВАНИЕМ И БРОКЕРАМИ ОБРАБОТКИ И ТРАНСЛЯЦИИ**

*Динамическая прикладная среда для бизнес – объектов корпоративного уровня.* Прикладная среда - это прослойка между прикладной моделью и операционной системой (ОС), позволяющей виртуализировать приложение, отвязывая его от конкретных ОС и языковой платформы.

Рассмотрим в этом разделе динамическую интерпретацию метамodelей, которые имеют императивные и декларативные конструкции и которые взаимосвязаны между собой следующим образом.

Сначала система анализирует декларативные описатели - какой-то формализованный формат данных, регулярную грамматику, которую можно отпарсить регулярными выражениями, строчными операциями или уже готовым парсером (например, JSON или XML).

Далее на основе метаданных разворачивается императивный алгоритм, который может изменять структуру и последовательность выполнения кода. Также для выражения бизнес - логики метамодель содержит еще и интерпретированные скрипты, которые получают уже развернутую в памяти декларативную часть метамодели в свое полное распоряжение и могут обращаться в соответствующие библиотеки.

Заметим, что скрипты из метамодели не имеют доступа к интроспекции «виртуальной машины», а только к данным и метаданным, то есть к модели предметной области. Такой скрипт мо-

жет не знать даже, где он запущен, на клиенте или на виртуальном или физическом сервере Центра обработки данных или в облаке у провайдера.

Все это является результатом следующих особенностей предложенной архитектуры программных систем:

1. Смешивание в коде абстракций разного уровня внутри одного класса или модуля. Например, реализация чтения / записи из БД, бизнес -логики и визуализации в одном классе.

2. Наличие высокой связанности кода двух смежных абстрактных слоев приложения, с односторонней или двусторонней зависимости слоев:

а) если отдельный оконный АРМ или веб-интерфейс жестко привязаны к набору функций серверного АРІ, их параметров, типов данных и классов, а серверное приложение привязано жестко к структуре таблиц в базе данных.

б) если высокая связанность выражена в наличии зашитых в коде идентификаторов классов и функций, интерфейсов и параметров, таблиц и полей.

3.Наличие шаблона сборочно-ориентированного жизненного цикла и компиляции бизнес-моделей в машинный код или в байт-код с последующим ручным развертыванием на виртуальном сервере.

4. Жесткая фиксация интерфейсов между модулями системы и сетевых интерфейсов (по структуре, параметрам вызова и типам данных).

Теперь проанализируем, по аналогии, основные четыре причины негибкости существующих систем с помощью различных техник метапрограммирования, на базе чего можем получить рецепт для систем с динамической интерпретацией метамодели [2,3,4]:

1) Наличие разделения абстракций разного уровня в коде приводит к тому, что уровень визуальных компонентов, уровень сетевого транспорта, уровень библиотеки прикладных алгоритмов и уровень бизнес - модели могут не быть связаны друг с другом на этапе компиляции среды.

Такие связи могут быть динамически построенные на основе метаданных в момент запроса к

соответствующему функционалу и им нужен до момента изменения метамодели.

2) Отсутствие прямых и обратных зависимостей в абстрактных слоях приложений, использование техник метапрограммирования, интроспекции, декларативных и активных языков для описания бизнес - объектов.

При этом, внутренняя связанность классов внутри бизнес - модели может быть повышена.

3) Использование компиляции для уровня прикладного среды и принципа интерпретации для уровня бизнес -моделей. Для среды обработки жизненный цикл остается сложным, но бизнес - модель может меняться хоть каждую минуту без повторного развертывания.

4) Введение динамических интерфейсов между модулями (описываемых декларативными языками) и сетевых интерфейсов поддерживают интроспекцию на уровне сетевого протокола для взаимодействия приложений с динамической структурой и параметрами.

Следовательно, при таком подходе прикладная среда будет классическим приложением и должна проходить все этапы разработки и развертывания, однако, бизнес - модель, которая запущена в среде, для повышения гибкости не должна компилироваться и устанавливаться в компьютер, она разворачивается динамично на этапе рантайм. Структуры данных и скрипты, подготовленные для выполнения лексером или даже преобразованные в байт - код, могут кэшироваться в прикладной среде до тех пор, пока метамодель не будет изменена, или пока не изменится отдельный класс или отдельный параметр метамодели. Первый запуск необходимой функции будет сопровождаться парсинг-конструкцией, и подготовкой нового байт - кода или новой конструкцией данных, однако дальнейшие операции не должны уступать в скорости по сравнению с машинным кодом.

Применение динамической прикладной среды с использованием интерпретируемых метаданных при подготовке бизнес - моделей к запуску в «виртуальной машине», позволяет нам резко сократить время на модификацию систем, вплоть до того, что сделать гибкую модификацию обычным штатным режимом работы прикладной системы, а не зашивать модель в компилируемый код. Существует мнение, что производитель-

ность системы существенно упадет, но это не так, и вот почему: большая часть всего исполняемого кода при работе такой системы, это алгоритмы, написанные на компилируемых языках, которые предоставляют API для метамодели. Это - библиотека для парсинга, библиотека для обработки векторной графики, сетевые библиотеки и библиотеки визуальных компонентов. Все эти компоненты можно откомпилировать, но полученное совершенно отвлечено от задачи и составляет «виртуальную машину», а интерпретированный код всего лишь связывает, «сшивает» весь этот набор инструментов таким образом, чтобы решить прикладную задачу.

*Распределенная информационная среда с динамическим связыванием на основе метамодели.* При взаимодействии двух и более систем через сетевые прикладные интерфейсы, динамическое связывание на основе интерпретации метамодели позволяет взаимодействовать прикладным информационным системам, которые ранее даже не предполагалось связывать. Метамодели, передаваемые со стороны сети, не знают заранее структуру и параметры информационных объектов, и не привязаны жестко к именам функций и наборов параметров, при осуществлении межсистемных вызовов. Вместо этого, стороны знают язык метаописания, что позволяет динамически интерпретировать данные и осуществлять вызовы, формируя параметры и интерпретируя ответы удаленной стороны.

Инфраструктура межкорпоративного взаимодействия условно разделена на следующие зоны:

1. **Внешние сервисы** - это системы, поддерживающие функционирование глобальной сети с использованием средств связи общего пользования, и такие внешние сервисы, как облачные хранилища данных, CDN (сети доставки данных), система разрешения доменных имен DNS и т.п.

2. **Корпоративная информационная система** - ядро сети компании, защищенный периметр внутри организации, а не просто внутренний периметр. Содержит сервера и оборудование для обеспечения распределения нагрузки, хранения и выполнения бизнес - приложений.

3. **Межкорпоративный коммуникационный сервер** - службы интеграции, находятся в дата - центре под управлением системного интегратора

или одной из компаний, входящих в групповые договоренности по интеграции информационных систем (как следствие интеграции бизнес - процессов).

Отдельно существует среда разработки, в которой смоделирована вся корпоративная и межкорпоративная инфраструктура, а также развернуты все те же программные средства, с единственным отличием, что это могут быть специализированные наладочные сборки или сборки для проведения тестирования (с повышенным уровнем логирования). В среде разработки может использоваться один сервер для всего (как физическая, так и программная инфраструктура внутри корпоративного и коммуникационного серверов могут совпадать).

На рис.1 показана архитектура распределенной информационной системы с динамическим связыванием и брокерами обработки и трансляции событий на корпоративном и межкорпоративном уровнях.

На схеме есть два типа связей: непрерывная линия и пунктирная, они обозначают два типа сетевого обмена данными, соответственно, с установлением соединения и без установления соединения. Все взаимодействия внутри внутреннего периметра безопасности корпоративного дата - центра осуществляются с установлением соединения. Иногда это соединение сохраняется между вызовами и запросами неявно, например: сценарии в веб - сервисах вызывают промежуточное API для подключения каждый раз при удаленном вызове того или иного метода сетевого API, а после завершения обработки вызова, дескриптор соединения сохраняется в платформе. Повторные вызовы могут получать уже неоднократно использованные дескрипторы, при условии, что параметры соединения совпадают. Таким образом, при большой нагрузке на сервер от клиентов без установления соединения, веб-сервис держит определенное количество соединений, максимально используя уже установленные. Стрелки на линиях определяют не направление передачи информации, а направление подключения (инициации подключения TCP сокетa) от клиента к серверу.

Как видно из схемы, внешние сервисы (DNS и CDN) имеют географическую диверсификацию в вызовах и обеспечивают существенное сниже-

ние нагрузки на корпоративную инфраструктуру, для данных, не требующих специальной защиты - ресурсов и компонентов пользовательских интерфейсов, изображений и стилей, библиотек общего назначения, или отгружаемых динамично с проверкой контрольных сумм во избежание подмены содержимого пакетов (ведь речь идет о соединениях без шифрования и подписи данных).

Внутренняя корпоративная инфраструктура информационной системы содержит следующие компоненты [3]:

1. **Брандмауэр** - сетевой шлюз безопасности, обеспечивает общую централизованную интеллектуальную фильтрацию и маршрутизацию на входе во внутренний периметр дата - центра (бросок и переправлены портов, блокировка IP - адресов и диапазонов адресов, анализ пакетов и статистический анализ трафика с выявлением атак DOS / DDOS).

2. **Корпоративный брокер событий** - сервер, обеспечивающий внутреннюю трансляцию событий для интерактивных прикладных применений информационной системы предприятия и маршрутизацию событий при межкорпоративном взаимодействии. Он состоит из кластера N - узлов виртуальной машины V8 и платформы node.js в режиме кластеризации, а так же центрального потока управления и распределения запросов.

3. **Машина состояний memcached** - сервер бездисковых СУБД, построенный на базе принципа хранения Key-value (ключ-значение) непосредственно в оперативной памяти. Она поддерживает кластерный режим с отложенной синхронизацией записи и принудительной синхронизацией записи во все ноды кластера, позволяет считывать с любой ноды, распределяя нагрузку на узлы кластера.

4. **Файловое хранилище** - источник статических ресурсов для загрузок, используется как клиентами ИС непосредственно, так и в качестве источника данных для первичного заполнения CDN.

5. **Корпоративный сервер СУБД** - в самом общем случае - это сервер реляционных баз данных, поддерживающий постоянное надежное хранение информационных объектов в ИС предприятия и обработки бизнес-логики над моделью

данных (связи сущностей, каскадные удаления и модификации наборов данных, триггеры и хранимые процедуры).

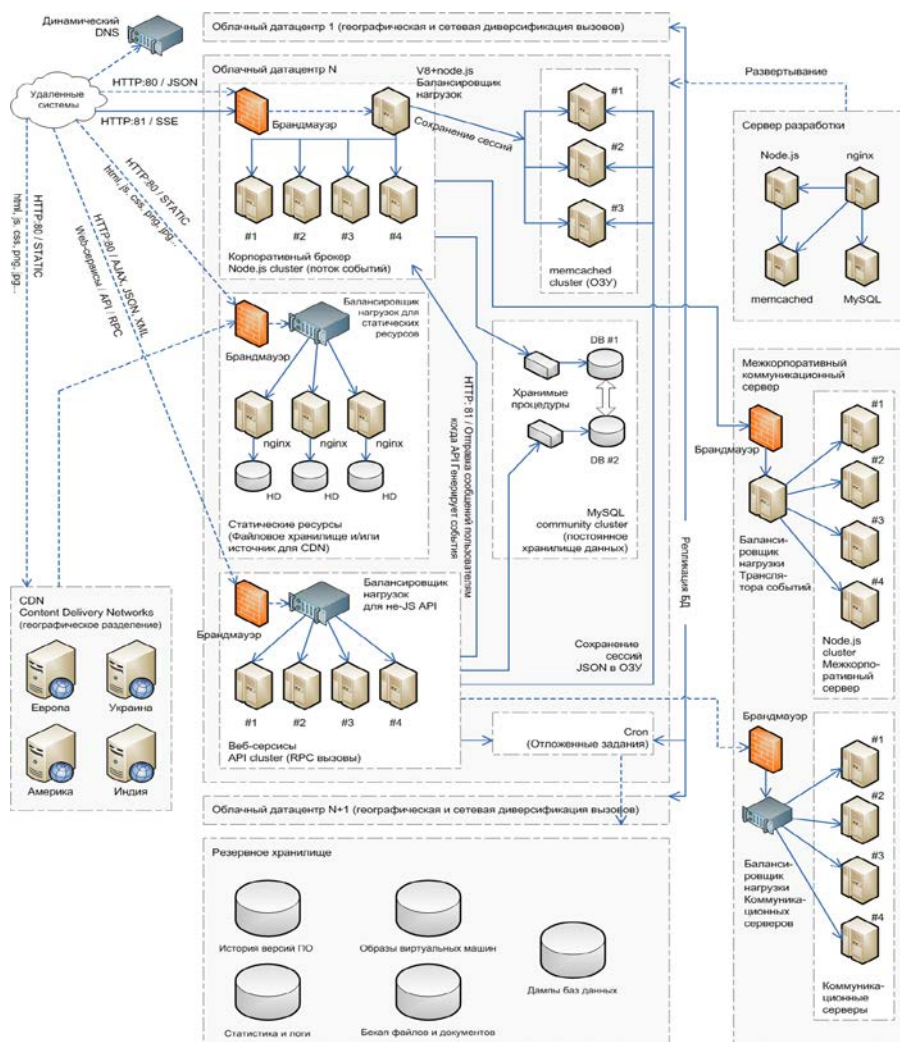


рис 1. Архитектура среды распределенной информационной системы с динамическим связыванием и брокерами обработки и трансляции

6. **Сервер корпоративных веб - сервисов** - имеет в составе N- узлов обработки вызовов и один централизованный узел управления, составляющих в целом кластер для обслуживания бизнес- процессов для внутренних, но распределенных клиентов ИС предприятия;

7. **Планировщик отложенных заданий** - система для инициации запланированных процес-

сов на серверах дата-центра корпоративной ИТ - инфраструктуры, например: отложенные транзакции, обработка логов, консолидация данных, синхронизация, репликации баз данных и файловых хранилищ, централизованное резервное копирование данных со всех серверов ИС в резервные хранилища и т.д.

Межкорпоративный коммуникационный сервер обеспечивает две основные задачи: трансляцию событий между корпоративными ИС по подписке с интеллектуальной обработкой и маршрутизацией, а также механизмы интроспекции для межкорпоративной инфраструктуры, реализованные с помощью сетевого API на базе технологии веб – сервисов. С помощью коммуникационного сервера информационные системы могут установить связь на уровне вызовов и запросов, включить постоянную трансляцию событий и передачу вызовов от имени удаленных пользователей к внутренним API других информационных систем.

