

Науковий журнал

4.2008

ВІСНИК

**Хмельницького
національного
університету**

Технічні науки

Хмельницький 2008

ВІСНИК

Хмельницького національного університету

Затверджений як фахове видання
Постановою президії ВАК України
від 19.01.2006 № 2-05/1 (бюл. ВАК № 2'2006 р.)

Засновано в липні 1997р.

Виходить 6 разів на рік

Хмельницький, 2008, №4 (113)

**Засновник і видавець: Хмельницький національний університет
(до 2005 р. – Технологічний університет Поділля, м. Хмельницький)**

Головний редактор	Скиба М. Є. , заслужений працівник народної освіти України, д. т. н., професор, академік МАІ, УТА, ректор Хмельницького національного університету
Голова редакційної колегії	Сілін Р. І. , заслужений працівник народної освіти України, д. т. н., професор, академік МАІ, АІН, УТА України
Заступник головного редактора	Параска Г.Б. , д. т. н., професор, проректор Хмельницького національного університету
Відповідальний секретар	Гуляєва В. О. , завідувач відділом інтелектуальної власності Хмельницького національного університету

Ч л е н и р е д к о л е г і ї

Технічні науки

д.т.н. Кіницький Я.Т., к.т.н. Баннова І.М., д.т.н. Гладкий Я.М., к.т.н. Домбровський А.Б., к.т.н. Драпак Г.М., д.т.н. Калда Г.С., д.т.н. Камбург В.Г., д.т.н. Ковтун В.В., д.т.н. Костогрив С.Г., д.т.н. Кузьменко А.Г., д.т.н. Локазюк В.М., д.т.н. Мазур М.П., к.т.н. Мандзюк І.А., д.т.н. Мичко А.А., д.т.н. М'ясищев О.А., д.т.н. Параска Г.Б., д.т.н. Ройзман В.П., д.т.н. Рудницький В.Б., д.т.н. Семенюк М.Ф., д.т.н. Славинська А.Л., д.т.н. Стечишин М.С., к.т.н. Троцишин І.В., д.т.н. Шевеля В.В., д.т.н. Либа В.П., д.ф.-м.н. Качурик І.І.

Відповідальні за випуск

Локазюк В.М., д. т. н., Поморова О.В., д. т. н.

Технічний редактор к. т. н. Горященко К. Л.

Редактор-коректор Броженко В. О.

Адреса редакції: Україна, 29016, м. Хмельницький, вул. Інститутська, 11, Хмельницький національний університет
редакція журналу "Вісник Хмельницького національного університету"
(8-03822) 2-51-08
e-mail: patent_1@beta.tup.km.ua
web: <http://visniktup.narod.ru> <http://vestnik.ho.com.ua>
http://library.tup.km.ua/visnyk_tup.htm

Зареєстровано Міністерством України у справах преси та інформації.
Свідоцтво про державну реєстрацію друкованого засобу масової інформації
Серія КВ № 9722 від 29 березня 2005 року (перереєстровано)
Бюлетень ВАК №2, 2006

© Хмельницький національний університет, 2007
© Редакція журналу "Вісник Хмельницького національного університету", 2007

