

Българско списание за Инженерно ПРОЕКТИРАНЕ

брой №35, януари 2018г.

ЦЕЛ И ОБХВАТ

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

РЕДАКЦИОННА КОЛЕГИЯ

Председател

Б. Григоров, ТУ-София, България

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

Редактор

Р.Митрев, ТУ-София, България

Издател: Машиностроителен факултет, Технически университет-София. ISSN 1313-7530; **Адрес на редакцията:** София, бул.Климент Охридски №8, Технически Университет-София, бл.4, Машиностроителен факултет; **Електронна версия:** bjed.tu-sofia.bg.
Списанието се индексирва в Index Copernicus: www.indexcopernicus.com
Всички статии в списанието се рецензират от членове на редакционната колегия и външни специалисти.

Bulgarian journal for **Engineering Design**

issue №35, January 2018

AIM AND SCOPE

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

EDITORIAL BOARD

Chairman

B.Grigorov, TU-Sofia, Bulgaria

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

Editor

R.Mitrev, TU-Sofia, Bulgaria

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

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

All papers are reviewed by the members of Editorial Board and by external specialists.

Съдържание:

Избор на оптимален размерен ред на изделие „Гъвкав кабел“	5
И.Малаков, В.Ценов	
Анализ на чувствителността на оптималния размерен ред на изделие „гъвкав кабел“	15
И. Малаков, В.Захаринов, В.Ценов	
Interfacing Autodesk Inventor with external hardware	27
К.Методиев	
Концептуален модел на обектно-ориентирана библиотека от механични компоненти	33
П.Горанов, Е.Тодорова, Д.Георгиева	
Дескриптивно-геометрично решение на комбинирана задача за позициониране и ориентация	39
Л.Кочев	
Номенклатура – характеристика и избор относно номенклатурата на продуктите в логистична система за производство на преформи за бутилки и флакони	47
С. Тошкова, Н. Казаков	
Optimization of harmful emissions from factories in the environmental zones of the industrial region	53
A. Stenin, E. Melkumian, S. Stenin, O. Mizov	
Синтез на параметрите на задвижващите механизми на хидравличен багер	57
Р.Митрев	
Дискретен модел на Ойлерова задача за устойчивост при осово натоварване	67
Л.Кочев	
Класификация на медицински изделия чрез подправила	73
В.Арсов	
Анализ на консумацията на напитки и определяне на необходимите количества готова продукция за 24 часа производствен цикъл при непрекъснат производствен цикъл	73
С. Тошкова	

Българско списание за инженерно проектиране, брой 35, януари 2018г.
Bulgarian Journal for Engineering Design, issue 35, January 2018

ИЗБОР НА ОПТИМАЛЕН РАЗМЕРЕН РЕД НА ИЗДЕЛИЕ „ГЪВКАВ КАБЕЛ”

Иво МАЛАКОВ Велислав ЦЕНОВ

катедра „Автоматизация на дискретното производство”, Технически университет - София, България
e-mail: ikm@tu-sofia.bg, e-mail: velislav_t@mail.bg

Резюме: Настоящата статия представя резултатите от апробирането на един възможен подход за избор на оптимален размерен ред на технически изделия, приложен за изделие „Гъвкав кабел”. Обектът е особено подходящ за оптимизация на размерния ред, тъй като се произвежда в относително големи серии и целесъобразното намаляване на разнообразието от типоразмери ще доведе до значителен ефект.

Ключови думи: размерни редове, оптимизация, гъвкав кабел, приложен софтуер, математически модел, динамично програмиране

1. ВЪВЕДЕНИЕ

Значителна част от масовите изделия в машиностроенето, електрониката, електротехниката, автомобилостроенето и др. отрасли се произвеждат в размерни (параметрични) редове [3,4,7,8]. За тяхното проектиране, производство и експлоатация са необходими значителни инвестиции, чиято ефективност зависи в голяма степен от елементите, които изграждат размерните редове [1]. Ето защо постигането на добри икономически резултати както за производителите, така и за потребителите, налага прецизно и научнообосновано определяне на включените в размерните редове елементи и стойностите на главните им параметри, т.е. решаване на задачата за избор на оптимален размерен ред, който при минимални разходи и/или максимална ефективност (печалба) в сферата на производство и експлоатация, да удовлетворява напълно зададени потребности от определен вид изделия по отношение на количеството [2,3,4]. Тази задача придобива особена актуалност в съвременните условия на засилена конкуренция, породена от глобализацията на световната икономика, тъй като предопределя в значителна степен пазарния успех на произвежданите изделия.

Обект на разглеждане е размерен ред на изделието „Гъвкав кабел” (фиг. 1). То служи за осъществяване на връзка между високотемпературен сензор и електронното изчислително устройство на автомобил. Тъй като

изделието се вгражда в различни модели леки и товарни автомобили съществува голямо разнообразие от стойности на неговия главен параметър – дължината на проводника. Обектът е особено подходящ за оптимизация на размерния ред, тъй като се произвежда в големи серии и целесъобразното намаляване на разнообразието от типоразмери ще доведе до значителен ефект.

Целта на статията е да покаже резултатите от оптимизацията на размерен ред на изделието „Гъвкав кабел”.



фиг.1 Обект на изследване – „Гъвкав кабел”

2. ОПТИМИЗАЦИЯ НА РАЗМЕРНИЯ РЕД

Изборът на оптимален размерен ред се извършва в следната последователност [5,6]:

Етап 1. Избор на основни параметри.

Етап 2. Определяне на потребностите.

Етап 3. Избор на критерий за оптималност.

Етап 4. Определяне на функционалната зависимост между критерия за оптималност и влияещите фактори.

Етап 5. Построяване на математически модел.

Етап 6. Избор на математически метод.

Етап 7. Алгоритмично и програмно осигуряване.

Етап 8. Изследване на чувствителност на целевата функция.

Етап 9. Решаване на задачата, т.е. определяне на елементите (типоразмерите) в оптималния ред и съответните им потребности.

2.1 Етап 1. Избор на главни параметри

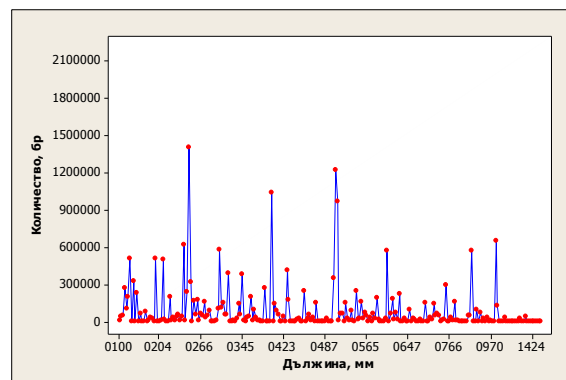
Целесъобразното определяне на съвкупността от главни параметри, по които ще се извършва оптимизацията, предопределя в значителна степен ефективността на размерните редове. От избора на параметри зависи и сложността и трудоемкостта на решаваната оптимизационна задача.

За разглежданото изделие е избран един главен параметър \bar{x}_m – дължината на проводника, тъй като той определя най-важните експлоатационни (функционални) показатели на изделието, притежава стабилност и не зависи от техническите усъвършенствания и технологията за производство.

2.2 Етап 2. Определяне на потребностите

За определяне на потребностите от изделия са използвани данни, получени от извършени продажби и клиентски запитвания. С отчитане на перспективите за развитие на пазара и след обработване на събраната информация са определени потребностите от изделия в зависимост от тяхната дължина. Резултатите са показани на фиг. 2. По абцисата са нанесени стойностите на главния параметър на изделието – дължината, а по ординатата съответното количество. Броят на видовете елементи

(типоразмери) в изходния размерен ред, определен след проучване на пазара, е $\bar{M} = 245$ (Таблица 1, Вариант S0). Стойностите на дължината \bar{x}_m , $m = 1 \div \bar{M}$, са произволни числа в диапазона на изменение на величината $\bar{x}_m = 100 \div 1830$ mm.

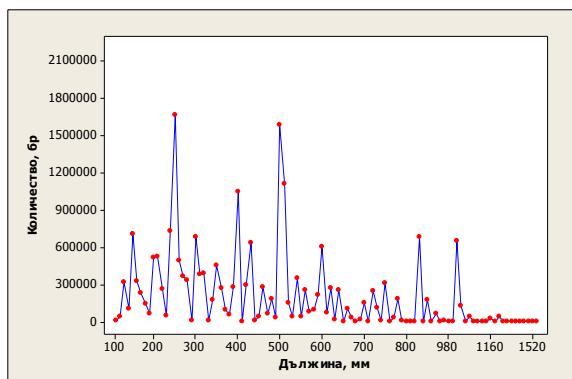


фиг.2 Потребности от изделия в резултат от проучване на пазара

За намаляване на многообразието на произвежданите изделия, е прието, че дължината се променя с равномерна стъпка от 5, 10 или 20 mm. По този начин диапазонът на изменение на главния параметър се разделя на поддиапазони (полета), във всеки от които попадат определен брой заявки (потребности), чиито стойности на главния параметър се определят от границите на съответното поле. Извършено е обединение на заявките във всяко поле и са определени потребностите от изделия с новите унифицирани стойности на главния параметър. Броят \bar{M} на елементите (типоразмерите) в размерните редове, определен след унификация на главния параметър в зависимост от стъпката са показани в Таблица 1.

табл.1 Брой на видовете елементи в изходните размерни редове

Вариант	Стъпка, mm	\bar{M} , бр.
S0	променлива	245
S1	5	162
S2	10	101
S3	20	58



фиг.3 Потребности от изделия при стъпка от 10 mm

На фиг. 3 са показани потребностите от изделия, за които дължината се променя с равномерна стъпка от 10 mm (Вариант S2 на Таблица 1).

Следва да се отбележи, че извършеното редуциране на номенклатурата на изделията чрез въведеното изискване за дължината на проводника с определена стъпка, води до допълнителни разходи за производителя и потребителите. Това ще се отчете, като при решаване на задачата се избере този изходен ред, който осигурява оптимална стойност на избрания критерий за ефективност с отчитане на допълнителните разходи от унификацията на размерите.

2.3 Етап 3. Избор на критерий за оптималност

За решаване на задачата, като критерий за оптималност се предлага да се използват общите разходи за реда, които трябва да се минимизират. Те включват разходите за производство (технологичната себестойност) и допълнителните разходи в сферата на потребление, отчитащи несъответствието между необходимите и предлаганите дължини на изделието. Втората група разходи се извършават от потребителите за напасване на изделието при монтаж, например поставяне на допълнителни скоби за укрепване на кабела, промяна на маршрута на кабела, допълнителна защита от въздействието на околната среда и др.

Следователно избраният критерий за оценка на алтернативните размерни редове и за избор на оптимален ред има вида:

$$R = \sum_{l=1}^L TS(x^l) \cdot N^l \cdot \left(\frac{N_{TS}}{N^l} \right)^{v_1} + \sum_{l=1}^L \sum_{u \in U^l} DR(\Delta x^l, N^u) \cdot \left(\frac{N_{DR}}{N^u} \right)^{v_2}, \quad (1)$$

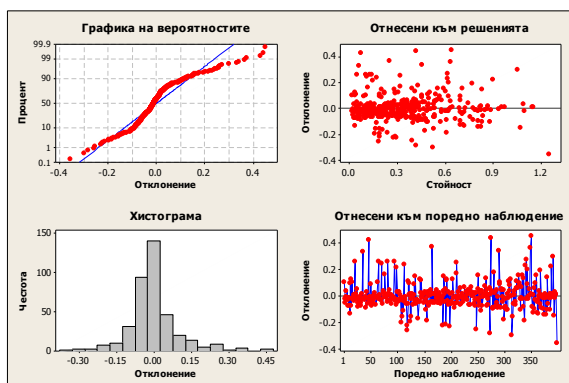
където R са общите разходи за всички елементи в реда; L - броят на елементите в анализирания ред; x^l - стойността на главния параметър (дължината на проводника) на l -ия типоразмер в текущия ред; $TS(x^l)$ - разходите за производство (технологичната себестойност) на l -ия типоразмер; N^l - количеството (броят) от l -ия типоразмер изделие;

$\sum_{u \in U^l} DR(\Delta x_u^l, N^u) \cdot \left(\frac{N_{DR}}{N^u} \right)^{v_2}$ - допълнителните разходи от несъответствие между търсене и предлагане за l -ия типоразмер в текущия ред, който замества типоразмерите x^u , $u \in U^l$, елементи на изходния размерен ред; U^l - множеството от индекси на елементи в изходния размерен ред, които се заместват от l -ия типоразмер в текущия ред; N^u - количеството (броят) на u -ия типоразмер изделия, $u \in U^l$, елементи на изходния размерен ред; $\Delta x_u^l = x^l - x^u$ - разликата в дължините на съответните типоразмери; v_1 , v_2 - коефициентите, характеризиращи интензивността на изменение на разходите в зависимост от изменението на производствената програма, отчитащи „скоростта на обучение“ [4]; N_{TS} , N_{DR} - коефициентите, отчитащи мащабния фактор на производството.

2.4 Етап 4. Определяне на функционалната зависимост между критерия за оптималност и влияещите фактори

Определянето на функционалната зависимост между критерия за оптималност и влияещите фактори (параметри, коефициенти) се извършва

на основата на анализ на производството, данни за технологичната себестойност и за допълнителните разходи от внедряване на изделието „Гъвкав кабел“. За обработка на информацията е използван програмния продукт “MiniTab”.



фиг.4 Резултати от регресионен анализ

На фиг. 4 **Error! Reference source not found.** са показани резултатите от регресионния анализ за определяне на зависимостта между технологичната себестойност и дължината x^l на изделието. Тя има вида:

$$TS(x^l) = a + b \cdot x^l, \quad (2)$$

където $a = 0,69681325$, $b = 0,000797$.

От анализ на производството са определени коефициентите (параметрите) N_{TS} и v_1 , като:

$$N_{TS} = 100, v_1 = 0,27 \quad (3)$$

Зависимостта $DR(\Delta x_u^l, N^u)$ и коефициентите (параметрите) N_{DR} и v_2 са получени от клиенти, внедряващи изделието:

$$N_{DR} = 1000, v_2 = 0,32 \quad (4)$$

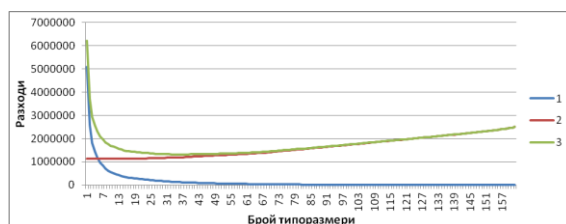
$$DR(\Delta x_u^l, N^u) = (c + d \cdot \Delta x_u^l) \cdot N^u, \quad (5)$$

където $c = 0,05135699$, $d = 0,0000175$.

След заместване на (2), (3), (4) и (5) в (1) се получава зависимостта за определяне на общите разходи, която има вида:

$$R = \sum_{l=1}^L (0,69681325 + 0,000797 x^l) N^l \left(\frac{100}{N^l}\right)^{0,27} + \sum_{l=1}^L \sum_{m \in M^l} (0,05135699 + 0,0000175 \Delta x_m^l) N^m \left(\frac{1000}{N^m}\right)^{0,32} \quad (6)$$

На фиг. 5 е показано изменението на общите (сумарните) разходи (крива 3) и на двете компоненти включени в тях, като кривата 2 на технологичната себестойност е получена при $c = 0$ и $d = 0$, а кривата 1 на допълнителните разходи при $a = 0$ и $b = 0$.



фиг.5 Изменение на разходите, където: 1 – допълнителни разходи; 2 – разходи за производство; 3 – сумарни разходи

Както се вижда от фигурата, целевата функция (крива 3) е непрекъсната изпъкнала функция и има един глобален минимум. Това свойство ще се използва при определяне на условието за спиране на изчисленията съгласно избран метод за оптимизация.

2.5 Etan 5. Построяване на математически модел

Математическият модел на задачата за избор на оптимален размерен ред има вида:

Да се намерят L^* , $Z^* = \{x^{*1}, x^{*2}, \dots, x^{*l}, \dots, x^{*L}\}$, $N^{*1}, N^{*2}, \dots, N^{*l}, \dots, N^{*L}$, така че избраният критерий за ефективност (оптималност) да има минимална стойност:

$$\begin{aligned} \min R &= R(L, x^1, \dots, x^l, \dots, x^L, N^1, \dots, N^l, \dots, N^L) = \\ &= \sum_{l=1}^L G(x^l, N^l) = \sum_{l=1}^L TS(x^l) \cdot N^l \cdot \left(\frac{N_{TS}}{N^l}\right)^{v_1} + \\ &\quad + \sum_{l=1}^L \sum_{u \in U^l} DR(\Delta x^l, N^u) \cdot \left(\frac{N_{DR}}{N^u}\right)^{v_2} \end{aligned} \quad (7)$$

при следните условия:

$$x^{*l} \in \bar{X} = \{\bar{x}_1, \bar{x}_2, \dots, \bar{x}_m, \dots, \bar{x}_{\bar{M}}\}, l = 1 \div L^* \quad (8)$$

$$x^{*L^*} = \bar{x}_{\bar{M}} \quad (9)$$

$$\sum_{l=1}^{L^*} N^{*l} = \sum_{m=1}^{\bar{M}} N_m = N_0, \quad (10)$$

$$x^{*l} - x^{*(l-1)} \leq D, l = 2 \div L^*, \quad (11)$$

където L^* е броят на типоразмерите в оптималния размерен ред $Z^* = \{x^{*1}, x^{*2}, \dots, x^{*l}, \dots, x^{*L^*}\}$, $L^* \leq \bar{M}$; \bar{M} - броят на елементите в изходния размерен ред $\bar{X} = \{\bar{x}_1, \bar{x}_2, \dots, \bar{x}_m, \dots, \bar{x}_{\bar{M}}\}$; Z^* - множеството от типоразмери в оптималния размерен ред; N^{*l} - броят на изделията от l -ия типоразмер в оптималния параметричен ред; N_0 - общото количество на потребностите от изделия; N_m - потребностите от изделието \bar{x}_m , $m = 1 \div \bar{M}$, което е елемент на изходния размерен ред $\bar{X} = \{\bar{x}_1, \bar{x}_2, \dots, \bar{x}_m, \dots, \bar{x}_{\bar{M}}\}$; D - диапазонът на приложимост, т.е. максимално допустимото отклонение на главния параметър на два последователни елемента (типоразмера) в оптималния размерен ред.

Стойностите на N_m , $m = 1 \div \bar{M}$, се задават таблично и са определени в *Етап 1*.

Условие (8) означава, че елементите на оптималния размерен ред се избират от множеството на допустими (унифицирани) стойности за главния параметър; условие (9) означава, че в оптималния размерен ред Z^* задължително е включен елементът $\bar{x}_{\bar{M}}$ с максимална стойност на главния параметър; условие (10) означава, че оптималният размерен ред трябва да удовлетворява всички потребности по отношение на количеството, а условие (11) описва наличието на ограничения (препоръки, условия) върху приложимостта на типоразмерите при удовлетворяване на полетата с потребности от технически изделия.

2.6 Етап 6. Избор на математически метод

Формулираната задача принадлежи към класа задачи на дискретното програмиране. По своя

характер тя се отнася към задачите за разпределение, но се различава от тях с наличието на променлив брой и нефиксирани стойности на аргументите, което усложнява нейното решение. Освен това задачата се характеризира с голям брой на възможните размерни редове, които трябва да се анализират [5,6]. Това води до значителни по обем изчислителни процедури и налага използването на метод за насочено търсене на оптималното решение. В Таблица 2 са посочени броят на възможните размерни редове при различните варианти на изходните размерни редове без отчитане на условие (11). Този брой се определя от зависимостта $\sum_{k=1}^{\bar{M}-1} C_{\bar{M}-1}^k = 2^{\bar{M}-1} - 1$, където k е броят на елементите в реда, образуван от елементи на изходния размерен ред с \bar{M} елемента [2].

табл.2 Брой на възможните размерни редове

Вариант	S0	S1	S2	S3
Брой елементи \bar{M}	245	162	101	58
Брой възможни размерни редове	$2^{244} - 1 \approx 2 \cdot 10^{73}$	$2^{161} - 1 \approx 2 \cdot 10^{48}$	$2^{100} - 1 \approx 1 \cdot 10^{30}$	$2^{57} - 1 \approx 1 \cdot 10^{17}$

Един от ефективните методи за решаване на този клас задачи е методът на динамичното програмиране. Методът се основава на принципа за оптималност на американския математик Р. Белман, който гласи: *“оптималната стратегия притежава свойството, че каквото и да е първоначалното състояние на разглежданата система и решението на първия етап, следващите решения (решенията на отделните етапи) трябва да съставят оптимална стратегия относно състоянието, получено в резултат на първото решение”*.

На базата на този принцип е получена следната рекурентна зависимост за определяне на сумарните разходи без отчитане на ограничително условие (11):

$$R_m^l = \min \left\{ R_{m'}^{l-1} + G(\bar{x}_m, \sum_{p=1}^m N_p) \right\}, \quad (12)$$

$$l = 1 \div \bar{M}, \quad m = 1 \div \bar{M},$$

$$m' = (l - 1) \div (m - 1),$$

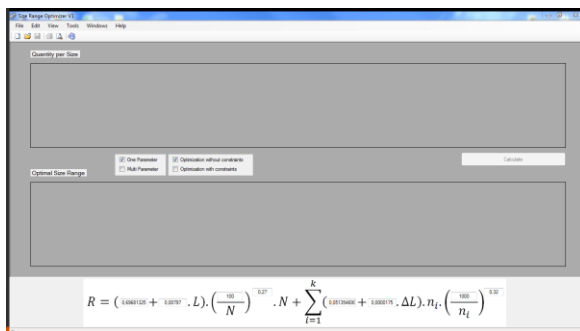
където R_m^l са минималните сумарни разходи за удовлетворяване на потребностите от изделия със стойност на главния параметър \bar{x}_m с l на брой типоразмера.

Тъй като целевата функция е непрекъсната изпъкнала функция и има един глобален минимум пресмятането на R_m^l , $l = 1 \div \bar{M}$, продължава, докато бъде изпълнено условието:

$$R_M^l \leq R_M^{l+1} \quad (13)$$

2.7 Еман 7. Алгоритмично и програмно осигуряване

Разработен е алгоритъм за решаване на задачата, който е реализиран програмно. На фиг. 6 е показан основния екран на приложния софтуер „Size Range Optimizer”.



фиг.6 Главен диалогов екран на приложния софтуер „Size Range Optimizer”

2.8 Еман 8. Изследване на чувствителност на целевата функция

Извършено е изследване и анализ на чувствителността на избраната целева функция. Основната цел е да се определи влиянието на отделните компоненти и коефициенти върху решението на оптимизационната задача и да се определят най-важните, за които следва да се събере възможно най-точна информация. Това

ще позволи за определяне на стойностите на останалите фактори да се изразходват по-малко ресурси.

За целта са проведени числени експерименти, представляващи решаване на задачата при различни стойности на основните коефициенти и компоненти, които са включени в целевата функция и математическия модел.

Изследванията на чувствителност включват следните експерименти:

- A. Промяна на функцията на потребностите.
- B. Промяна на производствената програма.
- C. Промяна на компонента $TS(x^l) = a + b \cdot x^l$, изразяващ производствените разходи за изделието;
- D. Промяна на компонента $DR(\Delta x_u^l, N^u)$, изразяващ допълнителните разходи за внедряване на изделието, произтичащи от несъответствието между търсене и предлагане;
- E. Промяна на коефициента N_{TS} , отчитащ мащабния фактор на производство на изделието;
- F. Промяна на коефициента N_{DR} , отчитащ мащабния фактор на внедряване на изделието;
- G. Промяна на коефициента v_1 , отчитащ скоростта на „обучение“ при производство на изделието;
- H. Промяна на коефициента v_2 , отчитащ скоростта на „обучение“ при внедряване на изделието;

Подробните резултати от анализа на чувствителност на целевата функция ще бъдат обект на следваща публикация.

2.9 Еман 9. Решаване на задачата

С помощта на разработения програмен продукт е решена задачата (7) – (11) за всички варианти на изходния размерен ред, описани в Таблица 1, като $D = 20$ mm. Обобщените резултати са показани в Таблица 3, където: R^* са минималните (оптималните) сумарни разходи; L^* - броят елементи в оптималния размерен ред; R_M^l - сумарните разходи за ред от един типоразмер (най-големия в изходния размерен

ред); $R_M^{\bar{}}$ - сумарните разходи за реда, включващ всички възможни типоразмери, т.е за изходния размерен ред.

табл.3 Резултати от оптимизацията при различни варианти на унификация

	S0	S1	S2	S3
R^*	2 447 495,49	2 254 640,15	2 016 183,91	1 770 947,43
L^*	136	90	55	26
R_M^l	9 052 887,71	6 730 361,64	4 916 494,38	3 563 559,05
$R_M^{\bar{}}$	2 673 724,14	2 507 638,29	2 298 366,90	2 070 107,38

Както бе отбелязано по-горе, въвеждането на унифицирани стойности за главния параметър на изделието генерира допълнителни разходи както за производителя, така и за потребителите, тъй като всяко от изделията попадащо в определен диапазон (поле) на главния параметър се заместват от най-близкото по-голямо изделие. На основата на информация от производители и потребители е определена следната зависимост за допълнителните разходи от унификация DU за размерния ред:

$$DU = \sum_{l=1}^L \sum_{m \in M^l} 0,000797 \cdot \Delta x_m^l \cdot N^m \cdot K + \sum_{l=1}^L \sum_{m \in M^l} 0,0000175 \cdot \Delta x_m^l \cdot N^m \cdot \left(\frac{1000}{N^m} \right)^{0,32}, \quad (14)$$

където $0,000797 \cdot \Delta x_m^l \cdot N^m \cdot K$ са допълнителните разходи за производителя в резултат на увеличената дължина на проводника, който се влага в изделието; K - коефициентът, отчитащ намаляването на цената на проводника в резултат от увеличеното потребление; $0,0000175 \cdot \Delta x_m^l \cdot N^m$ - допълнителните разходи за потребителя от разликата между необходимата стойност на главния параметър и предлаганата от производителя унифицирана стойност.

Изчислени са допълнителните разходи DU при различните варианти S0, S1, S2 и S3 за унифициране на дължината на проводника, които са добавени към съответните стойности на

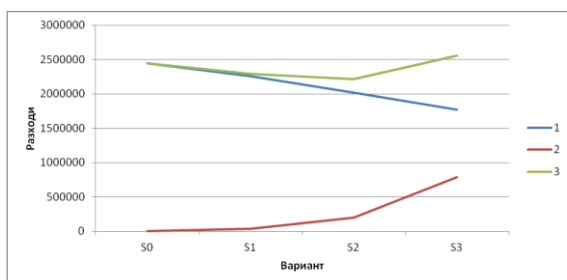
минималните сумарните разходи R^* от Таблица 2. Получените резултати са показани в Таблица 4 и фиг. 7.

В Таблица 4 са определени и съответните стойности на сумарните разходи за размерен ред от един типоразмер (най-големия) $R_M^l + DU$ и сумарните разходи за ред, включващ всички възможни типоразмери от изходния ред $R_M^{\bar{}} + DU$, увеличени със съответните допълнителни разходи от унификация DU . Определено е и относителното намаляване на сумарните разходи за оптималните размерни редове в сравнение с разходите за редове, включващи един $(R_M^l - R^*) / (R_M^l + DU)$ или всички възможни типоразмери $(R_M^{\bar{}} - R^*) / (R_M^{\bar{}} + DU)$.

табл.4 Отчитане на допълнителните разходи от унификация

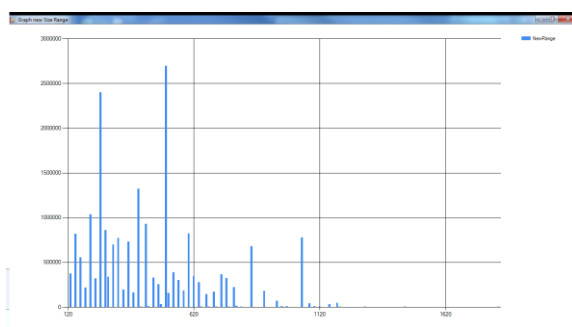
	S0	S1	S2	S3
K	1	0,98	0,94	0,90
DU	0	39 227,27	198 864,30	789 370,20
$R^* + DU$	2 447 495,49	2 293 867,43	2 215 048,22	2 560 317,64
$R_M^l + DU$	9 052 887,71	6 769 588,91	5 115 358,68	4 352 929,25
$R_M^{\bar{}} + DU$	2 673 724,14	2 546 865,57	2 497 231,21	2 859 477,59
$\frac{R_M^l - R^*}{R_M^l + DU}$	72,96 %	66,11 %	56,69 %	41,12 %
$\frac{R_M^{\bar{}} - R^*}{R_M^{\bar{}} + DU}$	8,46 %	9,93 %	11,29 %	10,46 %

Окончателното решение на задачата се получава от изходен размерен (параметричен) ред Вариант S2, тъй като за него сумата от минималните сумарни разходи и допълнителните разходи от унификация имат минимална стойност $R^* + DU = 2 215 048,22$ в сравнение с останалите варианти на изходни редове (фиг. 7).

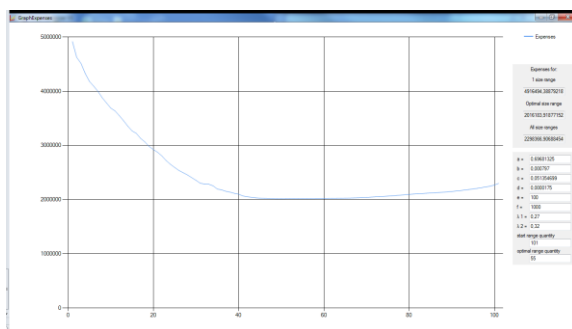


фиг.7 Разходи при различни варианти на изходните редове, където: 1 - минималните сумарни разходи R^* ; 2 - допълнителните разходи от унификация DU ; 3 – общите разходи $R^* + DU$

На фиг. 8 са показани производствените програми на елементите от оптималния размерен ред, а на фиг. 9 - кривата на сумарните разходи, определени в процеса на решаване на задачата.



фиг.8 Производствена програма на типоразмерите от оптималния размерен ред



фиг.9 Крива на сумарните разходи

Намереният оптимален размерен ред на изделие „Гъвкав кабел” се характеризира с:

- намаляване на броя на типоразмерите от 101 на 55, т.е. с 45,5% (Таблица 3) в сравнение с изходния размерен ред;
- намаляване на сумарните разходи в сравнение с реда, включващ всички възможни типоразмери с 282 182,99, т.е. с 11,29% (Таблица 4);
- намаляване на сумарните разходи в сравнение с реда, включващ един типоразмер с 2 900 310,46, т.е. с 56,69% (Таблица 4).

4. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В настоящата разработка е апробиран подход за оптимизация на размерни редове на технически изделия върху примера на изделие от индустрията, като са постигнати следните по-важни резултати:

- Определени са потребностите от изделие „Гъвкав кабел” в зависимост от неговата дължина.
- Разработен е математически модел на задачата за избор на оптимален размерен ред на техническо изделие при наличие на ограничения върху приложимостта на елементите на размерния ред.
- Изведена е аналитичната зависимост за критерия за оптималност „сумарни разходи“, включващ технологичната себестойност и допълнителните разходи в сферата на потребление от несъответствие между търсене и предлагане.
- Определена е функционалната зависимост между сумарните разходи и влияещите параметри чрез регресионен анализ на данни от индустрията.
- Изведено е рекурентно отношение за изчисляване на сумарните разходи на базата на принципа за оптималност на Белман и е предложено условие за спиране на процеса на тяхното пресмятане.
- Предложена е зависимост за определяне на допълнителните разходи от унификация, които трябва да се вземат под внимание при оптимизация на размерния ред на изделие „Гъвкав кабел”.
- Разработен е софтуерен продукт за решаване на еднопараметрични задачи за избор

на оптимални размерни редове, позволяващ отчитане на приложимостта на елементите им.