## **II. ВОПРОСЫ СОЗДАНИЯ И АДАПТАЦИИ РАСПРЕДЕЛЕННЫХ ИСТОЧНИКОВ ДАННЫХ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МЕТАМОДЕЛЕЙ ОБРАБОТКИ И УПРАВЛЕНИЯ ДЛЯ ИХ ИНТЕГРАЦИИ**

Масштабирование прикладных ИС в облачных технологиях ограничено одной виртуальной машиной. Ее действительно можно расширять динамически и удобно администрировать. Но одна виртуальная машина, даже в облаке, имеет пределы масштабирования. Выход за пределы одной виртуальной машины не возможен без системы распределения прикладных задач на большое количество виртуальных серверов и обеспечения их распределенного взаимодействия и централизованного управления. В настоящее время, эти задачи решаются отдельно для каждого приложения, а вот прикладная виртуальная машина [2] может снять эти задачи с разработчиков прикладных ИС, решив их один раз системно, о чем речь пойдет ниже.

*Системные компоненты для организации источников данных в облачной инфраструктуре.*

В распределенных ИС, развернутых в облачной инфраструктуре, допустимо использование как всех обычных, так и специализированных источников данных, на разных уровнях интеграции с ними, а именно:

1. Можно обращаться к отдельно стоящим экземплярам СУБД, развернутым в виртуальных машинах (как если бы это было на выделенных или виртуальных серверах);

2. Можно обращаться к кластерам СУБД, развернутым на отдельной группе виртуальных машин в облаке (как если бы они были развернуты на группе физических серверов или группе виртуальных машин);

3. Можно обращаться к специализированной облачной инфраструктуре хранения данных или файлов, развернутой в облаке на специально отведенных его ресурсах, и предоставляемой приложениям в качестве сервиса (как черный ящик);

4. Можно, на уровне прикладной платформы, объединить несколько отдельно стоящих СУБД, организовав распределение хранимых данных по определенному алгоритму, который обеспечивает равномерное рассеивание нагрузки;

5. Самый эффективный способ организации источников данных, это создание скоростной прослойки (с использованием оперативной памяти, машины состояний и отложенной записи) между прикладным слоем и постоянным хранилищем, организованным по принципу объединения СУБД на уровне прикладной платформы.

Два последних варианта дают большую гибкость и контроль над распределением данных между серверами, а так же, полностью избавляют от зависимости в современных (пока еще очень ненадежных) реализациях облачного и кластерного распараллеливания данных и нагрузок в большинстве СУБД. Прикладной контроль над алгоритмом распараллеливания записи и чтения данных в постоянных хранилищах, так же очень важен для оптимизации взаимодействия in-memoy машин состояний с СУБД. Аналогичные средства, встроенные в сами СУБД, имеют универсальные алгоритмы оптимизации, что не позволяет им учесть особенности предметной области и не могут быть настолько эффективными, как специализированные решения. СУБД просто не "знает" логики данных, структур памяти, развернутых в серверных процессах, особенностей доступа к данным по географическому, временному и другим логическим признакам. А для высоконагруженных распределенных приложений такая специализированная оптимизация гораздо важнее, чем для обычных прикладных информационных систем, развернутых не в облаке.

Таким образом, нам требуются следующие системные компоненты для организации источников данных в облачной инфраструктуре:

1. Структуры данных, для развертывания моделей объектов в оперативной памяти.

2. Средства обработки моделей и манипулирования этими структурами в оперативной памяти.

3. Средства отложенного сохранения данных из оперативной памяти в постоянные хранилища (СУБД).

4. Средства привязки запросов (на сессионном уровне) к серверу, их обрабатывающему, при помощи механизмов маршрутизации ip-sticky, cookie-sticky.

5. Средства распыления запросов, не имеющих привязки к состоянию объектов в оперативной памяти, при помощи алгоритма round-robin.

6. Средства межпроцессного взаимодействия (брокеры) для обмена сообщениями между контекстами (состояниями пользовательских сессий, состояниями объектов предметной области и другими in-метогу состояниями).

**Прикладная виртуальная машина.** Прикладная виртуальная машина позволяет решать задачи интеграции распределенных источников данных, обработки слабосвязанных данных, а также задачи, связанные с интенсивным обменом сообщениями в режиме времени, приближенном к реальному, а также построения на ее основе инфраструктуру частного облака.

Машина создана на основе методик метапрограммирования и унифицированных компонентов с динамической интерпретацией метамodelей, брокеров запросов и трансляции событий, асинхронного программирования и неблокирующего ввода/вывода [2]. Предлагаемый подход позволяет гибко адаптировать ресурсы ИТ систем между собой, строить высоконагруженные API с состоянием и динамически модифицировать процессы обработки и программные компоненты без остановки обслуживания.

Прикладная виртуальная машина состоит из машины состояний, брокера обработки запросов и трансляции событий, а также веб – сервисов, которые обрабатывают состояния информационных объектов в машине состояний, и реализуется в виде разработанного специализированного сервера Impress [3,4] с динамической интерпре-

тацией метамodelей, что предусматривает два режима обработки данных:

- с изменением структуры, когда вместе с данными поступают новые метаданные и нужно повторно провести связывание абстрактных программных компонентов, преобразование их в машинный код и разворачивание в оперативной памяти соответствующих структур данных;

- без изменения структуры, когда программные компоненты метамodelей уже закэшированы, подготовлены к работе и динамический компилятор проводит лишь статистическую оптимизацию типов данных и классов сценария.

Первый режим используется, как показывает наша практика, на порядок реже второго, т.е. только в случае от 1% до 15% операций с данными (в зависимости от специфики предметной области и динамичности ее модели). В большинстве случаев возможна оптимизация с выполнением первого режима не в момент обработки запроса, а в момент изменения метаданных в системе или по расписанию, то есть, когда код и данные перестраиваются и кэшируются не в момент запросов к сервисам, а сразу при получении каждым потоком обработки события о таких изменениях. Прикладной программный код метамodelей может быть так же изменен и динамически подгружен в оперативную память без остановки всего сервера или отдельных процессов. Это достигается благодаря мониторингу файловой системы и обработке изменений файлов, содержащих метамodelь и метаданные. При выявлении изменений, создании, удалении, переименовании прикладных программных модулей, а так же файлов со схемами данных предметной области и конфигурации сервера, новые файлы загружаются в память и заменяют их место в кэше, а старые освобождаются. Однако, процессы, которые во время изменений уже начались, должны завершаться в штатном режиме, поэтому в памяти могут содержаться одновременно несколько версий метамodelей и прикладного кода. Старые версии не выгружаются из памяти, а просто теряют ссылки в хеш-таблицах, по которым происходит инициализация новых запросов обработки. После завершения обработки данных, старыми экземплярами классов, программный код и структуры данных, с ним связанные, постепенно вытесняются из

оперативной памяти и удаляются сборщиком мусора виртуальной машины.

**Области применения.** Системы с динамической интерпретацией метамodelей могут найти применение для:

- систем планирования ресурсов предприятия и управления цепочками поставок с глубокой адаптацией к бизнес-процессам;

- складских и логистических систем с большим количеством вовлеченных организаций;

- систем автоматизированного проектирования и подготовки технологического процесса в гибких производствах;

- систем идентификации объектов трекинга грузов, в том числе систем с RFID, NFC, QR-идентификацией и использованием GPS;

- подсистем информационного обеспечения производств, систем анализа и поддержки принятия решений, а также взаимодействию ERP систем и SCADA систем;

- коммуникационных систем, в том числе обмена почтовыми и текстовыми сообщениями в системах управления роботизированными комплексами;

- корпоративных поисковых систем и систем технического документооборота.

**Выводы.**

Предлагаемый подход к созданию распределенной информационной среды для роботизированных производств (с широким разнообразием рабочих комплексов и систем) дает возможность

разработать и реализовать универсальную среду обработки данных, их хранения и размещения с использованием различных облачных ресурсов и сервисов, Использование программных компонентов, построенных с использованием техник метапрограммирования, в виде брокеров обработки запросов и событий в этой среде, а также прикладной виртуальной машины, позволит существенно сократить требуемые затраты и ресурсы предприятия, по сравнению с традиционным подходом к созданию корпоративных высоконагруженных распределенных систем и приложений.

**Литература**

1. Ямпольский Л.С., Мельничук П.П., Остапенко К.Б., Лисовиченко О.І Гнучкі компютерно-інтегровані системи: планування, моделювання, верифікація, управління. Підручник, гриф МОН України № 1/11-7469 від 6.08.2010 – 740с.

2. Стенин А.А., Тимошин Ю.А., Шемседinov Т.Г., Маленко Н.В. Прикладная виртуальная машина // Адаптивные системы автоматического управления. - 2014.- №.2(23).-с.100-107

3. Стенин А.А. Тимошин Ю.А. Шемседinov Т.Г. Метод динамической интерпретации метамodelей в разработке прикладных информационных систем.- Материалы международной научно- практической конференции "Академическая наука – проблемы и достижения".-М.-2012.-с.186 -192.

4. Шемседinov Т.Г. Слой ИС с динамической интерпретацией метаданных. [http://blog.meta-systems.com.ua/2011/01/blog-post\\_28.html](http://blog.meta-systems.com.ua/2011/01/blog-post_28.html)

## DISTRIBUTED INFORMATION ENVIRONMENT ROBOTICS PRODUCTION WITH DYNAMIC LINKING COMPONENTS BASED ON THE INTERPRETATION OF THE METAMODEL

Oleg LISOVYCHENKO Yuriy TIMOSHIN Michail TKACH Timur SHEMSEDI NOV

National Technical University of Ukraine - "KPI", Ukraine

e-mail: [olisov@tk.kpi.ua](mailto:olisov@tk.kpi.ua), [y.timoshin@gmail.com](mailto:y.timoshin@gmail.com)

**Abstract:** For robotics production topical task is update and add new software and hardware components are already running systems without a relatively long period of adaptation to the work environment and without stops the working processes, which can be achieved by creating a virtual environment of data processing and messages for such systems with use technology of dynamically linking components based on the interpretation of the metamodel of description and control. The article discusses topical issues of creating and configuring such an environment using the cloud services.

**Keywords:** robotic production, application environment, distributed applications, virtual processing, dynamic linking, metadata, interpretation metamodels, metaprogramming, brokers processing, cloud services





## ИЗЧИСЛЯВАНЕ НА ЗАВАРЕНИ ПРИСПОСОБЛЕНИЯ ЗА ТРАНСПОРТ И МАНИПУЛИРАНЕ НА ГОЛЯМОГАБАРИТНИ ИНДУСТРИАЛНИ ТУРБИНИ

Иван МУХТАРОВ<sup>1</sup> Игнат ИГНАТОВ<sup>2</sup> Мирослав АНГЕЛОВ<sup>3</sup>

<sup>1</sup>катедра „Съпротивление на материалите“, Технически университет - София, България

e-mail: [i\\_muhtarov@tu-sofia.bg](mailto:i_muhtarov@tu-sofia.bg)

<sup>2</sup>катедра „Механика“, Технически университет - София, България

e-mail: [i\\_ignatov@tu-sofia.bg](mailto:i_ignatov@tu-sofia.bg)

<sup>3</sup>Технологичен отдел, Спартак АД, Бургас, България

e-mail: [miroslavangelov91@yahoo.com](mailto:miroslavangelov91@yahoo.com)

**Резюме:** Представена е статична якостна проверка на заваръчните шевове на приспособления предназначени за монтаж, демонтаж и транспорт на голямогабаритни индустриални турбини. Изчисленията за извършени аналитично и с МКЕ софтуер SolidWorks Simulation. При аналитичните изчисления са спазени изискванията на Eurocode 3 за анализ на заварени съединения. Компютърните модели отчитат непровара на шевовете и концентрацията на напрежения. Извършена е съпоставка и оценка на аналитичните и числените резултати.

**Ключови думи:** заваряване, МКЕ анализ, турбини

### 1. ВЪВЕДЕНИЕ

При изграждането на крупни турбинни енергетични съоръжения е необходимо да се използват специални приспособления осигуряващи надеждно манипулиране и транспорт на голямогабаритни и скъпи валове, турбини и други компоненти достигащи в сглобено състояние маса от порядъка на 100t. Тези приспособления се изработват за конкретни нужди, използват се няколкократно и имат голямо статично натоварване. Това налага много високи изисквания към тяхната якост и надеждност.

В статията са представени две приспособления произведени чрез ръчно многослойно електродъгово заваряване. Тяхното конструктивно оформление е съобразено с конкретното им приложение. Тъй като е нецелесъобразно изработените приспособления да бъдат изпитвани, особено важен е якостният анализ на заваръчните шевове. Необходимо е на проектен етап те да бъдат надеждно оразмерени. Обичайният подход е параметрите на заваръчните шевове да се предписват по технологични съображения, след което да се проверяват якостно. Проверката може да се извърши аналитично и с компютърни модели.

При аналитичните изчисления [1, 2, 3] е необходимо да се съставят изчислителни схеми разглеждащи конструкцията като съставена от

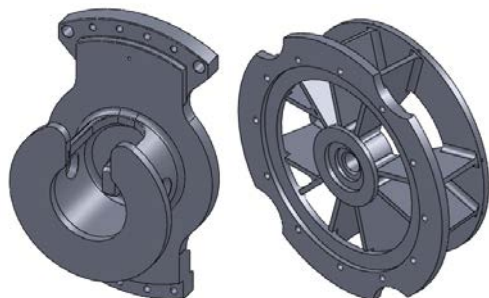
елементи – греди, пръти, плочи и т.н. Тъй като разглежданите приспособления са сложни пространствени тела, такова привеждане към прости конструкционни елементи е свързано с опростявания – неотчитане на статична неопределеност, концентрация на напрежения и т.н. Всичко това намалява точността на изчисленията. От друга страна аналитичните изчисления, например по процедурите на Eurocode 3, често са нормативно изисквани.

При компютърните модели [4, 5] е важно да се зададат адекватни гранични условия и да се направи по-фина мрежа в областта на шевовете. Особено внимание трябва да се обърне при моделирането на непровара.

### 2. КОНСТРУКЦИЯ НА ПРИСПОСОБЛЕНИЯТА

Приспособленията са показани на фиг. 1. Те се монтират чрез резбови съединения към челните фланци на турбинните валове. Приспособление 1 се състои от фланец и подковообразна плоча заварени към прорязана втулка. Вписва се в габарити 1690x900x628mm и има маса 1,6t. Масивен централен болт позволява окачване посредством халка и кука. Приспособлението служи за манипулиране на сглобен вал с турбинни колела с обща маса 30t.

Приспособление 2 се състои от централна втулка, към която посредством масивни ребра се свързват два фланеца. Има габарити 1600x1600x470mm, маса 1,3t. Приспособлението манипулира вал и главина имащи маса 15t.