ЗМІСТ

B. BOROWIK, M. MIKULSKI, V. KARPINSKYI TRACING AND BUILDING OF TOPOLOGY IN WIRELESS NETWORK SENSORS	7
KOUROSH ESLAMI WIMAX NETWORK STANDARDS AND DRAFTS	12
KATERYNA LOBACHOVA, VYACHESLAV KHARCHENKO A CONCEPTUAL APPROACH TO ASSESSING COMPOSITE COMPONENT-BASED SOFTWARE SYSTEM RELIABILITY	17
О.Д. АЗАРОВ, В.А. ГАРНАГА, С.В. БОГОМОЛОВ ДВОТАКТНІ ПІДСИЛЮВАЧІ ПОСТІЙНОГО СТРУМУ ІЗ СИМЕТРИЧНОЮ СТРУКТУРОЮ	20
О.Д. АЗАРОВ, О.О. РЕШЕТНИК АЦП ЗІ ЗМІННОЮ ТРИВАЛІСТЮ ТАКТИВ ВРІВНОВАЖЕННЯ НА ОСНОВІ НПСЧ $\{0, 1\}$ ТА $\{1, -1\}$	24
С.Т. БАРАСЬ, О.В. ОНИЩУК, В.Ф. ЯБЛОНСЬКИЙ ВИКОРИСТАННЯ ФІЗИЧНОЇ МОДЕЛІ ДОПЛЕРІВСЬКОГО СИГНАЛУ ДЛЯ ОЦІНКИ ПОХИБКИ ВИМІРЮВАННЯ ЧАСТОТИ ЙОГО ЗАПОВНЕННЯ ПРИ ЧАСОВІЙ ФРАГМЕНТАЦІЇ	27
О.М. БЕРЕЗЬКИЙ, Ю.М. БАТЬКО, Г.М. МЕЛЬНИК ІНФОРМАЦІЙНО-АНАЛІТИЧНА СИСТЕМА ДОСЛІДЖЕННЯ ТА ДІАГНОСТУВАННЯ ПУХЛИННИХ КЛІТИН НА ОСНОВІ АНАЛІЗУ ЇХ ЗОБРАЖЕНЬ	33
М.Ф. БИРКА, А.О. САЧЕНКО КОМБІНОВАНИЙ АЛГОРИТМ ЗЛИТТЯ СЕНСОРНИХ ДАНИХ В ІНТЕЛЕКТУАЛЬНИХ ДИСТРИБУТИВНИХ СЕНСОРНИХ МЕРЕЖАХ	42
Ю.Г. ВЕДМІЦЬКИЙ ВИМІРЮВАЛЬНЕ ПЕРЕТВОРЕННЯ І КОНТРОЛЬ МОМЕНТУ ІНЕРЦІЇ МЕХАНІЧНИХ ТА ЕЛЕКТРОМЕХАНІЧНИХ СИСТЕМ В ПРОЦЕСІ ЇХ ЕКСПЛУАТАЦІЇ. ТЕОРІЯ І ПРАКТИКА	47
Є.Г. ГНАТЧУК ІНФОРМАЦІЙНА ТЕХНОЛОГІЯ ПОДАВАННЯ ТА ОПРАЦЮВАННЯ ЗНАТЬ НА ОСНОВІ НЕЧІТКОЇ ЛОГІКИ В ЕКСПЕРТНИХ СИСТЕМАХ ДІАГНОСТУВАННЯ КОМП'ЮТЕРНИХ ЗАСОБІВ	55
Т.О. ГОВОРУЩЕНКО ОЦІНКА ДОСТОВІРНОСТІ ІДЕНТИФІКАЦІЇ ПРИХОВАНИХ ПОМИЛОК ПРОГРАМНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ	62
К.Л. ГОРЯЩЕНКО, О.І. ПОЛКАРОВСЬКИХ, В.Є. ГАВРОНСЬКИЙ, Ю.І. СНІЖКО РИЗИКИ ЦІЛІСНОСТІ ІНФОРМАЦІЇ НА ПЕРЕНОСНИХ НОСІЯХ ІНФОРМАЦІЇ	66
В.М. ДЖУЛІЙ, А.В. ДЖУЛІЙ ЙМОВІРНІСНА МОДЕЛЬ ПРОГРАМНО-АПАРАТНОГО ЗАХИСТУ ІНФОРМАЦІЙНОЇ СИСТЕМИ	70
В.М. ДЖУЛІЙ, К.В. ІВАНОВ КРИПТОГРАФІЧНІ МЕТОДИ ІДЕНТИФІКАЦІЇ ГРАФІЧНИХ ЗОБРАЖЕНЬ	75
А.В. ДУДАТЬЄВ, О.П. ВОЙТОВИЧ, Ю.В. БАРИШЕВ МЕТОД ОЦІНЮВАННЯ БЕЗПЕКИ ІНФОРМАЦІЙНИХ РЕСУРСІВ ПІДПРИЄМСТВА НА ОСНОВІ АНАЛІЗУ ВРАЗЛИВОСТЕЙ	78
О.В. ЗАХАРКЕВИЧ, Є.М. РЕШЕТНИК РОЗРОБКА МАТЕМАТИЧНИХ МОДЕЛЕЙ КОКЕТОК, ЩО ЗМІЩЕНІ ВІДНОСНО ЦЕНТРУ ГРУДЕЙ ..	84