- Изследвано е влиянието на унификацията на главния параметър на изделието върху избора на оптимален размерен ред.

- Определен е оптималният размерен ред на изделие „Гъвкав кабел” при наличие на предварително зададени граници на приложимост на елементите на реда.

Литература

1. Гановски В.С., Бояджиев И.К., Нешков Т.Д., Цветков Ц.Л. Механизация и автоматизация на монтажните процеси в машиностроенето. София, Техника, 1986.
2. Дашенко А.И., Белоусов А.П. Проектирование автоматических линий. Москва, Высшая школа, 1983.
3. Димов Ю. Метрология, стандартизация и сертификация. Издателство „Питер”, Санкт-Петербург, 2013.

4. Кац Г.Б., Ковалев А.П. Технико-экономический анализ и оптимизация конструкций машин. Москва, Машиностроение, 1981.

5. Малаков, И. Оптимизация на параметрични редове на технически изделия. В кн. Комплексна автоматизация на дискретното производство, ISBN 978-619-167-153-3, Издателство на ТУ – София, София, 2015, с. 25-48.

6. Malakov I., Zaharinov V., Tzenov V. Size ranges optimization. Elsevier, Procedia Engineering, Volume 100, 2015, pp 791-800.

7. Lotz J., Freund T., Würtenberger J., Kloberdanz H. Principles to develop size ranges of products with ergonomic requirements, using a robust design approach. 6th International Conference on Applied Human Factors and Ergonomics (AHFE 2015) and the Affiliated Conferences, 2015, pp.1250-1257.

8. Pahl G., Beitz W. Konstruktionslehre. Methoden und Anwendung. Berlin/Heidelberg, Springer-Verlag, 2007.

CHOOSING OF AN OPTIMAL SIZE RANGE FOR THE PRODUCT “FLEXIBLE CABLE”

Ivo MALAKOV Velislav TZENOV

Department “Automation of discrete production”, Technical University-Sofia, Bulgaria

e-mail: ikm@tu-sofia.bg, e-mail: velislav_t@mail.bg

Abstract: The current development presents the results from the approbation of a possible approach for choosing an optimal size range of technical products. It is applied for the product “Flexible cable”. The object is particularly suitable for size range optimization as it is produced in relatively large series, and the expedient decreasing of sizes will lead to a considerable effect.

Keywords: size ranges, optimization, flexible cable, software application, mathematical model, dynamic programming

АНАЛИЗ НА ЧУВСТВИТЕЛНОСТТА НА ОПТИМАЛНИЯ РАЗМЕРЕН РЕД НА ИЗДЕЛИЕ „ГЪВКАВ КАБЕЛ”

Иво МАЛАКОВ¹ Велизар ЗАХАРИНОВ² Велислав ЦЕНОВ³

¹катедра „Автоматизация на дискретното производство”, Технически университет - София, България
e-mail: ikm@tu-sofia.bg

²катедра „Автоматизация на дискретното производство”, Технически университет - София, България
e-mail: vzaharinov@tu-sofia.bg

³катедра „Автоматизация на дискретното производство”, Технически университет - София, България
e-mail: velislav_t@mail.bg

Резюме: Настоящата работа представя резултатите от извършено изследване на чувствителност на решението на задача за оптимизация на размерен ред на конкретно изделие „Гъвкав кабел”. За целта оптимизационната задача е решена за различни стойности на избрани параметри на математическия модел, при запазване на останалите параметри, и е определено тяхното влияние върху оптималното решение. Анализът на чувствителността е от съществено значение за практиката и е един от важните етапи на подход за изграждане на оптимални размерни редове.

Ключови думи: анализ на чувствителност, следоптимизационен анализ, размерни редове, оптимизация, гъвкав кабел, математически модел

1. ВЪВЕДЕНИЕ

Изборът на оптимален размерен ред предопределя в значителна степен добрите икономически резултати както за производителите, така и за потребителите на масово произвеждани технически изделия в различни отрасли [2,3,5,10]. Той е свързан с определяне на елементите на такъв размерен ред, който при минимални разходи и/или максимална ефективност (печалба) в сферата на производство и експлоатация, удовлетворява напълно зададени потребности от изделия по отношение на количеството [2,5,7]. Решаването на тази задача е свързано с редица проблеми и трудности, описани в специализираната литература [7,8,10].

Един от основните проблеми произтича от необходимостта да се прогнозира потребностите от изделия с различни стойности на основните им параметри и построи функционалната зависимост между избран критерий/критерии за оптималност и влияещите фактори. Решаването на тези задачи е свързано със събиране и обработване на голям обем разнородна технико-икономическа информация, отнасяща се до връзките на проектирания размерен ред с околната среда през отделните етапи на жизнения му цикъл, и изисква значителни разходи на време и

труд на висококвалифицирани специалисти от различни области – маркетинг, проектиране, производство, експлоатация и др. Тези дейности се извършват в най-ранните етапи на проектиране, характеризиращи се с наличие на неопределеност и непълна информация за част от влияещите фактори, която нараства с увеличаване на сложността на изделието [7,8,9]. Освен това степента на неопределеност може да се повиши допълнително, тъй като определянето на разходите за суровини, материали, енергия, покупни елементи, заплати и др. се извършва в условията на динамично изменяща се вътрешна и международна икономическа обстановка. Като следствие от това създаденият модел може да не отразява напълно реалните условия и оптималното решение на задачата да има приближена стойност [4].

От друга страна за фирмите е от особена важност да се изследват различни възможни ситуации свързани с промяна на търсенето на изделията, производствената програма, разходите, условията на производство, експлоатация и др.

Всичко това обуславя необходимостта да се изследва зависимостта (чувствителността) между оптималното решение и изменението на параметри на задачата (коэффициенти и елементи на целевата функция, потребностите, производствената програма, дясната страна на ограничения в

математическия модел и др.) [1, 11, 13]. За целта един или няколко параметъра се променят в определени граници при запазване на останалите параметри. Анализът на чувствителността на решението (известен още като следоптимален анализ [8]) ще позволи:

- да се определи влиянието на отделните параметри на математическия модел върху решението на оптимизационната задача и да се определят най-важните от тях, за които следва да се събере възможно най-точна информация. Това ще позволи за определяне на стойностите на останалите параметри в модела да се изразходват по-малко ресурси.

- да се получи информация за поведението на решението на задачата при различни ситуации, свързани с изменение на някои елементи на модела – търсене, производствена програма и др.

- да се видоизмени математическия модел с цел адекватно отразяване на реалните условия и др.

Обект на разглеждане е оптималния размерен ред на изделието „Гъвкав кабел” (фиг.1), определен след решаване на задачата чрез предложен подход [5,6,7].

Целта на статията е да покаже резултатите от изследване на чувствителността на решението на задачата за избор на оптимален размерен ред на изделието „Гъвкав кабел”.

2. МАТЕМАТИЧЕСКИ МОДЕЛ

Математическият модел на задачата за избор на оптимален размерен ред има вида [6]:

Да се намерят $L^*, Z^* = \{x^{*1}, x^{*2}, \dots, x^{*l}, \dots, x^{*L^*}\}$, $N^{*1}, N^{*2}, \dots, N^{*l}, \dots, N^{*L^*}$, така че изберият критерий за ефективност (оптималност) да има минимална стойност:

$$\begin{aligned} \min R &= R(L, x^1, \dots, x^L, N^1, \dots, N^L) = \\ &= \sum_l G(x^l, N^l) = \end{aligned} \quad (1)$$

$$\begin{aligned} &= \sum_{l=1}^L TS(x^l) \cdot N^l \cdot \left(\frac{N_{TS}}{N^l}\right)^{V_1} + \\ &+ \sum_{l=1}^L \sum_{u \in U^l} DR(\Delta x^l, N^u) \cdot \left(\frac{N_{DR}}{N^u}\right)^{V_2} \end{aligned}$$



фиг.1 Обект на изследване – „Гъвкав кабел”

при следните условия:

$$x^{*l} \in \bar{X} = \{\bar{x}_1, \bar{x}_2, \dots, \bar{x}_m, \dots, \bar{x}_M\}, \quad l = 1 \div L^*, \quad (2)$$

$$x^{*L^*} = \bar{x}_M, \quad (3)$$

$$\sum_{l=1}^{L^*} N^{*l} = \sum_{m=1}^M N_m = N_0, \quad (4)$$

$$x^{*l} - x^{*(l-1)} \leq D, \quad l = 2 \div L^*, \quad (5)$$

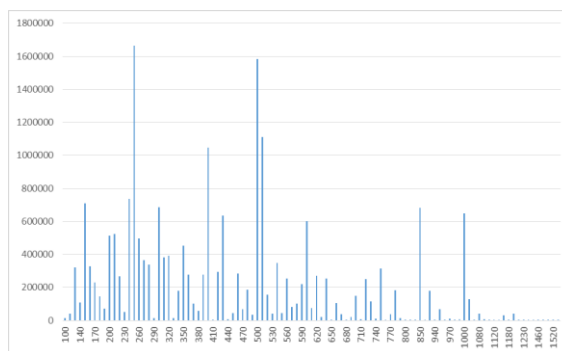
където R са общите разходи за всички елементи в реда; L - броят на елементите в анализирания ред; x^l - стойността на главния параметър (дължината на проводника) на l -ия типоразмер в текущия ред; L^* - броят на типоразмерите в оптималния размерен ред $Z^* = \{x^{*1}, x^{*2}, \dots, x^{*l}, \dots, x^{*L^*}\}$, $L^* \leq \bar{M}$; \bar{M} - бро-

ят на елементите в изходния размерен ред $\bar{X} = \{\bar{x}_1, \bar{x}_2, \dots, \bar{x}_m, \dots, \bar{x}_{\bar{M}}\}$; N^{*l} - броят на изделята от l -ия типоразмер в оптималния параметричен ред; N_0 - общото количество на потребностите от изделия; N_m - потребностите от изделието \bar{x}_m , $m = 1 \div \bar{M}$, което е елемент на изходния размерен ред $\bar{X} = \{\bar{x}_1, \bar{x}_2, \dots, \bar{x}_m, \dots, \bar{x}_{\bar{M}}\}$; D - диапазонът на приложимост, т.е. максимално допустимото отклонение на главния параметър на два последователни елемента (типоразмера) в оптималния размерния ред; $TS(x^l)$ - разходите за производство (технологичната себестойност) на l -ия типоразмер; N^l - количеството (броят) от l -ия типоразмер изделие; $\sum_{u \in U^l} DR(\Delta x_u^l, N^u) \cdot \left(\frac{N_{DR}}{N^u}\right)^{v_2}$ - допълнителните разходи от несъответствие между търсене и предлагане за l -ия типоразмер в текущия ред, който замества типоразмерите x^u , $u \in U^l$, елементи на изходния размерен ред; U^l - множеството от индекси на елементи в изходния размерен ред, които се заместват от l -ия типоразмер в текущия ред; N^u - количеството (броят) на u -ия типоразмер изделия, $u \in U^l$, елементи на изходния размерен ред; $\Delta x_u^l = x^l - x^u$ - разликата в дължините на съответните типоразмери; v_1, v_2 - коефициентите, характеризиращи интензивността на изменение на разходите в зависимост от изменението на производствената програма, отчитащи „скоростта на обучение“; N_{TS}, N_{DR} - коефициентите, отчитащи мащабния фактор на производството.

Условие (2) означава, че елементите на оптималния размерен ред се избират от множеството на допустими (унифицирани) стойности за главния параметър; условие (3) означава, че в оптималния размерен ред Z^* задължително е включен елементът $\bar{x}_{\bar{M}}$ с максимална стойност на главния параметър; условие (4) означава, че оптималният размерен ред трябва да удовлетворява всички потребности по отношение на количеството, а условие (5) описва наличието на ог-

раничения (препоръки, условия) върху приложимостта на типоразмерите при удовлетворяване на полетата с потребности от технически изделия.

Стойностите на N_m , $m = 1 \div \bar{M}$, са определени в резултат на извършено проучване на пазара и са показани на фиг.2. По абсцисата са нанесени стойностите на главния параметър на изделието - дължината, а по ординатата съответното количество. На фиг.2 са показани стойностите на N_m , $m = 1 \div \bar{M}$, определени в резултат на извършено проучване на пазара и унифициране на стойностите на главния параметър, които се променят със стъпка 10. По абсцисата са нанесени стойностите на главния параметър на изделието - дължината, а по ординатата съответното количество. Броят на видовете елементи (типоразмери) в изходния размерен ред е $\bar{M} = 10I$.



фиг.2 Потребности от изделия с унифицирани стойности на дължината

3. РЕШАВАНЕ НА ЗАДАЧАТА - ИЗБОР НА ОПТИМАЛЕН РАЗМЕРЕН РЕД

За избора на оптималния размерен ред е необходимо да се определи функционалната зависимост между компонентите на критерия за оптималност R и влияещите фактори. За целта е извършен анализ на производството, събрани са данни за технологичната себестойност и за допълнителните разходи от внедряване на изделието „Гъвкав кабел“. За обработка на информацията е използван програмния продукт “MiniTab”.

Зависимостта между технологичната себестойност и дължината x^l на изделието има вида [6]:

$$TS(x^l) = a + b \cdot x^l, \quad (6)$$

където $a = 0,69681325$, $b = 0,000797$.

От анализ на производството са определени коефициентите (параметрите) N_{TS} и v_1 , като [6]:

$$N_{TS} = 100, v_1 = 0,27 \quad (7)$$

Зависимостта $DR(\Delta x_u^l, N^u)$ и коефициентите (параметрите) N_{DR} и v_2 са получени от клиенти, внедряващи изделието [6]:

$$N_{DR} = 1000, v_2 = 0,32, \quad (8)$$

$$DR(\Delta x_u^l, N^u) = (c + d \cdot \Delta x_u^l) \cdot N^u, \quad (9)$$

където $c = 0,05135699$, $d = 0,0000175$.

След заместване на (6), (7), (8) и (9) в (1) се получава зависимостта за определяне на общите разходи, която има вида [6]:

$$R = \sum_{l=1}^L (0,69681325 + 0,000797 \cdot x^l) \cdot N^l \cdot \left(\frac{100}{N^l}\right)^{0,27} + \sum_{l=1}^L \sum_{m \in M^l} (0,05135699 + 0,0000175 \cdot \Delta x_m^l) \cdot N^m \cdot \left(\frac{1000}{N^m}\right)^{0,32} \quad (10)$$

С помощта на разработен програмен продукт е решена оптимизационната задача (6), (2), (3), (4) и (5) при $D = 20$ mm и потребности от изделия, показани на фиг.2.

Резултатите от решаване на задачата са показани в табл. 1, където: R^* са минималните (оптималните) сумарни разходи; L^* - броят елементи в оптималния размерен ред; R_M^l - сумарните разходи за ред от един типоразмер (най-големия в изходния размерен ред); $R_M^{\bar{m}}$ - сумарните разходи за реда, включващ всички възможни типоразмери, т.е за изходния размерен ред.

На фиг.3 са показани производствените програми на елементите от оптималния размерен ред, а на фиг.4 - кривата на сумарните разходи, определени в процеса на решаване на задачата.

Намереният оптимален размерен ред на изделие „Гъвкав кабел“ се характеризира с:

- намаляване на броя на типоразмерите от 101 на 55, т.е. с 45,5% в сравнение с изходния размерен ред, включващ всички възможни типоразмери;

- намаляване на сумарните разходи в сравнение с реда, включващ всички възможни типоразмери с 282 182,99, т.е. с 12,28 % (табл.1);

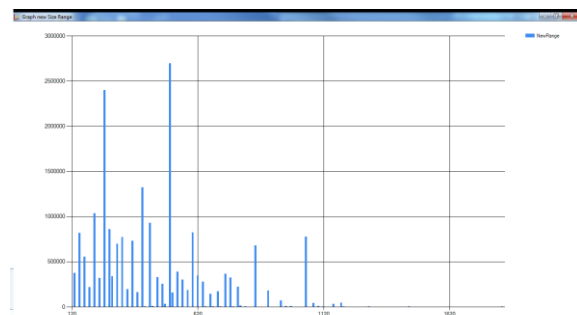
- намаляване на сумарните разходи в сравнение с реда, включващ един типоразмер с 2 900 310,47, т.е. с 58,99 % (табл.1).

4. ИЗСЛЕДВАНЕ НА ЧУВСТВИТЕЛНОСТ НА ОПТИМАЛНОТО РЕШЕНИЕ

Извършено е изследване и анализ на чувствителността на оптималното решение в зависимост от промяната на параметрите на математическия модел.

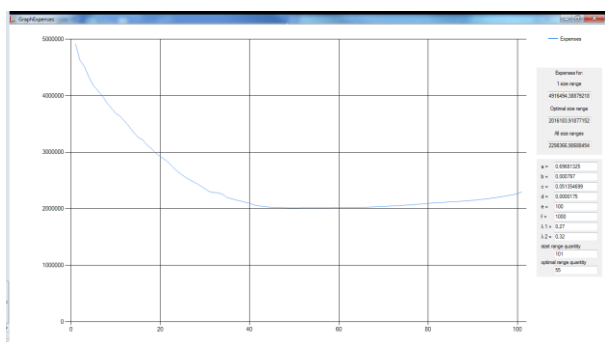
табл.1 Резултати от решаване на задачата

Показатели	Оптимален размерен ред
R^*	2 016 183,91
L^*	55
R_M^l	4 916 494,38
$R_M^{\bar{m}}$	2 298 366,90
$(R_M^l - R^*) / R_M^l$	58,99 %
$(R_M^{\bar{m}} - R^*) / R_M^{\bar{m}}$	12,28 %



фиг.3 Производствена програма на типоразмерите от оптималния размерен ред

За целта са проведени числени експерименти, представляващи решаване на задачата при различни стойности на всеки един от параметрите в математическия модел, при запазване на останалите.



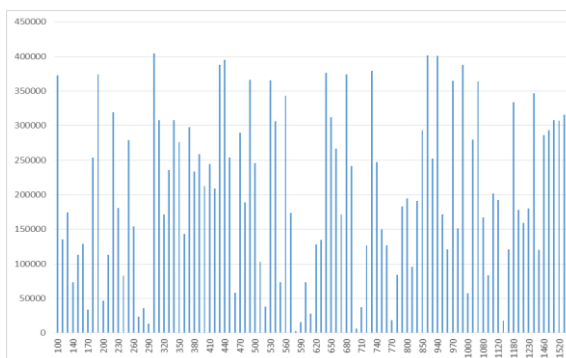
фиг.4 Крива на сумарните разходи

Изследванията на чувствителност включват следните експерименти:

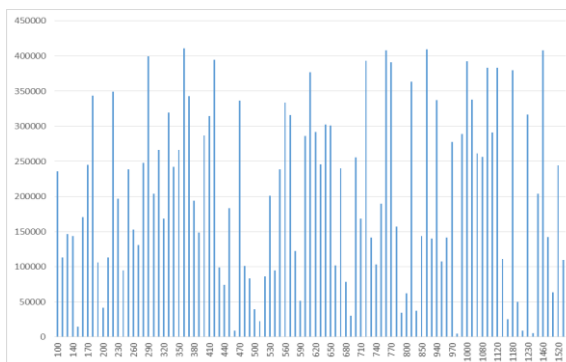
- A. Промяна на функцията на потребностите, т.е. на потребностите от различните видове типоразмери на изходния размерен ред;
- B. Промяна на производствената програма, т.е. на сумата от всички потребности на отделните видове типоразмери на изходния размерен ред;
- C. Промяна на компонента $TS(x^l) = a + b \cdot x^l$, изразяващ производствените разходи за изделието;
- D. Промяна на компонента $DR(\Delta x_u^l, N^u)$, изразяващ допълнителните разходи за внедряване на изделието, произтичащи от несъответствието между търсене и предлагане;
- E. Промяна на коефициента N_{TS} , отчитащ мащабния фактор на производство на изделието;
- F. Промяна на коефициента N_{DR} , отчитащ мащабния фактор на внедряване на изделието;
- G. Промяна на коефициента v_1 , отчитащ скоростта на „обучение“ при производство на изделието;
- H. Промяна на коефициента v_2 , отчитащ скоростта на „обучение“ при внедряване на изделието;
- I. Промяна на диапазона на приложимост D , т.е. максимално допустимото отклонение на главния параметър на два последователни елемента (типоразмера) в оптималния размерен ред.

4.1 Промяна на функцията на потребностите

Оптимизационната задача (6), (2), (3), (4) и (5) е решена при промяна на функцията на потребностите: експеримент A1 – потребности на фиг.6, A2 - потребности на фиг.2 и A3 - потребности на фиг.7. При тези експерименти се запазва производствената програма, т.е. сумата от потребностите за отделните изделия при всеки експеримент има една и съща стойност. Намерените решения са показани в табл.2.



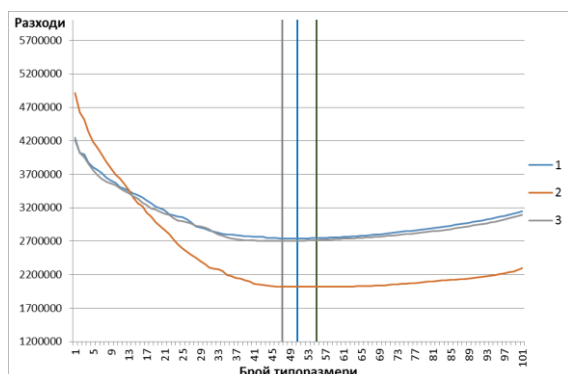
фиг.6 Функция на потребностите за A1



фиг.7 Функция на потребностите за A3

табл.2 Резултати от решаване на задачата при различни функции на потребностите

Ек.	L^*	R^*	R_M^l	$R_M^{\bar{M}}$
A1	51	2738686,95	4212486,45	3146896,25
A2	55	2016183,92	4916494,39	2298366,91
A3	47	2701116,15	4246402,22	3089768,34



фиг.8 Промяна на общите разходи при различни функции на търсене, където: 1 – А1, 2 – А2, 3 – А3

На фиг.8 са представени графично общите разходи в зависимост от броя на типоразмерите при различни функции на потребностите. Видно е, че кривите изобразяващи функцията на сумарните разходи (6) при различни потребности от изделия, променят значително формата си и добиват минимум при различен брой типоразмери. Следователно, значителното отклонение на функцията на потребностите от действителната, ще доведе до съществено различаващи се решения на задачата за избор на оптимален типоразмерен ред. Поради това, за получаването на достоверен резултат от оптимизацията, е необходимо внимателно и подробно събиране на данни за постъпилите клиентски заявки и коректно определяне на функцията на потребностите.

4.2 Промяна на производствената програма

Оптимизационната задача (6), (2), (3), (4) и (5) е решена при промяна на функцията на производствената програма, както следва: В0 – производствена програма на изходната задача; В1 – увеличаване 2 пъти на производствената програма; В2 – увеличаване 3 пъти производствената програма; В3 – увеличаване 4 пъти на производствената програма; В4 – намаляване 2 пъти на производствената програма; В5 – намаляване 3 пъти на производствената програма; В6 – намаляване 4 пъти на производствената програма. Намерените решения са показани в табл.3.

табл.3 Резултати от решаване на задачата при различна производствена програма

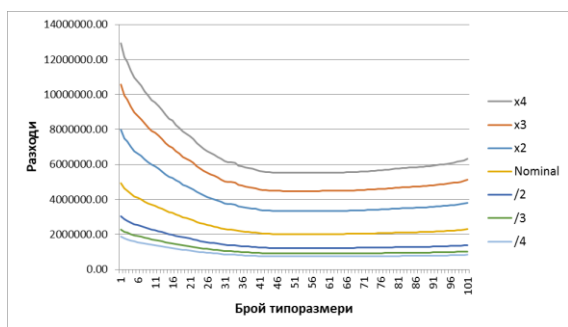
Ек.	L^*	R^*	R_M^L	R_M^M
-----	-------	-------	---------	---------

В0	55	2016183,92	4916494,39	2298366,91
В1	55	3334603,84	7969172,52	3812161,20
В2	55	4475946,23	10572258,57	5125283,30
В3	55	5515655,72	12920756,49	6322999,59
В4	55	1219146,77	3033986,02	1385694,40
В5	55	908389,60	2287878,04	1030663,59
В6	55	737255,34	1872770,50	835429,99

Получени са следните резултати за сумарните разходи R^* (фиг.9):

- Увеличение на производствената програма 2 пъти води до увеличение на сумарните разходи с 65%, спрямо сумарните разходи за оптималния типоразмерен ред на изходната задача;
- Увеличение на производствената програма 3 пъти води до увеличение на сумарните разходи със 122%, спрямо сумарните разходи за оптималния типоразмерен ред на изходната задача;
- Увеличение на производствената програма 4 пъти води до увеличение на сумарните разходи с 174%, спрямо сумарните разходи за оптималния типоразмерен ред на изходната задача;
- Намаляване на производствената програма 2 пъти води до намаляване на сумарните разходи с 40%, спрямо сумарните разходи за оптималния типоразмерен ред на изходната задача;
- Намаляване на производствената програма 3 пъти води до намаляване на сумарните разходи с 55%, спрямо сумарните разходи за оптималния типоразмерен ред на изходната задача;
- Намаляване на производствената програма 4 пъти води до намаляване на сумарните разходи с 63%, спрямо сумарните разходи за оптималния типоразмерен ред на изходната задача.

Резултатите показват, че промяната на производствената програма не води до промяна на броя на типоразмерите съставлящи оптималния типоразмерен ред, а само до промяна на общите сумарни разходи.



фиг.9 Промяна на общите разходи при различни производствени програми

4.3 Промяна на производствените разходи за изделието

Изследвана е чувствителността на оптималното решение спрямо промяна на компонента $TS(x^l) = a + b \cdot x^l$, изразяващ производствените разходи за изделието. Експериментът е проведен за следните случаи: C0 – изходна задача; C1 – увеличаване 2 пъти на производствените разходи; C2 – увеличаване 3 пъти на производствените разходи; C3 – увеличаване 4 пъти на производствените разходи. Намерените решения са показани в табл.4.

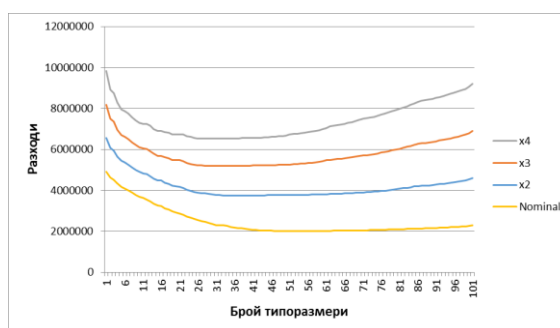
табл.4 Резултати от решаване на задачата при различни производствени разходи

Ек.	L^*	R^*	R_M^l	$R_M^{\bar{}}$
C0	55	2016183,92	4916494,39	2298366,91
C1	35	3750563,73	6549458,84	4596733,81
C2	30	5195895,37	8182423,28	6895100,72
C3	29	6532410,63	9815387,73	9193467,63

Увеличаването на производствените разходи 2 пъти води до увеличение на сумарните разходи с 86% спрямо сумарните разходи на оптималния типоразмерен ред на изходната задача. Увеличението му 3 пъти води до нарастване на сумарните разходи със 158%, а умножен по 4, производствените разходи води до увеличение на сумарните разходи с 224%. Променя се и оптималният брой типоразмери. От 55 при производствените разходи на изходната задача, оптималният брой типоразмери се променя до 35 при двукратно увеличение на производствените разходи. При трикратно увеличение броят е 30, а при

четирикратно увеличение, оптималният брой типоразмери е 29.

Като резултат от изследването на влиянието на производствените разходи върху оптималното решение, може да се посочи, че увеличението им води до намаляване на броя типоразмери в оптималния размерен ред. Това показва, че математическия модел отчита желанието на производителя за намаляване на производствените разходи чрез намаляване на броя типоразмери в размерния ред. В допълнение, увеличаването на производствените разходи води до увеличаване на общите сумарни разходи (фиг.10).



фиг.10 Промяна на общите разходи при промяна на производствените разходи за изделието

4.4 Промяна на допълнителните разходи за внедряване на изделието

Изследвана е чувствителността на оптималното решение спрямо промяна на компонента $DR(\Delta x_u^l, N^u)$, изразяващ допълнителните разходи за внедряване на изделието, произтичащи от несъответствието между търсене и предлагане. Експериментът е проведен при следните случаи: D0 – изходна задача; D1 – увеличаване 2 пъти на допълнителните разходи; D2 – увеличаване 3 пъти на допълнителните разходи; D3 – увеличаване 4 пъти на допълнителните разходи. Намерените решения са показани в табл.5.

табл.5 Резултати от решаване на задачата при различни допълнителни разходи за внедряване на изделието

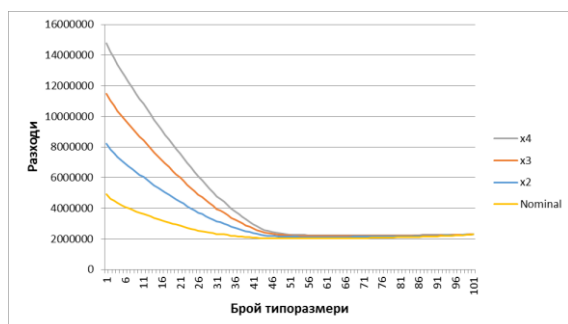
Ек.	L^*	R^*	R_M^l	$R_M^{\bar{}}$
D0	55	2016183,92	4916494,39	2298366,91
D1	56	2123908,91	8200024,27	2298366,91
D2	60	2179719,43	11483554,21	2298366,91

D3	62	2221573,12	14767084,15	2298366,91
----	----	------------	-------------	------------

Общите сумарни разходи за оптималния типоразмерен ред се увеличават с 5,34% при удвояване на разходите за внедряване. При увеличение на тези разходи 3 пъти, общите сумарни разходи се увеличават с 8,11%, а при увеличение 4 пъти – с 10,17% (фиг.11).

Оптималния брой типоразмери се изменя от 55 при номинални разходи за внедряване, до 56 при удвояването им. При увеличение от 3 пъти, оптималният брой е 60, а при четирикратно увеличение – 62.

Увеличаването на разходите за внедряване води до увеличаване на броя на типоразмерите в оптималния типоразмерен ред. Това показва, че математическия модел отчита желанието на потребителя за намаляване на разходите за експлоатация чрез увеличаване на броя типоразмери.



фиг.11 Промяна на общите разходи при промяна на разходите за внедряване на изделието

4.5 Промяна на коефициента N_{TS} , отчитащ мащабния фактор на производство на изделието

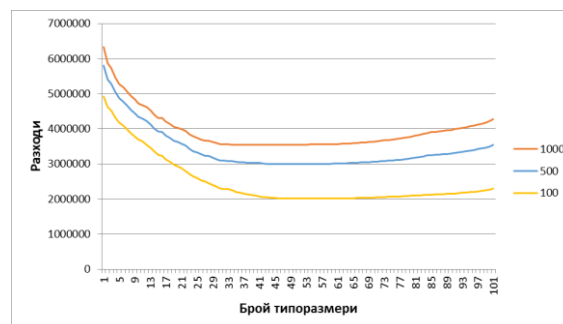
Изследвана е чувствителността на оптималното решение спрямо промяна на коефициента N_{TS} , изразяващ мащабния фактор на производство на изделието. Експериментът е проведен при следните случаи: E0 – стойност на коефициента – 100; E1 – стойност на коефициента – 500; E2 – стойност на коефициента – 1000. Намерените решения са показани в табл.6.

табл.6 Резултати от решаване на задачата при различни коефициенти N_{TS}

Ек.	L^*	R^*	R_M^I	$R_M^{\bar{M}}$
E0	55	2016183,92	4916494,39	2298366,91
E1	46	2995117,48	5805260,21	3549288,17
E2	42	3543699,35	6324252,03	4279759,45

Решението на задачата за оптимизация при промяна на коефициента N_{TS} показва следните резултати (фиг.12): при промяна на стойността на коефициента от 100 на 500, общите сумарни разходи за оптималния типоразмерен ред нарастват с 48,55%, а при промяна на коефициента на 1000, те стават 75,76%. Оптималният брой типоразмери се изменя от 55 при стойност на коефициента 100, до 46 при стойност 500. При стойност на коефициента от 1000, оптималният брой типоразмери е 42.