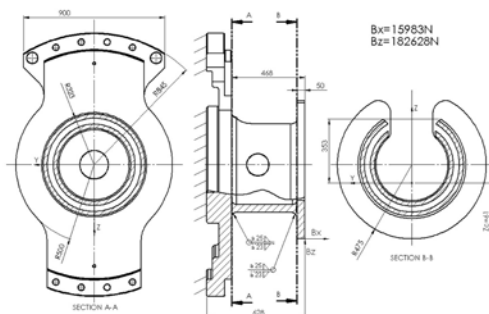
Фиг. 1 Приспособления за манипулиране на индустриални турбини

Елементите на двете приспособления са изработени от стомана S235JR. След механична обработка, те се заваряват ръчно с многослойни ъглови шевове изпълнени в подходяща последователност. Дебелините на шевове се определя в зависимост от дебелините на свързаните стени [2, 3]. Провеждат се натурни технологични проби за точно определяне на непровара. Граничното (допустимо) напрежение на заваръчните шевове съгласно Eurocode 3 е:

$$s_{w,Rd}^{EUR} = \frac{f_u}{b_w \gamma_m} = 360 \text{ MPa} \quad (1)$$

където:  $f_u = 360 \text{ MPa}$  - якост на опън за стомана S235JR;  $b_w = 0,8$  - корелационен коефициент;  $\gamma_m = 1,25$  - коефициент на сигурност на материала.

### 3. АНАЛИЗ НА ПРИСПОСОБЛЕНИЕ 1



Фиг. 2 Изчислителна схема и застрашени сечения на приспособление 1

#### 3.1. Аналитична проверка

Най-неблагоприятната работна позиция на приспособлението е при подпиране по периферията на подковообразната плоча. Аналитичната изчислителна схема при този случай е показана на фиг. 2. Приспособлението се разглежда като запъната греда натоварена на огъване, срязване и опън от силите  $B_x$  и  $B_z$ . Изчисляват се напреженията в застрашените сечения А-А и В-В минаващи през заваръчните шевове. Необходимите геометрични характеристики се определят с отчитане на непровар равен на 80% от дебелината на по-тънката свързвана стена (съгласно технологични проби).

За напреженията в сечение А-А се получава:

$$\sigma = \frac{N_x}{A} + \frac{M_y}{I_y} \cdot z_{\max} = 8,7 \text{ MPa}, \quad (2)$$

$$\tau = \frac{Q_z \cdot S_y}{b \cdot I_y} = 8,1 \text{ MPa}, \quad (3)$$

$$\sigma_{w,y}^{EUR}(A-A) = \sqrt{\sigma^2 + 3 \cdot \tau^2} = 16,5 \text{ MPa}, \quad (4)$$

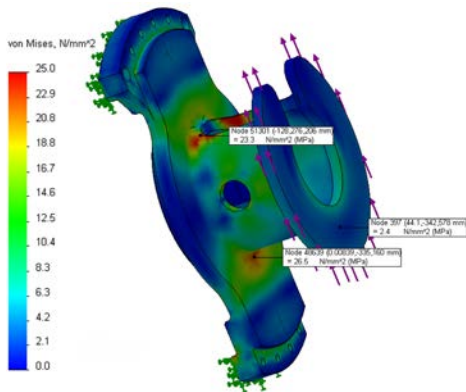
където:  $A = 0,08738 \text{ m}^2$  - площ на сечението;  $I_y = I_z = 0,00354 \text{ m}^4$  - осов инерционен момент;  $S_y = 7,87 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3$  - статичен момент;  $N_x = 15983 \text{ N}$  - нормална сила;  $Q_z = 182628 \text{ N}$  - срязваща сила;  $M_y = 93062 \text{ Nm}$  - огъващ момент.

За сечение В-В по аналогичен начин получаваме максимално еквивалентно напрежение  $\sigma_{w,y}^{EUR}(B-B) = 1,6 \text{ MPa}$ .

Вижда се, че максималните еквивалентни напрежения и в двете сечения са по-малки от граничните напрежения определени в (1).

### 3.2. Проверка с МКЕ

Изграден е компютърен модел с 31540 пирамидални елемента. Общият брой възли е 51470 при среден размер на елементите 44 mm. Непроварът е моделиран като канал, чийто размери са съобразени с резултатите от технологичните проби. Този канал има много малка дебелина, която внимателно се подбира, за да не предизвика нереална концентрация на напрежения в модела. На фиг. 3 е показано изчисленото поле на напреженията.



фиг. 3 Напрежения изчисление с МКЕ

Максималното еквивалентно напрежение в шевове на сечение А-А е 26,5МПа. За сечение В-В напрежението е 2,4МПа.

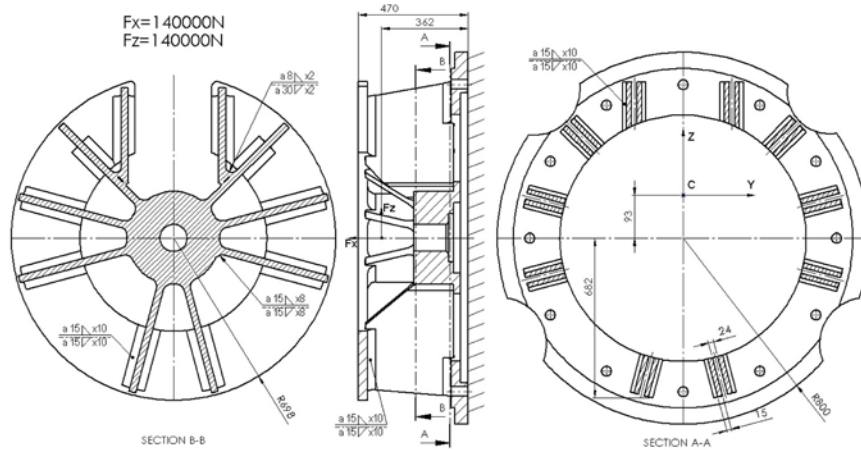
## 4. АНАЛИЗ НА ПРИСПОСОБЛЕНИЕ 2

### 4.1. Аналитична проверка

Изчислителната схема за най-неблагоприятно разположение на натоварващите сили  $F_x$  и  $F_z$  е показана на фиг. 4. Приспособлението се разглежда като греди натоварена на огъване, опън и срязване.

В сечение А-А максималното еквивалентно напрежение е 9,5МПа.

За изчисляване на напреженията в шевове свързващи подковообразния фланец с ребрата не може да се използва прост градови аналитичен модел, тъй като двата товара не създават вътрешни усилия в това сечение. Необходимо е да се разработи аналитична схема с плоча и пръти, с която изчисленията ще бъдат необосновано трудоемки.

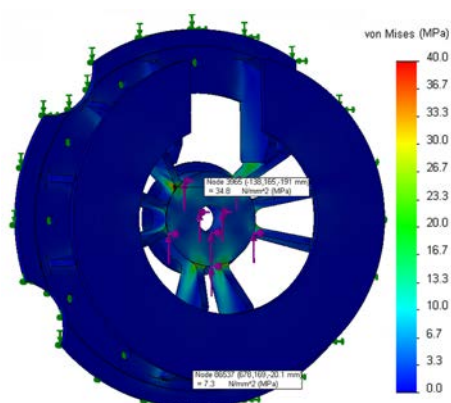


фиг. 4 Изчислителна схема и застрашени сечения на приспособление 2

### 4.2. Проверка с МКЕ

В компютърния модел силите са редуцирани към предната повърхност на главината. Мрежата е изградена от 61485 пирамидални елемента със среден размер 29,9mm. Полето на напреженията е показано на фиг.5.

В сечение А-А максималното напрежение е 7,3МПа. В шевове свързващи ребрата с подковообразния фланец напреженията са 1,3МПа. Най-голямо напрежение относно цялото приспособление възникват в шевове свързващи главината с ребрата. Това напрежение е 34,8МПа.



фиг. 5 Поле на напреженията определени с МКЕ

## 5. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Могат да се направят следните изводи:

- двата анализа показват, че напреженията в шевове на приспособленията не надвишават 35MPa. При гранично напрежение от 360MPa (1), това осигурява голям коефициент на сигурност и дава възможност за понасяне на удари и претоварвания;
- разликата в резултатите от аналитичните изчисления и изчисленията с МКЕ достига 40% и се дължи главно на особеностите при отчитане на концентрацията на напрежения;

- вижда се, че аналитичните методи са практически неприложими за елементи от сложни тела като разгледаното приспособление 2;
- особено внимание е необходимо да се обърне при моделиране на непровар с помощта на тънък канал. В такъв случай възникват нереално високи напрежения в околността на ръбовете на канала;

### Благодарности

Настоящият доклад се осъществи с подкрепата на Оперативна програма „Развитие на човешките ресурси” по проект № BG051PO 001-3.3.06-0046 “Подкрепа за развитието на докторанти, постдокторанти и млади учени в областта на виртуалното инженерство и индустриалните технологии”.

### Литература

1. Толстоногов А., Янковский В., Глобенко В. Примеры расчета резбовых и сварных соединений. Самара, 2002
2. Hicks J. Welded design – theory and practice, Abington Publishing, Cambridge, England, 2000
3. Gorenic B., Tinyou R., Arun S. Steel Designers' Handbook, NUSW Press, Sidney, 2005
4. Goldak J., Akhalaghi M. Computational welding mechanics, Springer, 2005
5. Lindgren L. Computational Welding Mechanics, Woodhead Publishing Limited, Cambridge, England, 2007

## DESIGN OF WELDED INSTRUMENTS FOR MANIPULATION AND TRANSPORTATION OF LARGE INDUSTRIAL TURBINES

Ivan MUHTAROV<sup>1</sup> Ignat IGNATOV<sup>2</sup> Mirosлав ANGELOV<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Department of Strength of Materials, Technical University, Sofia, Bulgaria  
e-mail: [i\\_muhtrov@tu-sofia.bg](mailto:i_muhtrov@tu-sofia.bg)

<sup>2</sup>Department of Mechanics, Technical University, Sofia, Bulgaria  
e-mail: [i\\_ignatov@tu-sofia.bg](mailto:i_ignatov@tu-sofia.bg)

<sup>3</sup> Department of Technologies, Spartak AD, Bourgas, Bulgaria  
e-mail: [miroslavangelov91@yahoo.com](mailto:miroslavangelov91@yahoo.com)

**Abstract:** In the present paper static strength analysis of welded instruments for mounting, unmounting and transportation of large industrial turbines is presented. The calculations are realized analytically and computationally using FEM software SolidWorks Simulation. The analytical approach is carried out following welding design requirements of Eurocode 3. The computational models account for welding imperfections and stress concentrations. Results from analytical and computational models are discussed.

**Keywords:** welding, FEM analysis, turbines

## НЕЙРОСЕТЕВАЯ ТЕХНОЛОГИЯ ОБУЧЕНИЯ СИСТЕМЫ ПОДДЕРЖКИ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ ДЛЯ ЭЛЕКТРОННЫХ АППАРАТОВ

**Виктория СМОЛИЙ**

Технологический институт Восточоукраинского национального университета им.В.Даля (г.Северодонецк)  
e-mail: vsmoliy@mail.ru

**Аннотация:** Предложена информационная управляющая система конструкторской подготовки производства электронных аппаратов, которая включает компоненты, выполняющие анализ различных объектов, обеспечивает системное исследование их взаимодействия с целью достижения наилучшего результата по управлению компоновкой электронного аппарата, получению сценариев процесса управления конструкторской подготовкой производства и обеспечения допустимой величины эффективности управления производством.

**Ключевые слова:** управление, информационная управляющая система, процесс производства, электронный аппарат, метод анализа иерархий, эффективность управления, стохастическая модель, процесс производства, система поддержки принятия решений, фреймы.

**Введение.** Имеет место влияние условий эксплуатации на функционирование электронных аппаратов [11, 12, 33 - 42], обусловленное рядом явлений, происходящих, в том числе и на молекулярном уровне, поэтому актуальной является необходимость устранения или компенсации подобного рода влияния, что возможно посредством изучения последствий такого влияния, моделирования и управления компоновкой, параметрами и свойствами электронных аппаратов.

В контексте анализа компьютерно - интегрированного производства, следует подчеркнуть, что достижение параметров качества электронного аппарата, повышение надежности, вибрационной и резонансной устойчивости при условии достижения экономической целесообразности производства опытного образца изделия, исключение испытаний, возвратов на доработку изделия, сокращение времени, материальных затрат на производство и формализации знаний и опыта экспертов, возможно только при едином системном управлении конструкторской подготовкой производства электронного аппарата к опытному или серийному производству, компоновкой электронного аппарата, всем производством или предприятием для которого выполняется конструкторская подготовка производства. Конструирование электронного аппарата предполагает моделирование и исследование параметров и компоновки блоков электронного аппарата, а управление конструкторской подготовкой производства предполагает поиск сценариев дости-

жения этих характеристик электронного аппарата при минимальных экономических затратах и длительности процесса выпуска опытного образца электронного аппарата.

**Усложнение проблемы.** Рассматривая критерии качества управления конструкторской подготовкой производства электронных аппаратов (эффективность управления), следует отметить наличие стохастической взаимосвязи между вероятностями проявления различного рода нежелательных эффектов и свойств у изготавливаемого изделия. С точки зрения устранения подобного рода нежелательных свойств и улучшения компоновки электронного аппарата применены соответствующие критерии компоновки, но с другой стороны не рассмотрен вопрос определения регрессионных зависимостей стохастических событий. Данного рода события возникают вследствие наличия зависимости вероятности причины отказа, сбоя, поломки, нарушения нормального функционирования и пр. от назначения производимого объекта и условий его эксплуатации [13 - 19, 21 - 42].

Для данных ситуаций характерно то, что нежелательное проявление каждого из них моделируется предлагаемыми программно-техническими комплексами моделирования механических нагрузок электронного аппарата, однако устранение либо их самих, либо факторов их вызывающих носит явно выраженный стохастический характер. То есть на исключение нежелательных и вредных анализируемых факто-

ров электронных аппаратов влияют целые группы воздействий или их последовательности, которые с определенной вероятностью исключают исследуемые составляющие.

***Постановка задачи.***

Работа посвящена решению актуальной научно-технической проблемы повышения эффективности управления конструкторской подготовкой производства электронных аппаратов путем разработки системы поддержки принятия решений, систематизирующей процесс управления и формализующей знания экспертов, позволяющей повысить качество изделий, надежность, вибрационную и резонансную устойчивость, усовершенствовать компоновку элементов.

***Анализ последних исследований и публикаций.*** В работе [15 - 19] разработаны и исследованы модели электронного аппарата как объекта конструкторской подготовки производства, учитывающие структуру и свойства эмерджентности элементов. Критерии компоновки электронных аппаратов и их элементов, составляющие основы управления конструкторской подготовкой производства электронных аппаратов приведены в работе [20 – 26, 34]. Решение стохастической задачи управления конструкторской подготовкой производства базируется на исследовании эффективности управления конструкторской подготовкой производства электронных аппаратов, опирающейся на модель экономических и управленческих показателей выгод и издержек управления конструкторской подготовкой производства электронных аппаратов [30 - 38]. Селекция вариантов сценариев управляющих воздействий конструкторской подготовки производства электронных аппаратов, представляющих собой частные описания квадратичного типа первого и последующих рядов селекции полинома Колмогорова-Габора, приведена в работе [24 - 39].

Разрабатываемая система поддержки принятия решений конструкторской подготовки производства электронных аппаратов учитывает взаимодействие различных и противоречивых составляющих и включает в себя компоненты, выполняющие анализ различных объектов, обеспечивает системное исследование их взаимодействия с целью достижения наилучшего результата по управлению компоновкой электронного аппарата, получению сценариев процесса управ-

ления конструкторской подготовкой производства и допустимой величины эффективности управления производством. Сочетание таких разносторонних аспектов в разрабатываемой системе поддержки принятия решений позволит предприятию производителю электронных аппаратов адаптироваться к существующим экономическим условиям.

Источниками эффективности управления производством электронных аппаратов различного назначения и условий эксплуатации выступает поиск единого системного подхода в управлении именно конструкторской подготовкой производства электронных аппаратов, как самой ранней стадией производства изделия. Эффективное управление конструкторской подготовкой производства электронных аппаратов позволит обеспечить наилучшие показатели качества, надежности, резонансной и вибрационной устойчивости электронных аппаратов, как вновь выпускаемого изделия при освоении выпуска новой продукции, так и модернизацию ранее производившихся изделий. С другой стороны модернизация существующей конструкторской подготовки производства инструментами моделирования, управления компоновкой, систематизированными и формализованными в систему поддержки принятия решений знаниями и опыта экспертов, позволит исключить испытания и доводку опытного образца из стадий конструкторской подготовки производства. Полученный и исследованный на модели вариант конструктивного оформления электронного аппарата позволит сформировать комплект технической документации и управляющие программы для технологического оборудования для массового или серийного производства без выпуска опытного образца изделия.

Работа на этапе конструкторской подготовки производства основывается на результатах научно-исследовательской работы и является процессом инженерного воплощения теоретических результатов, полученных на этапе научно-исследовательской разработки, в схему и конструкцию изделия. На этапе конструкторской подготовки производства на первый план выступают экономические задачи, так как именно здесь формируются основные параметры электронного аппарата, влияющие как на его стои-

мость, так и на длительность и стоимость его разработки. Во время выполнения конструкторской подготовки производства производится теоретическое, расчетное и экспериментальное исследование реализованных в электронном аппарате идей, как по конструкции изделия, так и по реализации бизнес - проектов. С помощью разрабатываемой системы поддержки принятия решений конструкторской подготовки производства электронных аппаратов решаются неструктурированные и слабоструктурированные многокритериальные задачи [25 - 40]. Решение рассматриваемых многокритериальных задач позволит не только повысить качество, надежность, резонансную и вибрационную устойчивость электронных аппаратов, но и обеспечить экономическую целесообразность производства опытного образца изделия, исключить испытания, возвраты на доработку изделия, сократить время, материальные затраты на производство и формализовать знания и опыт экспертов.

При производстве опытного образца изделия возникают ситуации, когда образец изделия отвечает возложенным требованиям, но позже, в процессе эксплуатации электронного аппарата проявляются резонансные явления или факты нарушения функционирования, которые необходимо было обнаружить и устранить еще на стадиях компоновки и испытаний. С другой стороны, недопустимым в современных экономических условиях являются потери времени и средств от отбраковки производимого изделия на стадии испытаний, когда сконструированный блок электронного аппарата не отвечает возложенным требованиям на его свойства, или сконпонованное изделие не выдерживает возможных перегрузок, возникающих в условиях эксплуатации. Поэтому необходимо изменить последовательность выполняемых операций и включить моделирование параметров, компоновки и свойств производимого объекта на более ранние стадии производства, а именно на этап конструирования блока электронного аппарата. В существующий процесс конструкторской подготовки производства электронного аппарата необходимо включить концепцию управления, охватывающую различные стадии, и позволяющую определять параметры и компоновку, вибрационную устойчивость и надежность производимого объ-

екта в зависимости от условий эксплуатации и назначения электронного аппарата.

Эффективность управления конструкторской подготовкой производства складывается из различных составляющих [30 - 42], что определяется экономическими и управленческими факторами или характеристиками. Для рассматриваемой классификации электронных аппаратов наиболее существенную роль играют оценки этих составляющих, степени их важности и приоритетности для конкретного объекта и условий эксплуатации. К особенностям управления конструкторской подготовкой производства электронных аппаратов и их составляющих следует отнести высокую степень итерационности и большую роль субъективного фактора.

В то же время механизм анализа результатов моделирования, генерации сценариев достижения оптимальных компоновки, качества, надежности и свойств электронных аппаратов при оптимизации параметров управления конструкторской подготовкой производства следует возложить на систему поддержки принятия решений, базирующуюся на искусственном интеллекте.

Существующие системы управления конструкторской подготовкой производства ориентированы на компьютерно -интегрированное производство, причем речь идет о безбумажных технологиях представления, обработки и хранения информации. В соответствии с концептуальной моделью предметной области необходимо определить точки соприкосновения предлагаемой системы поддержки принятия решений с конструкторской подготовкой производства электронных аппаратов. Для достижения этой цели следует разбить общее представление о процессе управления на подсистемы и произвести структуризацию функций подсистем.

Процесс управления конструкторской подготовкой производства начинается с построения образа электронного аппарата, затем для него происходит оптимизация частных показателей качества, надежности, резонансной и вибрационной устойчивости, определяющих именно подстройку в управлении конструкторской подготовкой производства под свойства и характеристики готового изделия. Далее необходимо проанализировать влияние функций анализа на показатели управления конструкторской подготов-

кой производства, увеличение времени затрачиваемого на доводку изделия, привлечение большого количества персонала, а затем применять механизмы структуризации знаний и получения решений для организации функции системы поддержки принятия решения.

В существующих системах автоматизированного проектирования и производства электронных аппаратов, базирующихся на числовых методах исследования динамических характеристик элементов, отсутствует системный анализ проблемы повышения надежности, вибрационной и резонансной устойчивости выпускаемых изделий при условии минимизации материально-технических затрат на производство.

Существующее управление конструкторской подготовкой производства электронных аппаратов предполагает выполнение большого количества итераций, каждая из которых предполагает действие по управлению конструированием электронного аппарата и носит зачастую взаимоисключающий и противоречивый характер, так как управление происходит вслепую. Применяемые численные методы исследования динамических характеристик электронных аппаратов и их компонентов не относят свойства к геометрии конструктивов, вариантам их соединения, схеме виброизоляции, параметрам виброизоляторов и т.д. Из определяемых динамических характеристик не становится явным, что необходимо изменить в конструкции: параметры, компоновку, конструкцию, свойства и т.д., чем управлять и как управлять наиболее эффективно с точки зрения действенных мер и целесообразности. Современное состояние топологии печатного монтажа характеризуется наличием предела точности линий связи и достижением максимально возможной скорости распространения сигнала в печатных носителях. Необходимо менять концепцию управления конструкторской подготовкой производства электронных аппаратов и конкретно определять, на что воздействовать: на размещение компонентов, на виды их соединения, на конструкционное оформление блока электронного аппарата и т.д.

Так как подстраивать управление конструкторской подготовкой производства электронных аппаратов под условия эксплуатации, заданные требования вибрационной устойчивости и

надежности последних необходимо именно выбором управляющих воздействий, направленных на конструирование блоков электронных аппаратов, то актуальной является проблема выбора наиболее действенных мер воздействия или формирования содержания и последовательности управляющих воздействий, приносящих за минимальное количество итераций максимальный результат. Имеет место несколько вариантов (сценариев) управления, каждый вариант характеризуется наличием противоречивых результатов. Противоречие может быть, как в самом конструировании, непосредственно направленном на улучшение параметров и компоновки производимого объекта, так и противоречие в цели управления - потеря эффективности управления конструкторской подготовкой производства – отстали от конкурентов, допустили материальные убытки и т.д. Если рассматривать существующее количество итераций в управлении конструкторской подготовкой производства электронных аппаратов, то приходим к заключению, что управление рассматриваемым процессом осуществляется «вслепую» и поэтому такого рода организация управления неэффективна и недопустима в дальнейшем. Чтобы исключить возникновение такого рода ситуаций с управлением конструкторской подготовкой производства электронных аппаратов необходимо формализовать и систематизировать задачу управления. Для конструкторской подготовки производства блоков электронных аппаратов необходимо произвести моделирование блоков электронных аппаратов, предусмотреть инструменты прогнозирования поведения объекта во времени, выделить группы управляющих воздействий, отследить эффективность управления конструкторской подготовкой производства и реализовать полученные результаты в виде системы поддержки принятия решений, решающей рассматриваемые функции автоматизированного управления.

Принципиальная схема разрабатываемой системы поддержки принятия решений конструкторской подготовки производства электронных аппаратов, отражающая управление компоновкой электронных аппаратов и достижение эффективности управления конструкторской подготовкой производства электронных аппаратов



приведена на рис. 1. Управляющее воздействие на процесс конструкторской подготовки производства поступает извне, в частности от лица принимающего решение, для утверждения предлагаемых сценариев управляющих воздействий компоновки электронного аппарата, соответствующих условию эффективности управления конструкторской подготовкой производства. В принципиальной схеме предусмотрен также вариант использования разрабатываемой системы поддержки принятия решений для моделирования электронных аппаратов различного назначения и условий эксплуатации с использованием экспериментальной установки для исследования недостающих параметров или дополнительного исследования электронного аппарата и составляющих.

Предлагаемая принципиальная схема системы поддержки принятия решений конструкторской подготовки производства электронных аппаратов реализует механизм обучения системы поддержки принятия решений, направленный на

адаптацию сценариев достижения необходимых параметров, свойств и компоновки электронного аппарата под существующие условия экономической целесообразности производства и соответствующие технико-экономические показатели изготовления опытного образца электронного аппарата.

Адаптация результатов конструирования к процессу производства опытного образца электронного аппарата происходит посредством постпроцессирования управляющих программ для технологического оборудования, выполняемого на этапе подготовки производства, и осуществляется путем генерации адаптированных программ для технологического оборудования: плоттеров, фотокоординатографов, сверлильных станков и т.д. Результатом выполнения конструкторской подготовки производства является выпуск комплекта технической документации на электронный аппарат и набора управляющих программ для технологического оборудования.

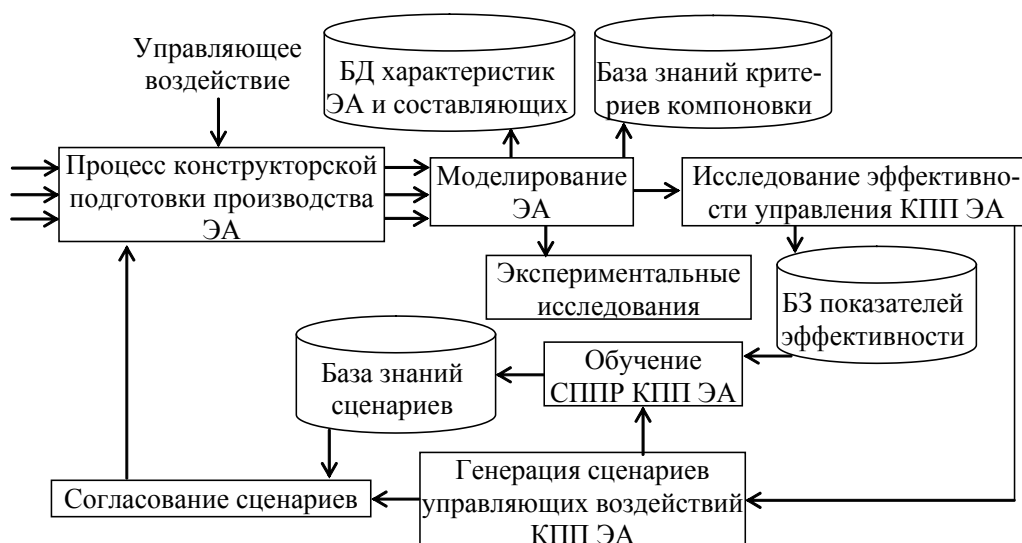


рис. 1 Принципиальная схема системы поддержки принятия решений конструкторской подготовки производства электронных аппаратов

Критерий качества управления конструкторской подготовкой производства блока электронного аппарата, являясь одной из основных составляющих разрабатываемой системы поддержки принятия решений, основан на исследовании

следующих составляющих: надежность выпускаемого изделия, время протекания конструкторской подготовки производства опытного образца электронного аппарата, влияние субъективного фактора на параметры и свойства изготавливаем

мого изделия (исключение субъективного фактора), экономическая целесообразность внесения изменений в существующее управление конструкторской подготовкой производства блока электронного аппарата и его составляющих, управленческие выгоды и издержки. К доминантам рассматриваемых составляющих отнесена первая, взаимосвязанная со всеми остальными в некоторой корреляционной зависимости. Функциональная зависимость  $F$  между входными  $X(i)$  и выходными  $Y(i)$  параметрами модели управления неизвестна, причем неизвестна ни сама зависимость, ни предполагаемый ее вид. Поэтому в соответствии с методом группового учета аргумента, наиболее полная зависимость между входами  $X(i)$  и выходами  $Y(i)$  может быть представлена с помощью обобщенного полинома Колмогорова-Габора.

Описания первого ряда селекции претендентов строятся на тридцать одном виде управляющих воздействий для объема обучающей выборки равной двадцати и объеме проверочной выборки составляющей десять исходов. Для каждой пары претендентов решается задача минимизации ошибки частного описания квадратичного типа методом наименьших квадратов. Для каждой пары претендентов определяются коэффициенты частного описания квадратичного типа и функция ошибки. Все рассчитанные величины частных описаний квадратичного типа для обучающих выборок по управляющим воздействиям соответствующих рядов генерации претендентов и непосредственно результатов селекции сведены в табл. 1.

табл.1 Формирование частных описаний квадратичного типа первого ряда селекции для обучающих выборок по управляющим воздействиям

Кoeffициенты	$a_0$	$a_1$	$a_2$	$a_3$	$a_4$	$a_5$	$\overline{\varepsilon^2}$	Переход
Сочетания								
1	2	3	4	5	6	7	8	9
$\{X^{<0>}, X^{<1>}\}$	$2.933 \times 10^{-4}$	$-1.003 \times 10^{-4}$	$2.079 \times 10^{-3}$	$7.04 \times 10^{-3}$	$-3.129 \times 10^{-4}$	$-5.254 \times 10^{-4}$	0.013	-
$\{X^{<0>}, X^{<2>}\}$	$9.875 \times 10^{-6}$	$2.652 \times 10^{-3}$	$8.998 \times 10^{-3}$	$1.254 \times 10^{-3}$	$-1.651 \times 10^{-3}$	$-1.396 \times 10^{-3}$	$8.82 \times 10^{-3}$	-
$\{X^{<0>}, X^{<3>}\}$	$2.529 \times 10^{-4}$	$-1.131 \times 10^{-4}$	$-8.877 \times 10^{-4}$	$6.575 \times 10^{-3}$	$-3.385 \times 10^{-4}$	$1.347 \times 10^{-4}$	0.01	-
...	...	...	...	...	...	...	...	...