Увеличението на мащабиращия коефициент N_{TS} води до увеличение на общите разходи и съответно намаляване на броя типоразмери в оптималния размерен ред, измествайки оптимума наляво (фиг.12).



фиг.12 Промяна на общите разходи при промяна на коефициента N_{TS}

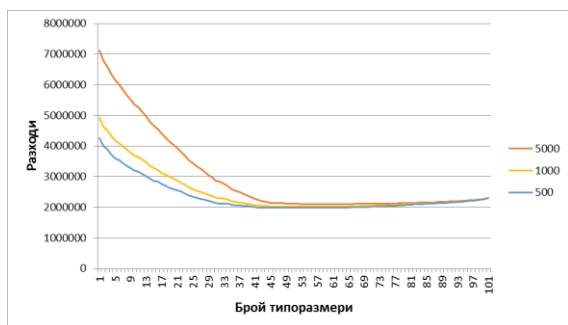
4.6 Промяна на коефициента N_{DR} , отчитащ мащабния фактор на внедряване на изделието

Изследвана е чувствителността на оптималното решение спрямо промяна на коефициента N_{DR} , изразяващ мащабния фактор на внедряване, при следните случаи: F0 – стойност на коефициента – 500; F1 – стойност на коефициента – 1000; F2 – стойност на коефициента – 5000. Намерените решения са показани в табл.7.

табл.7 Резултати от решаване на задачата при различни коефициенти N_{DR}

Ек.	L^*	R^*	R_M^I	$R_M^{\bar{M}}$
F0	48	1981884,89	4263301,38	2298366,91
F1	55	2016183,92	4916494,39	2298366,91
F2	55	2102407,03	7128517,22	2298366,91

Решението на задачата за оптимизация при промяна на коефициента N_{DR} показва следните резултати (фиг. 13): при промяна на стойността на коефициента от 1000 на 500, общите сумарни разходи за оптималния типоразмерен ред намаляват с 1,70%, а при увеличение на 5000, общите сумарни разходи за оптималния типоразмерен ред нарастват с 4,28%. Оптималният брой типоразмери при стойност на коефициента 500 е 48, при стойност 1000 – 55, а при стойност от 5000 – отново 55.



фиг.13 Промяна на общите разходи при промяна на коефициента N_{DR}

Увеличението на мащабиращия коефициент N_{DR} води до увеличение на общите разходи и съответно намаляване на броя типоразмери в оптималния размерен ред, а намаляването му води до намаляване на общите разходи. Влиянието на този коефициент върху оптимума е по-слабо изразено в сравнение с коефициента N_{TS} , като по-силно влияние се забелязва в посока намаляване стойността на N_{DR} (фиг.13).

4.7 Промяна на коефициента v_I , отчитащ скоростта на „обучение“ при производство на изделието

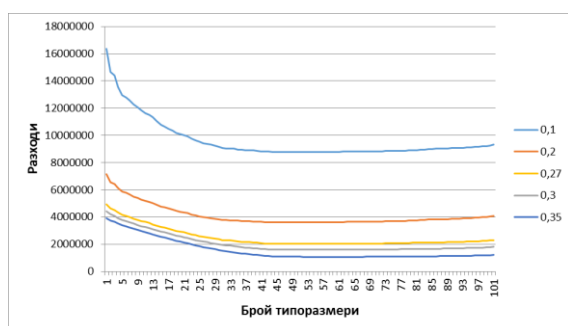
Изследвана е чувствителността на оптималното решение спрямо промяна на коефициента v_I , изразяващ скоростта на „обучение“ при производство, при следните случаи: G0 – стойност на коефициента 0,10; G1 – стойност на коефициента 0,20; G2 – стойност на коефициента 0,27; G3 – стойност на коефициента 0,30; G4 – стойност на коефициента 0,35. Намерените решения са показани в табл.8.

табл.8 Резултати от решаване на задачата при различни коефициенти v_I

Ек.	L^*	R^*	R_M^I	$R_M^{\bar{M}}$
G0	46	8785082,29	16357684,79	9321507,44
G1	46	3616863,01	7129272,04	4072961,63
G2	55	2016183,92	4916494,39	2298366,91
G3	55	1584535,14	4414748,94	1802316,78
G4	55	1065360,96	3897051,68	1205539,68

Решението на задачата за оптимизация при промяна на коефициента v_I показва следните резултати (фиг. 14): при промяна на стойността на коефициента v_I от 0,1 на 0,2, общите сумарни разходи намаляват с 58,83%. При промяна на коефициента на 0,27, общите разходи намаляват със 77,05%. При промяна на коефициента на 0,3 разходите намаляват с 81,96%, а при 0,35, те намаляват с 87,87%. Оптималният брой типоразмери при стойности на коефициента 0,1 и 0,2 са 46. При стойности на коефициента от 0,27, 0,30 и 0,35 са 55.

При увеличаване скоростта на обучение при производство разходите за производство намаляват. Достатъчното намаляване на последните позволява включване на повече размери в оптималния размерен ред. Това се изразява в изместване на оптимума надясно, след превишаване на определена стойност за скоростта на обучение. Следователно, производителят може да си позволи компромис и да увеличи броя типоразмери, ако скоростта на обучение е висока.



фиг.14 Промяна на общите разходи при промяна на коефициента v_1

4.8 Промяна на коефициента v_2 , отчитащ скоростта на „обучение“ при внедряване на изделието

Изследвана е чувствителността на оптималното решение спрямо промяна на коефициента v_2 , изразяващ скоростта на „обучение“ при внедряване, при следните случаи: Н0 – стойност на коефициента 0,10; Н1 – стойност на коефициента 0,20; Н2 – стойност на коефициента 0,30; Н3 – стойност на коефициента 0,32; Н4 – стойност на коефициента 0,35. Намерените решения са показани в табл.9.

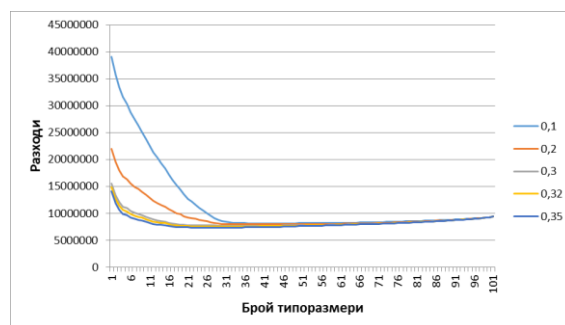
табл.9 Резултати от решаване на задачата при различни коефициенти v_2

Ек.	L^*	R^*	R_M^I	R_M^M
Н0	61	2196442,65	29091272,82	2298366,91
Н1	57	2124730,89	12078276,51	2298366,91
Н2	56	2042703,42	5614130,66	2298366,91
Н3	55	2016183,92	4916494,39	2298366,91
Н4	46	1979903,71	4092842,00	2298366,91

Решението на задачата за оптимизация при промяна на коефициента v_2 показва следните резултати (фиг.15): при промяна на стойността на коефициента v_2 от 0,10 на 0,20, общите сумарни разходи намаляват с 3,26%. При промяна на коефициента на 0,30, общите разходи намаляват със 7,00%. При промяна на коефициента на 0,32 разходите намаляват с 8,21%, а при 0,35, те намаляват с 9,86%. Оптималният брой типоразмери при стойност на коефициента 0,10 са 61, при

стойност 0,20 намаляват до 57, а при стойност на коефициента от 0,30 са 56. При стойност от 0,32, оптималният брой типоразмери е 55, а при стойност 0,35 - 46.

При увеличаване скоростта на обучение при експлоатация разходите за експлоатация намаляват. Достатъчното намаляване на последните позволява компромис от страна на потребителя и намаляване на броя типоразмери в оптималния размерен ред. Това се изразява в изместване на оптимума наляво.



фиг.15 Промяна на общите разходи при промяна на коефициента v_2

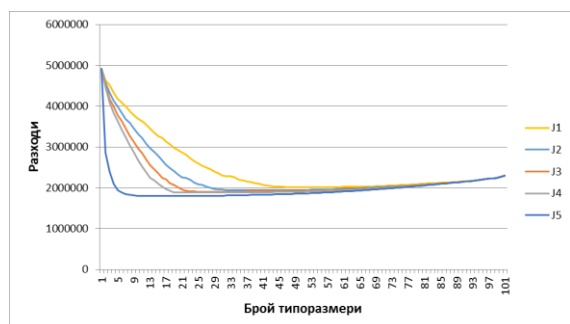
4.9 Промяна на диапазона на приложимост D

Изследвана е чувствителността на оптималното решение спрямо промяна на диапазона на приложимост D , т.е. максимално допустимото отклонение на главния параметър на два последователни елемента (типоразмера) в оптималния размерен ред. Оптимизационната задача е решена при различни максимално допустими отклонения на главния параметър: J1 – 20mm; J2 – 30mm; J3 – 40mm; J4 – 50mm; J5 – без ограничение. Обобщените резултати са показани в табл.10.

табл.10 Резултати от решаване на задачата при различни диапазони на приложимост D

Ек.	L^*	R^*	R_M^I	R_M^M
J1	55	2016183,92	4916494,39	2298366,91
J2	36	1942185,11	4916494,39	2298366,91
J3	27	1904309,09	4916494,39	2298366,91
J4	24	1879246,17	4916494,39	2298366,91
J5	13	1793983,61	4916494,39	2298366,91

На фиг.16 са показани резултатите от решаване на оптимизационната задача при различни максимално допустими отклонения на главния параметър. От фигурата се вижда, че при увеличаване на D , общите сумарни разходи намаляват. Видно е още, че диапазона на приложимост значително влияе върху оптималното решение. Следователно е необходимо точно определяне на D за получаването на коректно решение при зададени други параметри.



фиг.16 Промяна на общите разходи при промяна на диапазона на приложимост D

5. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В настоящата разработка са постигнати следните по-важни резултати:

- Разработен е математически модел на задачата за избор на оптимален размерен ред на техническо изделие при наличие на ограничения върху приложимостта на елементите на размерния ред.

- Определен е оптималният размерен ред на изделие „Гъвкав кабел” при наличие на предварително зададени граници на приложимост на елементите на реда.

- Изследвано е влиянието на параметрите на математическия модел върху оптималното решение, при което е установено, че:

- Функцията на търсене трябва да бъде определена възможно най-правилно, за да е възможно получаване на верни резултати;

- Производствената програма не оказва влияние върху броя на типоразмерите в оптималния типоразмерен ред;

- Производствените разходи и допълнителните разходи за внедряване на изделието оказват значително влияние върху оптимума и

трябва да бъдат определени с достатъчна точност за получаване на достоверни резултати;

- От двата мащабиращи коефициента N_{TS} и N_{DR} , по-съществено влияние върху оптималното решение оказва коефициента N_{TS} , мащабиращ разходите за производство;

- Увеличението на скоростта на обучение, както при производство, така и при внедряване, намалява съответните компоненти във функцията на общите разходи и така намалява общите разходи, измествайки оптимума в посока на по-голям компромис съответно от страна на производителя или от страна на внедрителя;

- Диапазонът на приложимост оказва съществено влияние върху оптималното решение и е необходимо прецизно отчитане на възможностите на потребителите за компенсиране на несъответствието между предлаганите и необходимите стойности на основния параметър.

Литература

1. Гатев Г. Изследване на операции. Избор на решения при определеност. МП Издателство на Технически университет – София, 2003.
2. Дашенко А.И., Белоусов А.П. Проектирование автоматических линий. Москва, Высшая школа, 1983.
3. Димов Ю. Метрология, стандартизация и сертификация. Издателство „Питер”, Санкт-Петербург, 2013.
4. Евтимова В. Анализ на устойчивостта на параметрите на икономико-математическия модел по планиране на производството и снабдяването със стоки. Научни трудове на Русенския университет, том 47, серия 4, 2008.
5. Малаков И. Оптимизация на параметрични редове на технически изделия. В кн. Комплексна автоматизация на дискретното производство, ISBN 978-619-167-153-3, Издателство на ТУ – София, София, 2015, с. 25-48.
6. Малаков И., Ценов В. Избор на оптимален размерен ред на изделие „Гъвкав кабел”. Българско списание за инженерно проектиране, ISSN 1313-7530, бр. 35, 2018.
7. Malakov I., Zaharinov V., Tzenov V. Size ranges optimization. Elsevier, Procedia Engineering, Volume 100, 2015, pp 791-800.
8. Lotz J., Kloberdanz H. Scaling Under Dynamic Uncertainty Using Laws of Growth. In Proceedings of the 1st International Symposium on Robust Design ISO RD 14. Copenhagen, 2014.

9. **Lotz J., Freund T., Würtenberger J., Kloberdanz H.** Uncertainty in Size Range Development - an Analysis of Potential for a new Scaling Approach. In International Design Conference - DESIGN 2016. Dubrovnik - Croatia, 2016, pp.341-350.
10. **Pahl G., Beitz W.** Konstruktionslehre. Methoden und Anwendung. Berlin/Heidelberg, Springer-Verlag, 2007.
11. **Razavi S., Gupta H.V.** A new framework for comprehensive, robust, and efficient global sensitivity analysis: Theory, Water Resour. Res., 52, 2016, pp. 423–439.
12. **Pianosi F., Beven K., Freer J., Hall J.W., Rougier J., Stephenson D.B., Wagener T.** Sensitivity analysis of environmental models: A systematic review with practical workflow, Environmental Modelling & Software, Vol. 79, 2016, pp. 214-232, ISSN 1364-8152.
13. <https://store.fmi.uni-sofia.bg/fmi/or/MO2/SA.pdf>.
Посетен на 10.01.2018г.

SENSITIVITY ANALYSIS OF THE OPTIMAL SIZE RANGE OF THE PRODUCT “FLEXIBLE CABLE”

Ivo MALAKOV¹ Velizar ZAHARINOV² Velislav Tzenov³

¹Department “Automation of discrete production”, Technical University-Sofia, Bulgaria
e-mail: ikm@tu-sofia.bg

²Department “Automation of discrete production”, Technical University-Sofia, Bulgaria
e-mail: vzaharinov@tu-sofia.bg

³Sensata Technologies, България
e-mail: velislav_t@mail.bg

Abstract: The paper presents the results from a research on the sensitivity of the solution to a problem for size range optimization of the product “Flexible cable”. To that end, the optimization problem is solved for different values of chosen parameters of the mathematical model, while keeping the other parameters constant, and their influence over the optimal solution is found. The sensitivity analysis is of significant practical importance, and is one of the important stages of the approach for developing optimal size ranges.

Keywords: sensitivity analysis, postoptimization analysis, size ranges, optimization, flexible cable, mathematical model

INTERFACING AUTODESK INVENTOR WITH EXTERNAL HARDWARE

Konstantin METODIEV

Department of Aerospace Control Systems, Space Research and Technology Institute, Bulgarian Academy of Sciences
e-mail: komet@space.bas.bg

Abstract: In the study hereby, an exemplary algorithm of reading data from an externally attached hardware in Autodesk® Inventor® IDE is presented. The used sensor is Omega® PX40-50BHG5V (Honeywell® 40PC001B1A) static pressure transducer driving CAD model of a check valve. The data logging device is Microchip® PIC12F1840 MCU that binds the sensor and the PC by means of 10-bit analog to digital converter and FTDI® UART to USB converter. Thus, the valve is driven within the Inventor environment in accordance with data obtained from the sensor. A source code has been developed for both the microcontroller and the PC acquiring data. The latter is implemented as an iLogic rule. In this way, the developer is able to carry out semi-natural experiments in Autodesk Inventor by following the described algorithm.

Key words: Autodesk Inventor, PX40-50BHG5V, iLogic, Mikro C Pro for PIC, PIC12F1840

1. INTRODUCTION

The so-called check valve is a device with sudden operation. It prevents static pressure surge from exceeding upper limit, [1]. Another variety is the relief valve with gradual operation. It maintains constant pressure so that the circuit downstream is protected from overpressurization by the pump. Both devices are widely used in hydraulics and pneumatics.

The check valve has to react whenever the static pressure reaches a certain upper limit. If the pressure is less than critical, the valve must close the throat as tight as possible. Besides, the response pressure scatter should not exceed 2% according to the hysteresis curve.

The valve working principle is based upon equalizing the fluid direct force due to pressure and the reacting force caused by a flexible element, opposite pressure or counter weight. Most of the cases, the check valve is attuned so as to react to pressure value greater by 20-30% than nominal one.

One of Autodesk Inventor's greatest assets is its ability to provide access to a set of various tools for building user defined software by means of either the Application Programming Interface or iLogic rule add-in. In the present study, accessing serial port within Inventor environment is implemented like an iLogic script. A tutorial on the matter could be found in [2]. Yet another script is developed for microcontroller unit so as to log data from external sensor. After putting all these together, a semi-natural experiment is carried out which is described below.

2. MATERIALS AND METHODS

2.1. Targeted CAD model.

A simple check valve was created in Autodesk Inventor IDE. The mechanism and working principle are self-explanatory. In Fig. 1, the fluid enters the valve from the left orifice so that the ball makes the spring compress whenever the static pressure exceeds initially set value.

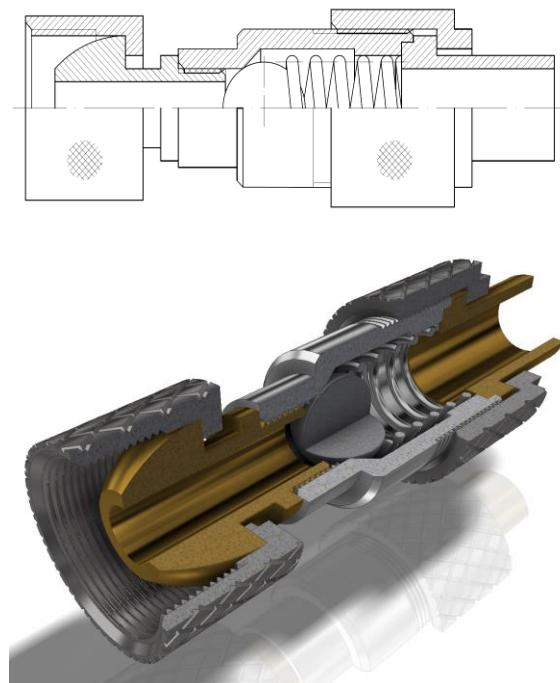


Fig. 1. CAD model of the check valve

2.2. Sensing element.

Omega Engineering PX40-50BHG5V static pressure transducer, [3], was chosen as a sensing element. The sensor output is amplified and temperature compensated, hence no additional signal conditioning is needed. The sensor compares input pressure with atmospheric one. For this purpose, there are vent orifices mounted on the backside. In this way, the output voltage is proportional to the pressure difference. The sensor accuracy is $\pm 95\%$ FS and the response time is 1 ms.



Fig. 2. Static pressure transducer Omega PX40-50BHG5V

2.3. Miscellaneous hardware.

The data logging device is PIC12F1840 microcontroller unit, [4]. It has four inputs to an analog to digital converter with 10-bit resolution. The voltage reference is $V_{dd} = +5V$ DC. Having been converted, the signal is passed further to an UART module. The interface between the module and USB is FT232R integrated circuit, FTDI®.

The project circuit is depicted in Fig. 3. In the same figure, a circuit of MCU programming by means of PICKIT 3 in-circuit debugger is shown in addition.

2.4. Calibration procedure.

The calibration procedure is outlined in Fig. 4. Differential manometer KIMO® MP200G equipped with pressure module ± 10 kPa was used like an etalon gauge. A number of fixed pressure values are delivered in succession and the output voltage values are logged afterwards. Then, a regression line is fitted to observed data, which are also assumed normally distributed.

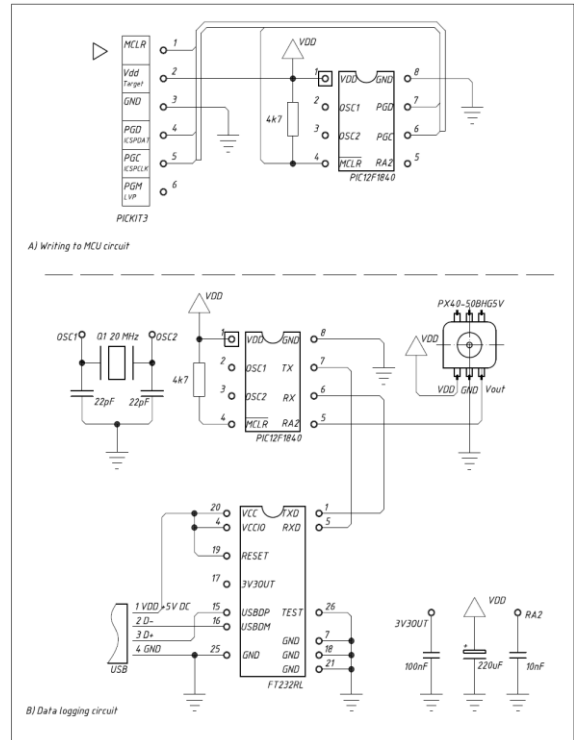


Fig. 3. Project circuit

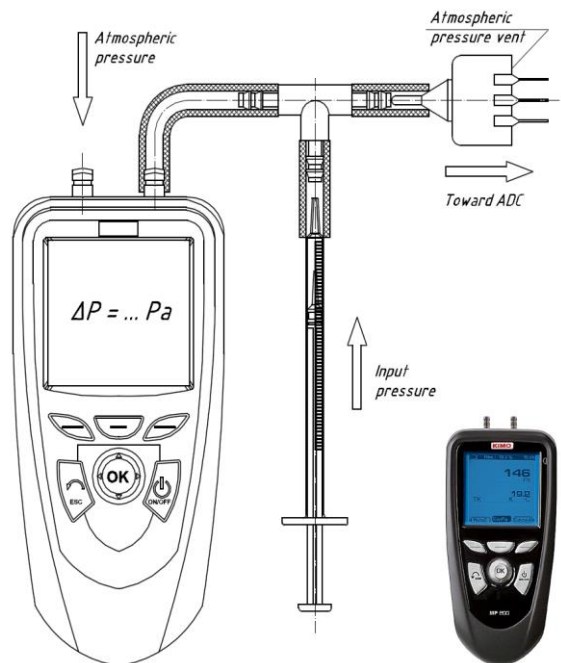


Fig. 4. Calibration stand

2.5. Source code listings.

In Fig. 5a and 5b, source codes for Inventor and microcontroller unit respectively are presented.

```

Sub Main()
Dim myComPort As IO.Ports.SerialPort _
= Nothing
Dim temp As Double = 0

myComPort = _
My.Computer.Ports._
OpenSerialPort("COM4", 9600)
myComPort.ReadTimeout = 250
MessageBox.Show("Press OK", ReadCOM")

Do
temp = _
CDBlAny(GetSerialData(myComPort))
If IsNumeric(temp) Then dist = 8.9 + _
Fix(temp/200) `Settable value
RefreshScreen()
Loop

myComPort.Close()
End Sub

Sub Delay_ms(msec)
System.Threading.Thread._
CurrentThread.Sleep(msec)
End Sub

Sub RefreshScreen()
RuleParametersOutput()
InventorVb.DocumentUpdate()
ThisApplication.ActiveView.Update()
End Sub

Function GetSerialData(ByRef _
theComPort As IO.Ports.SerialPort) _
As String
Dim returnStr As String = ""

Try
returnStr = theComPort.ReadLine()
If returnStr Is Nothing Then
MessageBox.Show("Incoming string is _
empty", "Read Com")
Else
returnStr &= vbCrLf
End If
Catch ex As TimeoutException
returnStr = "Error: Serial Port read _
timed out"
Finally
End Try
Return returnStr
End Function
    
```

Fig. 5a. Source code in iLogic rule editor

It must be noted that both values of baud rate and port read time out should be also attuned alike. The latter is to be chosen freely but no less than 1 second.

```

const unsigned int HEAP_SIZE = 80;
typedef unsigned int uint16_t;

int main() {
uint16_t _res; char *res;

MM_Init();
res = (char*)Malloc(7 * sizeof(char));

TRISA = 0xFF;
ANSELA = 0x04;

ADC_Init();
ADCON1.F0 = 0; ADCON1.F1 = 0;
FVRCON.F7 = 1;
UART1_Init(9600);
Delay_ms(100);

do {
_res = ADC_Read(2);
IntToStr(_res, res);
UART1_Write_Text(res);
UART1_Write(10);
UART1_Write(13);
Delay_ms(250);
} while(1);

FreeMem(res, sizeof(res));

return 0;
} //main
    
```

Fig. 5b. Source code in MikroC Pro for PIC compiler

3. RESULTS

3.1. Calibration procedure.

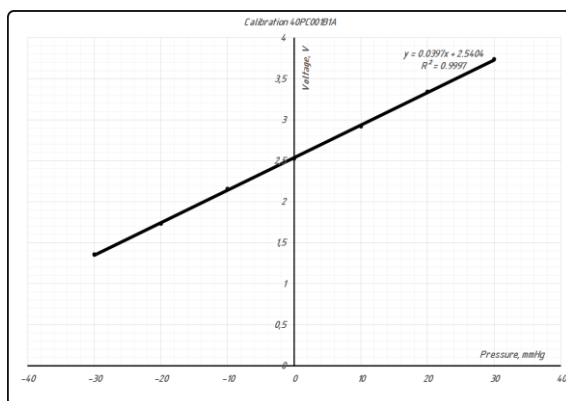
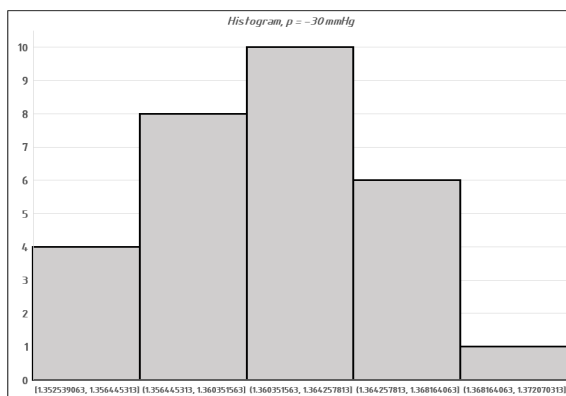
According to Fig. 4, voltage outputs were measured for each static pressure value delivered to the sensor, Table 1. The results are rounded to four significant figures. Having had the mean values, a straight line is fitted by least squares technique so as to find out relationship between sensor input pressure and output voltage. The derived coefficients in equation of line

$$U = kp + U_0 \quad (1)$$

virtually match values provided by the manufacturer, i.e. gain $k = 0.04$ V/mmHg, offset $U_0 = 2.54$ V. The sensor non-linearity is next to null and void, Fig. 6.

Table 1. Calibration results.

mmHg	Mean, V	Std Err, V	Conf E-05
-30	1,361	0,001	6,11
-20	1,732	0,001	6,24
-10	2,160	0,002	9,77
0	2,528	0,001	8,86
+10	2,919	0,002	11,1
+20	3,344	0,002	13,8
+30	3,739	0,002	14,4

**Fig. 6.** Trendline fitting to results in Table 1, $U = f(p)$ **Fig. 7.** Histogram, $p_{in} = -30$ mmHg, $k = 5$

3.2. Semi-natural simulation

The process of reading serial port in the Inventor IDE is shown in Fig. 8. The C script, Fig. 5b, is written in the MCU while the iLogic script, Fig. 5a, is compiled in Inventor's rule editor. Having run all scripts, the check valve opens the throat whenever a pressure is applied to the transducer and vice versa. The process is also dependent of the adaptive spring physical and geometrical parameters.

4. DISCUSSION

Assuming normal distribution of a random variable, no less than 30 measurements for each input pressure must be taken as recommended in [5]. In this way, mathematical verification of normal distribution law appears to be satisfactory. The delivered static pressure value is shown in column 1, Table 1. The result is presented afterwards as mean voltage and standard error, columns 2, 3, Table 1. In column 4, a confidence interval is presented with confidence level of 95%. The transducer characteristic curve is depicted in Fig. 6.

In Fig. 7, a histogram is shown for one input value of the static pressure. The number of bins is computed as a square-root choice $k = \sqrt{n} = \sqrt{30} \approx 5$. The shown histogram is symmetrical yet skewed are also obtained for remaining input pressure values.

The project aim is purely demonstrative. Both the calibration and the experiment processes might be watched in following link [6]. The model might be downloaded free of charge in [7]. In addition, a good tutorial on reporting scientific results could be found in [8].

In addition to simple hydraulic/pneumatic devices, the proposed solution algorithm might be applied to other projects. As an example, a control loop feedback might be pointed out. Since electric signals of any kind cannot be reproduced in Inventor IDE, a real sensing element might update the simulated mechanism attitude instead. What is more, in this way the feedback parameters might be attuned prior to production stage.

Another paper contribution is studying the sensor PX40-50BHG5V parameters.

Literature

- [1] Башта, Т., Гидравлические приводы летательных аппаратов, Издательство „Машиностроение“, Москва, 1967, in Russian
- [2] <https://goo.gl/7MHHiW>, visited on 6th of January, 2018
- [3] <https://goo.gl/o6vLbC>, visited on 03rd of January, 2018
- [4] Microchip PIC12L(F)1840 Data Sheet, pp. 114, 323
- [5] **Campion, P., J. Burns, A. Williams**, A Code of Practice for the Detailed Statement of Accuracy, National Physical Laboratory, London, 1973, p. 12, in Russian
- [6] <https://goo.gl/b3hYQu>, visited on 04th of January, 2018
- [7] <https://goo.gl/dFqr6Q>, visited on 09th of January, 2018
- [8] **Hughes, I., T. Hase**, Measurements and their Uncertainties, Oxford University Press, 2010, p. 17

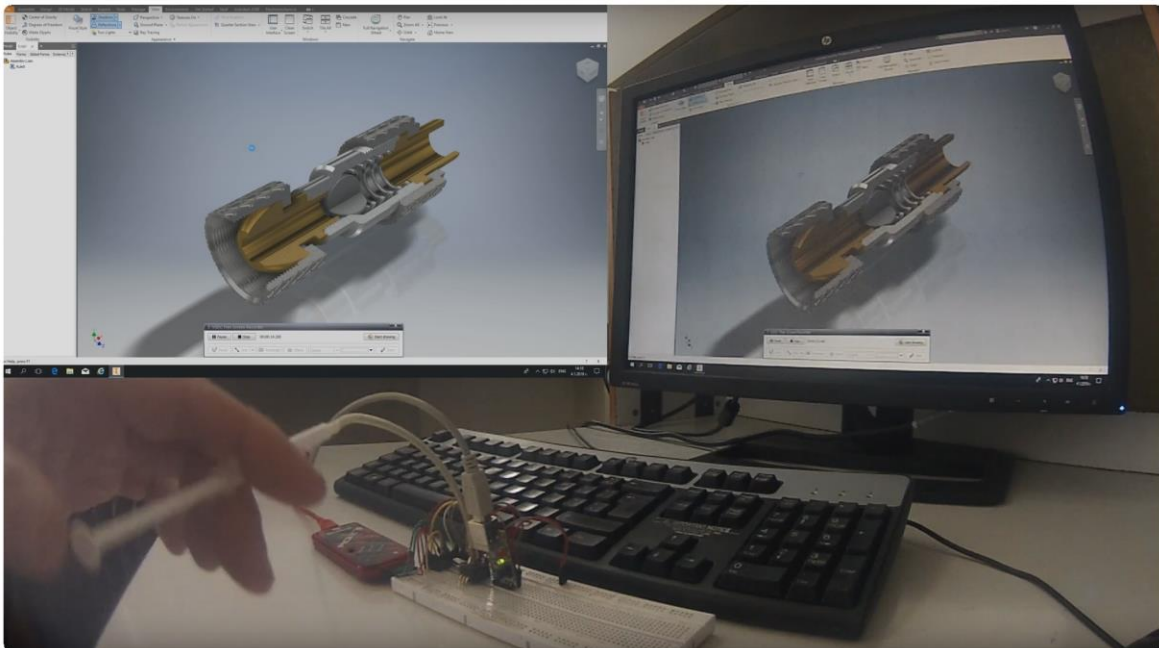


Fig. 8. A screenshot taken from semi-natural simulation video, [6]

КОНЦЕПТУАЛЕН МОДЕЛ НА ОБЕКТНО-ОРИЕНТИРАНА БИБЛИОТЕКА ОТ МЕХАНИЧНИ КОМПОНЕНТИ

Петър ГОРАНОВ¹ Елена ТОДОРОВА² Десислава ГЕОРГИЕВА³

¹катедра ОТСК Технически университет - София, България
e-mail: pvgor@tu-sofia.bg

²катедра ОТСК, Технически университет - София, България
e-mail: etodorova@tu-sofia.bg

³катедра ОТСК, Технически университет - София, България
e-mail: desyst@abv.bg

Резюме: Средствата, които съвременните CAD системи предлагат за лесна и бърза промяна на геометричните модели, за създаване на множество конфигурации, както и за използване на готови компоненти, са от съществено значение за подобряване на показателите свързани с цена, качество и срокове. Възможностите за повторно използване на вече съществуващи геометрични модели обикновено са организирани под формата на три вида библиотеки – стандартизирани компоненти, разпространени съединения и предавки, нестандартизирани компоненти. В настоящата работа се обсъждат библиотеките от CAD модели на механични компоненти. Разглежда се обектно-ориентиран модел на механичен компонент, който включва различни нива на абстракция, съответстващи на етапите на процеса на конструиране. В предложения концептуален модел на библиотека от компоненти търсенето се извършва по функционални изисквания, представени на различни нива на конкретизация. Това създава условия за по-голяма степен на използване на наличните решения по време на целия етап от процеса на конструиране.