Анализируя приведенные в табл. 1 величины, следует обратить внимание на тот факт, что частные описания первого и последующих рядов выбираем путем селекции кортежа претендентов, функциональная зависимость для которого ищется решением задач линейного программирования для обеспечения минимальной погрешности, то есть, на последующий этап отбора выбирается претендент с максимальной точностью.

Отдельно рассматривая случай достижения минимальной погрешности аппроксимирующего полинома за счет повторения уже учтенных в модели кортежей, следует обратить внимание на то, что для обеспечения простоты модели и исключения петель в селекции претендентов, исключаем из последующего рассмотрения отобранные ковариационные описания квадратичного типа.

Следует обратить внимание на обозначение составляющих частных описаний квадратичного типа. Метод группового учета аргумента применяется для генерации наиболее эффективного сценария управления конструкторской подготовкой производства электронного аппарата. Здесь производится анализ и селекция претендентов на включение управляющего воздействия в стохастическую модель управления конструкторской подготовкой производства.

Генерируем частные описания рядов с идентификацией параметров статистических моделей и оценкой погрешности до тех пор, пока не будет выполнено условие соответствия величины критерия точности для наилучших моделей  $(m-1)$ -го и  $m$ -го ряда селекции соответственно. При его выполнении осуществляется останов, обратная замена переменных и непосредственно формиро-

вание модели.

Обучение разрабатываемой системы поддержки принятия решений конструкторской подготовки производства электронных аппаратов выполняется для того, чтобы после определения эффективности управления конструкторской подготовкой производства электронного аппарата исследуемой классификационной группы, разрабатываемая система предложила оптимальный сценарий достижения свойств, параметров, компоновки, вибрационной и резонансной устойчивости электронного аппарата. В качестве структуры разработанной системы поддержки принятия решений конструкторской подготовки производства электронных аппаратов выступает шестинейронный персептрон, нейроны которого имеют активационную функцию в виде единичного скачка [21, 35].

На тридцать один вход нейронной сети подаются входные сигналы, поступающие далее по синапсам на шесть нейронов, которые образуют единственный слой. На выходах сети формируются сигналы:

$$y_j = f \left( \sum_{i=1}^{31} x_i \cdot w_{ij} \right), \quad (1)$$

где  $j = 1 \dots 6$  – количество классов электронных аппаратов,  $f$  – функция активации,  $x_i$  – компонент вектора управляющих воздействий,  $w_{ij}$  – вес синапса.

Весовые коэффициенты синапсов одного слоя нейронов сведены в матрицу  $W$ , в которой каждый элемент  $w_{ij}$  задает величину  $i$ -ой синаптической связи  $j$ -го нейрона. Таким образом, процесс, происходящий в нейронной сети, в матричной форме имеет вид:

$$Y = F(X \cdot W), \quad (2)$$

где  $X$ ,  $Y$  – соответственно входной и выходной векторы,  $F(S)$  – активационная функция, применяемая поэлементно к компонентам вектора  $S$ .

Для обучения нейронной сети был применен следующий алгоритм обучения с учителем.

Шаг 1. Инициализация элементов весовой матрицы случайными значениями.

Шаг 2. Подача на вход одного из входных векторов, которые сеть должна научиться различать, и вычисление ее выхода.

Шаг 3. Если выход правильный, то перейти к шагу 4. Иначе вычислить разницу между требуемым и полученным значениями выхода:

$$\delta = d - Y. \quad (3)$$

Модифицировать веса в соответствии с формулой:

$$w_{ij}(t+1) = w_{ij}(t) + \eta \cdot \delta \cdot x_i. \quad (4)$$

где  $t$ ,  $(t+1)$  – номера текущей и следующей итераций,  $\eta$  – коэффициент скорости обучения,  $0 < \eta < 1$ ,  $i$  – номер входа,  $j$  – номер выхода.

Шаг 4. Выполнять цикл с шага 2, пока сеть не перестанет ошибаться.

Сходимость процедуры обучения нейросети устанавливается следующими теоремами [40].

Теорема 1. Класс элементарных персептронов, для которых существует решение для любой задуманной классификации, не является пустым.

Теорема 2. Если для некоторой классификации решение существует, то в процессе обучения персептрона с коррекцией ошибок, начинающегося с произвольного исходного состояния, это решение будет достигнуто в течение конечного промежутка времени.

В результате функционирования пакета моделирующих программ были получены следующие веса синапсов нейросети разрабатываемой системы поддержки принятия решений, приведенные в табл. 2.

Для проверки правильности обучения построенной нейронной сети в нейромимитаторе предусмотрены специальные средства ее тестирования. В сеть вводится некоторый сигнал, который не совпадает ни с одним из входных сигналов примеров обучающей выборки [25]. Далее анализируется получившийся выходной сигнал сети.

Тестирование обученной сети было проведено на тестовых выборках, не пересекающихся с обучающими. Тестовые выборки были построены для каждого из типов электронных аппаратов.

Таким образом, было произведено обучение системы поддержки принятия решений конструкторской подготовки производства электронных аппаратов, произведено тестирование и предварительная апробация применения разработанной системы в конструкторской подготовке производства электронных аппаратов.

табл.2 Веса синапсов нейросети

O1	O2	O3	O4	O5	O6
$w_{41} = 5.943 \cdot 10^{-2}$	$w_{12} = 2.878 \cdot 10^{-3}$	$w_{33} = 4.683 \cdot 10^{-2}$	$w_{24} = 4.953 \cdot 10^{-2}$	$w_{55} = 5.558 \cdot 10^{-2}$	$w_{56} = 6.843 \cdot 10^{-2}$
$w_{51} = 9.138 \cdot 10^{-3}$	$w_{32} = 7.348 \cdot 10^{-3}$	$w_{133} = 4.822 \cdot 10^{-2}$	$w_{94} = 6.394 \cdot 10^{-3}$	$w_{85} = 2.033 \cdot 10^{-2}$	$w_{66} = 2.556 \cdot 10^{-2}$
$w_{81} = 8.151 \cdot 10^{-2}$	$w_{102} = 5.263 \cdot 10^{-3}$	$w_{163} = 0.223 \cdot 10^{-2}$	$w_{174} = 6.904 \cdot 10^{-3}$	$w_{95} = 3.904 \cdot 10^{-3}$	$w_{116} = 3.943 \cdot 10^{-2}$
$w_{101} = 1.81 \cdot 10^{-2}$	$w_{112} = 2.843 \cdot 10^{-3}$	$w_{213} = 1.242 \cdot 10^{-2}$	$w_{184} = 6.394 \cdot 10^{-2}$	$w_{145} = 8.037 \cdot 10^{-2}$	$w_{126} = 2.374 \cdot 10^{-2}$
$w_{201} = 9.66 \cdot 10^{-3}$	$w_{192} = 9.239 \cdot 10^{-2}$		$w_{304} = 3.230 \cdot 10^{-3}$	$w_{155} = 5.035 \cdot 10^{-3}$	$w_{156} = 5.495 \cdot 10^{-2}$
	$w_{212} = 3.092 \cdot 10^{-3}$			$w_{225} = 6.753 \cdot 10^{-3}$	$w_{216} = 7.823 \cdot 10^{-2}$
	$w_{242} = 6.932 \cdot 10^{-3}$			$w_{235} = 2.645 \cdot 10^{-4}$	
	$w_{272} = 5.633 \cdot 10^{-3}$			$w_{265} = 0.549 \cdot 10^{-3}$	
	$w_{292} = 9.293 \cdot 10^{-3}$			$w_{295} = 3.934 \cdot 10^{-3}$	

В результате обучения разработанной системы поддержки принятия решений конструкторской подготовки производства электронных аппаратов выдается список рекомендаций по управлению компоновкой электронного аппарата, обеспечивающее оптимальные сценарии достижения необходимых свойств, параметров, компоновки, вибрационной и резонансной устойчивости электронного аппарата.

Анализ тестирования разработанной системы поддержки принятия решений конструкторской подготовки производства электронных аппаратов показал, что способности системы по выработке качественных рекомендаций приближаются к способности экспертов (87,6% правильных рекомендаций), параметры интерфейса ввода-вывода соответствуют требованиям экспертов (организация постоянного двустороннего дружественного взаимодействия).

Введенные в рассмотрение классификационные признаки составляют свойства объекта, носящие экономический и управленческий характер, определяемые методом анализа иерархий. Признак классификации объектов, названный функциональной зависимостью для исследования эффективности управления конструкторской подготовки производства электронных аппаратов, имеет вид:

$$J = P_1 \cdot \left( K_1 \cdot \left( L_1 \cdot y_1 + L_2 \cdot y_2 + \right. \right. \\ \left. \left. + L_3 \cdot y_3 + L_4 \cdot y_4 \right) + \right. \\ \left. + K_2 \cdot \left( L_5 \cdot y_5 + L_6 \cdot y_6 + \right. \right. \\ \left. \left. + L_7 \cdot y_7 \right) \right) + \\ + P_2 \cdot \left( K_3 \cdot \left( L_8 \cdot y_8 + L_9 \cdot y_9 + \right. \right. \\ \left. \left. + L_{10} \cdot y_{10} + L_{11} \cdot y_{11} + \right. \right. \\ \left. \left. + L_{12} \cdot y_{12} \right) + \right. \\ \left. + K_4 \cdot \left( L_{13} \cdot y_{13} + L_{14} \cdot y_{14} + \right. \right. \\ \left. \left. + L_{15} \cdot y_{15} \right) \right), \quad (5)$$

где  $P_i, K_j, L_f$  – коэффициенты,  $y_f$  - признаки.

Анализируя (5), следует обратить внимание на то, что данная функциональная зависимость имеет аддитивный вид, свободна от излишней сложности для рассматриваемого случая оценки приоритетов и, кроме оценки эффективности управления конструкторской подготовки производства электронных аппаратов, может быть использована для исследования процессов управления конструкторской подготовкой производства объектов различной природы на предмет анализа выделенных классификационных признаков. Величины коэффициентов модели индивидуальны для объектов различной природы и строятся на основании экспертных оценок и методе анализа иерархий. Вид (5) соответствует аддитивному виду критерия и предполагает про-

стоту реализации при одновременном достаточном уровне точности, согласуясь при этом с иерархическими представлениями метода анализа иерархий. Количество и характер классификационных признаков соответствует наиболее полному представлению об анализе технико-экономических показателей управления конструкторской подготовки производства.

Задачи принятия решения конструкторской подготовки производства заключаются в том, что вероятность задания того или иного вида управляющего воздействия различна для электронных аппаратов различного назначения и условий эксплуатации, что в свою очередь определяется спецификой компоновки, предъявляемым требованиям и, следовательно, различными методиками достижения требуемых свойств. Для каждого из рассмотренных типов электронных аппаратов имеет место свое значение коэффициентов значимости управляющего воздействия. Далее по набору типов управляющих воздействий и базе данных коэффициентов значимости каждого из них необходимо определить непосредственно критерий качества управления конструкторской подготовкой производства электронного аппарата (эффективность управления). При попадании полученного значения в область применения рассматриваемого автоматизированного управления конструкторской подготовкой производства электронного аппарата, осуществляется передача оператору (рабочие формы разработанной системы поддержки принятия решений) последовательности и содержания управляющих воздействий по оптимизированным параметрам, компоновке и свойствам объекта конструкторской подготовки производства, определенным с помощью критериев компоновки и оптимизированных с помощью метода группового учета аргумента.

Оператор получает инструкции от системы поддержки принятия решений в виде рекомендаций или (по требованию оператора) в виде окон моделирования запрашиваемых параметров и свойств. Решение о следовании предлагаемым рекомендациям принимает оператор, полагаясь на должностные инструкции, знания, опыт и умения.

В результате внедрения в существующее управление конструкторской подготовкой производства электронных аппаратов изображенной на рис. 2 надстройки, включающей функционирование лица, принимающего решение, и систе-

мы поддержки принятия решений, получаем факты, характеризующие производственные ситуации, и рекомендации по управлению. В вид моделей управления конструкторской подготовкой производства электронных аппаратов, в том числе, заложена и оценка эффективности управления конструкторской подготовкой производства электронных аппаратов.

Исключительные ситуации при функционировании рассматриваемой системы поддержки принятия решения связаны с возможным «выпадением» необходимости применения одинаковых управляющих воздействий для производства различных объектов, но обработка такого рода исключительных ситуаций сводится к извлечению из базы данных различных весов значимости выбора вида воздействия, поэтому невозможно получить тождественные результаты при одинаковых управляющих воздействиях. И, наоборот, разные наборы управляющих воздействий для различных электронных аппаратов после обработки в предложенной системе поддержки принятия решений дают, в пределах заданной точности, единственное значение эффективности управления конструкторской подготовкой производства электронного аппарата.

Обучение разрабатываемой системы поддержки принятия решений конструкторской подготовкой производства электронных аппаратов выполняется для того, чтобы после определения эффективности управления конструкторской подготовкой производства электронного аппарата исследуемой классификационной группы, разрабатываемая система предложила оптимальный сценарий достижения свойств, параметров, компоновки, вибрационной и резонансной устойчивости электронного аппарата.

В качестве структуры разработанной системы поддержки принятия решений конструкторской подготовкой производства электронных аппаратов выступает шестинейронный персептрон (рис. 3), нейроны которого имеют активационную функцию в виде единичного скачка.

Тестирование обученной сети было проведено на тестовых выборках, не пересекающихся с обучающими. Тестовые выборки были построены для каждого из типов электронных аппаратов. Таким образом, было произведено обучение системы поддержки принятия решений конструкторской подготовкой производства электронных аппаратов, произведено тестирование и предварительная апробация применения разработанной

системе в конструкторской подготовке производства электронных аппаратов.

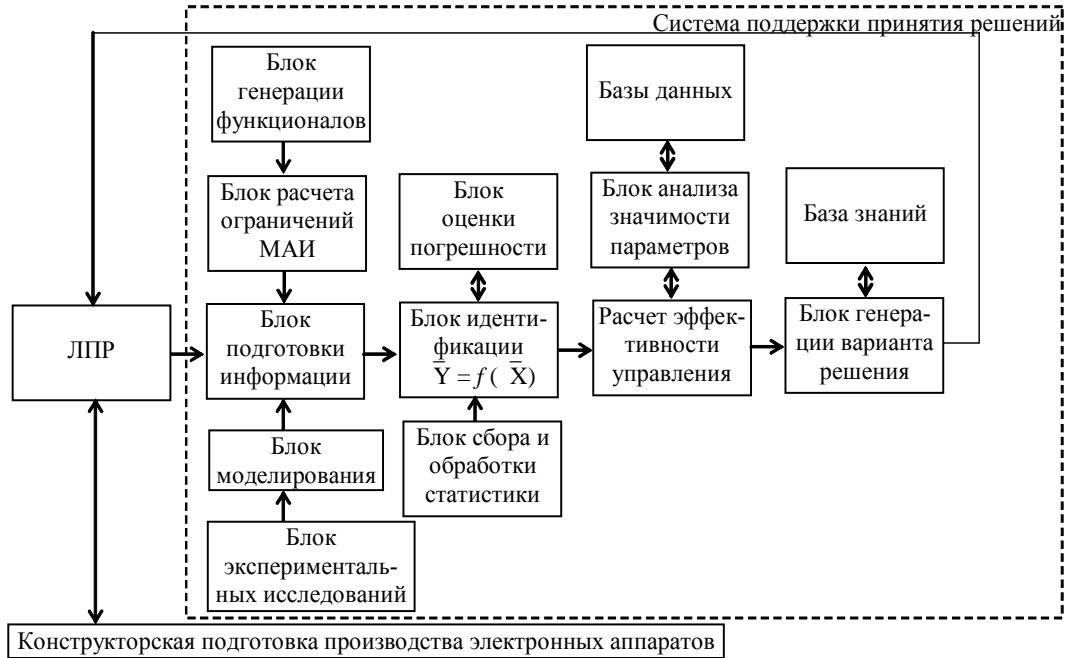


рис. 2 Структурная схема системы поддержки принятия решений конструкторской подготовки производства электронных аппаратов

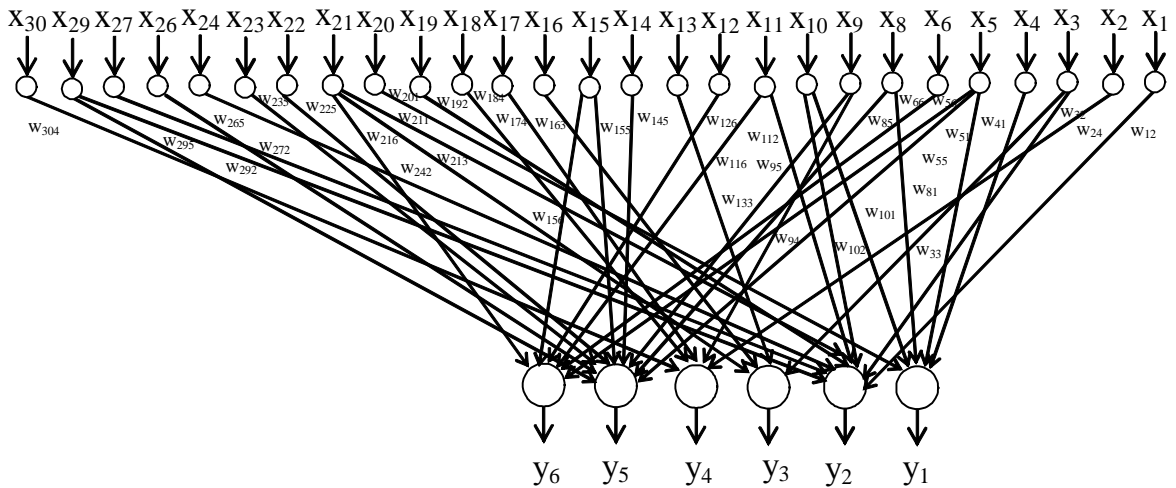


рис.3 Персептрон с шестью выходами

**Выводы:** Имеет место влияние условий эксплуатации на функционирование электронных аппаратов, обусловленное рядом явлений, происходящих, в том числе и на молекулярном уровне, поэтому актуальной является необходимость устранения или компенсации подобного

рода влияния, что возможно посредством изучения последствий такого влияния, моделирования электронного аппарата и управления конструкторской подготовкой производства электронных аппаратов. До настоящего времени конструкторская подготовка производства электронных ап-

паратов, а именно этапы компоновки, конструирования, изготовления и испытаний опытного образца изделия не включали процесс моделирования объекта конструкторской подготовки производства с учетом предполагаемых условий и объекта эксплуатации. В существующих системах автоматизированного проектирования и производства электронных аппаратов, базирующихся на числовых методах исследования динамических характеристик элементов, отсутствует системный анализ проблемы повышения надежности, вибрационной и резонансной устойчивости выпускаемых изделий при условии минимизации материально-технических затрат на производство. Для иерархии электронных аппаратов не разработаны критерии компоновки элементов, учитывающий механические воздействия (вибрационные, ударные, резонансные явления и эффекты, возникающие в ходе эксплуатации аппаратуры), и позволяющий выполнять анализ схематехнических, конструкторских, геометрических, и др. показателей.

В данной работе методом группового учета аргумента разработаны и исследованы математические модели управления конструкторской подготовки производства электронных аппаратов различного назначения, представляющие собой частные описания квадратичного типа первого и последующих рядов селекции полинома Колмогорова-Габора, которые позволяют синтезировать структуру и идентифицировать параметры разрабатываемой системы поддержки принятия решений. Произведено обучение разработанной системы поддержки принятия решений на основании алгоритма обучения с учителем шестинейронного перцептрона, нейроны которого имеют активационную функцию в виде единичного скачка. Результаты обучения позволили протестировать и произвести предварительную апробацию применения разработанной системы поддержки принятия решений в конструкторской подготовке производства электронных аппаратов.

Разработана система поддержки принятия решений, генерирующая управляющие воздействия в зависимости от назначения и условий эксплуатации электронного аппарата, включая моделирование при выборе компоновки конструкторской подготовки производства, что позволяет повысить качество, параметры компоновки, резонансную устойчивость и надежность электронных аппаратов. Произведено обучение

разработанной системы поддержки принятия решений на основании алгоритма обучения с учителем шести нейронного перцептрона, нейроны которого имеют активационную функцию в виде единичного скачка. Результаты обучения позволили протестировать и произвести предварительную апробацию применения разработанной системы поддержки принятия решений в конструкторской подготовке производства электронных аппаратов.

#### Литература

- 1.Ивахненко А.Г. Метод группового учета аргументов – конкурент метода стохастической аппроксимации // Автоматика. – 1968. – № 3. – С. 58-72.
- 2.Ивахненко А.Г. Самообучающиеся системы распознавания и автоматического управления. – К.: «Техніка», 1969. – 392 с.
- 3.Ивахненко А.Г. Системы эвристической самоорганизации в технической кибернетике. – К.: «Техніка», 1971. – 372 с.
- 4.Петров А.П. О возможностях перцептрона // Известия АН СССР, Техническая кибернетика. – 1964. – №6
- 5.Ямпольский Л.С. Автоматизированные системы технологической подготовки робототехнического производства / Ямпольский Л.С., Калинин О.М., Ткач М.М. – К.: Вища шк., 1987. – 271 с.
- 6.Ямпольский Л.С. Нечёткая метאיдентификация в задачах автоматизированного выбора искусственных нейросетей / Ямпольский Л.С., Лисовиченко О.И. // Стратегия качества в промышленности и образовании / Материалы 1X Международной конференции (в 3-х томах), 31 мая – 7 июня 2013. – Варна, Болгария: Технический университет. – 2013. – Т1 – С. 414 – 417
- 7.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.
- 8.Ackley D.H., Hinton G.E. and Sejnowski T.J. A Learning Algorithm for Boatman Machines // Cognitive Science. – 1985. – 9. – P. 147-169
- 9.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, SanDiego, 1987. – Vol. 2. – P. 609-618
10. 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.
11. Bellifemine F.L., Caire G. and Greenwood D. Developing Multi-Agent Systems with JADE. – Wiley, 2007.
12. Carpenter G.A. and Grossberg S. The ART of Adaptive Pattern Recognition by a Self-Organizing Neural

- Networks // Computer. – 1988. – March. – P. 77-88
13. Carpenter G.A., Grossberg S. and 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
14. Elman J.L. Finding Structure in Time // Cognitive Science. – 1990. – 14. – P. 179-211
15. Fahlman S.E. and Lebiere C. The Cascade-Correlation Learning Architecture / Carnegie Mellon Report. Nr. CMU-CS-88-162, 1990
16. 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
17. Grossberg S. Competitive Learning: From Interactive Activation do Adaptive Resonance // Cognitive Science. – 1987. – 11. – P. 23-63
18. Grossberg S. Nonlinear Neural Networks: Principles, Mechanism and Architectures // Neural Networks, 1988. – V.1. – № 1. – P. 17-62.
19. Haken H., Fuchs A., Banzhath W. Mustererkennung durch synergetische Computer. Teil 1. Und 2 // Design and Elektronik, 1989
20. Harp S. and 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
21. 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
22. Hinton G.E. Connectionist Learning Procedures // Artificial Intelligence. – 1989. – 40. – P. 185-234
23. 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
24. 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
25. 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
26. Kohonen T. Associative Memory: A System Theoretic Approach. – Berlin: Springer, 1977
27. Kohonen T. Self-Organized Formation of Topologically Correct Feature Maps // Biological Cybernetics. – 1982. – 43. – P. 59-69
28. Kosko B. Adaptive Bidirectional Associative Memories // Appl. Optics. – 1987. – 26. – № 33. – P. 4947-4960
29. Koza J.P. Genetic Programming: On the Programming of Computers by Means of Natural Selection. – Cambridge, MA, MIT Press, 1992
30. Lang K.J., Waibel A.H. and Hinton G.E. A Time-Delay Neural Network Architecture for Isolated Word Recognition // Neural Network. – 1990. – 3. – № 1. – P. 23-43
31. Lippman R.P. An Introduction to Computing with Neural Nets // IEEE ASSP Magazine. – 1987. – № 4. – P. 4-22
32. Nelles O., Ernst S. and Isermann R. Neuronale Netze sur Identifikation nichtlinearer dynamischer Systeme: Ein blick // Automatisierungstechnik. – 1997. – 45. – № 6. – S. 251-262
33. Patterson D. Artificial Neural Networks: Theory and Application. – Singapore: Prentice Hall Inc., 1996
34. Pham D.T. and Liu X. Modelling and Prediction using GMDH Networks of Adalines with Nonlinear Preprocessors // Intern. Jornal System Science. 1994. – 25. – № 11. – P. 1743-1759
35. Pineda F.J. Dynamic and Architectures for Neural Computation // Journal of Complexity. – 1988. – 4. – P. 216-245
36. 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
37. Rumelhart D.E., Hilton G.E. and 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
38. 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
39. Werbos P.J. Beyond regression: New Tools for Prediction and Analysis in the Behavioral Sciences. Ph.D thesis. – Cambridge, MA, Harvard University, 1974
40. Widrow B. and Hoff M.E. Adaptive Switching Circuits / IRE WESCON Convention Record – New York, IRE, 1960. – P. 96-104
41. Whitley D., Dominic S. and Das R. Genetic Reinforcement Learning with Multilayer Neural Networks / In Belew and Booker. – 1991. – P. 562-570
42. Yoh-han Pao. Adaptive Pattern Recognition and Neural Networks. – Reading Massachusetts: Addison – Wesley. – 1989. – 309 p.



## THE NEURAL NETWORKS' TECHNOLOGY OF EDUCATING OF SYSTEM SUPPORTS MAKING DECISION FOR ELECTRONIC VEHICLES

**Victoria SMOLIY**

Technological institute Volodymyr Dahl East-Ukrainian National University

e-mail: vsmoliy@mail.ru

**Abstract:** The informative sensor-based system of designer preproduction of electronic vehicles offers, that includes components, executing the analysis of different objects, provides system research of their cooperation with the purpose of achievement of the best result on a management by arrangement of electronic vehicle, to the receipt of scenarios of management process designer preproduction and providing of possible size of management efficiency by a production.

**Keywords:** management, informative sensor-based system, process of production, electronic vehicle, method of analysis of hierarchies, management efficiency, stochastic model, process of production, system of support of making decision, frames.



## РАЗРАБОТВАНЕ НА БИБЛИОТЕКИ СЪС СТАНДАРТИЗИРАНИ ГРАФИЧНИ СИМВОЛИ ЗА AUTOCAD, КОИТО СЕ ИЗПОЛЗВАТ В УЧЕБНИЯ ПРОЦЕС ПО ДИСЦИПЛИНАТА „ОСНОВИ НА ИНЖЕНЕРНОТО ПРОЕКТИРАНЕ”

Георги СТАНЧЕВ

катедра „Основи и технически средства за конструиране”, Технически университет - София, България  
e-mail: [gstanchev@tu-sofia.bg](mailto:gstanchev@tu-sofia.bg)

**Резюме:** В статията е описана организацията на библиотеките в програмата AUTOCAD. Разяснено е приложението на командите Make Block, Tool Palettes и Design Center. Разработени са библиотеки със стандартизирани графични символи, които се ползват от студентите по дисциплината „Основи на инженерното проектиране“ при изпълнението на курсова задача „Проектиране на електросъединения за обемна монтаж“, където е необходимо да се съставят два графични документа – схема на съединенията и сборен чертеж. По този начин студентите се научават да инсталират и работят с библиотеки и се подпомага разработването на конкретна курсова задача. Това от друга страна повишава качеството на обучение в ТУ – София и дава по-големи перспективи за реализация на студентите.


**Ключови думи:** AUTOCAD, Tool Palettes, Design Center, библиотеки, графични символи, стандарти

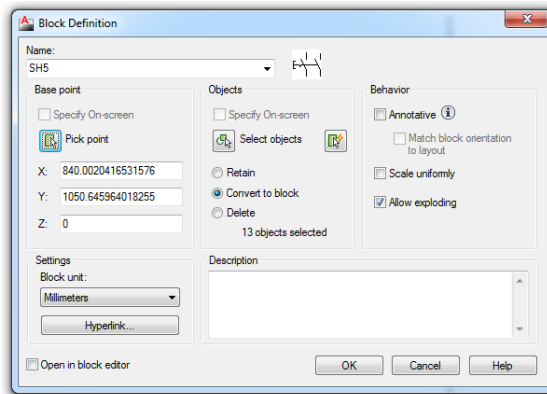
### 1. ВЪВЕДЕНИЕ

Дисциплината „Основи на инженерното проектиране“ включва курсова задача „Проектиране на електросъединения за обемна монтаж“, която е разработена и включена в ръководството за упражненията по дисциплината [1]. За изпълнението на задачата трябва да се съставят два графични документа – схема на съединенията и сборен чертеж. Изпълнението на схема на съединенията е специфично - отделните блокове се оградят, линиите за връзка се изобразяват еднолинейно, поставят се много надписи като адреси, буквено цифрови означения и сечение и цвят на проводниците. Тези причини и сборния чертеж правят програмата AutoCad много подходяща за разработване на задачата от студентите. За тази цел е необходимо да се разработят и библиотеки, които съдържат необходимите графични символи.