Ключови думи: CAD, библиотеки от компоненти, геометрични модели, обектно ориентиран модел

1. УВОД

Процесът на конструиране на механично изделие може да се разглежда като преобразуване на предварително дефинирани функционални изисквания и ограничения в завършено описание. CAD системите са инструменти, които подпомагат конструктора по време на създаване геометричния модел на изделието. Конкуренцията между различните производители изисква да се поддържа високо качество при непрекъснато съкращаване на сроковете за конструиране и подготовка на производството. Това налага CAD системите да създават условия за висока ефективност на инженерния труд.

Често новото изделие представлява модификация, реконструкция или комбинация от вече налични решения. Поради това възможността за бърз и лесен достъп до вече налични CAD модели създава условия за бързо конструиране на ново изделие, което удовлетворява предвидените изисквания и ограничения. Възможността за повторно използване на наличните решения като 3D CAD модели е критичен фактор за постигане на по-

добра конкурентоспособност по отношение на цена-качество-срокове [3].

Връзките между компонентите в сглобената единица имат важно значение от множество различни гледни точки. Различните симулации като FEA се нуждаят от информация за механичните интерфейси като тип и пространствено разположение на контакта и тип на повърхнините [2]. Това изисква да се създават реалистични CAD модели, които съдържат информация за действителните връзки между компонентите.

В настоящата работа се обсъждат библиотеките от CAD модели на механични компоненти и се предлага тяхното разработване да се извършва съобразно обектно-ориентирания подход.

2. СЪЩЕСТВУВАЩИ РЕШЕНИЯ

CAD системите по правило предлагат възможности за повторно използване на вече съществуващи геометрични модели и тяхното организиране под формата на библиотеки. Като пример ще се разгледа Autodesk Inventor [4].

Autodesk Inventor предлага три вида решения:

- библиотека от стандартизирани компоненти;
- автоматизирано генериране на разпространени съединения и предавки;
- библиотеки от нестандартизирани компоненти.

Когато се използва командата „AutoDrop“, стандартизираните компоненти автоматично се позиционират, при което размерите им се променят в съответствие с посочената геометрия. Генераторите на съединения и предавки представляват разширение на тази функционалност. Те осигуряват също и автоматично редактиране на генерираните компоненти при модификация на сглобената единица. Библиотеките от нестандартизирани компоненти представляват място за съхранение на CAD файлове, където те може само да се използват без да има възможност за редактирането им.

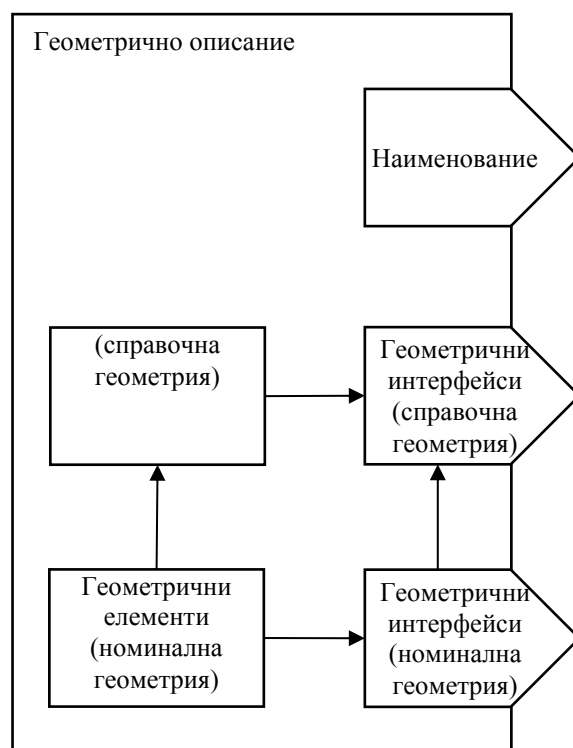
Основен недостатък на разгледаното решение е ограниченият тип компоненти, за които е възможно да се използва предложената автоматизация. На конструктора се предоставят инструменти за промяна на наличните компоненти и за създаване на нови, но само в рамките на предварително дефинирани групи.

3.ОСНОВНИ КОНЦЕПЦИИ ПРИ СЪЗДАВАНЕ НА БИБЛИОТЕКА ОТ КОМПОНЕНТИ

Библиотеката от компоненти трябва да поддържа всички етапи от процеса на конструиране, да осигурява висока степен на автоматизация и да гарантира състоятелността на модела при негови модификации.

В [1] са изброени концепциите, прилагането на които е от съществено значение за създаване на адекватен и полезен модел на обекта. По отношение на конкретното изследване трябва да се вземат предвид следните от тях:

- абстракция – разглеждане само на важните за изследването качества на обекта и пренебрегване на несъществените;
- идеализация – създаване на идеален обект, на който са предадени допълнителни характеристики, които не може да се реализират,



Фиг. 1 Структура на компонент в библиотеката

но спомагат за придобиване на познания за обекта;

- дедукция – преминаване от общото към частното, от общи закони и положения към единични частни изводи;
- аналогия – информацията за един обект се свързва с друг въз основа на сходството между тях.

За да се постигне удобство и ефективност при създаване на CAD модела е необходимо изброените изисквания и концепции да бъдат заложили при проектиране на библиотека от механични компоненти.

4.ОБЕКТНО-ОРИЕНТИРАНА БИБЛИОТЕКА

По време на процеса на конструиране се започва с най-обща представа за продукта, която постепенно се конкретизира до създаване на неговото пълно описание. По време на различните етапи от развитието на проекта описанието на компонентите преминава през различни нива на абстракция, които може да се обобщят като:

- наименования/функции;
- позициониране/кинематика;
- съгласуване на геометричните интерфейси;
- пълно геометрично описание.

Различните нива на абстракция на компонентите, както и съответствието с посочените по-горе концепции, може да се постигне посредством създаването на моделите на компонентите, както и на самата библиотека, въз основа на обектно-ориентирания подход.

4.1.Обектно-ориентиран модел на компонент

Структурата на компонент в библиотеката, в термините на обектно-ориентирания подход, е илюстрирана на фиг.1. Геометричното описание се разглежда като система от геометрични елементи. Геометричните елементи, чрез които компонентът взаимодейства с другите компоненти, се определят като геометрични интерфейси. На фиг.1 вниманието е насочено към геометричните интерфейси. Те се разглеждат на различни нива на абстракция, съобразени с посочените по-горе.

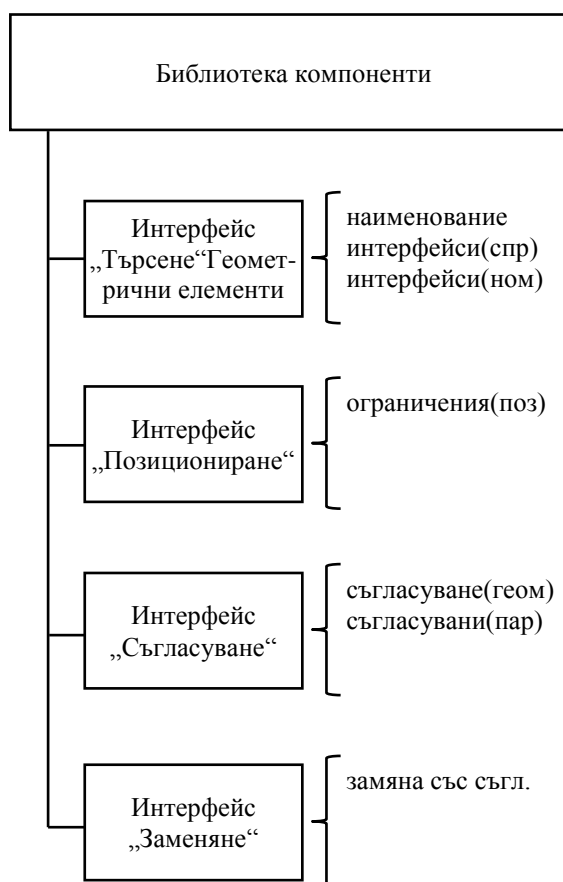
Наименованието на компонента се разглежда като описание от най-високо ниво на абстракция. То отговаря на общата представа за геометричната форма и осъществяваните функции. Следващото ниво на конкретизация на геометричната форма се свързва с представянето ѝ посредством справочни геометрични елементи – скелетът на компонента. Геометричният интерфейс на това ниво служи за позициониране на компонента. Геометричният модел на сглобена единица, съставен от скелетите на нейните компоненти, може да служи и за анализ на нейната кинематика.

Номиналната геометрия на компонента съдържа неговото завършено описание. На това ниво геометричните интерфейси представляват геометрични елементи, което позволява съгласуване на формата и параметрите на комплементарните интерфейси.

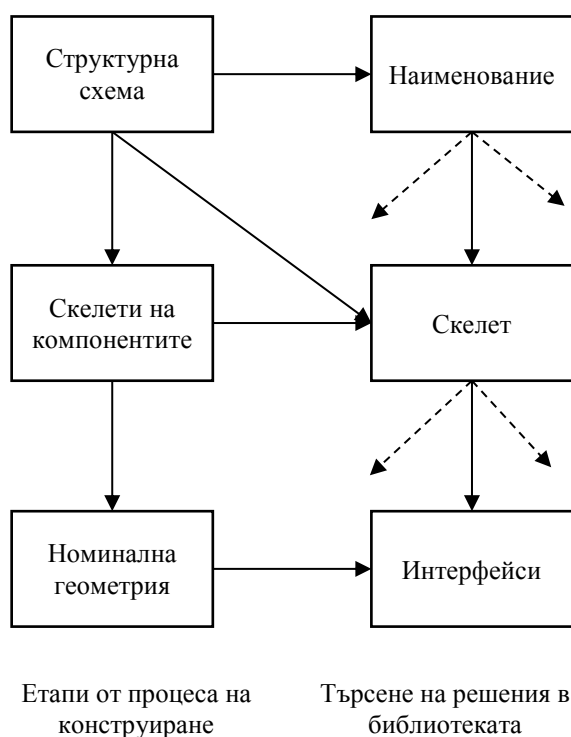
4.2.Интерфейси към библиотеката

Достъпът към библиотеката се осъществява посредством приложни интерфейси, които са свързани с различните нива на представяне на компонента – фиг.2. Те включват:

- търсене на различни нива на абстракция;
- вмъкване със създаване на геометрични отношения между комплементарните интерфейси;
- подмяна с аналогичен компонент.



Фиг. 2 Интерфейси и методи на библиотеката от компоненти



Фиг. 3 Последователност на действията

Всеки от приложните интерфейси включва методи, които взаимодействат с геометричните интерфейси на компонентите и осъществяват необходимите действия. При вмъкване трябва да се създадат връзки между комплементарните интерфейси, които да осигуряват състоятелността на модела при модификации. Връзките се налагат между различните абстрактни представяния на обекта.

Налагането на връзки на по-високо ниво на абстракция определя възможните реализации на по-ниските нива на абстракция. Информацията за геометричните интерфейси се конкретизира с добавяне на нова информация и уточняване на вида на връзките.

4.3. Последователност на действията

Обектно-ориентираната библиотека предполага конструирането на изделието да се извършва по метода „отгоре-надолу“. При този начин на работа се започва с формиране на структурната схема, която съдържа компонентите и връзките между тях, които са необходими изделието да изпълнява зададените изисквания. Обикновено предварително се създава функционален модел, в който са определени функциите на отделните компоненти. В библиотеката се търсят компоненти, които имат сходно наименование и функции.

Следващата стъпка е изграждане скелетите на компонентите. В библиотеката се търсят компоненти, които удовлетворяват необходимите изисквания за позиционирането им.

Крайният етап от геометричното конструиране е дефиниране на окончателната геометрична форма. Тук от важно значение е определянето на функционалните повърхнини, които формират геометричните интерфейси. В библиотеката се търсят компоненти, които имат сходни геометрични интерфейси.

Процесът на търсене на решение в обектно-ориентираната библиотека е илюстриран на фиг.3. Йерархичното описание на компонентите позволява търсене на налично решение още по време на началните етапи от процеса на конструиране. На по-високо ниво на абстракция информацията е обобщена и има множество реализации на по-ниското ниво. Възможностите за избор на различните нива се определят от наличните компоненти в библиотеката. Въпреки това, ако не съществува подходящ библиотечен компонент, информацията на по-абстрактните нива също може да се използва.

5. ИЗВОДИ И ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Предлага се концептуален модел на обектно-ориентирана библиотека от механични компоненти. За разлика от разпространените решения, при които се търси по геометрична форма, тук търсенето се извършва по функционални изисквания, представени на различни нива на конкретизация. Това създава предпоставки за по-голяма степен на повторно

използване на съществуващи геометрични модели.

Литература:

1. **Мигрев Р.**, Компютърно моделиране и симулация, Пропелер, София, 2016г., 196 стр.
2. **Lupinetta K., F. Gianninia, M. Montia, J. Pernot**, Automatic extraction of assembly component relationships for assembly model retrieval, *Procedia CIRP*, 50 (2016), 472–477.
3. **Lupinetti K., F. Giannini, M. Monti and, J. Pernot**, Multi-criteria retrieval of CAD assembly models, *Journal*

of Computational Design and Engineering, 5 (2018), 41–53.

4. <http://help.autodesk.com/view/INVTOR/2018/ENU/>, Inventor 2018 Help.

Научните изследвания, резултатите от които са представени в настоящата публикация, са финансирани от Вътрешния конкурс на ТУ-София-2017г, Договор N172ПД0003-06.

CONCEPTUAL MODEL OF OBJECT-ORIENTED LIBRARY OF MECHANICAL COMPONENTS

Petar GORANOV¹ Elena TODOROVA² Desislava GEORGIEVA³

¹Department of BMD, Technical University-Sofia, Bulgaria

e-mail: pvgor@tu-sofia.bg

²Department of BMD, Technical University-Sofia, Bulgaria

e-mail: etodorova@tu-sofia.bg

³Department of BMD, Technical University-Sofia, Bulgaria

e-mail: desyst@tu-sofia.bg

Abstract: The tools that modern CAD systems offer for easy and fast modification of geometric models, creating multiple configurations and using ready components are essential to improve price and quality, and to reduce development time. The gadgets for reusing existing geometric models are usually in the form of three types of libraries – standardized components, widespread joints and transmissions, non-standard components. In the present work are discussed libraries of CAD models of mechanical components. An object-oriented model of mechanical components is considered, which includes different levels of abstraction corresponding to the stages of the design process. In the proposed conceptual model of a library of components searching is performed according to functional requirements presented at different levels of generalization. This creates conditions for utilization to a greater extent of available solutions throughout the entire design process.

Keywords: CAD, component libraries, geometric models, object-oriented model

ДЕСКРИПТИВНО-ГЕОМЕТРИЧНО РЕШЕНИЕ НА КОМБИНИРАНА ЗАДАЧА ЗА ПОЗИЦИОНИРАНЕ И ОРИЕНТАЦИЯ

Лъчезар КОЧЕВ

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

e-mail: lkochev@tu-sofia.bg

Резюме: Разглежда се пространствена задача за позициониране и ориентация за инструментално обработване на тяло със сложна (антрологичен тип) обвиваща повърхнина. Проблемите са поставени в класически геометричен стил и са дадени примерни дескриптивни решения на характерните случаи. Предложени са принципни конфигурации на приспособления за технологично инструментално подвеждане.

Ключови думи: сферична геометрия, дескриптивна геометрия, сферични механизми.

Проблемите, разгледани в настоящата работа, са на база реална тематика от хирургичната практика. По-конкретно става въпрос за вземане на адекватно и обосновано решение от страна на опериращия специалист за начина и направлението на интервенция, и на инструментариума и метода за нейното реализиране.

Относно първата част на поставената задача, при наличието на достатъчно възможности за вътрешни изследвания и визуализация и вече натрупаният опит и реноме на медицинските специалисти, уточняването на огнището за оперативно въздействие – позиция, размери, геометрия и ориентация, съответно начинът и преходите за достигане до него (като подходи при рутинна практика, топографска анатомия и т.н.), определянето на операционната схема се счита за решима задача и е прерогатив на лекарския екип.

В инженерно-приложен и геометричен смисъл [1-5] в тази си част задача се формулира като задаване на позицията на обект Т, определен необходимо и достатъчно чрез характерна негова точка T_0 , принадлежащи на ограничено пространство Γ с обвивка γ , и на директриса на действие d , инцидентна на (минаваща през) T_0 и вътрешна за Γ :

$$\begin{aligned} R^3 &\equiv Oxyz \\ \Gamma &\subset R^3 < \infty, \gamma = \partial\Gamma \subset R^2 < \infty, \gamma \in \Gamma \\ T &\square R^3, T \in \Gamma, T \cap \gamma = \emptyset, T_0 \square R^0 \in T \\ d &\square R^1 : d \in \Gamma, d \cap T > \emptyset, T_0 \in d \end{aligned} \quad (1)$$

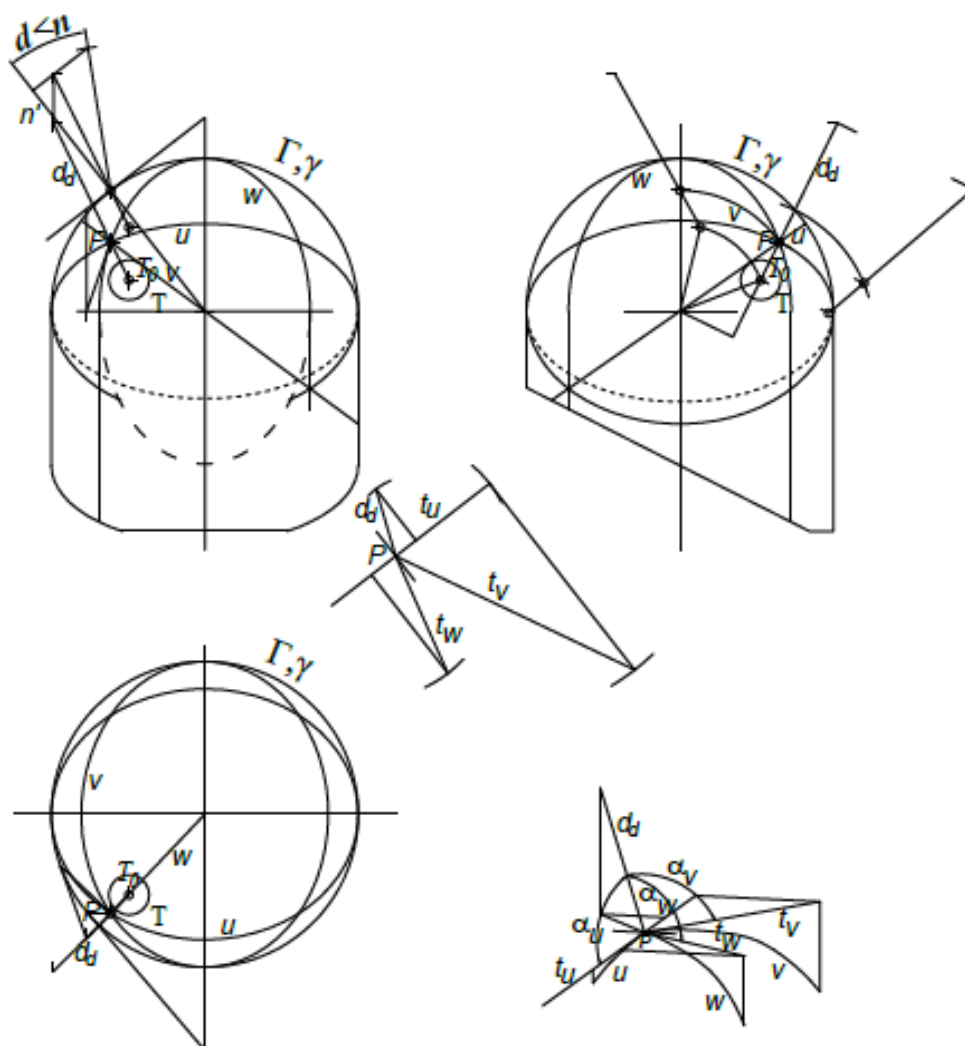
Тези параметри се регламентират от зони от анатомичната структура в околност на целевия обект Т и директрисата d .

В по-общ вид директрисата не е праволинейна, а представлява пространствена крива гладък или по части гладък вид. Втора характерна и значима нейна точка Р е върху граничната повърхнина γ , където всъщност е входната и начална за оперативната интервенция точка.

При традиционно възприемани дейности се счита, че тази опорна координираност е достатъчна. При работа в близост и през твърда костна тъкан от значение е и направлението на въздействие, доколкото се намалява обема манипулации, съответно зоната на травматизъм. Всичко това естествено е в полза на пациента.

В този смисъл задачата, при дадени съгласно (1) условия, се формулира до определяне на позиция – опорна точка Р върху повърхнината γ , и до ориентация – единичен (нормиран) свързан вектор \vec{t} , направляващ за директрисата на действие $d(P)$ през опорната точка:

$$\begin{aligned} P &= d \cap \gamma; \quad \vec{t} = \frac{d d(P)}{d s(d)}; \quad \left| \vec{t} \right| = 1; \\ \gamma(P) &= \gamma(u(P), v(P)); \\ \vec{n} \perp (du, du) &\Leftrightarrow \vec{n} \perp \gamma(P); \\ \square(n, t) &\equiv \square(n, du) \cap \square(n, dv), \end{aligned} \quad (2)$$



фиг.1 Определяне на позицията на т. P и на директрисата d върху γ

където $\gamma(u(P), v(P))$ е параметричната форма на γ в околност на P , \vec{du}, \vec{dv} са тангенциалните вектори на u, v линиите на γ , \vec{n} - нормалният вектор на γ през P , перпендикулярен на $\vec{du}(P), \vec{dv}(P)$.

При построяването на директрисата в нейната физически значима област на реализация – вътрешното пространство (тялото), тя естествено се постига и апроксимира чрез краен брой опера-

тивни участъци, при което определянето на опорната точка P и на директрисата d през нея се свежда до класическа методично точна стереометрична задача – пробод на права d_d през две точки или права през точка и направляващ вектор с повърхнина, и на взаимната ориентация на γ и d_d в околност на P . Затова на фигурите с цел опростяване, директрисата d е представена непосредствено чрез правата d_d .

Задачата е решима чрез много геометрични и аналитични подходи при коректни и еднозначни

изходни условия. Решаването ѝ в класически дескриптивен аспект предполага непосредствено определяне на функционалните координатно-метрични и ъгли (гонометрични) параметри.

Построенията (фиг.1) се извършват съгласно уточнената постановка както следва:

$$\begin{aligned} T_0; d \supset T_0; d_d \square d; P = d_d \cap \gamma(u, v); \\ du(P), dv(p) \Rightarrow \vec{n}; \square (d_d, \vec{n}); \\ \therefore \square (d_d, du(P)), \square (d_d, dv(P)). \end{aligned} \quad (3)$$

Даденото решение е при хипотеза, че повърхнината γ е близка до сферична (методично решима повърхнина) и може да се апроксимира към референтна такава изцяло или поне в околност на P с достатъчна точност. При по-сложен профил u, v параметризацията, която в дадената постановка е чрез меридионалните линии през взаимно перпендикулярни главни оси, вече не е пренебрежима задача - като сложност, обем измервания и математическа обработка при регламентирана точност. Посоченият пример е силно опростен, с цел отразяване на методично точно решение, дадена е и меридионалната w линия през трета ортогонална ос, както често се посътпява на практика за преодоляване на неопределеност и контрол на точността (качествено и с цел метрична оценка).

Основни проблеми и източници на първична неопределеност са контрастност на заснеманията и липсата на време за филтрация и доуточняване [8], като косвени и субективни такива са недостатъчен опит с позиционно-метрични задачи и проблеми в 3D. Дори при далеч по-прости в методичен смисъл ситуации, като линейни [7] и равнинни Евклидови форми, и при канонични конструктивни задачи [5], отчитането и филтрацията на първичните, деформационни и др. грешки, все още е трудна и на настоящия етап експертно решима задача.

В резултат има условия за достатъчно голямата вариабелност и съответно неопределеност на γ . Следователно в технологичен смисъл ефективното направляване (conduction) на инструменталното действие на първоначалния етап на интервенцията, е също с голяма неопределеност,

при това в методичен смисъл базиране в точка е категорично недостатъчно.

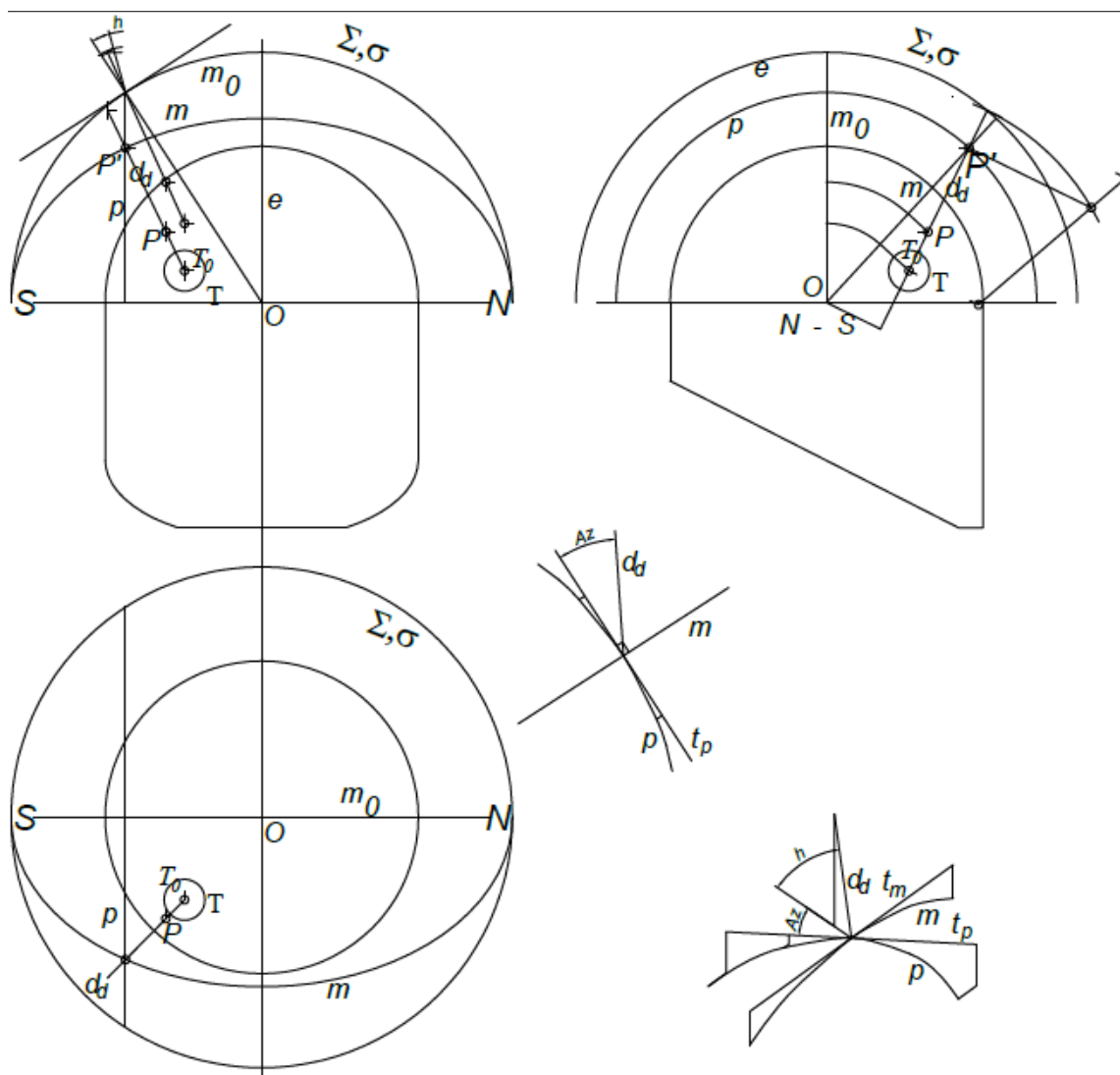
По същество поставената задача естествено се асоциира като аналогична в геодезията, маркшайдерството и навигацията. Там, пред вид многогодишната и дори вековна практика, опорната тангенциална равнина, определена чрез линията на хоризонта или на отвеса (според конкретната проблематика, е детерминирана с висока точност и е еднозначно и универсално координирана.

В качествено аспект, пред вид многообразието на биологичните варианти, и с отчитане на мащабния фактор, подобна определеност не може да се приеме за априорно дадена. Въпреки достатъчно богатите антропометрични изследвания и обобщени бази данни, по същество основен се оказва практическото опит на оператора. В този смисъл експертното решение е с максимална тежест, но без достатъчно пълна в инженерно-приложен и метричен смисъл геометрична обосновааност.

В съответствие с горните аналози, може да се предложи концепция за въвеждане на опорна унимодална базова повърхнина, еднозначно и с достатъчна точност определена в приетото координатно пространство, спрямо която да се извършва позицията и ориентацията на директрисата d . Естествена такава е сферична повърхнина σ , граница на работно пространство Σ , обхващащи и съдържащи съответно оперативната зона T [9]:

$$\sigma = \partial \Sigma \Rightarrow \Sigma \supset \Gamma \supset T. \quad (4)$$

Пред вид основния обект на оперативна дейност тази геометрична форма е логически обоснована като най-подходяща, доколкото се базира както на първични асоциации, така и на изисквания за гладкост (регулярност от поне 1-и ред). Има се пред вид, че антропометричните повърхнини преди всичко се отнасят към валчестите или поне гладки, така че теоретично еквивалентните ортогонални и клиногнални координатно-позициониращи равнини (в Евклидов смисъл) вид системи, не могат да ги покрият без ръбест преход. Следователно те не са подходящи както като концепция за еднотипна гладка кинематична структура, така и с оглед равномерна

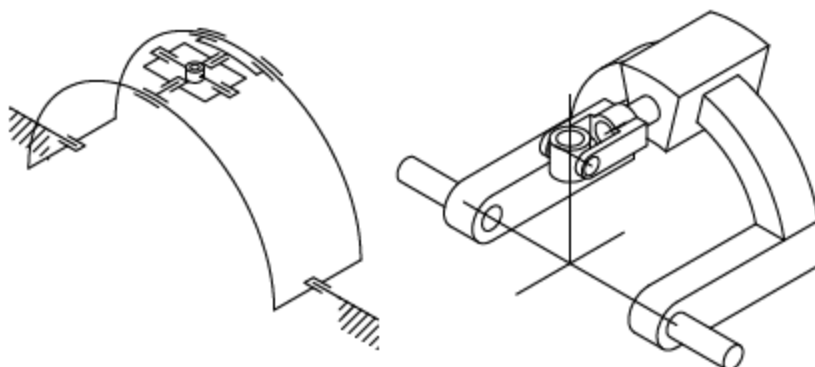


Фиг.2 Позициониране на P' върху σ и определяне на азимуталните координати

(или от нормиран порядък) точност в обхвата на работното пространство.