### 2. ОРГАНИЗАЦИЯ НА БИБЛИОТЕКИТЕ В AUTOCAD


Със стандартната инсталация на AutoCad са достъпни библиотеки с най-различна насоченост, защото това е програма, която се използва от инженери в много области и архитекти. Както се предполага обаче точно тези символи, които са необходими ги няма. Затова обаче е предвидена великолепна възможност всеки потребител лесно

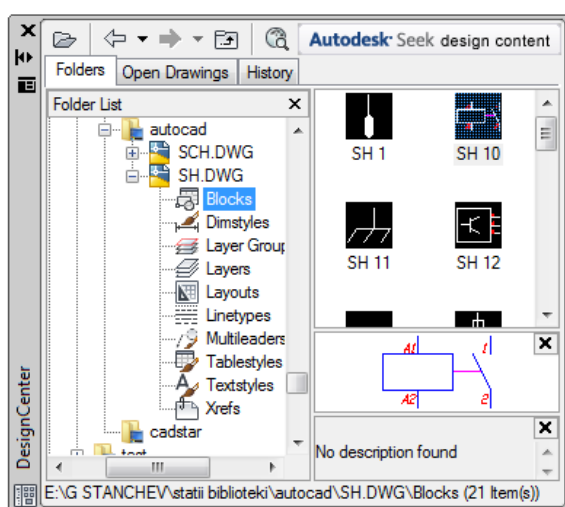
да създаде и инсталира лични библиотеки с изображения, които често използва. Първо трябва да се начертае съответното изображение, а след това чрез командата Make Block  да се запише като „блок“ (виж. фиг. 1). Чрез Select objects се избират всички компоненти на изображението, чрез Pick point се оказва точката на вмъкване на блока в чертежите, в Name се задава името на блока и се потвърждава чрез ОК [2, 3].



фиг.1 Команда Make Block

Библиотеките в AutoCad се ползват чрез активиране на командата Tool Palettes . Чрез десен бутон на мишката се избира New Palette, задава се име и се потвърждава чрез Enter. За да се напълни новата палета със съдържание (изобра-

жения във вид на блокове) се използва командата Design Center  (виж. фиг. 2). От Folder List се намира файла, в който са записани вече начертаните и записани блокове, след което се избира „+“ пред името на файла, за да се отворят неговите атрибути. След това се избира Blocks и в дясно се виждат малки изображения на всички блокове във файла. След като се избере някое от малките изображения, то се показва в долния прозорец в по-голям размер. Добавянето на блоковете към палетата става чрез влачене.

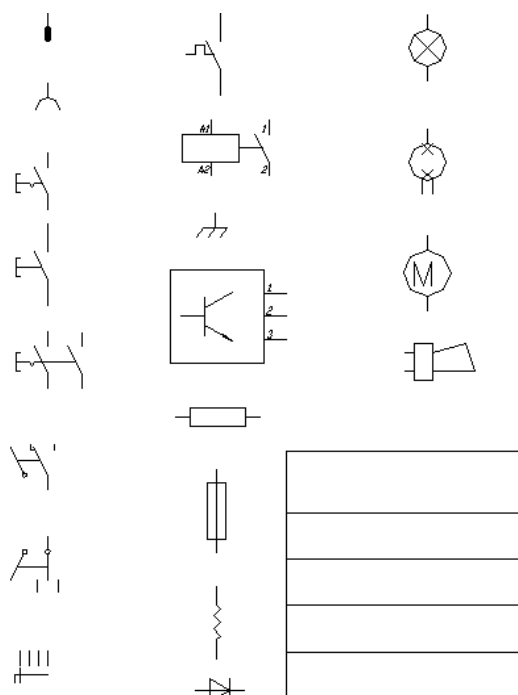


фиг.2 Команда Design Center

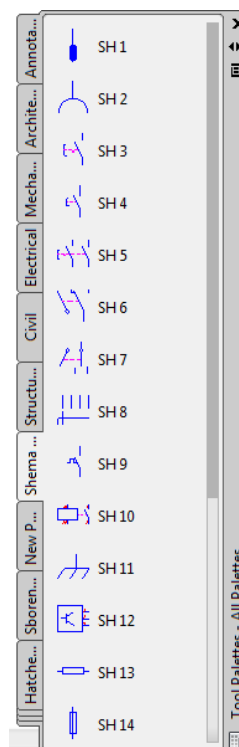
### 3. РАЗРАБОТВАНЕ НА БИБЛИОТЕКИ ЗА AUTOCAD

#### 3.1 Разработване на библиотека за реализиране на схема на съединенията


Графичните символи, които са необходими за реализиране на схема на съединенията за всички варианти от курсовата задача са начертани в съответствие с приложение П5 на ръководството по дисциплината [1], където са дадени стандартите, на които отговарят. Към библиотеката с графичните символи е добавена и таблица, в която студентите трябва да запишат кодовете за означаване на различните цветове проводници. На фиг. 3 са дадени изображенията на блоковете, които реализират библиотеката.



фиг.3 Библиотека за схема на съединенията



фиг.4 Tool Palette за схема на съединенията

На фиг. 4 е показан прозореца, който се отваря при активиране на командата Tool Palettes . На него се виждат библиотеките, които са към програмата AutoCad (Annotation, Architectural, Mechanical, Electrical и др.), а също така и тези, които са добавени за курсовата задача (Shema на syedineniata и Sboren chertez). Вижда се, че е активна библиотеката за схема на съединенията. При работа по конкретен проект добавянето на отделните графични символи от библиотеката в работното поле става чрез влачене.

### 3.2 Разработване на библиотека за реализиране на сборен чертеж

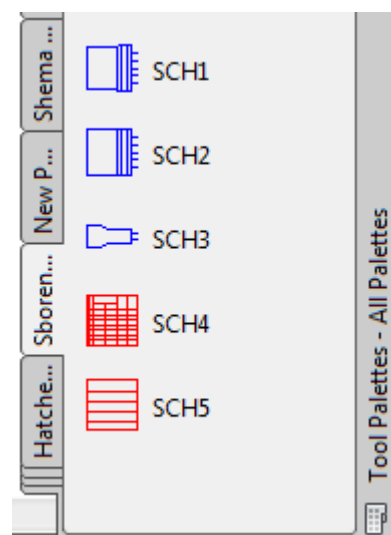
Тази библиотека съдържа три графични символа (черупка шекерна, черупка шепселна и обувка за накрайник). Добавени са също и две таблици – едната е т.н. таблица на свързванията, а другата е за кодовете на цветовете на проводниците.

На фиг. 5 е показана библиотеката, която вече е заредена и активирана чрез командата Tool Palettes.

## 5. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В настоящата статия са разработени библиотеки за AutoCad, които се ползват от студентите по дисциплината „Основи на инженерното проектиране“, както в компютърните зали на катедра „ОТСК“, така и на личните си компютри при инсталирана студентска версия на програмата.

Ползването им от една страна значително улеснява работата, а от друга студентите се научават да инсталират и работят с библиотеки.



фиг.5 Tool Palette за сборен чертеж

### Литература

- 1.Ганева Н., Лепаров М., Станчев Г. Основи на инженерното проектиране – ръководство за упражнения. София, Софттрейд, 2013, 52 с., 151 с.
2. Лепаров М., Вичева М., Георгиев М. Основи на инженерното проектиране. София, Софттрейд, 2008, 286 с.
3. **AutoCAD, Version 2011, Help** Посетен на 05.09.2014г.

## DEVELOPING OF LIBRARIES WITH STANDARDIZED GRAPHIC SYMBOLS FOR AUTOCAD, WHICH ARE USED IN LEARNING PROCESS FOR THE COURSE “BASIC ENGINEERING”

**Georgi STANCHEV**

Department “Fundamentals and Technical Means of Design”, Technical University-Sofia, Bulgaria  
e-mail: [gstanchev@tu-sofia.bg](mailto:gstanchev@tu-sofia.bg)

**Abstract:** The article describes the organization of libraries in the program AUTOCAD. The application of the commands Make Block, Tool Palettes and Design Center is explained. Libraries with standardized graphic symbols have been developed, which are used by students for the course “Basics engineering” in the implementation of coursework "Designing of electric compound for volume installing", where it's necessary to draw up two graphic documents - scheme of the compounds and assembly drawing. In this way students learn how to install and operate with libraries and support the

development of a particular coursework. On the other hand the increase the quality of the education at Technical University - Sofia and gives great perspectives for realization for the students.

**Keywords:** AUTOCAD, Tool Palettes, Design Center, Libraries, Graphic Symbols, Standards

## РАЗРАБОТВАНЕ НА БИБЛИОТЕКИ СЪС СТАНДАРТИЗИРАНИ КОМПОНЕНТИ ЗА CADSTAR, КОИТО СЕ ИЗПОЛЗВАТ В УЧЕБНИЯ ПРОЦЕС ПО ДИСЦИПЛИНАТА „ОСНОВИ НА ИНЖЕНЕРНОТО ПРОЕКТИРАНЕ”

Георги СТАНЧЕВ

катедра „Основи и технически средства за конструиране”, Технически университет - София, България  
e-mail: [gstanchev@tu-sofia.bg](mailto:gstanchev@tu-sofia.bg)

**Резюме:** В статията е описана организацията на библиотеките в програмата CADSTAR, като е разяснена същността и на четирите вида: Schematic Symbols Library, PCB Component Library, Parts Library и Documentation Symbols Library. Разработен е комплект от първите три вида библиотеки, които се използват активно от студентите при изпълнение на курсовата задача „Проектиране на електронно изделие“. Това значително улеснява работата и дава възможност на студентите да се съсредоточат върху конструкторския елемент на задачата. Подробно е разяснено изграждането на текстовата библиотека Parts Library, което показва идеологията за работа и изграждане на библиотеки за CAD системи за проектиране на електронни схеми.

**Ключови думи:** CADSTAR, PCB, библиотеки, графични символи, стандарти

### 1. ВЪВЕДЕНИЕ

Дисциплината „Основи на инженерното проектиране“ включва курсова задача „Проектиране на електронно изделие“, която е разработена и включена в ръководството за упражнения по дисциплината [1]. За изпълнението на задачата може да се ползват различни CAD системи, но по редица причини сред които и възможността студентите безплатно да си инсталират на личните компютри безплатна студентска версия на програмата към този момент се използва програмата CADSTAR. Тя разполага с широка гама библиотеки с усилватели, аналогови и цифрови интегрални схеми, диоди, транзистори, резистори и др., които стандартно се инсталират с програмата. Тези библиотеки съдържат десетки и стотици компоненти, което затруднява търсенето на конкретен. Също така някои от графичните символи не отговарят напълно на българските стандарти. Трябва да се има пред вид, че студентите са първи курс и нямат опит в работата с CAD системи.

Целта на настоящата работа е да се разработят библиотеки с необходимите компоненти за реализирането на курсовата задача, която да отговаря на българските стандарти. Това ще подпомогне работата на студентите и ще им позволи да се съсредоточат върху конструкторския елемент на задачата.

### 2. ОРГАНИЗАЦИЯ НА БИБЛИОТЕКИТЕ В CADSTAR

Програмната среда на CADSTAR поддържа няколко вида библиотеки [3]:

- библиотека с графични символи за принципни електрически схеми (Schematic Symbols Library);
  - библиотека с корпуси на компонентите (PCB Component Library), която се използва за проектиране на печатни платки (PCB Designs);
  - библиотека със съставни части (Parts Library), която е текстова библиотека и в нея се описва за всяка една съставна част кой графичен символ от Schematic Symbols Library трябва да се използва и кой корпус от PCB Component Library трябва да се използва;
  - библиотека със стандартни формати (напр. A4, A3 и др.) (Documentation Symbols Library).
- Във връзка с друга курсова задача е разработен формат A3, който може да се използва, затова тази библиотека не е обект на настоящата работа.

В CADSTAR има възможност всички библиотеки да се редактират, допълват и създават нови. В зависимост от конкретната ситуация може да се използва една или няколко библиотеки едновременно:

- ако искаме само да създадем принципна електрическа схема ще работим в схемния редактор (Schematic Design) и ще използваме библиотека с графични символи;

- ако искаме направо да проектираме печатна платка ще работим в PCB редактора и ще използваме библиотека с корпуси на компоненти;

- ако искаме да създадем принципна електрическа схема и след това да проектираме печатна платка ще трябва да работим първо в схемния редактор, а след това в PCB редактора. За тази цел трябва да имаме инсталирани и трите вида библиотеки - Schematic Symbols Library, PCB Component Library и Parts Library. При въвеждането на схемата се избират компонентите от текстовата библиотека Parts Library, в която са описани връзките между двете графични библиотеки Schematic Symbols Library и PCB Component Library. След като принципната електрическа схема е готова чрез командата Transfer to PCB автоматично се създава нов файл, в който графичните символи са заменени със съответните корпуси и се пристъпва към проектиране на печатна платка в PCB редактора [2].

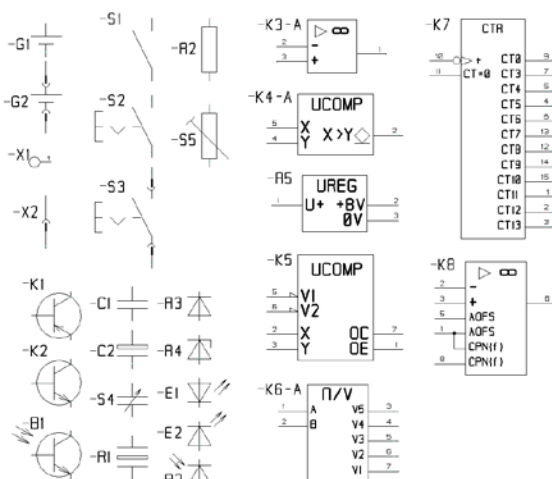
Задачата на тази работа е да се разработи комплект библиотеки Schematic Symbols Library, PCB Component Library и Parts Library, които да съдържат всички необходими съставни части, за реализирането на всички варианти на курсовата задача, които да се предоставят на студентите.

### 3. РАЗРАБОТВАНЕ НА БИБЛИОТЕКИ ЗА CADSTAR

#### 3.1 Разработване на Schematic Symbols Library

Това е графична библиотека, която съдържа необходимите графични символи за съставяне на принципните електрически схеми от всички варианти на курсовата задача. Тя е разработена в специална подпрограма на CADSTAR за редактиране на библиотеки (Library Editor). Графичните символи са разработени в съответствие с приложение П5 на [1], където са дадени стандартите, на които отговарят. За някои от графичните символи са използвани елементи от библиотеката с графични символи на CADSTAR, други са редактирани, а трети са чертани изцяло.

На фиг. 1 са дадени графичните символи, които включва разработената библиотека.



фиг.1 Графични символи

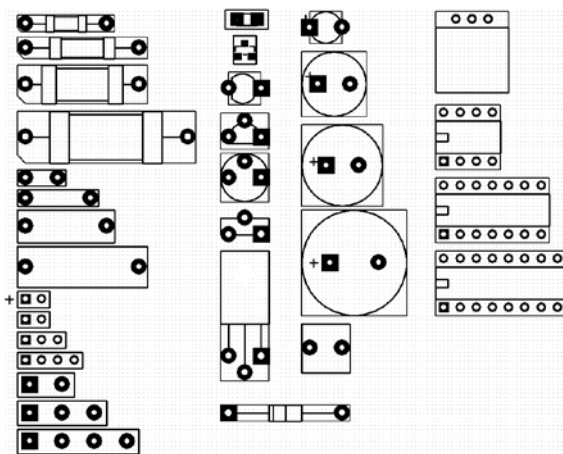
#### 3.2 Разработване на PCB Component Library

Това е графична библиотека, която съдържа корпусите на всички компоненти, необходими за реализирането на курсовата задача. Тя също е разработена в специалната подпрограма на CADSTAR за редактиране на библиотеки (Library Editor). Точните размери на компонентите, броя и разположението на изводите са взети от Data Sheets на съответния компонент или са измерени от конкретен екземпляр. Някои от корпусите са използвани от библиотеката на CADSTAR, други са редактирани, а трети са чертани изцяло. На фиг. 2 са дадени корпусите, които включва разработената библиотека.

#### 3.3 Разработване на Parts Library

Това е текстова библиотека, в която за всеки един компонент се задава кой графичен символ от библиотеката Schematic Symbols Library да се използва, кой корпус от библиотеката PCB Component Library да се използва, кой извод от графичния символ на кой номер извод от корпуса съответства, кой извод се свързва към захранване и кой към „маса“, кои изводи са взаимнозаменяеми (еквивалентни) и др.






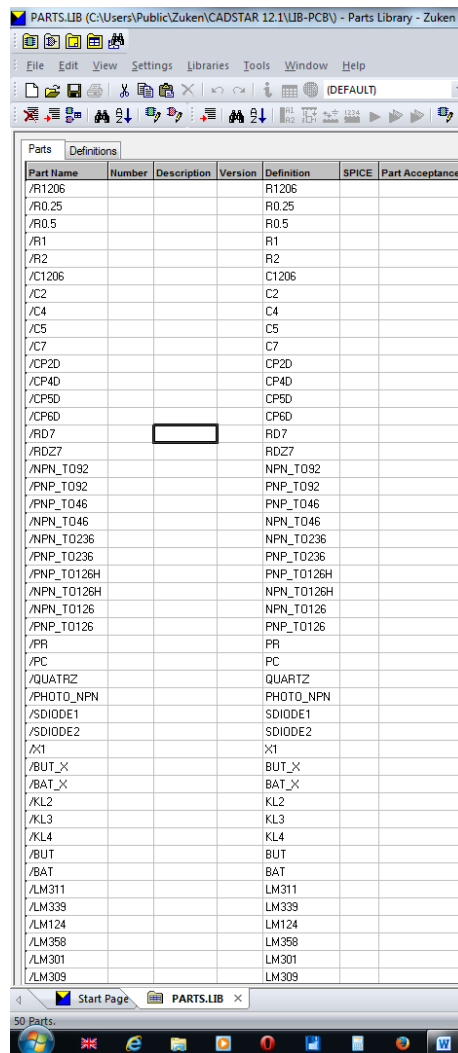
фиг.2 Корпуси

На фиг. 3 е показано меню Parts на библиотеката. В колоната Part Name са записани библиотечните имена на всички компоненти. Всички записи нарочно започват със символа „/“, защото при евентуално обединяване на библиотеки всички компоненти ще останат заедно като подредба, защото тя е по азбучен ред. В колоната Definition е записано името на „дефиницията“, което е направено да съвпада с името на съответния компонент, без символа „/“.

На фиг. 4 е показано меню Definitions на библиотеката.

В колона Component са записани имената на съответните корпуси от библиотеката PCB Component Library. В колона Max Pin е записан броя на изводите на съответния корпус. В колона Stem е записано буквеното означение, което програмата автоматично поставя до всеки един компонент. В колона Wa е записана стойността на компонента или неговата сигнатура, която също автоматично се поставя.

След като се селектира конкретен компонент, чрез бутон  Edit Definition се отваря диалогов прозорец с няколко менюта (виж фиг. 5÷9), от които се правят редакциите описани по-долу. За пример е използвана интегралната схема LM124, която съдържа четири операционни усилвателя с по един положителен и отрицателен вход и един изход.

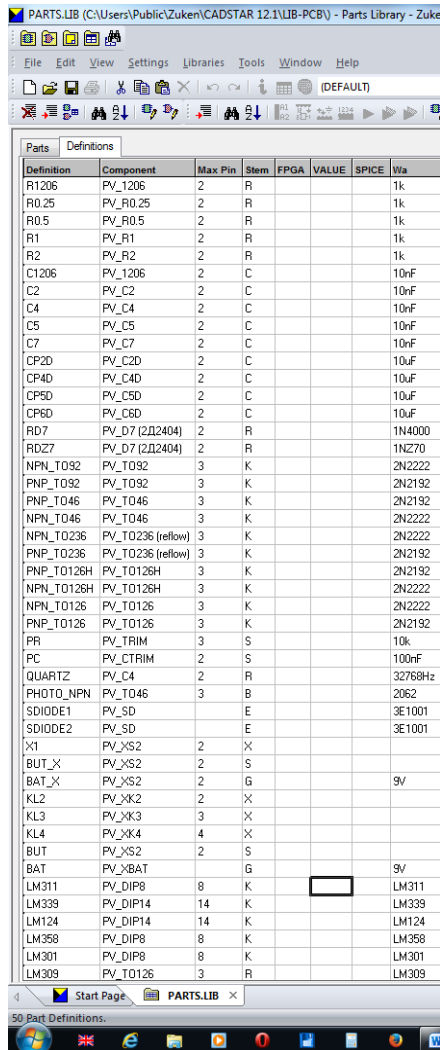


фиг.3 Библиотека с части - меню Parts

От меню Component (виж фиг. 5) се задава корпуса на компонента, броя изводи и буквеното означение.

От меню Symbols (виж фиг. 6) се задава, че интегралната схема съдържа четири графични символа (A, B, C и D) със съответното име от библиотеката с графичните символи с по три извода.

От меню Pins (виж фиг. 7) се дефинират всички изводи на интегралната схема. В колонна Signal е зададено, че 4 краче на интегралната схема трябва автоматично да се свърже към сигнал за захранване, а 11 краче да се свърже към „маса“.



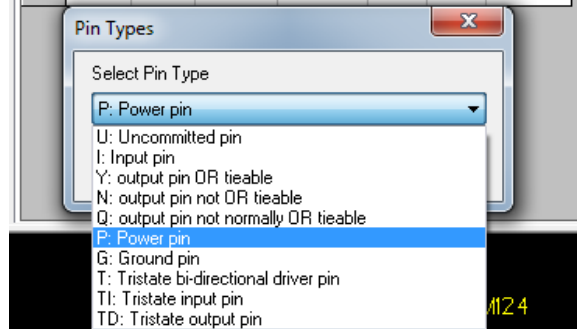
фиг.4 Библиотека с части - меню Definitions

Gate	Symbol Name	Terminals
A	PV_LM124	3
B	PV_LM124	3
C	PV_LM124	3
D	PV_LM124	3

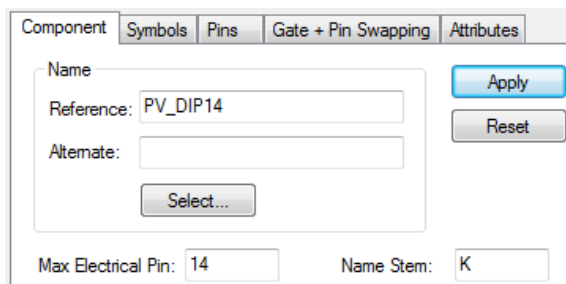
фиг.6 Меню Symbols

Това е много важно, защото в принципната електрическа схема не се показва захранването на интегралните схеми и ако тук не е направено, то интегралната схема ще остане без захранване на платката. В колона Terminal се описва всеки извод от четирите графични символа на кое краче на интегралната схема съответства. В колона Type се задава типа на съответния извод. В колона Position се оказва къде да се постави номера спрямо извода в принципната схема.

Pin	Name	Label	Signal	Terminal	Type	Load	Position
1				A.3			1
2				A.1			0
3				A.2			0
4			PV_VCC		P		0
5				B.2			0
6				B.1			0
7				B.3			1
8				C.3			1
9				C.1			0
10				C.2			0
11			PV_GND		G		0
12				D.2			0
13				D.1			0
14				D.3			1



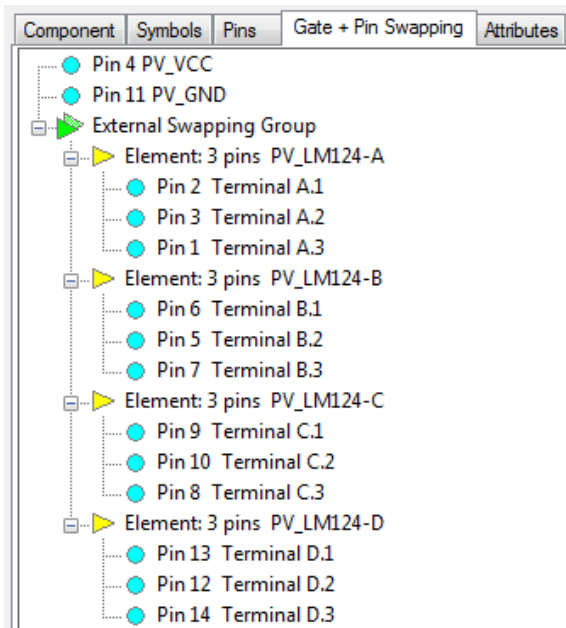
фиг.7 Меню Pins



фиг.5 Меню Component

Меню Gate + Pin Swapping (виж фиг. 8) илюстрира нагледно всички дефиниции, които сме задали в меню Pins.

В меню Attributes (виж. фиг. 9) се задава каква стойност или сигнатура да се записва до съответния графичен символ.



фиг.8 Меню Gate + Pin Swapping

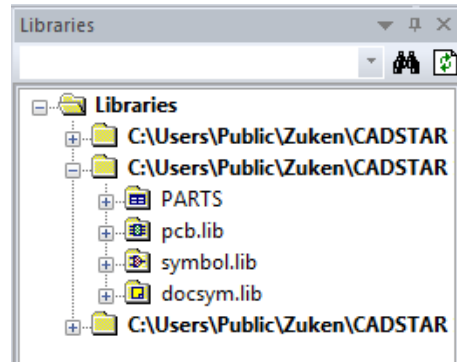
Attribute	Text	Read Only	Type
Wa	LM124	No	Symbol

фиг.9 Меню Attributes

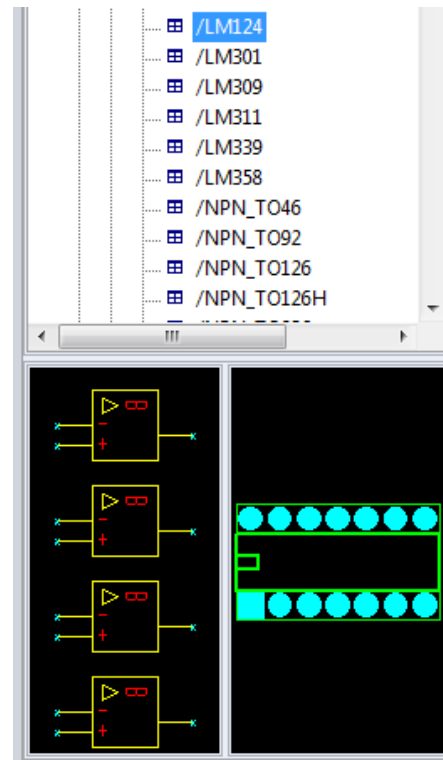
#### 4. РАБОТА С БИБЛИОТЕКИТЕ

За да се ползват разработените библиотеки е необходимо първо да се копират в папка Library на CADSTAR, а след това да се добавят чрез меню Tools>Options>Library Paths. Когато библиотеките са добавени коректно трябва да се видят в меню Libraries (виж фиг. 10).

При натискане на „+“ пред всяка библиотека тя се отваря и след селектиране на конкретен компонент долу в превюто се виждат съответните графичен символ и корпус (виж. фиг. 11). Това е гаранция, че библиотеките са правилно инсталирани и може да се започне работа.



фиг.10 Меню Libraries



фиг.11 Инсталирани библиотеки

#### 5. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В настоящата статия са разработени комплект библиотеки за CADSTAR, които се ползват от студентите по дисциплината „Основи на инженерното проектиране“, както в компютърните зали на катедра „ОТСК“, така и на личните си компютри при инсталирана свободна версия на програмата. Ползването на библиотеките значи-

телно улеснява работата и дава възможност на студентите да се съсредоточат върху конструкторския елемент на задачата.

**Литература**

1. Ганева Н., Лепаров М., Станчев Г. Основи на инженерното проектиране – ръководство за упражнения. София, Софттрейд, 2013, 119 с., 151 с.

2. Лепаров М., Вичева М., Георгиев М. Основи на инженерното проектиране. София, Софттрейд, 2008, 277 с.

3. CADSTAR, Version 12.1, Help. Посетен на 05.09.2014г.

**DEVELOPING OF LIBRARIES WITH STANDARDIZED COMPONENTS FOR CADSTAR, WHICH ARE USED IN LEARNING PROCESS FOR THE COURSE “BASIC ENGINEERING”**

**Georgi STANCHEV**

Department “Fundamentals and Technical Means of Design”, Technical University-Sofia, Bulgaria  
e-mail: [gstanchev@tu-sofia.bg](mailto:gstanchev@tu-sofia.bg)

**Abstract:** This article describes the organization of the libraries in the program CADSTAR, as the essence of the four types: Schematic Symbols Library, PCB Component Library, Parts Library и Documentation Symbols Library is explained. A set of libraries have been developed, which are used actively by students in the performance of the individual task "Design of electronic device.". Using libraries significantly facilitates and allows the students to focus on the construction element of the task. The construction of the Parts Library is thoroughly explained, showing the ideology of work and build libraries for CAD systems to design electronic circuits.

**Keywords:** CADSTAR, PCB, Libraries, Graphic Symbols, Standards