В съответствие с направените позовавания, подобен тип сфера в геодезичната и мореходна астрономии са небесната сфера, сферите на характерни спътникови орбити – например навигационните или геостационарните. Такава опорна сфера и координираност спрямо нея може да се построи както следва:

$$\begin{aligned}
 &\sigma : (O_\sigma, r_\sigma) \\
 &N \bar{\cup} S; O_\sigma \in NS; N, S \in \sigma \\
 &\varepsilon \sqsubset R^2; \varepsilon \perp NS; e = \sigma \cap \varepsilon \sqsubset R^1 \\
 &\mu_0 \sqsubset R^2; \mu_0 \supset NS; m_0 = \sigma \cap \mu_0 \sqsubset R^1 \quad (5) \\
 &u \equiv m \supset (N, S); u \equiv p // e \\
 &P' = d_d \cap \sigma; \vec{n} \equiv O_\sigma P' \perp dm, dp
 \end{aligned}$$



Фиг.3 Механична структура за сферично позициониране и азимутално направляване на инструмента

където с p, m са означени координиращите паралели и меридиани при избрани екватор и нулев меридиан съответно e, m_0 . Позицията на P' върху σ в така определената система се задава чрез ъглите ширина φ и дължина α , еквивалентни на използваните в астрономията деклинация δ и ректасцензия α , както следва:

$$\begin{aligned} \varphi_{P'}, \delta_{P'} &= \square (\vec{n}, \varepsilon) \equiv \square (\vec{n}, e) \\ \mu &\square R^2; \mu \supset \vec{n}; \mu \cap \sigma = m \\ \alpha_{P'} &= \square (\mu_0, \mu) \end{aligned} \quad (6)$$

Тангенциалната равнина χ към σ през P' е еквивалент на хоризонт, при което спрямо нея се определят ъглите височина h и азимут Az на d_d , респективно на наблюдавания обект P :

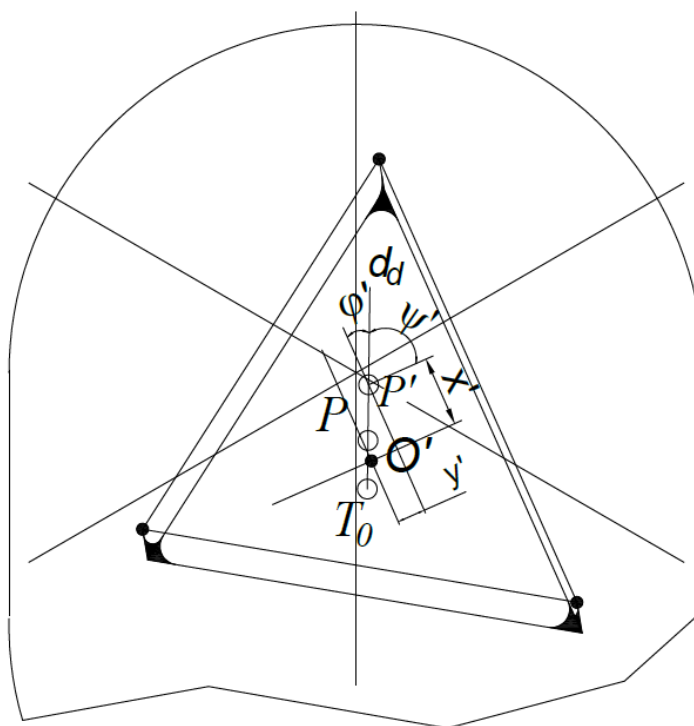
$$\begin{aligned} \chi &\square R^2 := \left(\chi \supset P', \chi \perp \vec{n} = \vec{dm} \times \vec{dp} \right) \equiv \\ &\equiv \chi \left(\vec{P}' + u \vec{dm} + v \vec{dp} \right) \\ \therefore \chi &:= \text{tgent}(\sigma, P') \equiv \text{hor}(\sigma, P') \\ h &= \square (\chi, d_d); Az = \square \left(NS_{(\chi)}, d_{d(\chi)} \right) \equiv \\ &\equiv \square \left(dm, d_{d(\chi)} \right) \end{aligned} \quad (7)$$

Построенията и определянето на посочените параметри са дадени на фиг.2.

По същество последната координираност е определяне на P или на лъча d към нея (като визиран обект) в хоризонтална (азимутална) астрономична система през точка P' . Координиращите ъгли - съответно височина h и азимут Az , са също така и Карданови ъгли. По този начин може да се предложи кинематична структура за постигане на подобен тип външно устойчиво направляване на оперативната процедура в началния ѝ етап според фиг.3. В технологичен аспект това съответства на метода на организирана смяна на базите и регулируемо кондукторно приспособление с четири управляеми (и независими) степени на свобода.

В дадения вариант конструктивната задача се свежда до определяне на габаритните размери с оглед постигане на необходимия обхват на регулиране, за да се осигури ефективна работа при широк кръг от оперативни процедури. Доколкото в представените решения не се поставиха ограничения и условия относно центъра на сферата $\sigma : (O_\sigma, r_\sigma)$, респективно за позиционирането на приспособлението, има още достатъчно варируеми параметри, така че чрез пребазиране винаги може да се постигне необходимия работен диапазон.

Пред вид опыта на лекарските екипи, се получава по-голяма устойчивост на оперативния процес и намаляване на вторичния травматизъм. Подобна концепция е приложима както при априорно пресмятане на параметрите при избрано базиране на приспособлението спрямо пациента, така и след експертно решено негово установя-



Фиг.4 Триконтактно приспособление за позициониране и инструментално направляване

ване и последващо регулиране след заснемане и уточняване на взаимното им разположение.

Следва да се отбележи, че именно тези широко-спектърни възможности за регулиране са основа за определени резерви от страна на медицинските екипи - очаква се еднозначност на настройките и достатъчна убеденост за тяхната коректност. При използване на външна спрямо пациента база, т.е. без непосредствен контакт с него, и без необходимия опит при работа с приспособленията, несъмнено има предпоставки за неувереност и съответно недоверие от тяхна страна към тази концепция.

Като по-естествена и по-традиционна в оперативната практика техника, те считат непосредственото установяване на приспособление спрямо (върху) пациента. Както беше отбелязано по-горе, на настоящия етап това става ориентиrowъчно и съответно с голяма неопределеност.

По аналогия с опорната сфера, може да се построи локална равнина λ , успоредна (и екидистантна) на секуща за γ равнина λ' , такава че спрямо нея да се определят полюс $P_\lambda = d \cap \lambda$:

$$A', B', C' \in \gamma; \lambda' = \lambda'(A', B', C')$$

$$A, B, C :$$

$$\bar{A}A' = \bar{B}B' = \bar{C}C'; A A' // B B' // C C' \quad (8)$$

$$\lambda = \lambda(A, B, C) \Rightarrow \lambda // \lambda'$$

и съответната ъглова ориентация на d , определена чрез посочните ъгли φ, ψ :

$$\varphi = \angle(d, P_\lambda, x); \quad \psi = \angle(d, P_\lambda, y);$$

$$\theta = \angle(d, P_\lambda, \vec{n}_\lambda = \vec{x} \times \vec{y}); \quad (8a)$$

$$\cos^2(\varphi) + \cos^2 \psi + \cos^2(\theta) = 1$$

По същество равнината $\lambda(A, B, C)$, успоредна на $\lambda'(A', B', C')$ се приема за условен хоризонт и релативна (спомагателна) технологична база. На фиг.4 това е изометрично илюстрирано при локална координираност през центъра на триангулацията на $\lambda(A, B, C)$.

При тези построения равнините се определят чрез достатъчния минимум от три точки, като теоретично относно техния избор няма ограничения, и те могат да се маркират от оператора. Достатъчно е локално привързване (незадължително през определен център на триъгълника), т.е. само местна координираност, която, дори и експертно определена, следва да е еднозначна и ясна.

Задачата за типово ориентиране на триточково приспособление с цел коректно отчитане по поднастройващите Карданови оси, и/или тяхното пресмятане спрямо екваториалната система на Г, всъщност е със същата компетентност и технологична сложност както и при случая 2. Привидно достатъчните две ъглови поднастройки се получават само при устойчиво привързване към полюса P , което категорично не е проста (и точна) процедура, и е с поне два координиращи параметъра. Следователно минимално необходимият брой степени на свобода за устойчиво базиране, е еднакъв и в двата случая.

Важен момент е, че при установяване непосредствено върху обекта не трябва да се получава травматично претоварване и теоретично приетия точков контакт е недопустим. С влагането на контактни пети с разпределено натоварване се поражда методична грешка, породена от нестационарността на антропометричната повърхнина γ , която потенциално расте с увеличаване на работния габарит на функционалната зона от равнината λ , т.е. на дистанцията между опорните точки, и по този начин свързано с височината на петите.

Тези проблеми, касаещи и вътрешната геометрия на повърхнината, и естествената податливост на меките тъкани върху позиционирането, изискват още отчети за достоверно моделиране на антропометричната форма, които, заедно с опорните заснемания, предполагат значително по-тежка подготвителна процедура и филтриране на данните [8]. Съответно - при този подход има много повече източници на първични грешки. Доколкото детайлния точностен анализ не може да се обхване в настоящата работа, следва да се отбележи, че въпреки това се постига голяма ефективност вследствие квалификация и майсторство на оперативните екипи, т.е. като регули-

ране, нагаждане и технологичен усет и опит, изказано в инженерна терминология.

В този смисъл конфигурацията съгласно фиг.2,3, въпреки конструктивната ѝ сложност и габарит, е методично обоснована и коректна, представлява интерес и подлежи на развитие. Дескриптивният подход способства конкретизиране и уточняване на решенията, но пред вид сложността на построенията е уместно той да се използва като точен метод за изчисления и непременно да се комбинира с 3D моделиране на работната околност, с цел по-адекватна пространствена представа и визуализация при подготовката на оперативната процедура.

Литература

1. **Узунов Н.**, Дескриптивна геометрия, София, Техника, 1947г.
2. **Петров Г.**, Дескриптивна геометрия, София, Техника, 1973 г.
3. **Сандалски Бр., П. Горанов, Г. Динев, Ир. Николова.** Основи на конструирането и CAD, София, Софттрейд, 2007г.
4. **Лангов Ан.**, Дескриптивна геометрия, София, Наука и изкуство, 1979г.
5. **Чорбаджиев Др.**, Дескриптивна геометрия, София, Наука и изкуство, 1992г.
6. **Манолова Р., Стойлов Т.**, Изследване на натоварването върху иглите и нишката в процеса на плетене при плоскоплетачни машини, Сборник с доклади от XVIII Научна конференция с международно участие ЕМФ'2013, стр.205.
7. **Горанов П., Е. Тодорова, Д. Георгиева,** Подход за автоматично съгласуване на геометрични параметри в CAD модел, Българско списание за инженерно проектиране, брой 31, януари 2017г., стр.28-31, ISSN 1313 7530
8. **Todorov G., Nikolov N., Sofronov Y., Gabrovski N., Kyurukchiev G.**, Creation of Custom Implants Using 3D Modeling Based on CT-Scan Data, CAD/CAM Technologies with Virtual Prototypes, 3D Printing and High Speed Milling Manufacturing. (under printing)
9. **Митрев Р.** Синтез на геометричните параметри на работното съоръжение и работната зона на хидравличен багер. Българско списание за инженерно проектиране, бр. 33, август 2017.

DESCRIPTIVE GEOMETRIC DECISION OF THE COMBINED TASK FOR POSITIONING AND ORIENTATION SYSTEMS

Luchezar KOCHEV

Department „Theory of Mechanisms and Machines”, Technical University of Sofia, Bulgaria

e-mail: lkochev@tu-sofia.bg

Abstract: A spatial task for positioning and orientation for instrumental processing of a body with a complex (anthrological) wrapping surface is considered. Problems are placed in a classic geometric style and exemplary descriptive solutions to typical cases are given. Principal configurations of technological instrumentation devices are proposed.

Key words: spherical geometry, descriptive geometry, spherical mechanisms

Key words: spherical geometry, descriptive geometry, spherical mechanisms.

НОМЕНКЛАТУРА – ХАРАКТЕРИСТИКА И ИЗБОР ОТНОСНО НОМЕНКЛАТУРАТА НА ПРОДУКТИТЕ В ЛОГИСТИЧНА СИСТЕМА ЗА ПРОИЗВОДСТВО НА ПРЕФОРМИ ЗА БУТИЛКИ И ФЛАКОНИ

Стефка ТОШКОВА Николай КАЗАКОВ

катедра „Инженерна логистика”, Технически университет - София, България

e-mail: stoshkova@tu-sfoia.bg , nkazakov@tu-sofia.bg

Резюме: В настоящата статия е изследван проблемът за определяне на номенклатурата на продуктите в логистична система за производство на преформи за производство на полимерни бутилки и флакони. Разгледани са въпросите за определяне на ширината и дълбочината на продуктовата номенклатура, както и нейната хармоничност. Разгледана е номенклатурата на фирма, произвеждаща преформи за бутилки и флакони от полиетилен-терафталат. Направени са изводи относно дължината на продуктовата линия при производството на преформи.

Ключови думи: номенклатура, преформи, производство, продуктова линия, транспортни единици

1. ВЪВЕДЕНИЕ В ПРОБЛЕМА.

Номенклатурата използвана в една фирма, представлява база данни, която съдържа номерация, чрез която е описана продуктовата гама произвеждана и предлагана от съответната фирма. Използването на номенклатура дава възможност за по-лесно проследяване на артикулите, наличностите и запасите.

Ще разгледаме номенклатурата използвана в предприятие за производство на преформи за бутилки и флакони за хранително-вкусовата, козметичната и фармацевтичната промишленост.

Продуктовата номенклатура на предприятието, включва разнообразни артикули от гледна точка на различните функции, които те изпълняват, от гледна точка на това, че се продават на различни пазари или чрез различни канали за пласмент, или имат различен ценови диапазон. Въз основа на посочените критерии – функции, пазари, канали за пласмент и диапазон на цените се формират части от номенклатурата, наречени продуктови линии (продуктов асортимент, продуктова гама, продуктова серия). Най-често обособяването на продуктови линии става по критерий сходство във функциите и потребностите, които задоволява съответния продукт.[5]

Списъкът от артикулите, произвеждани и предлагани от дадена фирма се характеризира с три основни параметъра:

- Ширина на продуктовата номенклатура, която се определя от броя на продуктовете линии

- Дължина (дълбочина) на продуктовата номенклатура, която се определя от броя на артикулите във всяка линия.

- Хармоничност на продуктовата номенклатура, която изразява степента на сходство между артикулите в различните продуктови линии.

Под асортимент може да разбираме както разнообразието от гледна точка на групите продукти (продуктови линии и асортиментни групи), така и разнообразието от артикули в рамките на всяка група.

За да се разработи коректна и ефективна асортиментна политика е необходимо да се вземат решения за дължината, ширината и хармоничността на продуктовете линии.

Решение за дължината (дълбочината) на продуктовете линии –

Дължината (дълбочината) на продуктовете линии се измерва чрез броя на артикулите, които принадлежат към тази линия. Според Филип Котлър дължината се свързва с общия брой артикули в продуктовата линия, а дълбочината се отнася до това, колко варианта от всеки продукт се предлагат [5,6]. След като продуктовете линии имат дължина, то дължина има и стоквата номенклатура, а тя може да се измери чрез броя на всички артикули или чрез средния брой артикули, падащи се на една продуктова линия.

Решение за ширината на продуктовата номенклатура –

Ширината на продуктовата номенклатура се измерва чрез броя на включените в нея продуктови линии. Решението за ширината на продуктовата номенклатура е едно от най-сложните и важни решения при разработване на търговската марка, асортиментната политика и стратегията на фирмата. Бързото развитие на аутсорсинга (извършване на някои дейности от външни специалисти) показва, че фирмите се отказват от прекалено широката продуктова номенклатура и „разпиляването“ на дейностите си и предпочитат да се съсредоточат върху по-малко на брой дейности. Колкото повече продукти, пазари и съвместни дейности има една компания, толкова по-малка е печалбата ѝ. Добре е фирмата да прибегне до разширяване на номенклатурата си, ако има пазари и това е икономически ефективно, и носи съответната печалба, ако може да използва опита и репутацията си, свързани с производството на продуктите от съществуващите досега линии. Установяването на ширината на продуктовата номенклатура води до определена нейна хармоничност.

Хармоничността (завършеността) на продуктовата номенклатура е израз на сходството (степената на близост) между продуктите от различните линии. Сходството може да се разглежда спрямо различни точки

- От гледна точка на функциите на продуктите от различните линии

- От гледна точка на технологията и организацията на производството

- От гледна точка на каналите за пласмент

Изследването на хармоничността на номенклатурата, онагледява как решенията в едни области се мултиплицират в други области. Съпоставянето на икономии в едни области с преразходите в други области е много полезно при определянето на икономическата ефективност за изследваната компания като цяло, а не за отделните нейни дейности.

В зависимост от съчетаването на решенията за ширината и дължината на продуктовата номенклатура се получават четири основни варианта – табл. 1

Табл. 1 Ширината и дължина на продуктовата номенклатура.

	Малка дължина	Голяма дължина
Малка ширина	I вариант: ограничен брой продуктови линии с малък брой артикули във всяка линия	II вариант: ограничен брой продуктови линии с много на брой артикули във всяка линия
Голяма ширина	III вариант: много на брой продуктови линии с малък на брой артикули във всяка линия	IV вариант: много на брой продуктови линии с голям брой артикули във всяка линия

2. ИЗСЛЕДВАНЕ НА ПРОДУКТОВАТА НОМЕНКЛАТУРА В ЛОГИСТИЧНАТА СИСТЕМА НА ФИРМА „ТЕРАХИМ 97“ АД.

Вторият вариант се характеризира с малка ширина на продуктовата номенклатура (преформите според течността която ще се съхранява в тях – газирани или спокойна) и голяма дължина на продуктовите линии (различните грамажи, според вместимостта на бутилките и флаконите, които ще бъдат произведени впоследствие) и носи съответните предимства и недостатъци на тесните номенклатури и дългите линии.

Този вариант описва най-добре номенклатурата която сме избрали за производството на фирма „ТЕРАХИМ 97“ АД – поради строгата специализация в производството, изискваща специални знания и опит, използваните специфични техники и технологии на производството. Не е необходимо фирма „ТЕРАХИМ 97“ да прибегва до разширяване на продуктовата номенклатура, защото ще е необходимо да се използват различни сфери на познанието, различна техника и технологии, суровини, материали, оборудване, работна сила с различна квалификация, различни клиенти и т.н. Тук продуктовите линии са къси и появата на всяка техническа новост води до отпадане на стари продукти от линията и замаяната им с нови, които по-добре изпълняват съответните функции. Основен недостатък при избраният вариант е, че ако се получи срив в търсенето на произвежданият продукт фирмата ще остане без поле за действие. Приложението на

този вариант във фирма „ТЕРАХИМ 97“ АД може да бъде определено като правилно, защото тяхната продукция е в област с дългосрочно търсене и промените в търсенето се отнасят до усъвършенстване на преформите, респективно и на бутилките според нуждите и желанията на клиентите.

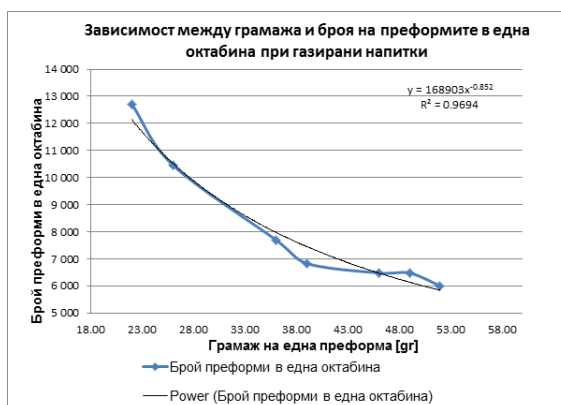
Поради спецификите изисквани от клиентите относно размери, цветове и форми на желанния краен продукт – бутилка или флакон ще разгледаме двете основни продуктови линии в номенклатурата на фирма „ТЕРАХИМ 97“ АД – преформи за газирани напитки и за спокойни течности. Дължината и на двете продуктови линии, може да бъде много голяма, поради разнообразието от размери и цветове на преформите.

Преформите за газирани течности имат по-тясно и по-високо гърло, с по-голям брой навивки за капачката, за да може да задържат газировката, също дъното им не е гладко, за да придава по-голяма здравина и стабилност на бутилката. Тези изисквани водят до по-големият грамаж на преформите за производство на бутилки за газирани течности. В таблицата са посочени най-търсените и съответно най-произвежданите преформи за газирани напитки.

Табл. 2 – преформи за производство на бутилки за газирани напитки

Грамаж [gr]	Бр. преформи в една октабина	Нето на окта-Бината [kg]	За бутилка от [l]
22,00	12 704	280,00	0,300 – 0,500
26,00	10 460	272,00	0,500 – 1,000
36,00	7 704	278,00	1,500 – 2,000
39,00	6 832	268,00	1,500 – 2,000
46,00	6 480	298,00	2,000 – за бира
49,00	6 480	318,00	2,000 – за бира
52,00	6 000	313,00	2,000 – за бира

Може да се изведе зависимост между грамажа на преформите за газирани напитки и броя им в една транспортна единица, Зависимостта е показана на графика 1,



Направените изследвания показват, че разглежданата зависимост може да се опише със уравнение 1,

$$N = 168903 \cdot g^{-0,852} \quad (1)$$

Където:

N е броя на преформите за газирани напитки в една октабина

g е грамажа на една преформа за газирани напитки

Като мярката за определеност $R^2 = 0,9694 \approx 0,97$ е сравнително висока.

Преформите за спокойни течности имат по-ниско гърлото, с по-малък брой навивки, с по-тънки стени са и могат да бъдат с плоско дъно. Те могат да се разглеждат в следните групи

- За олио – обикновено са прозрачни, за производство на бутилки между 0,700 – 1,000 литър. С гърло за капачка, която се монтира чрез набиване.

- За вода и безалкохолни (студен чай, сок, пунш и т.н.) – Преформите се оцветяват по желание на клиента, обикновено са прозрачни или сини. Големината на гърлото е по изискване на клиента.

- За мляко – те са с по-широко гърло и се оцветяват в бяло, за да запазят качеството на млечния продукт.

- За фармацевтията се оцветяват в кафяво, за да се защити съдържанието (течност или таблетки) от пряка слънчева светлина. Гърлото им е по-високо за да може да се монтира специална защитна капачка, която е комбинация от капачка, която се набива и такава която се отваря със завъртане, със защита за отваряне от деца.

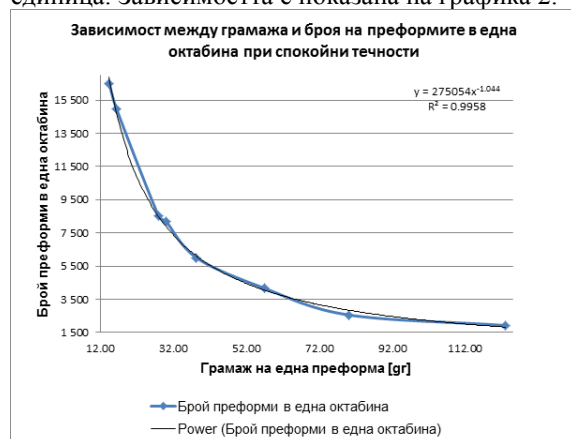
- За алкохол – Преформите са за бутилки с вместимост 0,200 – 0,300 литра. Специфичното при тях е, че имат най-голям брой навивки на гърлото, тъй като се монтира метална капачка. В таблицата са посочени най-търсените и съответно най-произвежданите преформи за спокойни течности.

Табл. 3 – преформи за производство на бутилки за спокойни течности

Грамаж [gr]	Брой преформи в една октабина	нето на октабина [kg]	За бутилка от [l]
14,50	16 512	241,00	0,500
16,50	14 976	250,00	0,500
28,00	8 512	240,00	1,000-1,500
30,00	8 208	249,00	1,000-1,500
38,40	6 000	231,00	1,000-1,500
57,00	4 160	238,00	3,000±
80,00	2 556	205,00	5,000±
123,00	1 920	236,00	10,000±

Преформите с грамаж до 30,00 и тези от 57,00 до 123,00 грама най-често се използват за производство на бутилки за миниерална вода. Преформите от 38,40 грама се използват за мляко, студен чай, пунш, олио и други.

Аналогично и тук може да изведем зависимост между грамажа и преформите за спокойни течности и броя им в една транспортна единица. Зависимостта е показана на графика 2.



Направените изследвания показват, че разглежданата зависимост може да се опише със уравнение 2.

$$M = 275054.k^{-1.044} \quad (2)$$

Където:

N е броя на преформите за спокойни течности в една октабина

k е грамажа на една преформа за спокойни течности

Като мярката за определеност $R_1^2 = 0,9958$ е много висока.

На база на изведените зависимости би могло да се определи броя на преформите според техния грамаж в една транспортна единица.

Броя на произведените преформи, количеството на вложената суровина, броя на складираните и доставени транспортни единици са показатели за ефективността на логистичната система.

След направени изчисления броя на произведените преформи, при 24 часов работен цикъл за някои видове преформи е представен в таблици 4 и 5:

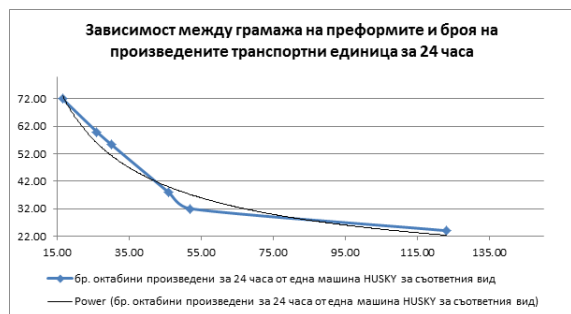
Табл. 4 и 5. Брой на произведени преформи, при 24 часов работен цикъл

грамаж [gr]	брой преформи в една октабина	нето на октабина [kg]	време за производство на 1 октабина [мин]
26,00	12 000	312,00	24
46,00	6 480	298,00	38
52,00	6 000	313,00	45
16,50	14 976	250,00	20
30,00	8 208	249,00	26
123,00	1 920	236,00	60

грамаж [gr]	бр. октабини произведени за 1 час от една машина HUSKY за съответния вид	бр. октабини произведени за 24 часа от една машина HUSKY за съответния вид
26,00	2,50	60,00
46,00	1,58	37,89
52,00	1,33	32,00

16,50	3,00	72,00
30,00	2,31	55,38
123,00	1,00	24,00

Зависимостта между грамажа на преформите и броя на получените, готови транспортни единици е показана на графика 3.



От графиката, ясно се вижда, че колкото по-голям е грамажа на преформите, толкова по-малко са произведените количества и съответно получените транспортни единици.

Зависимостта може да се опише със следното уравнение:

$$P = 385,04 \cdot n^{-0,592} \quad (3)$$

Където:

P е броя на произведените транспортни единици

n е грамажа на една преформа, без значение дали тя е за газирани напитки или за спокойни течности

Като мярката за определеност $R_1^2 = 0,9537$ е висока.

3. ИЗВОДИ И ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Като заключение може да кажем, че в производството на преформи се избират дълги продуктови линии, които позволяват на фирмата да излезе на пазара с изчерпателен асортимент, да постигне голям пазарен дял, като намалява риска от навлизане на конкуренти на съответния пазар и се издига репутацията на фирмата, тъй като се задоволяват изискванията на различни групи потребители; това спомага за подобряване на сътрудничеството в каналите за пласмент.

За фирмата е по-изгодно да приема поръчки за по-малки грамажи на преформите, респективно

за бутилки с по-малък обем, тъй като при производството ще се получава по-голям обем готова продукция за 24 часов работен цикъл.

Литература

1. **Благоев Б** и др., Стопанска логистика, Икономически университет Варна, 2009
2. **Василева Л.**, Дистрибуционна политика, I част, Тракия М, София 2005
3. **Казаков Н.**, Логистика, изд. Софтрейд, 2000
4. **Катранджиев Х.**, Дистрибуционна политика. С. Издателски комплекс – УНСС, 2011
5. **Лазарова В.**, Продуктът – маркетингови стратегии и политики. С. Издателски комплекс – УНСС, 2007.
6. **Младенов М.**, ШУ “Е. К. Преславски” - Състав, структура, взаимни зависимости и възможни противоречия при формирането на логистичната верига
7. **Милкова Т.**, Снабдителни вериги, същност, особености и обхват. С, 2009
8. **Чанкова Л.**, Условия и предимства на въвеждането на логистичния подход във фирменото управление, ИБИС, 2011, с.296-304
9. **Baumgarten H.; Darkow, I.-L.** (2001) Management von Logistikprozessen
10. Council of Supply Chain Management Professionals (SCCMP) - <http://cscmp.org/>

**NOMENCLATURE – CHARACTERISTICS AND CHOICE OF PRODUCTS
NOMENCLATURE IN THE LOGISTICS SYSTEM FOR PRODUCTION OF
PREFORMS OF BOTTLES AND VIALS**

Stefka TOSHKOVA Nikolay KAZAKOV

Logistics engineering department, Technical University-Sofia, Bulgaria

e-mail: stoshkova@tu-sofia.bg , nkazakov@tu-sofia.bg

Abstract: The current article explores the problem of determining the nomenclature of products in the logistics system for manufacturing of preforms for polymer bottles and vials production. The questions of determining the width, depth and harmony of the product's nomenclature have been examined. The nomenclature of a company producing polyethylene terephthalate preforms for bottles and vials has been studied. Conclusions on the length of the production line in the manufacturing of preforms have been made.

Key words: nomenclature, preforms, production, production line, transport units

OPTIMIZATION OF HARMFUL EMISSIONS FROM FACTORIES IN THE ENVIRONMENTAL ZONES OF THE INDUSTRIAL REGION

Aleksander STENIN¹, Ekaterina MELKUMIAN², Sergii STENIN³, Oleksander MIZOV⁴

¹ department of Technical Cybernetics NTUU “Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute” - Kyiv, Ukraine
e-mail: alexander.stenin@yandex.ru

² department of Technical Cybernetics NTUU “Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute” - Kyiv, Ukraine
e-mail: e.melkumyan@ukr.net

³ deputy Head of the Department of Expertise and Researches of Chemical and Industrial Products of DFS of Ukraine
e-mail: serg.stenin@gmail.com

⁴ department of Technical Cybernetics NTUU “Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute” - Kyiv, Ukraine

Abstract: The increase in emissions of harmful chemicals acting industry, that are polluting the environment, leads to disruption of the ecological balance. Although these contaminants are local in nature, they affect many people compactly residing in such areas. The main measures to combat air pollution are: strict control of emissions, replacing toxic to non-toxic products, moving to closed loops, improvement of methods of gas cleaning and dust removal and other. In this paper, in order to optimize business emissions in industrial ecological zones of the region proposed the superposition method. This method allows to solve elementary problems by reducing the basic problem to a linear programming problem, which can be solved by standard numerical procedures.

Key words: air emissions, Navier-Stokes equations, ecological zone, intensity of emission, pollution intensity, checking functionality, calculated functional, linear programming.

1. INTRODUCTION

Increasing of the carbon dioxide concentration in the due to emissions from factories is one of the current problems. The most dangerous consequence of may be an increase of the average temperature on Earth due to “greenhouse effect”. The problem of disrupting the carbon exchange cycle already moves from ecological sphere to economical, social, and political spheres.

Increasing in emissions of harmful chemicals from factories pollute environment and therefore causes ecological imbalance. Ecological imbalance causes changing of the Earth climate. Numerous international programs, protocols, contracts, and agreements are created to manage these problems. For example, “United Nations Framework Convention on Climate Change” was adopted on 9th May 1992 in New York. Five years later, the Kyoto Protocol, which extends the United Nations Framework Convention on Climate Change was developed, adopted and accepted for implementation by many countries including Ukraine.

Emissions from industrial factories and transportation cause pollution of the local regions. First of all, it refers to sulfur dioxide pollution. It causes acid rain that damages flora and fauna and causes diseases of the population. There are many different harmful chemicals in the air of the big cities

and industrial centers. The air there often contains nitrogen oxides and aerosols that are emitted by vehicles engines and factories pipes along with carbon oxides and sulfur oxides. Smog also occurs very often. Even though this pollution is local, it harms nature and many people that live in these areas.

The main ways to reduce air pollution include, but are not limited to strict emission control, substitution of toxic resources by non-toxic, using closed production cycles, modernizing gas cleaning and dust collection methods, etc. There are many articles that talk about this problem; however, [1-5] are the closest to the aspects described in this article.

2. FORMULATION OF THE PROBLEM

Let's say n industrial factories are situated in a region with border L . Each enterprises marked as A_i ($i = \overline{1, n}$) with coordinates $\bar{r}_i(x_i, y_i, z_i)$ and it is emitting Q_i of an aerosols per second. All chemical composition from aerosols will be the same to simplify basic problem – fig.1.

Let's also assume that each region is a cylindrical area with lateral surface area S_L , area of the top circle S_O ($z = 0$), and area of the bottom circle S_H ($z = H$). There are m environmental zones in the industrial region. Each zone is marked as G_k ($k = \overline{1, m}$) with determined threshold limit value of deposited aerosols during the period $[0, T]$, where T is a year

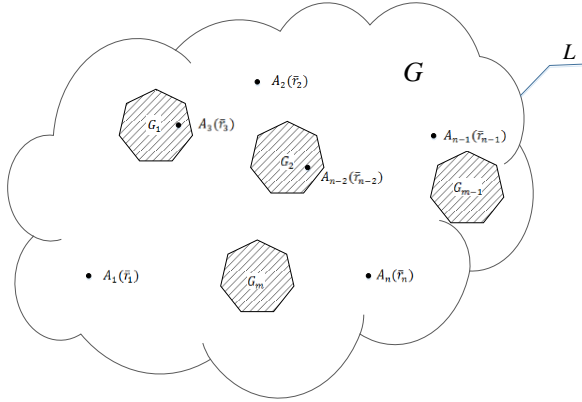


Fig.1 Map of industrial region with locations of factories and ecological zones.

The problem is to determine limit value of emitted aerosols for each factory, so the sum of these emissions is less then threshold limit value. It should also require minimal economic expenses for updating industrial facilities to reach acceptable emission level.

3. THE SOLUTION OF THE PROBLEM

It is known that Navier-Stokes equation describes mathematical model of aerosols diffusion flux in atmosphere and has the following form:

$$\begin{aligned} \frac{\partial \varphi}{\partial t} + v_x \frac{\partial \varphi}{\partial x} + v_y \frac{\partial \varphi}{\partial y} + v_z \frac{\partial \varphi}{\partial z} + \sigma \varphi = \\ = \frac{\partial}{\partial z} \nu \frac{\partial \varphi}{\partial z} + \mu \Delta \varphi + \sum_{k=1}^m Q_k \delta(\bar{r} - \bar{r}_k) \end{aligned} \quad (1)$$

where $\varphi(x, y, z)$ - intensity of aerosol components, that are migrating with air flow in atmosphere; $\bar{v} = (v_x, v_y, v_z)$ - velocity vector along coordinate axis x, y, z ; ν, μ - vertical and horizontal turbulent exchange coefficient respectively; $\bar{r}_k(x_k, y_k, z_k)$ - k -th factory position; σ - absorption coefficient that is inversely proportional to the time.

Equation (1) corresponds to the problem if the following conditions are satisfied:

$$\begin{cases} \varphi = f_L \text{ substituted with } S_L \\ \frac{\partial \varphi}{\partial z} = \alpha \varphi \text{ substituted with } S_0 \\ \frac{\partial \varphi}{\partial z} = 0 \text{ substituted with } S_H \end{cases} \quad (2)$$

where α - coefficient that represents the probability of re-entering atmosphere by the aerosol substance deposited on the Earth's surface; f_L - initial

pollution level on the side surface of cylindrical model of the factory region.

Let's consider the problem climatically periodic where period T equals to a year, i.e.

$$\varphi(\bar{r}, T) = \varphi(\bar{r}, 0) \quad (3)$$

Continuity equation is to be added to each moment of time for components of velocity vector \bar{V} in equations (1) - (3) [2]

$$\frac{\partial v_x}{\partial x} + \frac{\partial v_y}{\partial y} + \frac{\partial v_z}{\partial z} = 0, \quad (4)$$

$$V_z = 0 \text{ if } z = 0 \text{ and } z = H$$

The calculation formula for the annual pollution dose for the k -th environmental zone is:

$$F_k = \int_0^T dt \int_{G_k} P_k \varphi dG, \quad (5)$$

where:

$$P_k = \begin{cases} 1, & \text{if } \bar{r} \in G_k \\ 0, & \text{if } \bar{r} \notin G_k \end{cases} \quad (6)$$

and it takes into account pollution of the k -th environmental zone.

Annual threshold limit value must fulfill the following limitations:

$$F_k \leq C_k, \quad (k = \overline{1, m}) \quad (7)$$

where C_k - current health standards for k -th environmental zone.

Let's introduce functional that allows to find a certain set of planned emissions of aerosols Q_i according to the functional (5) for determining the dose of pollution with the purpose of fulfilling the limitations (7). This functional decreases emissions, ensures the production of the same volume of products with minimal expenses of technological reconstruction and has the following form:

$$I = \sum_{i=1}^n k_i (Q_{ni} - Q_{ni}) \rightarrow \min \quad (8)$$

where Q_{ni} - initial emission capacity level; Q_{ni} - planned emission capacity level; k_i - coefficient that presents the investment in technology, which ensures the production of the same volume of products and emissions capacity reduction (per unit of emission capacity).

It is difficult to find an analytical solution to problems (1) - (8). Therefore, superposition method is proposed for these problems to be solved by transforming basic problems to linear programming problems.

Pollution intensity for current industrial region (taking into account external pollution) has the following form:

$$\varphi = \sum_{i=1}^n Q_i \varphi_i(\bar{r}, t) \quad (9)$$

where $\varphi_i(\bar{r}, t)$ – it is solution of (1) equation for i -th industrial factory i.e.

$$\frac{\partial \varphi_i}{\partial t} + V_1 \frac{\partial \varphi_i}{\partial x} + V_2 \frac{\partial \varphi_i}{\partial y} + V_3 \frac{\partial \varphi_i}{\partial z} + \sigma \varphi_i = \frac{\partial}{\partial z} \vartheta \frac{\partial \varphi_i}{\partial z} + \mu \Delta \varphi_i + \delta(\bar{r} - \bar{r}_i) * Q_i \quad (10)$$

with the boundary limitations

$$\begin{cases} \varphi_i = 0 \text{ на } S_L \\ \frac{\partial \varphi_i}{\partial z} = \alpha \varphi_i \text{ на } S_0; \frac{\partial \varphi_i}{\partial z} = 0 \text{ на } S_H \end{cases} \quad (11)$$

Therefore, solution (9) can be used in functional (5).

Hence

$$F_k = \sum_{i=1}^n Q_{ni} a_{ik} \quad (12)$$

where

$$a_{ik} = \int_0^T dt \int_{G_k} P_k \varphi_i(\bar{r}, t) dG, \quad i = \overline{1, n}, \quad k = \overline{1, m} \quad (13)$$

In this case, coefficients a_{ik} are already known constants. Combining (7), (8), (12), (13) results in the following:

$$\begin{cases} \sum_{i=1}^n k_i (Q_{ui} - Q_{ni}) \rightarrow \min \\ \sum_{i=1}^n Q_{ni} a_{ik} \leq C_k, \quad k = \overline{1, m} \end{cases} \quad (14)$$

It is convenient to replace Q_{ni} with $q_i = Q_{ni} - Q_{ui}$. Therefore, we obtain the linear programming problem to find optimal set of q_i as the solution for the following equations

$$\begin{cases} \sum_{i=1}^n k_i q_i \rightarrow \min \\ \sum_{i=1}^n a_{ik} q_i \geq R_k, \quad k = \overline{1, m} \\ q_i \geq 0, \quad i = \overline{1, n} \end{cases} \quad (15)$$

where

$$R_k = \sum_{i=1}^n a_{ik} Q_{ni} - C_k \quad (16)$$

The number of limitations can be changed according to the priority of social and economic demands [3, 4].

If a region borders with other industrial regions emissions from which get into the current region, the following equation must be added to equation (10):

$$\frac{\partial \varphi_L}{\partial t} + V_x \frac{\partial \varphi_L}{\partial x} + V_y \frac{\partial \varphi_L}{\partial y} + V_z \frac{\partial \varphi_L}{\partial z} + \sigma \varphi_L = \frac{\partial}{\partial z} v \frac{\partial \varphi_L}{\partial z} + \mu \Delta \varphi_L \quad (17)$$

with limitations

$$\begin{cases} \varphi_L = f \text{ substituted with } S_L \\ \frac{\partial \varphi_L}{\partial z} = \alpha \varphi_i \text{ substituted with } S_0 \\ \frac{\partial \varphi_L}{\partial z} = 0 \text{ substituted with } S_H \end{cases} \quad (18)$$

Thus, equation (9) can be transformed next way:

$$\varphi = \sum_{i=1}^n Q_i \varphi_i(\bar{r}, t) + b_k \quad (19)$$

where

$$b_k = \int_0^T dt \int_{G_k} P_k \varphi_s(\bar{r}, t) dG. \quad (20)$$

Hence, linear programming problem (15) get the following form:

$$\begin{cases} \sum_{i=1}^n k_i q_i \rightarrow \min \\ \sum_{i=1}^n a_{ik} q_i \geq R_k, \quad k = \overline{1, m} \\ q_i \geq 0, \quad i = \overline{1, n} \end{cases} \quad (21)$$

where

$$R_k = \sum_{i=1}^n a_{ik} Q_{ni} + b_k - C_k \quad (22)$$

Special and general linear programming problems of optimization of harmful emissions from factories in the environmental zones of the industrial region that was described above can be solved using well-known methods of numerical analysis [6].

3. CONCLUSION

Since, problems that were described in this article are linear and periodical their solution can be found in context of one period starting from some initial data. Usually it takes several annual cycles of calculation. In addition, since we obtain the linear programming problem with limitations $q_i \geq 0$ and positive coefficients a_{ik} , b_k the solution is on the faces of polyhedral that were made by drawing the limitations using standard linear programming methods.

Literature

1. **Pentl R.** Methods of system analysis of the environment. / Per. from english ed. N.N.Moiseyeva-M.: Mir.1979.
2. **Marchuk G.I.** Mathematical Modeling in the environment problem. M.: Science. 1982.
3. **Garin V.M., Klenova I.A., Kolesnikov V.I.**, Industrial Ecology, Route, 2005.
4. Protection of the environment from the negative impact of economic activity / ed. Yeliseyev D.V. - Novosibirsk: Izd. SibAk, 2015.
5. **Shvyrjaev A.L., Menshikov V.V.** Assessment of the risk of atmospheric pollution in the region under study - Moscow: Publishing house of Moscow State University. 2004.
6. **Feldman L.P., Petrenko A.I., Dmitrieva O.A.** Numerical methods in computer science. K.: Publishing Group BHV, 2006. r

OPTIMIZATION OF HARMFUL EMISSIONS FROM FACTORIES IN THE ENVIRONMENTAL ZONES OF THE INDUSTRIAL REGION

Aleksander STENIN¹, Ekaterina MELKUMIAN², Sergij STENIN³, Oleksander MIZOV⁴

¹ department of Technical Cybernetics NTUU “Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute” - Kyiv, Ukraine
e-mail: alexander.stenin@yandex.ru

² department of Technical Cybernetics NTUU “Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute” - Kyiv, Ukraine
e-mail: e.melkumyan@ukr.net

³ deputy Head of the Department of Expertise and Researches of Chemical and Industrial Products of DFS of Ukraine
e-mail: serg.stenin@gmail.com

⁴ department of Technical Cybernetics NTUU “Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute” - Kyiv, Ukraine

Abstract: This article describes method of harmful emissions from factories in the environmental zones of the industrial region optimization, which is based on the superposition method for solving problems by transforming base problem to linear programming problem

Key words: air emissions, Navier-Stokes equations, environmental zone, intensity of emission, calculated functional, linear programming.

СИНТЕЗ НА ПАРАМЕТРИТЕ НА ЗАДВИЖВАЩИТЕ МЕХАНИЗМИ НА ХИДРАВЛИЧЕН БАГЕР

Росен МИТРЕВ

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

Резюме: В настоящата работа е предложен оптимизационен подход за синтез на геометричните параметри на задвижващите механизми на хидравлични багери. Геометричните параметри така се определят, че механизма да удовлетворява геометрични и силови условия в крайните и средното положения. Дефинирана е двукритериална многопараметрична оптимизационна задача, решаването на която води до получаване на оптимални геометрични параметри на механизма и оптимални ход и диаметър на хидравличния цилиндър при зададените ограничения. След избора на стандартизиран цилиндър, близък до оптималния, се извършва коригиране на геометричните параметри чрез решаване на нова оптимизационна задача, като получените оптимални стойности на геометричните параметри са окончателни.

Ключови думи: хидравличен багер, оптимизация, задвижващи механизми

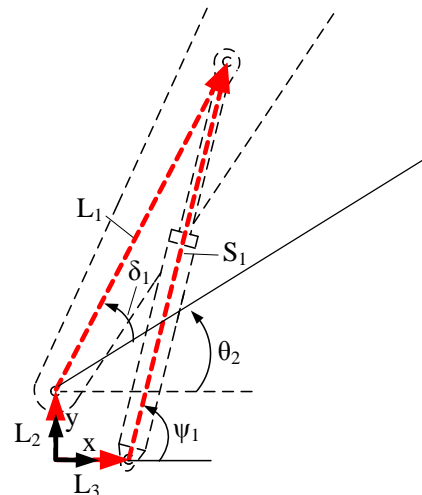
1. ВЪВЕДЕНИЕ

Определените в [4] геометрични параметри на звената (кинематични дължини и екстремални ъгли на завъртане) позволяват да се определят геометричните и силовите параметри на задвижващите механизми. Определените параметри на механизмите следва да удовлетворяват две основни изисквания: 1) Реализация на зададения ъгъл на завъртане на звеното; 2) Реализация на зададен въртящ момент при зададено налягане в хидравличната система.

По своята кинематична структура, задвижващите механизми на звената представляват шарнирно-лостови механизми, чийто структурно-метричен синтез може да се извърши по редица аналитични, геометрични и числени методи [2,7,8,10,11]. В настоящата работа се използва оптимизационен метод, позволяващ определяне на параметрите на оптимален по определени критерии механизъм.

2. ДЕФИНИРАНЕ НА ОПТИМИЗАЦИОННА ЗАДАЧА

На фиг.1 е показана геометричната схема на механизма за задвижване на стрелата, чийто кинематични характеристики са получени в [5,6].



фиг.1 Геометрична схема на механизма за задвижване на стрелата

Силата $F_{хц}$, създавана от хидравличния цилиндър се представя като еквивалентен момент M_c , приложен към стрелата. Зависимостта на момента от силата $M_c(F_{хц})$ се получава чрез прилагане на принципа на виртуалната работа, който за разглеждания механизъм има следния вид:

$$F_{хц} \delta S_1 = M_c \delta \theta_2 \quad (1)$$

или

$$M_c = F_{хц} \frac{\delta S_1}{\delta \theta_2} \quad (2)$$

където δS_1 е виртуалното преместване на буталния прът, а $\delta\theta_2$ е виртуалното завъртане на стрелата. Тъй като

$$\frac{\delta S_1}{\delta\theta_2} = \frac{\dot{S}_1}{\dot{\theta}_2} \quad (3)$$

където \dot{S}_1 е скоростта на буталния прът на хидравличния цилиндър, а $\dot{\theta}_2$ е ъгловата скорост на стрелата, то

$$M_c = kF_{xii} \quad (4)$$

където k е първата предавателна функция на механизма, която е получена в [6]:

$$k = \frac{\dot{S}_1}{\dot{\theta}_2} = -L_1 \sin(\delta_1 + \theta_2 - \psi_1) \quad (5)$$

$$\psi_1 = \text{atan2}(A, B), \quad A = \frac{L_1 \cos(\delta_1 + \theta_2) - L_3}{S_1},$$

$$B = \frac{L_1 \sin(\delta_1 + \theta_2) + L_2}{S_1}.$$

Изхождайки от функционалното предназначение на механизма, геометричните характеристики му характеристики и параметрите на хидравличния цилиндър следва така да се определят, че да се изпълняват следните условия:

1) **Геометрично условие.** Геометричните параметри на механизма и хода на хидравличния цилиндър така да се подберат, че стрелата да се завърта на зададените максимален и минимален ъгли съответно при максимално разпънат и максимално прибран хидравличен цилиндър;

2) **Силово условие.** При зададена максимално допустима сила в хидравличния цилиндър, ограничена от налягането в хидравличната система, геометричните параметри на механизма и диаметъра на хидравличния цилиндър така да се определят, че при зададени ъгли на наклона на стрелата да се реализират зададени въртящи моменти, продиктувани от външното силово натоварване на механизма.

Решението на дефинираната задача за избор на геометрични параметри на задвижващия механизъм е нееднозначно, тъй като е възможен избора на повече от един хидравлични цилиндри с определени диаметър и ход, които да реализират точно или с определено приближение зададените геометрични и силови условия. Обикновено, стремежът е диаметъра и хода на хидрав-

личния цилиндър да са минимални, което поставя противоречиви изисквания – отдалечаването на оста на хидравличния цилиндър от оста на ротация на стрелата води до намаляване на неговия диаметър, но до увеличаване на хода му и обратно. Очевидно тук следва да се дефинира оптимизационна задача, чието решение ще минимизира едновременно и хода и диаметъра на хидравличния цилиндър. В [1] е предложено като целева функция да се използва работния обем на хидравличния цилиндър, като се търси нейния минимум:

$$Z_1 = nh \frac{\pi D^2}{4} \rightarrow \min \quad (6)$$

където D е диаметъра на буталото на хидравличния цилиндър, h е ходът, а n е броят на паралелно работещите хидравлични цилиндри. Също така, ако се счита, че обемът е пропорционален на теглото на цилиндъра, то се минимизира и неговото тегло. Оптимизацията на цилиндрите на всички задвижващи механизми на работното съоръжение ще доведе до намаляване на неговата маса и съответно подобряване на техническите характеристики.

Минимизацията на целевата функция следва да се извърши при спазване на някои ограничения, продиктувани от необходимите характеристики на механизма. Ограниченията в оптимизационната задача се записват за три положения на механизма, в които трябва да се удовлетворяват зададени геометрични и силови условия. Те са следните:

1) Ограничения при минимален ъгъл на наклона на стрелата

• Минималната дължина на хидравличния цилиндър да се реализира при зададения минимален ъгъл на наклона на стрелата:

$$S_{1\min} = S_1(\theta_{2\min}) = L_T + h \quad (7)$$

където чрез h е означен хода на хидравличния цилиндър, а L_T е технологичната дължина на цилиндъра. Зависимостта на дължината на хидравличния цилиндър от геометричните параметри на механизма е следната:

$$S_{1\min} = \sqrt{L_1^2 + L_2^2 + L_3^2 + 2L_1 \left(\begin{matrix} L_2 \sin(\delta_1 + \theta_{2\min}) - \\ -L_3 \cos(\delta_1 + \theta_{2\min}) \end{matrix} \right)} \quad (8)$$

• Въртящият момент, създаван от хидравличния цилиндър да има стойност M_T :

$$nF_{xy}k_{\min} = M_{\min} = M_1 \quad (9)$$

където F_{xy} е силата в хидравличния цилиндър, изчислена чрез работното налагане в хидравличната система [1]:

а) при разпъване на хидравличния цилиндър:

$$F_{xy} = \frac{\pi \cdot D^2}{4} (p - p_0 (1 - \lambda^2)) \quad (10)$$

б) При прибиране на хидравличния цилиндър:

$$F_{xy} = \frac{\pi \cdot D^2}{4} (p (1 - \lambda^2) - p_0) \quad (11)$$

където p и p_0 са наляганята в напорната и сливната магистрала, а $\lambda = d/D$ е отношението на диаметъра на буталния прът d и диаметъра на буталото D , приемащо няколко стандартни стойности. Разстоянието k_{\min} се пресмята по следния начин:

$$k_{\min} = k(\theta_{2\min}) = -L_1 \sin(\delta_1 + \theta_{2\min} - \psi_{1\min}) \quad (12)$$

като: $\psi_{1\min} = \text{atan2}(A_{\min}, B_{\min})$,

$$A_{\min} = \frac{L_1 \cos(\delta_1 + \theta_{2\min}) - L_3}{S_{1\min}},$$

$$B_{\min} = \frac{L_1 \sin(\delta_1 + \theta_{2\min}) + L_2}{S_{1\min}}.$$

2) Ограничения при максимален ъгъл на наклона на стрелата

Аналогично, при максимален ъгъл на наклона на стрелата могат да се запишат следните ограничения:

- Максималната дължина на хидравличния цилиндър да се реализира при зададения максимален ъгъл на наклона на стрелата:

$$S_{1\max} = S_1(\theta_{2\max}) = L_T + 2h \quad (13)$$

и

$$S_{1\max} = \sqrt{L_1^2 + L_2^2 + L_3^2 + 2L_1 \left(\begin{matrix} L_2 \sin(\delta_1 + \theta_{2\max}) - \\ -L_3 \cos(\delta_1 + \theta_{2\max}) \end{matrix} \right)} \quad (14)$$

- Въртящият момент, създаван от хидравличния цилиндър също да има стойност M_1 :

$$nF_{xy}k_{\max} = M_{\max} = M_1 \quad (15)$$

като

$$k_{\max} = k(\theta_{2\max}) = -L_1 \sin(\delta_1 + \theta_{2\max} - \psi_{1\max}) \quad (16)$$

$$\psi_{1\max} = \text{atan2}(A_{\max}, B_{\max}),$$

$$A_{\max} = \frac{L_1 \cos(\delta_1 + \theta_{2\max}) - L_3}{S_{1\max}},$$

$$B_{\max} = \frac{L_1 \sin(\delta_1 + \theta_{2\max}) + L_2}{S_{1\max}}.$$

3) Ограничения при ъгъл на наклона на стрелата в средата на интервала

Стойността на ъгъла на наклона в този случай е:

$$\theta_{2sr} = \theta_{2\min} + \frac{\theta_{2\max} - \theta_{2\min}}{2} \quad (17)$$

Моментното ограничение при среден ъгъл на наклона на стрелата е следното - въртящият момент, създаван от хидравличния цилиндър да има стойност $M_2 > M_1$:

$$nF_{xy}k_{sr} = M_{sr} = M_2 \quad (18)$$

като

$$k_{sr} = k(\theta_{2sr}) = -L_1 \sin(\delta_1 + \theta_{2sr} - \psi_{1sr}) \quad (19)$$

$$\psi_{1sr} = \text{atan2}(A_{sr}, B_{sr}), \quad A_{sr} = \frac{L_1 \cos(\delta_1 + \theta_{2sr}) - L_3}{S_{1sr}},$$

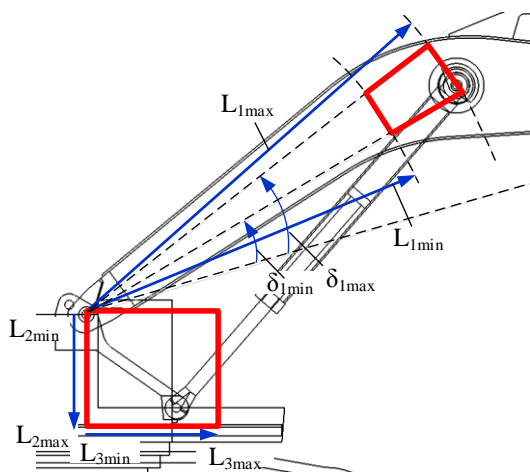
$$B_{sr} = \frac{L_1 \sin(\delta_1 + \theta_{2sr}) + L_2}{S_{1sr}}.$$

Средите на интервалите на ъглите на завъртане на звената и тяхната околност съответстват на частта от работната зона, в която се извършват най-много технологични операции и ограничението на стойността M_2 на въртящия момент да бъде по-голяма от стойността M_1 на въртящия момент в краищата на интервалите на завъртане позволява реализацията на по-голяма сила на копаене в този най-често използван участък. Очевидно е, че поради различните сили, които се реализират при разпъване и прибиране на хидравличния цилиндър (при зададено едно и също налягане) силовите характеристики на механизма ще бъдат различни и ще зависят от β . Допълнително следва да се зададат интервални ограничения в допустими конструктивно допустими граници за стойностите на геометричните параметри: $\delta_{1\min} \leq \delta_1 \leq \delta_{1\max}$, $L_{1\min} \leq L_1 \leq L_{1\max}$,

$$L_{2\min} \leq L_2 \leq L_{2\max}, \quad L_{3\min} \leq L_3 \leq L_{3\max},$$

$h_{\min} \leq h \leq h_{\max}$, $D_{\min} \leq D \leq D_{\max}$. На фиг.2 с червена линия са показани допустимите зони за разполагане на точките на окачване на хидравличния цилиндър върху стрелата и върху базо-

вата машина и свързаните с тях геометрични параметри.



фиг.2 Допустими зони, подходящи за точките за разполагане на точките окачване

От фиг.1 се вижда, че параметрите, които следва да се определят в резултат на решаването на оптимизационната задача са: 1) геометричните параметри на механизма δ_1, L_1, L_2, L_3 ; 2) геометричните параметри на хидравличния цилиндър h, D , т.е. векторът на управляващите параметри е с размерност 6×1 .

Предварителното числено решаване на оптимизационната задача показва, че в този ѝ вид не всички ограничения (7), (9), (13), (15) и (18) могат да бъдат изпълнени едновременно със знак на равенство. Това не е критично за въртящите моменти, тъй като при тях е допустимо отклонение от зададените стойности в определени граници, което частично може да бъде коригирано с подходяща настройка на предпазно-преливния клапан във веригата на хидравличния цилиндър. Неизпълнението на геометричните ограничения за зададените горно и долно ъглови положения на стрелата със знак на равенство води до отклонения от предварително зададените характеристики на работната зона. За да се даде приоритет на ограниченията, които определят необходимите ъгли на завъртане и трябва да бъдат изпълнени със знак на равенство, те се запазват като ограничения - в случая това са двете геометрични условия - (7) и (13):

$$S_{1\min} = L_T + h \quad (20)$$

$$S_{1\max} = L_T + 2h \quad (21)$$

Останалите три моментни условия - (9), (15) и (18) се задават като допълнителен частен критерий, който задава квадратите на разликите между въртящите моменти в горно, средно и долно положение на стрелата и зададените им стойности и следва да се минимизира:

$$Z_2 = (M_{\min} - M_1)^2 + (M_{\max} - M_1)^2 + (M_{sr} - M_2)^2 \rightarrow \min \quad (22)$$

Този подход разширява допустимата параметрична област на задачата, а също така поради намаляването на ограниченията със знак на равенство се облекчава намирането на решение [9]. Като ограничения в задачата, освен (7) и (13) се запазват и интервалните ограничения за стойностите на геометричните параметри.

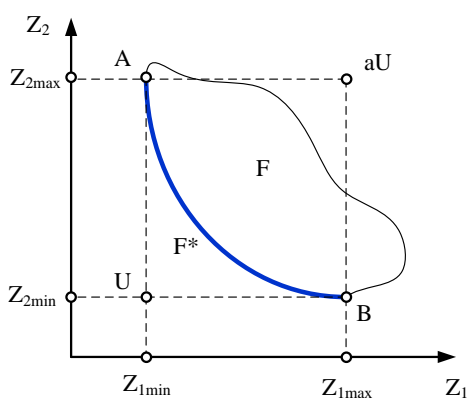
Налице е двукритериална задача, чиято цел е определянето на Парето-оптимални решения и избор на едно от тези решения, основано на стойностите на частните критерии Z_1 и Z_2 . Тъй като двата критерия са противоречиви, то следва да се намери компромисно решение, удовлетворяващо едновременно и двата критерия като се отчете степента на тяхната важност.

Оптимизационната задача се решава като се използва концепцията за Парето-оптималност, съгласно която в достижимата област F – фиг.3 (областта, формирана от стойностите на частните критерии, съответстващи на допустимата област) не съществува друго решение, при което всички частни критерии да имат по-добри стойности от Парето-оптималните. Парето – оптималните решения лежат на Парето - границата F^* , която се явява и линия на компромисите.

Поради различната физическа същност на частните критерии, а също така и различни им големина, отличаващи се с няколко порядъка, се извършва тяхното нормиране (в границите от 0 до 1) по следната зависимост:

$$Z_i^N = \frac{Z_i - Z_i^{\min}}{Z_i^{\max} - Z_i^{\min}}, \quad i=1,2 \quad (23)$$

където чрез Z_i^{\max} и Z_i^{\min} са означени максималната и минималната стойности на частните критерии в границите на достижимата област – фиг.3.



фиг.3 Парето-граница и характерни точки

Тези стойности се определят чрез оптимизация (определяне на минимума и максимума) на съответния частен критерий (без отчитане на другия критерий) при зададените ограничения. Тогава, координатите на крайните точки на Парето-границата са $A = (Z_1^{\min}, Z_2^{\max})$ и $B = (Z_1^{\max}, Z_2^{\min})$, а координатите на утоичната U и антиутоичната точки aU са съответно $U = (Z_1^{\min}, Z_2^{\min})$ и $aU = (Z_1^{\max}, Z_2^{\max})$.

Координатите на точките, лежащи на Парето-границата, се определят чрез минимизация на скаларната обобщена целева функция, която е претеглена линейна комбинация от двата частни критерия:

$$Z^N = \sum_{i=1}^2 k_i Z_i^N \rightarrow \min \quad (24)$$

където k_i са тегловните коефициенти, отразяващи важността на съответния частен критерий:

$$\sum_{i=1}^2 k_i = 1 \quad (25)$$

Оптималните стойности на Z^N при стойности на $k_1=1$ и $k_2=0$ отговарят на Z_1^{\min} , а при стойности на $k_1=0$ и $k_2=1$ отговарят на Z_2^{\min} . Координатите на други точки от Парето-границата се определят чрез минимизация на обобщената целева функция Z^N при вариране на стойностите на k_i от 0 до 1. В резултат на извършване на оптимизация при

работа на цилиндъра с диаметъра D и следните числени данни:

$n=2$, $L_T=0.3m$, $M_1=300 kNm$, $M_2=680kNm$, $p=25MPa$, $\theta_{2\min} = 310^\circ$, $\theta_{2\max} = 430^\circ$, $L_1=[3.3, 4.1] m$, $L_2=[0, 1] m$, $L_3=[0, 1] m$, $h=[0.2, 3] m$, $D=[0.02, 0.15] m$, $\delta_1=[14^\circ, 21^\circ]$ се получават следните координати на характерните точки:

$$A = (0.00111, 6.126 \times 10^{11})$$

$$, B = (0.045807, 2.442 \times 10^9),$$

$$U = (0.00111, 2.442 \times 10^9)$$

$$\text{и } aU = (0.045807, 6.126 \times 10^{11}),$$

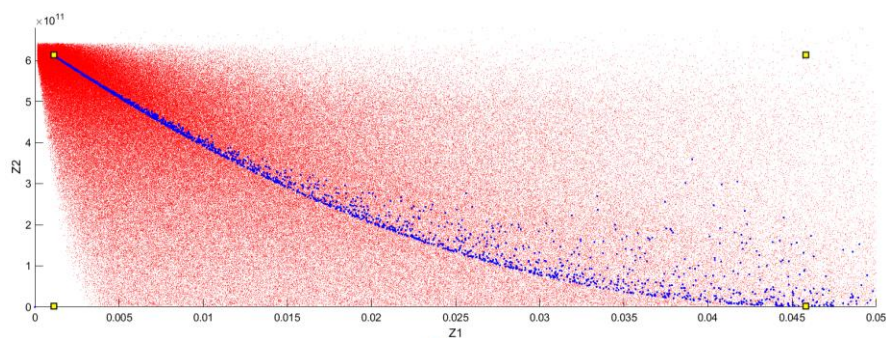
и тогава нормираните частни критерии имат вида:

$$Z_1^N = \frac{Z_1 - 0.00111}{0.0447} \quad (26)$$

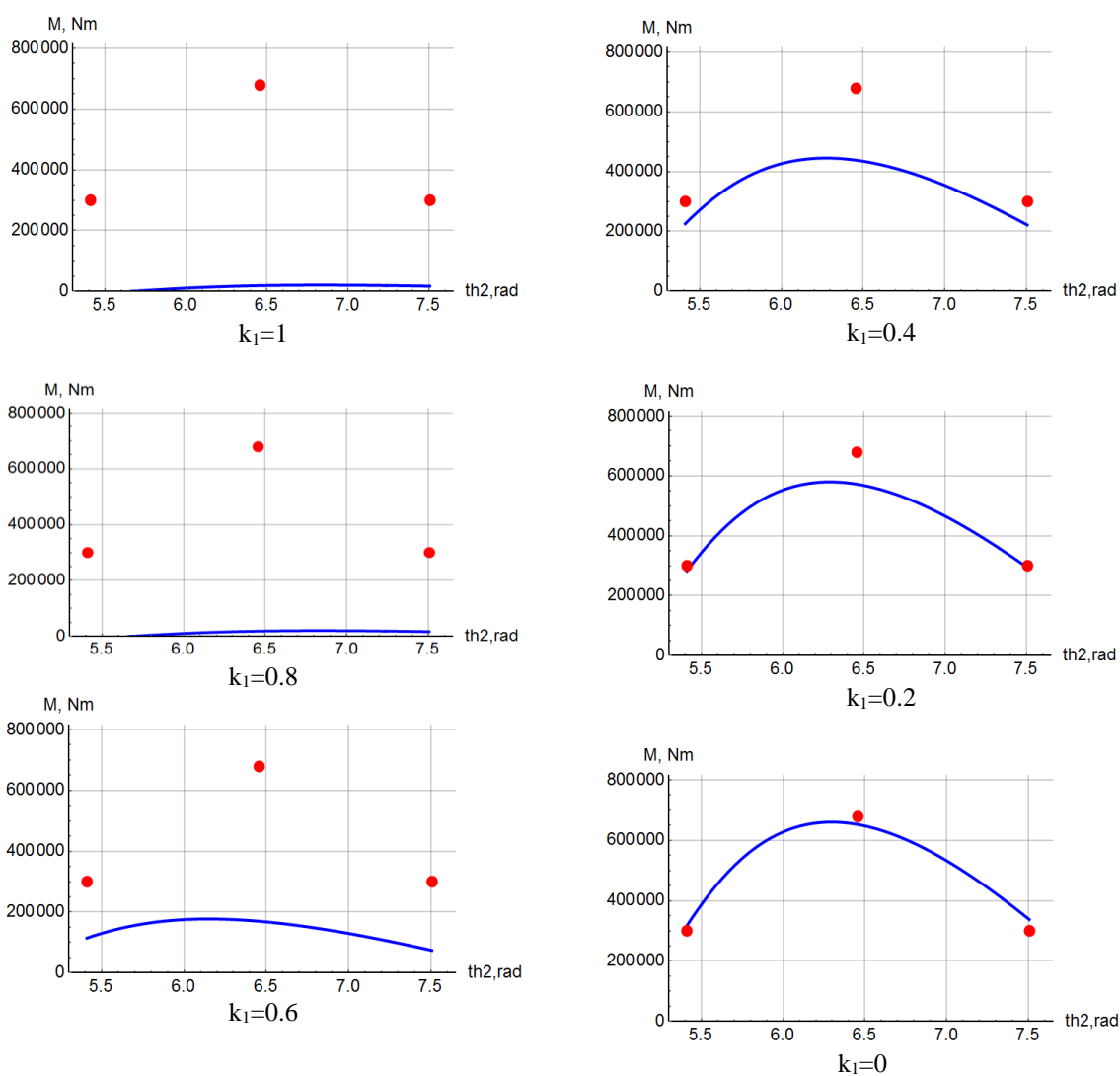
$$Z_2^N = \frac{Z_2 - 7.3220 \times 10^7}{6.101 \times 10^{11}} \quad (27)$$

На фиг.4 са показани: 1) всички възможни стойности на критериите, т.е. без отчитане на ограниченията - червени точки; 2) достижимата област на критериите, съответстваща на допустимата област на управляващите параметри - сини точки; 3) характерните точки – жълт цвят. Ясно се откроява Парето-границата, върху която лежат оптималните стойности на частните критерии.

Оптимизацията на нормираната целева функция (24) при различни тегловни коефициенти дава различни комбинации от стойности на оптималните геометрични параметри, на които съответстват графиките на въртящия момент на механизма – фиг.5. С червени точки са изобразени желаните въртящи моменти в крайните M_1 и в средното M_2 положения на механизма, а със синя линия е изобразена графиката на реализирания при оптималните стойности въртящ момент на механизма. В табл.1 са приведени оптималните стойности на геометричните параметри за всички разгледани случаи.



фиг.4 Достижима област и Парето-граница



фиг.5 Въртящ момент на механизма в зависимост от стойността на тегловните коефициенти

От таблицата се вижда, че нормираната целева функция има минимална стойност 0 в случаите, когато всеки от критериите се оптимизира без да се отчита другия критерий, т.е. в краищата на Парето-границата. Вариантът $k_1=1$ не е подходящ, тъй като отклонението от зададените стойности на въртящите моменти е много голямо, въпреки минималния обем на хидравличния ци-

линдър. Ако се отдаде предпочитание на минималните отклонения от зададените стойности на въртящия момент, за оптимално решение може да се приеме вариантът $k_1=0$, на който съответства минималната стойност на Z_2 и максималната стойност на Z_1 (максималния обем на хидравличния цилиндър), като същевременно са удовлетворени геометричните ограничения.

табл.1 Стойности на частните критерии, целевата функция, моментите и размерите на хидравличния цилиндър при различни стойности на тегловните коефициенти

k_1	$V_{\text{ци}} = Z_1$	Z_2	Z_1^N	Z_2^N	Z^N	M_{min}	M_{max}	M_{sr}	D^*	h^*
1	0.00113	6.13×10^{11}	0	1	0	-8050	16728	18587.6	0.02	1.775
0.8	0.00112	6.13×10^{11}	0	1	0.2	-8021	16723	18609.9	0.02	1.775
0.6	0.01215	3.46×10^{11}	0.247	0.564	0.374	114119	73696	169469	0.0612	2.015
0.4	0.03081	7.03×10^{10}	0.664	0.111	0.332	225237	221196	438200	0.0998	1.969
0.2	0.04013	1.2×10^{10}	0.0873	0.016	0.187	282163	294036	572175	0.114	1.963
0	0.04581	2.44×10^9	1	0	0	316445	337653	652542	0.122	1.961

Стойностите на оптималните геометрични параметри в този случай са: $L_1=3.3 \text{ m}$, $L_2=0.929 \text{ m}$, $L_3=0.647 \text{ m}$, $h=1.961 \text{ m}$, $\delta_1=0.244 \text{ rad}$, $D=0.1219 \text{ m}$. Вариантите в интервала $k_1=[0, 0.2]$ също са допустими и са с допустимо отклонение от зададените въртящи моменти.

За да се избере стандартизиран хидравличен цилиндър, получените диаметър и ход на оптималния цилиндър следва да се закръглят до най-близките стандартни стойности h^k , D^k (на които съответства определена стойност на L_T^k), като в някои случаи е възможен избор между повече от един стандартни варианти с различна комбинация на диаметъра и хода. Също така, при избор на стандартизиран цилиндър е налице отклонение от намерената оптимална стойност на работния обем на цилиндъра. Отклонението на параметрите на избрания хидравличен цилиндър от параметрите на оптималния ще доведе до нарушение на силовите и геометричните ограничения, поради което следва да се извърши корекция на получените оптимални стойности на геометричните параметри на механизма.

За да се извърши корекцията се дефинира нова оптимизационна задача със следната скаларна обобщена целева функция, в която въртящите моменти, означени с горен индекс k се пресмятат по (9), (15) и (18) но с използване на параметрите

h^k и D^k на избрания стандартен хидравличен цилиндър:

$$Z_2^k = k_1 \left(\frac{M_{\text{sr}}^k - M_2}{M_2} \right)^2 + k_2 \left(\frac{M_{\text{min}}^k - M_1}{M_1} \right)^2 + k_2 \left(\frac{M_{\text{max}}^k - M_1}{M_1} \right)^2 \rightarrow \min \quad (28)$$

където

$$k_2 = \frac{1 - k_1}{2} \quad (29)$$

т.е. тегловните коефициенти в краищата на интервала на завъртане са еднакви. Тази целева функция всъщност минимизира единствено отклоненията на въртящия момент от зададените стойности. Като ограничения се запазват геометричните ограничения за максималния и минималния ъгли на завъртане, пресметнати с избрания стандартен ход, а също така се запазват и същите интервални ограничения на геометричните параметри. При използване на стандартен цилиндър е възможно да се намерят оптималните стойности на още два параметъра, които ще спомогнат за намаляване на стойността на целевата функция. Първият параметър е налягането, което може да се регулира в определени граници $p^k = [p_{\text{min}}^k, p_{\text{max}}^k]$ чрез настройка на предпазно-преливния клапан в съответния кръг на хидравличната система. Вторият параметър е тех-

нولوجичната дължина на цилиндъра, която също може да се променя в определени граници $L_T^k = [L_{T\min}^k, L_{T\max}^k]$ чрез промяна на дължината на ухото на буталния прът (чрез навиване/развиване или изработка на скъсено/удължено ухо). Следователно, следва да се добавят още две параметрични ограничения: $p_{\min}^k \leq p^k \leq p_{\max}^k$ и $L_{T\min}^k \leq L_T^k \leq L_{T\max}^k$.

За разглеждания числен пример получените оптимални параметри на хидравличния цилиндър

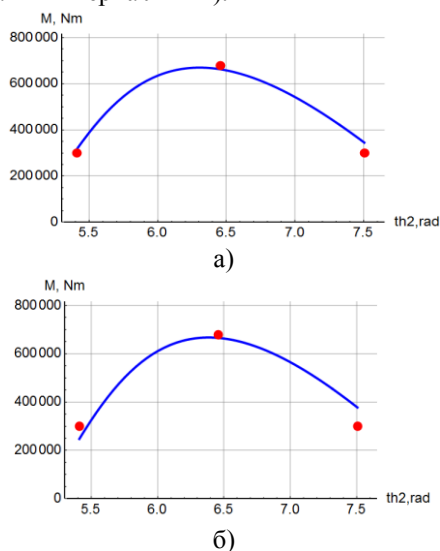
могат да се закръглят до следните стандартни стойности (h^k, D^k) : $(2\text{ m}, 0.12\text{ m})$ и $(1.9\text{ m}, 0.13\text{ m})$.

Решаването на оптимизационната задача за двата варианта при $k_I=0.9$ и $p^k = [18, 28]$ MPa и $L_T^k = [0.3, 0.35]$ m дава резултати за оптималните параметри и целевата функция, показани в табл.1.

табл.2 Оптимални параметри при двата варианта на стандартен хидравличен цилиндър

(h^k, D^k)	L_1^k , m	L_2^k , m	L_3^k , m	δ_1^k , rad	p^k , MPa	L_T^k , m	Z_2^k
Вариант 1 (2 m, 0.12 m)	3.411	0.898	0.727	0.313	25.6	0.35	0.00186
Вариант 2 (1.9 m, 0.13 m)	3.3	0.807	0.752	0.307	22.8	0.35	0.00528

На фиг.6 са показани функциите на въртящия момент при използване на двата варианта на стандартизирания цилиндър, а на фиг.7 са показани трите положения на механизма с изобразени оптимален цилиндър (синя линия) и стандартизирани цилиндри (вариант 1 - червена линия, вариант 2 - черна линия).



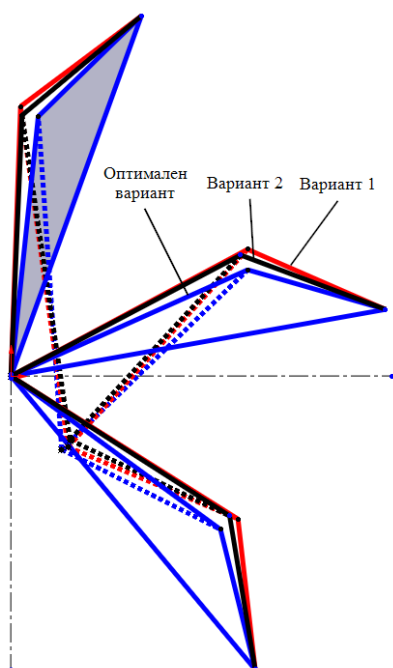
фиг.6 Въртящ момент на механизма при използване на стандартизиран хидравличен цилиндър: а) вариант 1; б) вариант 2

След окончателното определяне на геометричните размери на механизма следва да се извърши проверка за стойността на получените ъгли на предаване на силата в механизмите. Използвайки означенията на фиг.1 се установява, че стойността на ъгъла на предаване на силата γ_1 е:

$$\gamma_1 = \frac{\pi}{2} + \delta_1 + \theta_2 - \psi_1 \quad (30)$$

Поради големите стойности на ъглите на завъртане на звената и ограничените възможности за промяна на координатите на точките на окачване на цилиндъра, ъглите на предаване на силата имат големи стойности, което обяснява и ниските силови възможности на багера в крайните положения. За механизма за задвижване на стрелата ъгъла на предаване на силата достига до 80° , за механизмите за задвижване на носача и кофата – до 65° .

Същата постановка има и оптимизационната задача за определяне на оптималните параметри на механизма за завъртане на носача, който също представлява кулисен механизъм. Използваният оптимизационен подход може да се използва и за шестзвения механизъм за задвижване на кофата, чийто кинематичен анализ е извършен в [6].



фиг.7 Положения на механизма и хидравличния цилиндър за оптималния и стандартизираните варианти

Литература

1. Григоров Б. Подемно-транспортна техника 1. ТУ-София, 2015г.
2. Гълъбов В. Синтез на механизми в робототехниката, ТУ-София, 1992.

3. Минчев Н., Живков В., Стоянов П., Алипиев О. Теория на механизмите и машините. Сфттрейд, 2011.

4. Митрев Р. Синтез на геометричните параметри на работното съоръжение и работната зона на хидравличен багер. Българско списание за инженерно проектиране, бр. 33, август 2017.

5. Митрев Р. Геометричен анализ на задвижващите механизми на работно съоръжение на хидравличен багер с кинематична структура R-R||R||R. Bultrib'16, брой 06, 2016.

6. Митрев Р. Кинематичен анализ на работното съоръжение на хидравличен багер с кинематична структура R-R||R||R. Bultrib'16, брой 06, 2016.

7. Николов Н. Обобщени математични модели за типометричен синтез на предавателни механизми с четиризвенна топологична структура. Автореферат на дисертация за получаване на научна степен „доктор на техническите науки“. ТУ-София, 2012.

8. Славков В. Синтез на манипулационни механизми на леярски дозиращи работи. Автореферат на дисертация за получаване на образователна и научна степен „доктор“. ТУ-София, 2007.

9. Стоянов С. Оптимизация на технологични процеси. Техника, 1993.

10. Годоров Т. Синтез на механизми за манипулационно действие в релативното пространство. Автореферат на дисертация за получаване на образователна и научна степен „доктор“. ТУ-София, 2000.

11. Панов В. Изследване на трептенията на пневмоколелен хидравличен багер. Автореферат на дисертация за получаване на научна степен „кандидат на техническите науки“. ТУ-София, 1989.

SYNTHESIS OF THE WORKING ATTACHMENT GEOMETRICAL PARAMETERS AND THE WORKSPACE OF THE HYDRAULIC EXCAVATOR

Rosen MITREV

Department "Logistics engineering, material handling and construction machines", Technical University-Sofia, Bulgaria
e-mail: rosenm@tu-sofia.bg

Abstract: The presented paper proposes an optimization based methodology for the synthesis of the geometrical parameters of the working attachment and the workspace of the hydraulic excavator. The number of the points in the plane to be reached by a characteristic point of the working tool in the given configuration of the working attachment is not limited and the sum of the determined kinematic lengths of the links is minimal. This leads to minimization of the mass of the working attachment, and also of the manufacturing costs. The results of the numerical example show that the method can be used to synthesize the working attachment geometric parameters. The proposed methodology is computer-oriented and easy to automate.

Keywords: hydraulic excavator, optimization, workspace, geometric parameters synthesis

ДИСКРЕТЕН МОДЕЛ НА ОЙЛЕРОВА ЗАДАЧА ЗА УСТОЙЧИВОСТ ПРИ ОСОВО НАТОВАРВАНЕ

Лъчезар КОЧЕВ

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

e-mail: lkochev@tu-sofia.bg

Резюме: В работата се изследва устойчивостта на последователна осово натоварена периодична структура от еластично свързани в ставите между тях звена. Моделът се релира с греда на Тимошенко, и се решава при втори Ойлеров случай. Характеристичната функция се привежда към полином на Чебишов от втори род и решенията се получават в затворен вид. Анализирани са някои нелинейни проблеми и антропологични примери за общата приложимост на резултатите. Обосновава се коректността на решенията.

Ключови думи: загуба на устойчивост, греда на Тимошенко, хомогенни системи.

1. ВЪВЕДЕНИЕ

Обект на настоящата работа е изследване на условията за загуба на устойчивост при осово натоварване [1-3] на специфичен тип конструкции, които могат да се определят като периодични или равно-дискретни. Подобна Ойлерова задача се среща достатъчно често и има аналог при железорешетъчни стълбове или осово натоварени ферми, при моделиране на анатомични и антропоморфни структури – от типа на гръбначен стълб или, по-общо, ставна структура [10] и др. подобни верижни такива. Схематичното представяне е чрез възли (шарнири) и еластичности, свързващи съседните звена (сегменти или прешлени), така че се получава еластична структура, еквивалентна на греда на Тимошенко [1] с крайни размери на елементите. Схематично подобна система и структура е представена на фиг. 1.

2. АНАЛИТИЧЕН МОДЕЛ НА ОСОВО НАТОВАРЕНА ДИСКРЕТНА КОНСТРУКЦИЯ И РЕШЕНИЯ НА ЗАДАЧАТА ЗА УСТОЙЧИВОСТ

Традиционно като основен се приема втори Ойлеров случай и съответно изследванията в настоящата работа се конкретизират върху него.

Конструкцията на пръта или колоната е явно дискретна или обосновано периодично дискретизируема, като съставена от еднакви детайли и елементи, или структурно определени периодично повтарящи се групи и сегменти, при

което могат да се обособят твърди звена с еластична връзка между тях. Основните параметри за нейното моделиране са $l_0 = \text{const}[m]$ - дължина на звената, определена чрез дистанцията на възлите (шарнирите), свързващи структурно приетите недеформируеми компоненти, и линейните еластични връзки между съседните звена с константа $c = \text{const}[Nm / \text{rad}]$.

При осово натоварване на натиск от равни по големина противоположни сили приложена натискава сила

$$\vec{F}(i=0) = -\vec{F}(i=n+1); |\vec{F}_0| = |\vec{F}_{n+1}| = F,$$

за всеки вътрешен възел с индекс $i; (i=1, 2, \dots, n)$, при напречно отклонение w_i от неговото равновесно номинално положение, съгласно Ойлеровия модел, се получава основното условие за равновесие (моментово уравнение $\sum M_y = 0$) в скаларна форма:

$$c \left| \begin{array}{c} \vec{\varphi}_i \\ \vec{\varphi}_i \end{array} \right| = \left| \begin{array}{c} \vec{F}, w_i \\ \vec{F}, w_i \end{array} \right|, \quad (1)$$
$$\vec{\varphi}_i = \vec{\varphi}_{i+1,i} - \vec{\varphi}_{i,i-1}$$

където $\varphi_{i+1,i}; \varphi_{i,i-1}$ са ъглите на свързаните във възел i звена с оста x .

Огъването се приема съгласно традиционно приетата координираност в равнината Oxz :

$$w_i // z; w_i \in Oxz, \forall i,$$

и с отчитане на посоките на силите и деформациите, и тяхната перпендикулярност, от модулното векторно уравнение се достига до (без векторни означения):

$$c(\varphi_{i,i-1} - \varphi_{i+1,i}) - F w_i = 0 . \quad (2)$$

Чрез тригонометричното представяне:

$$\sin \varphi_{i,i-1} = \frac{w_i - w_{i-1}}{l_0} ; \sin \varphi_{i+1,i} = \frac{w_{i+1} - w_i}{l_0} ,$$

като се приложи известното развитие в ред на Маклорен:

$$\sin \varphi_{i,i-1} = \varphi_{i,i-1} - O\left[(\varphi_{i,i-1})^3\right] = \frac{w_i - w_{i-1}}{l_0} ,$$

$$\varphi_{i,i-1} = \frac{w_i - w_{i-1}}{l_0} + O\left[(\varphi_{i,i-1})^3\right] ,$$

при анализ в околност на малки ъгли на отклонение от праволинейното състояние на пръта $\varphi_{i,i-1} \ll O(0)$, се достига до линейната хомогенна алгебрична система уравнения:

$$\begin{cases} \frac{c}{l_0} (2w_1 - w_2) - F w_1 = 0 \\ \frac{c}{l_0} (-w_{i-1} + 2w_i - w_{i+1}) - F w_i = 0 ; \forall i = 2, \dots, n-1, \\ \frac{c}{l_0} (-w_{n-1} + 2w_n) - F w_n = 0 \\ w_0 = 0 ; w_{n+1} = 0 \end{cases} \quad (3)$$

където последното уравнение отразява граничните условия за II-и Ойлеров случай.

В матрична форма системата се представя във вида:

$$\begin{aligned} \frac{c}{l_0} \mathbf{A} \mathbf{w} = F \mathbf{w} &\Leftrightarrow \mathbf{A} \mathbf{w} = \frac{F l_0}{c} \mathbf{w} \\ \left(\mathbf{A} - \frac{F l_0}{c} \mathbf{E} \right) \mathbf{w} &= 0 \\ \mathbf{A} &= \begin{pmatrix} 2 & -1 & 0 & \dots & \dots \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ \dots & -1 & 2 & -1 & \dots \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ \dots & \dots & 0 & -1 & 2 \end{pmatrix}, \quad (4) \\ \mathbf{w} &\equiv (w_i ; \forall i = 1 \div n) \end{aligned}$$

откъдето следва, че $\frac{F l_0}{c} = \lambda$ е собствена стойност на матрицата на влияние \mathbf{A} , а \mathbf{w} е неин собствен вектор. Характеристичният полином $P(\lambda) = \det(\mathbf{A} - \lambda \mathbf{E})$:

$$P_n(\lambda) = \begin{vmatrix} (2-\lambda) & -1 & 0 & \dots & \dots \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ \dots & -1 & (2-\lambda) & -1 & \dots \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ \dots & \dots & 0 & -1 & (2-\lambda) \end{vmatrix}, \quad (5a)$$

с полагането $u = 1 - \lambda/2 \Leftrightarrow (2 - \lambda) = 2u$, се привежда във вида:

$$P_n(\lambda) = \begin{vmatrix} 2u & -1 & 0 & \dots & \dots \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ \dots & -1 & 2u & -1 & \dots \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ \dots & \dots & 0 & -1 & 2u \end{vmatrix}, \quad (5b)$$

откъдето се получава след рекурентно развитие Чебишовата форма [8,5]:

$$P_n(u) = 2u P_{n-1}(u) - P_{n-2}(u),$$

с решение в тригонометричен вид:

$$P_n(u) \equiv \beta(u) U_n(u) = \alpha(u) \sin[(n+1) \arccos(u)].$$

Характеристичната функция е полином на Чебишов от втори род с нормиращи (тегловни) функционални множители

$$\alpha(u), \beta(u) = \alpha(u) / \sqrt{1-u^2} \neq 0 : u \in (-1, 1)$$

според представяне в съответна форма, независимо от n и съответно не влияещи на неговите корени, които за параметъра u и за собствените стойности λ , се получават както следва:

$$\begin{aligned} u(k) = u_k &= \cos \frac{k\pi}{n+1} \\ \lambda_k &= 2 \left(1 - \cos \frac{k\pi}{n+1} \right) = 4 \sin^2 \frac{k\pi}{2(n+1)} . \quad (6) \\ k &= 1, 2, \dots, n \end{aligned}$$

След заместване, за критичните сили се получава:

$$\frac{F l_0}{c} = \lambda = 4 \sin^2 \frac{k \pi}{2(n+1)}$$

$$F_k = 4 \frac{c}{l_0} \sin^2 \frac{k \pi}{2(n+1)} \quad k=1, 2, \dots, n \quad (7)$$

Собствените вектори \mathbf{w} , респективно дискретната еластична линия на преместванията на възлите $w(x, z) := \{(x_i, w_i), \forall i = 0, 1, \dots, (n+1)\}$, се решава чрез рекурсията на фон Нойман [6], свеждаща се до устойчива рекурсия на Чебишов $w_i = 2u w_{i-1} - w_{i-2}$ върху реда на полинома i за съответния възел [9]. При зададените гранични условия профилът е в съответствие с полинома на Чебишов от II-и род

$$w_i(u) = \alpha \sin [i \arccos(u)]; i = 0, 1, \dots, (n+1),$$

с точност до амплитуден множител α .

Решенията w_i^k за възел i при критична сила F_k , се получават след заместване на получения параметър u_k за съответната собствена стойност

с индекс k , както следва:

$$w_i^k = \alpha \sin \frac{i k}{n+1} \pi$$

$$i = 0, 1, \dots, (n+1) \quad k = 1, 2, \dots, n \quad (8)$$

Координираността по x се определя с оценка на нелинейностите от втори род [7], породени от ъглови (огъващи) и линейни еластични деформации. Ъгловите съставляващи на първо приближение се получават както следва:

$$w_{i+1} - w_i = \alpha \left(\sin \frac{(i+1)k}{n+1} \pi - \sin \frac{ik}{n+1} \pi \right) =$$

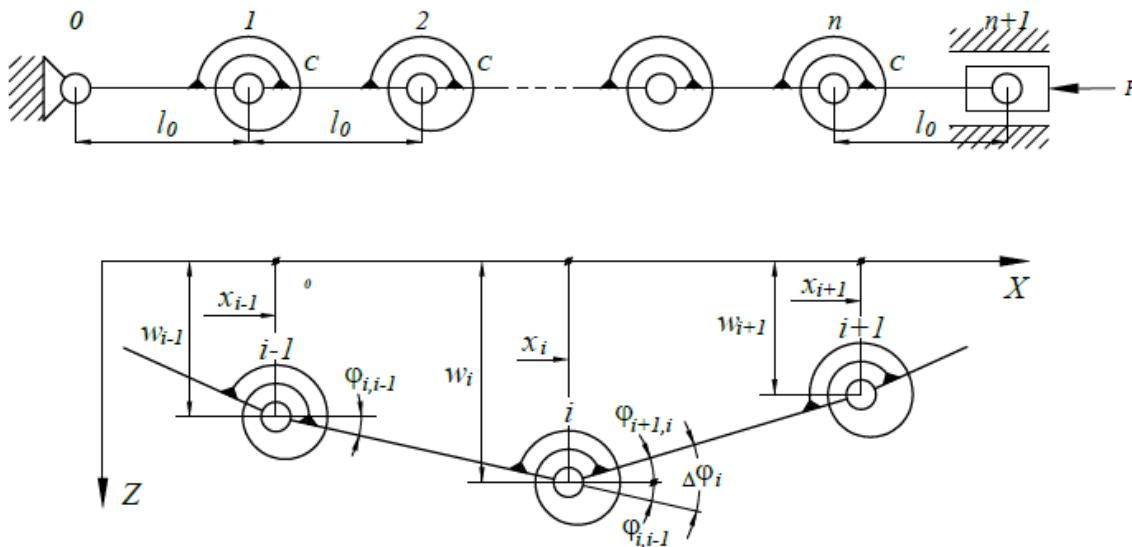
$$= \alpha \left(\cos \frac{ik}{n+1} \pi \sin \frac{k}{n+1} \pi - \sin \frac{ik}{n+1} \pi \left(1 - \cos \frac{k}{n+1} \pi \right) \right),$$

$$\square l_0 = l_0 - \sqrt{l_0^2 - (w_{i+1} - w_i)^2} \leq \alpha \cos \frac{ik}{n+1} \pi \sin \frac{k}{n+1} \pi$$

$$i = 0, 1, \dots, (n+1); k = 1, 2, \dots, n; \bar{l}_0^{ik} = \min(l_0 - \square l_0)$$

където $\square l_0$, \bar{l}_0^{ik} са гранично оценените чрез линейна норма [5] преместване на възела и редуцирана дължина на елемента при завъртане (огъване) съответно.

Линейните деформации се получават както следва:



Фиг.1 Принципна схема и модел на периодична равно-дискретна система

$$\square l_0 = \varepsilon l_0 = \frac{F_k}{SE} l_0 \left| \cos \varphi_{i,i+1}^k \right| \leq \frac{\sigma_{\text{lim}}}{E} l_0,$$

където σ_{lim} е приетото допустимо напрежение за материала.

Съобразно с получените характеристики, в околност на равновесното положение ($\alpha \rightarrow 0$) влиянието на ъгловите премествания е пренебрежимо. При съоръжения, изпълнени от конструкционна стомана допустимата относителната деформация ε_S при натоварване в еластичната зона (под σ_S) е не повече от 0.75%. Следователно критичните сили за такъв тип конструкции се определят от получените изрази с достатъчна точност от основните (номинални) геометрични стойности l_0 без деформационна редукция, както следва:

$$x(i) = x_i = i l_0; \forall i \quad (9)$$

При структури с повишена гъвкавост като напр. гръбначен стълб, амплитудният множител α не може да се приеме пренебрежим, особено с отчитане на началното отклонение от праволинейност на неговата ос. Хрущялните и меки тъкани допълнително способстват възникването на условия за загуба на устойчивост, което се наблюдава при тежкоатлети в изправено състояние, когато при претоварване в лумбалната (участъкът с максимална кривина) област от гръбначния стълб, спортистът рязко изпуска щангата назад. Независимо от тренираността за реакция при подобни ситуации, травматизмът е достатъчно често явление.

3. ОБОСНОВАНост НА РЕШЕНИЯТА И ЗАКЛЮЧЕНИЕ

За оценка и верификация на получените решения и на тяхната коректност и приложимост, се разглежда граничен преход към непрекъснатата равноеластична структура (гладка греда на Тимошенко [1]) чрез полаганията:

$$\begin{aligned} l &= (n+1)l_0 \\ l_0 &= dx \rightarrow 0; n \rightarrow \infty, \\ k &= 1, 2, \dots, n \end{aligned} \quad (10a)$$

където l е цялата дължина на пръта. Еластичната константа при просто огъване на участък с елементарна дължина dx от еластична греда се определя съгласно формулата на Ойлер-Бернули [1-3]:

$$\frac{d\varphi}{dx} = \frac{M}{EJ} \Rightarrow d\varphi \frac{EJ}{dx} = M, \quad c = \frac{EJ}{dx}. \quad (10b)$$

След заместване и прилагане на тригонометрична граница от малки ъгли $kdx \rightarrow 0: k < \infty$, се достига до:

$$\begin{aligned} \frac{F}{EJ} dx^2 &= 4 \sin^2 \frac{k dx}{(n+1) dx} \frac{\pi}{2} = 4 \sin^2 \frac{k dx}{l} \frac{\pi}{2}, \quad (11a) \\ F_k &= k^2 \frac{\pi^2}{l^2} EJ; k=1, 2, \dots \end{aligned}$$

и съответно за уравнението на еластичната линия:

$$\begin{aligned} w_i^k &= \alpha \sin k \frac{i dx}{(n+1) dx} \pi = \alpha \sin \frac{k x}{l} \pi = w^k(x), \quad (11b) \\ i dx &= x; i=0, 1, \dots, \infty; k=1, 2, \dots \end{aligned}$$

които са решенията на Ойлер съгласно класическата постановка на задачата.

Литература

1. Тимошенко С.П., Гудър Дж., Теория упругости, М.: Наука, 1975 г.
2. Върбанов Хр., Теория на еластичността, София, Техника, 1965 г.
3. Кисьов Ив., Съпротивление на материалите, София, Техника, 1970 г.
4. Бахвалов Н.С., численные методы, М.: Наука, 1975 г.
5. Ланкастер П., Теория матриц., М.: Наука, 1973 г.
6. В. Севастакиев, В. Живков, Е. Маринов, Динамика и трептения на ДВГ, София, Техника, 1986 г.
7. Пановко Я.Г., Механика деформируемого твердого тела, М.: Наука, 1985.
8. Кочев, Л., Живков, В. Собствени честоти на последователни линейни системи с еднакви маси и еластичности чрез полиноми на Чебишов, Механика на машините, №94, година XIX, книга 3, 2011. Издателство на ТУ-Варна, 46-49.
9. Живков, В., Кочев, Л. Собствени вектори и форми на трептене на последователни линейни системи с еднакви маси и еластичности чрез полиноми на Чебишов, Българско списание за инженерно проектиране, бр. 8, 2011., Изд. МФ, ТУ-София, ISSN 1313-7530, стр. 89-94.

10. Митрев Р. Кинематичен анализ на работното съоръжение на хидравличен багер с кинематична структура R | R || R || R. Vultrib'16, брой 06, 2016.

DISCREET MODEL ON THE EULER'S TASK FOR SUSTAINABILITY IN THE CASE OF AXIAL LOAD

Lachezar KOCHEV

Department „Theory of Mechanisms and Machines”, Technical University of Sofia, Bulgaria

e-mail: lkochev@tu-sofia.bg

Abstract: *The work explores the sustainability of a coherent axially loaded bundle of elastic joints in the joints between them. The model relies on Timoshenko's beam, and is solved in a second Euler case. The characteristic function is brought to a second-order Chebyshov polynomial, and solutions are made in closed form. Some nonlinear problems and anthropological examples of the overall relevance of the results are analyzed. The correctness of the decisions is justified.*

Key words: *loss of stability, the beam of Tymoshenko, homogeneous systems solutions.*

КЛАСИФИКАЦИЯ НА МЕДИЦИНСКИ ИЗДЕЛИЯ ЧРЕЗ ПОДПРАВИЛА

Виктор АРСОВ

катедра „ Основи и технически средства за конструиране”, Технически университет - София, България
e-mail: arsov84@gmail.com

Резюме: След извършен анализ на класификационните правила, както на Директива 93/42/ЕИО, така и на Регламент 2017/745 се установява, че смисловото им съдържание е съставено от еднозначни твърдения, които обвързват конкретни характеристики, определящи начина на осъществяването на целта по предназначение на медицинското изделие с класа, на който то принадлежи. Тези елементи от съдържанието на класификационните правила приемат наименованието Подправила. Чрез тях са извършени редица проучвания, като сравняване между двата нормативни акта, анализ и степенуване на риска спрямо различните характеристики на изделията. Създадена е и връзка между Подправилата и Общите изисквания от регламента. Подправилата се явяват особено важен елемент за улесняване на класификацията на медицинските изделия, от там и за адекватния избор на процедури по оценяване на съответствието, както и избор на общи изисквания, с което се завършва пълното нормативно осигуряване на изделието преди и след пускането му на пазара.

Ключови думи: медицинско изделие, Директива 93/42/ЕИО, Регламент 2017/745, Подправила, Общи изисквания

1. УВОД

Регламент 2017/745 включва в обхвата си медицинските изделия, които до момента са влизали в обхвата на Директива 93/42/ЕИО и Директива 90/385/ЕИО. Като всеки нормативен акт, той задава изисквания към проектирането, производството и пускането на пазара на продуктите, които регулира. Осъществяването на оценка на съответствието се извършва на база на класификацията, която медицинските изделия получават от регламента. Тази класификация се определя от правила, дадени в приложение IX от [5]. Правилата са 22 на брой, като отчасти покриват тези от [4] и отчасти задават нови критерии. Също така се отнасят и към изцяло различни продукти, незасегнати от [4]. Сравнителен анализ между класификационните правила на [4] и [5] е направен в [2]. Класификационните правила сегментират множеството от медицински изделия по начините на осъществяване на целта им по предназначение. Тези начини се описват във възможно най-общи понятия, за да може да се отнасят до възможно най-много конкретни изделия. Именно общите понятия създават абстрактен характер на описанията в класификационните правила. Класификацията на изделието е отговорност на производителите,

които в честия случай не са специалисти по техническо законодателство. За акуратно прилагане на класификационните правила има различни похвати. В случаите, когато производителят не може да се справи сам, то може да се обърне към нотифициран орган, държавни организации, нотифицирани съответните органи. Производителят може да се обърне и за тълкуване към експертна група за класификация на гранични медицински изделия или да се консултира с [6].

В настоящата публикация е представен елемент от методология за определяне на класа на медицинско изделие. Този елемент се явява съществен и основополагащ, поради което, разбирането за неговото формиране е от особена важност за методологията и нейното прилагане. Този елемент е наименуван Подправило.

2. ФОРМИРАНЕ НА ПОДПРАВИЛА ЗА КЛАСИФИКАЦИЯ НА МЕДИЦИНСКИ ИЗДЕЛИЯ

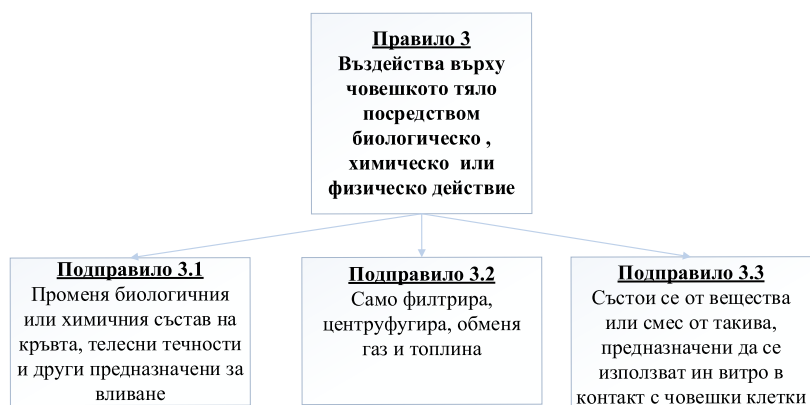
Всяко правило описва реални характеристики на медицинско изделие, които то показва при осъществяване на целта си по предназначение. В [1] са изведени наименованията на всичките 22 правила, като наименованието на всяко отделно

отговаря на характеристиката, която то проявява. Различни изделия от различни класове притежават една и съща характеристика, описана от дадено правило. Поради това, се явява необходимост от извеждане на други, по-гясно определящи характеристики, които еднозначно да се отнасят до един конкретен клас изделие. На фиг.1 е представен пример с правило 3. В пълния текст на правилото се разграничават 3 описания:

- „Променя биологичния или химичния състав на кръвта, телесни течности и други предназначени за вливане“;
- „Само филтрира, центрофугира, обменя газ и топлина“;
- „Състои се от вещества или смес от такива предназначени да се използват ин витро в контакт с човешки клетки“.

Всяко от тези три описания класифицира изделието, притежаващо описаната характеристика в конкретен клас. След направен

анализ на всичките 22 правила, се установява, че всяко от тях е съставено по същия начин, като горепосочения пример - от отделни описания на характеристики, които го класифицират в един от четирите класа медицински изделия. За целите на настоящето изследване са наименовани „Подправила“. Класификацията на медицинските изделия се определя от 75 Подправила. В табл.1 са показани част от тях. Номенклатурата, която се приема за обозначението им, е показана на фиг.1 и табл.1. Тя представлява десетична дроб, където цялата част на дробта е номера на правилото от което произлиза подправилото, а дробната част е номера на самото подправило. Номерацията е възходяща по реда, по който се срещат описанията в текста на съответното правило.



фиг.1 Подправила от правило 3

табл.1 Списък на някои подправила

НОМЕР	ПОДПРАВИЛО	КЛАС
1	Не докосва пациента, или докосва само не наранена кожа	I
2.1	Пренася или съхранява телесни течности за евентуално вливане, при всички останали случаи	IIa
2.2	Съхранява телесни тъкани, органи, части от органи, клетки	IIa
2.3	Е свързано с активно изделие от клас IIa, клас IIb или клас III	IIa
2.4	Е кръвен сак	IIb
2.5	Всички останали неинвазивни изделия	I
3.1	Променя биологичния или химичния състав на кръвта, телесни течности и други, предназначени за вливане	IIb
3.2	Само филтрира, центрофугира, обменя газ и топлина	IIa

3.3	Състои се от вещества или смес от такива предназначение да се използват ин витро в контакт с човешки клетки	Ш
4.1	Е в контакт с наранена кожа и рани с наранен дермален слой, които заздравяват само вторично	Пб
4.2	Служи за подобряване на средата на увредена кожа	Па

3. ПОДПРАВИЛАТА КАТО СРЕДСТВО ЗА АНАЛИЗ НА МЕДИЦИНСКИТЕ ИЗДЕЛИЯ В РАМКИТЕ НА НОРМАТИВНОТО ИМ ОСИГУРЯВАНЕ

Подправилата описват характеристики, които са лесно фалшифицируеми твърдения по смисъла на епистемологичните критерии на Карл Попър [7]. Например Подправило 2.2, което гласи „Съхранява телесни тъкани, органи, части от органи, клетки“ се отнася до характеристика на медицинско изделие, която то притежава. Ако друго изделие не я притежава, то не попада в обхвата на това подправило. Следователно може да се заключи, че характеристиките, описани от подправилата, могат да бъдат притежавани или не притежавани. Междинно положение е невъзможно. Констатацията, на което и да е от двете положения, се извърша чрез обикновено наблюдение, което не изисква участието на експертно познание. При това положение процеса на класификация приема обратен ред. В обичайния случай класифициращия субект наблюдава и констатира характеристиките на дадено изделие, след което анализира до каква степен съответстват с тези, описани от класификационното правило. Разбира се, тази констатация е субективна поради факта, че описанията в нормативните актове са общи и не са тъждествени на реалните характеристики, които всяко действително изделие притежава. Чрез подправилата тази субективност е избегната, защото субекта не сравнява описани с наблюдавани характеристики, а единствено констатира дали описаните характеристики в подправилото присъстват или не, сред реалните такива на изделието, което класифицира. Подправилата са неделими градивни елементи, съставлящи цялостната характеристика на даден продукт, и се явяват свързващо звено между реалните, наблюдаваните характеристики на медицинско изделие и описаните абстрактно в нормативния акт.

3.1 Подправила при анализ на съответствие между правилата от Директива 93/42/ЕИО и Регламент 2017/745

За настоящето изследване се разглеждат подправилата като средство за сравнителен анализ между [4] и [5]. Като пример е взета група медицински изделия, които не проникват в човешкото тяло. Към нея спадат първите 4 класификационни правила. Всяко едно от тях се състои от съответните подправила, както е представено в табл.2.

табл.2 Списък на Подправила от Група 1

Правило	Подправила
1	1.1
2	2.1 ; 2.2 ; 2.3 ; 2.4 ; 2.5
3	3.1 ; 3.2 ; 3.3
4	4.1 ; 4.2 ; 4.3

Подходът за формиране на подправила е приложен и към правилата от [4]. След извършен сравнителен анализ между множеството от подправила в директивата и тези от регламента, както е показано на табл.3 се установява, че Подправило 3.3 присъства единствено в регламента.

табл.3 Сравнителен анализ на Подправила между Директива 93/42 ЕИО и Регламент 2017/745

Подправила от Директива 93/42/ЕИО	Подправила от Регламент 2017/745
1.1	1.1
2.1 ; 2.2 ; 2.3 ; 2.4 ; 2.5	2.1 ; 2.2 ; 2.3 ; 2.4 ; 2.5
3.1 ; 3.1	3.1 ; 3.1 ; <u>3.3</u> ;
4.1 ; 4.2 ; 4.3	4.1 ; 4.2 ; 4.3

3.2 Подправила като средство за анализ на степента на риска

Като пример е взето Правило 6, което класифицира изделията по характеристика: „Е хирургическо инвазивно изделие за временна

употреба“. То се състои от 6 Подправила, както е показано на табл.4. По този начин представени подправилата могат да бъдат подредени във възходящ или низходящ ред спрямо класа на изделието, което определят. Както е известно класът на изделието показва степента на риска, която то притежава. От тази подредба се прави заключение, че изделията, които пряко засягат дейността на жизненоважни органи и системи са поставени в графата с най-висок риск (Клас III), тези които действат с химическо или йонизиращо лъчево влияние със среден риск (Клас IIб) и с най-нисък риск са многократните хирургически инструменти, като скалпели и други (Клас I). За всички останали изделия е предвиден Клас IIа.

табл.4 Подправила на Правило 6

Номер	Подправило	Клас
6.1	Контролира, диагностицира, наблюдава или коригира дефект на сърцето или централната кръвоносна система посредством директен контакт	III
6.2	Осъществява директен контакт с централната нервна система	III
6.4	Доставя енергия под формата на йонизиращо лъчение	II б
6.5	Е с биологичен ефект или се абсорбира напълно или в по-голямата си част	II б
6.6	Е предназначен за прилагане на лекарствен продукт по особено рисков начин	II б
6.7	При всички останали случаи	II а
6.3	Е хирургически инструмент за многократна употреба	I

3.3 Подправилата като средство за отнасяне към общите изисквания на Регламент 2017/745

След извършеното проучване на Правилата и въвеждането на Подправила за класификация, както и направения анализ на [5], е установено отношение между тях. Както вече е посочено, всяко подправило класифицира медицинските изделия в един конкретен клас. Процедурите по оценяването на съответствието се подбират спрямо класа изделие. Общите изисквания към

конструирането и производството на медицинското изделие задават основните критерии, по които процедурите по оценяване на съответствие се избират. Поради многообразието на продукти, както и твърде различаващите им се функции, общите изисквания частично засягат конкретен продукт. Тоест само определени параграфи от Приложение I се отнасят към разглеждания продукт. Изборът на съществени изисквания от [4] се извършва след направена оценка на риска спрямо [3], но към настоящия момент стандартът не е актуализиран спрямо общите изисквания на [5]. След извършено сравнение между характеристиките, описани в подправилата и тези, описани в общите изисквания е установено отношение между тях. На табл.5 е представен пример с Подправило 5.2 и съответстващите медицински изделия, които попадат в обхвата му (списъкът служи за илюстрация и не е пълен). На тях са съпоставени всички параграфи от общите изисквания, като в най-дясната колона е направено описание-обяснение относно приложимостта или неприложимостта на конкретния параграф към Подправило 5.1. Както ясно се вижда, за извършване на тази оценка на приложимост не се изискват експертни технически познания. По този начин лесно може да се прецени дадено изделие на кои общи изисквания трябва да отговаря.

4. ИЗВОДИ И ЗАКЛЮЧЕНИЕ

След въвеждането на Подправилата може да се направят следните изводи за тяхното приложение:

- Създават ясна основа на процеса по определяне на класа на медицински изделия;
- Посредством тях се анализират в дълбочина характеристиките, които имат отношение към риска;
- Лесно се определят общите изисквания към медицинските изделия.

табл.5 Общи изисквания към Подправило 5.1

ПОДПРАВИЛО	МЕДИЦИНСКИ ИЗДЕЛИЯ	ПАРАГРАФ ОТ ОБЩИ ИЗИСКВАНИЯ	ОБЯСНЕНИЕ ЗА ПРИЛОЖИМОСТ
5.1	Тръби към стомашни помпи Зъболекарски огледала Устройства за клизми Уринарни катетри за временна употреба Ръкавици и т.н.	10	Пряк контакта с човешкото тяло-материалите трябва да са с ниска токсичност и да са био съвместими
		11	Поради контакта с човешкото тяло - кожа или лигавица, изделието трябва да бъде проектирано така , че да не благоприятства микробиологичната контаминация
		12	Неприложимо
		13	Неприложимо
		14	Екологичност на производството
		15	Неприложимо
		16	Неприложимо
		17	Неприложимо
		18	Неприложимо
		19	Неприложимо
		20	Пряк контакта с човешкото тяло изделията трябва да бъдат конструирани така че да не предизвикват механични наранявания на пациентите
		21	Неприложимо
22	Неприложимо		

Литература

1. **Арсов В., Вичева М., Николова И.** Класификация на медицинските изделия според регламент 2017/745. София, Българско списание за инженерно проектиране, брой 34, месец октомври 2017г., 155-159 с.
2. **Арсов В., Вичева М., Николова И.** Сравнителен анализ на регламент 2017/745 и Директива 93/42/ЕИО. София, Българско списание за инженерно проектиране, брой 34, месец октомври 2017г., 49-53 с.

3. БДС EN ISO 14971:2012 Медицински изделия. Прилагане на управлението на риска при медицински изделия.
4. ДИРЕКТИВА 93/42/ЕИО НА СЪВЕТА от 14 юни 1993 година относно медицинските изделия
5. РЕГЛАМЕНТ (ЕС) 2017/745 НА ЕВРОПЕЙСКИЯ ПАРЛАМЕНТ И НА СЪВЕТА от 5 април 2017 година за медицинските изделия.
6. Manual on borderline and classification in the community regulatory framework for medical device. Version 1.18 (12-2017).
7. **Popper К.** The Logic of Scientific Discovery, London, Routledge , 2002, p. 545.

SUBRULES FOR MEDICAL DEVICE CLASSIFICATION

Victor ARSOV

Department „Fundamentals and Technical Means of Design”, Technical university - Sofia, Bulgaria
e-mail: arsov84@gmail.com

Abstract: Following an analysis of the classification rules of both Directive 93/42 / EEC and Regulation 2017/745, it is established that their meaningful content is composed of unambiguous statements. They link specific features that define the way which the intended purpose of the medical device is obtained with the class to which it belongs. These elements of the content of the classification rules accept the name “Subrules”. Through them, a number of studies have been carried out, such as comparing the two legal acts, analyzing and ranking the risk of the products. A link has been made between the Subrules and the general requirements of the Regulation. Subrules are particularly important element to facilitate the classification of medical devices and to make the appropriate choice of conformity assessment procedures as well as the selection of common requirements, which completes the full regulatory status of the device before and after it is placed on the market.

Keywords: medical device, Council directive 93/42, Regulation 2017/745, Subrules, common requirements

АНАЛИЗ НА КОНСУМАЦИЯТА НА НАПИТКИ И ОПРЕДЕЛЯНЕ НА НЕОБХОДИМИТЕ КОЛИЧЕСТВА ГОТОВА ПРОДУКЦИЯ ЗА 24 ЧАСА ПРОИЗВОДСТВЕН ЦИКЪЛ ПРИ НЕПРЕКЪСНАТ ПРОИЗВОДСТВЕН ЦИКЪЛ

Стефка ТОШКОВА

катедра „Инженерна логистика“, Технически университет - София, България
e-mail: stoshkova@tu-sfoia.bg

Резюме: В настоящата статия е извършен анализ на потреблението на преформи което се явява зависимо от потреблението на напитки в страната. Разгледан е и въпроса за необходимия капацитет на логистичната система за производство на полимерни преформи.

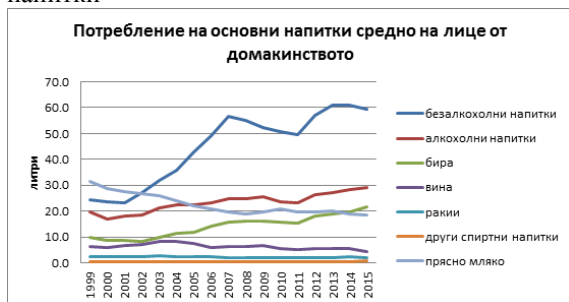
Ключови думи: интензивност на производство, непрекъснат производствен цикъл.

1. ВЪВЕДЕНИЕ В ПРОБЛЕМА

Според данни на Националният Статистически Институт потреблението на безалкохолни и алкохолни напитки в България през последните години се увеличава. За периода от 1999 година до 2015 година потреблението на безалкохолни напитки се е увеличило 2,5 пъти, а на алкохолни напитки 1,4 пъти.

На графика 1 ясно се вижда увеличеното потребление на безалкохолни напитки, лекото покачване в потреблението на алкохолни напитки като цяло, леко намалява търсенето на прясно мляко и почти не се променя потреблението на други алкохолни напитки.

Графика 1. Потребление на основни видове напитки



Потреблението на напитки също се променя и по време на годината. Най-общо може да разделим годината на два периода – силен и слаб. Силният сезон са топлите месеци, когато температурите на околната среда са по-високи и хората консумират повече напитки – основно

вода, бира и безалкохолни напитки. Слабият сезон са студените месеци – тогава консумацията на напитки като цяло намалява. Това предполага да се използва инструментариума за анализа на сезонно потребление.

2. АНАЛИЗ НА ПОТРЕБЛЕНИЕТО НА НАПИТКИ

Въз основа на тази информация и информацията която имаме за направени поръчки във фирма за производство на преформи за бутилки и флакони за хранително-вкусовата, козметичната и фармацевтичната промишленост може да предвидим, какво количество суровини ще ни е необходимо за следващият период от време.

Приемаме, като основен район на дистрибуция република България. Към 31 декември 2015 г. населението на България е $N = 7\,153\,784$ души. Съгласно статистическите данни от НСИ и анализът на потреблението изчислявам, че за последните 6 години средното потребление на напитки (алкохолни и безалкохолни) е $q = 128,7$ л/година на човек

Това означава, че необходимото количество напитки за денонощие D може да се определи по уравнение 1:

$$D = N \cdot q \quad (1)$$

След заместване се получава:

$$D = 7153784 \cdot 128,7$$

$$D = 920\,453\,541 \text{ литра/ година}$$

Цел на производствена система е да покрива повече от $m = 50\%$ от общия пазар на преформи за

производството на бутилки в България. За целите на експерименталните изчисления, приемам, че напитките са опаковани в бутилки от 1 литър, което означава производство на такива бутилки и съответните преформи, като броя на необходимите преформи Z може да се изчисли по уравнение 2.

$$Z = D \cdot m \quad (2)$$

След заместване се получава:

$$Z = 920453541.0,50$$

$$Z = 460\,226\,771 \text{ преформи / година}$$

С оглед възможността за допускане на статистическа грешка се приема, че производството на системата ще бъде 460 000 000 преформи/година. Този обем включва всички разновидности от произвежданите преформи за напитки.

Производственият процес е непрекъснат, тъй като при изключване на машините работещи с ПЕТ (полиетилен-терефталат) материалът изстива и се получава голямо количество технологичен брак. Поради голямото разнообразие от предлагани преформи ще се спра върху 6 различни вида преформи, описани в долната таблица

Табл. 1: Разглеждани видове преформи

Грамаж [gr]	Брой преформи в една октабина	нето на октабина [kg]
26,00	12 000	312,00
46,00	6 480	298,00
52,00	6 000	313,00
16,50	14 976	250,00
30,00	8 208	249,00
123,00	1 920	236,00

Грамаж [gr]	За бутилка от [l]	Най-често се използват за:
26,00	0,500 – 1,000	газирани безалкохолни
46,00	2,000	бира
52,00	2,000	бира
16,50	0,500	мин. вода
30,00	1,000-1,500	мин. вода
123,00	10,000±	мин. вода

Поради спецификата на производството процеса е непрекъснат и протича на три смени по 8 часа за денонощие, общо 24 часа производствен цикъл с времетраене между 0.00 часа и 24.00 часа.

Фирмата разполага с 10 машини за производство на преформи. Общият производствен капацитет на машините е по-вече от 1 200 000 преформи на ден. Поради спецификите в производството, както и текущи ремонти по обслужване на машините, те не работят на 100% през цялото време.

Броя на работещите машини зависи от количеството на поръчките, а те имат сезонен характер, поради което е необходимо определянето на коефициент на неравномерност за работата на производствените машини. Този коефициент може да се определи като отношението на максималния брой машини, с които разполага фирмата към средния брой работещи машини за денонощие. В таблицата са представени резултатите от направено проучване за средния брой работещи машини по месеци (поради изявения сезонен характер на производството)

Табл. 2: Среден брой машини, които работят, по месеци

месец	среден бр. работещи машини на денонощие
януари	2
февруари	3
март	4
април	6
май	7
юни	10
юли	9
август	9
септември	7
октомври	5
ноември	4
декември	4
средно:	6

От получените данни изчисляваме коефициента на неравномерност $[K]$, уравнение 3

$$K = \frac{M}{m_{ср.р}} \quad (3)$$

Където:

M – общия брой машини с които разполага фирмата

$m_{ср.р}$ – е средния брой работещи машини в денонощието по месеци

След заместване се получава:

$$K = \frac{10}{6}$$

$$K \approx 1,67$$

Този коефициент показва, че 67% от машините работят през цялата година.

3. АНАЛИЗ НА ПРОИЗВОДСТВЕНИТЕ КАПАЦИТЕТИ

Произведеното количество преформи за един час (60 мин) зависи от използваната матрица т.е. от грамажа на преформите. Според грамажа на преформите, матриците се различават по броя на гнездата т.е. по броя на произвежданите преформи на един път.

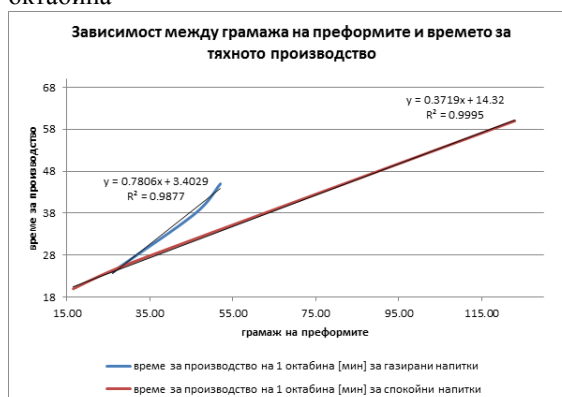
Табл. 3: Време за производство на една октабина от съответен вид преформи

грамаж [gr]	брой преформ и в една октабина	нето на октабина [kg]	време за производство на 1 октабина [мин] за съответния вид
26,00	12 000	312,00	24
46,00	6 480	298,00	38
52,00	6 000	313,00	45
16,50	14 976	250,00	20
30,00	8 208	249,00	26
123,00	1 920	236,00	60

На графиката може да се види зависимостта между грамажа на преформите и времето за производство на една октабина от тях за газирани и за спокойни течности. Зависимостите и за двата вида течности е линейна – колкото по-голям грамаж са преформите толкова по-вече време е необходимо за производството им.

Графика 2. Зависимост между грамажа на преформите и времето за производство на една

октабина



Двете зависимости може да се опишат със следните линейни уравнения (4 и 5):

- За газирани напитки – уравнение 4

$$T_r = 0,7806.g_r + 3,4029 \quad (4)$$

Където

T_r – е времето за производство на една октабина с преформи за газирани напитки

g_r – е грамажа на една преформа за газирани напитки

Като мярката за определеност $R^2 = 0,9877 \approx 0,99$ е много висока.

- За спокойни напитки - уравнение 5

$$T_{Cn} = 0,3719.g_{Cn} + 14,32 \quad (5)$$

Където

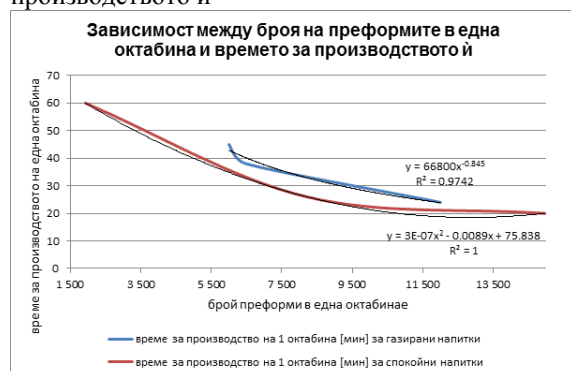
T_{Cn} – е времето за производство на една октабина с преформи за спокойни напитки

g_{Cn} – е грамажа на една преформа за спокойни напитки

Като мярката за определеност $R^2 = 0,9995 \approx 1,00$ е много висока.

Разглеждаме и зависимостта между броя на преформите в една октабина и времето за производството ѝ - графика 3.

Графика 3. Зависимост между броя на преформите в една октабина и времето за производството ѝ



Отново разглеждаме две графики – за газирани и за спокойни течности.

- За газирани напитки – зависимостта може да се опише със следното уравнение 7

$$T_G = 66800 \cdot g_G^{-0,845} \quad (6)$$

Като тук мярката за определеност $R^2=0,9742 \approx 0,98$ е по-ниска отколкото при зависимостта между грамажа и времето за производство, но отново е много висока.

За спокойни напитки – зависимостта се описва с уравнение от втора степен и мярката за определеност е най-висока $R^2=1$ – уравнение 7

$$T_{Cn} = 3E-0,7 \cdot g_{Cn}^2 - 0,0089 \cdot g_{Cn} + 75,838 \quad (7)$$

От казаното до тук следва, че за производството на разглежданите от нас преформи за 24 часа, от една машина HUSKY, ще се произведат следния брой октабини от вид:

Табл. 4: Брой произведени октабини за 24 часа работен цикъл

грамаж [gr]	брой преформи в една октабина	нето на октабина [kg]	време за производство на 1 октабина [мин]
26,00	12 000	312,00	24
46,00	6 480	298,00	38
52,00	6 000	313,00	45
16,50	14 976	250,00	20
30,00	8 208	249,00	26
123,00	1 920	236,00	60

грамаж [gr]	бр. октабини произведени за 1 час от една машина HUSKY за съответния вид	бр. октабини произведени за 24 часа от една машина HUSKY за съответния вид
26.00	2.50	60.00
46.00	1.58	37.89
52.00	1.33	32.00
16.50	3.00	72.00
30.00	2.31	55.38
123.00	1.00	24.00

Готовите преформи се съхраняват и транспортират в картонени октабини, поставени върху и индустриален палет. След като се напълни октабината, плика се запечатва температурно и отгоре се поставя картонен капак, след което опаковката се чемберосва на две места и се транспортира в складовите помещения.

4. ИЗВОДИ

1. Определено е средното потребление на преформи.
2. Получени са математически модели за определяне на запълването на октабините.
3. Получен е необходимият брой октабини.

Литература

1. Казаков Н., Логистика, изд. Софттрейд, 2000
2. Милкова Т., Снабдителни вериги, същност, особености и обхват.С, 2009
3. Информация от фирма „Терахим 97“
4. Интернет страница на Националния Статистически Институт - <http://www.nsi.bg/>

**ANALYSIS OF THE OVERALL CONSUMPTION OF BEVERAGES AND
DETERMINING THE NECESSARY QUANTITIES OF READY PRODUCTION
FOR 24-HOUR PRODUCTION CYCLE IN CONTINUOUS PRODUCTION CYCLE**

Stefka TOSKOVA

Logistics engineering department, Technical University-Sofia, Bulgaria

e-mail: stoshkova@tu-sfoia.bg

Abstract: The current article analyses the usage of preforms in correspondence of the overall consumption of beverages in the country. The problem about the necessary capacity of the polymer preforms production logistics system has also been explored.

Keywords: production intensity, continuous production cycle.