В.Г. КАПЛУН, П.В. МАТВІЙШИН, В.А. ГОНЧАР ДОСЛІДЖЕННЯ ПРАЦЕЗДАТНОСТІ І НАДІЙНОСТІ ТЕРМОПЛАСТАВТОМАТА ДБ-33-28 ПРИ ПЕРЕРОБЦІ ПЛАСТМАС	87
Г.В. КИЦУН СИСТЕМА ТЕСТУВАННЯ ІНФОРМАЦІЙНОГО ТРАКТУ УНІВЕРСАЛЬНОГО КОМП'ЮТЕРА	91
Г.С. КОВАЛЬЧУК, І.Г. ДЕЙНЕКА, А.А. МИЧКО ТЕОРЕТИЧНІ ОСНОВИ УТВОРЕННЯ З'ЄДНАНЬ З ДОПОМОГОЮ КЛЕЇВ	95
В.А. КУЛАНОВ, В.С. ХАРЧЕНКО МОДЕЛЬ ЖИЗНЕННОГО ЦИКЛА СИСТЕМ ОБРОБОТКИ ІНФОРМАЦІЇ НА ПРОГРАММУЄМОЇ ЛОГІКЕ ПРИ ІСПОЛЬЗУВАННІ АВТОМАТНО-ЯЗЫКОВОЇ ДИВЕРСНОСТІ	98
В.В. КУХАРЧУК, В.В. УСОВ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНЕ ОЦІНЮВАННЯ ВІРОГІДНОСТІ КОНТРОЛЮ КУТОВИХ ПОЛОЖЕНЬ КРОКОВИХ ДВИГУНІВ	102
Є.Ф. ЛІСЦИН, С.Й. ШАМАНСЬКИЙ, В.В. ПОЧТОВЕНКО ЗНЕЗАРАЖУВАННЯ ОСАДУ КАНАЛІЗАЦІЙНИХ СТОКІВ З ОТРИМАННЯМ БІОГАЗУ У БАГАТОСЕКЦІЙНИХ МЕТАНТЕНКАХ	107
Є.Ф. ЛІСЦИН, С.Й. ШАМАНСЬКИЙ, А.О. ІВАНОВ ШНЕКОВИЙ НАСОС З ВИСОКИМ ОБ'ЄМНИМ ККД	110
В.М. ЛОКАЗЮК, Д.М. МЕДЗАТИЙ ВИКОРИСТАННЯ АПРІОРНОЇ ДІАГНОСТИЧНОЇ ІНФОРМАЦІЇ В ПРОЦЕСІ ПРОГНОЗУВАННЯ ТЕХНІЧНОГО СТАНУ КОМП'ЮТЕРНИХ ПРИСТРОЇВ ТА СИСТЕМ	115
М.В. МАТІЙШИН, Н.М. МАРКУНЕЦЬ АНАЛІЗ НЕВИРОБНИЧОГО ТРАВМАТИЗМУ	120
А.О. МЕЛЬНИК, І.Д. ЯКОВЛЄВА ПОДАННЯ ПОТОКОВОГО ГРАФА АЛГОРИТМУ СТРУКТУРНОЮ МАТРИЦЕЮ	124
С.В. МЕЛЬНИЧУК, В.Я. ЛЯШКЕВИЧ, Є.В. РАТУШ ЗАСТОСУВАННЯ СЕМАНТИЧНИХ МЕРЕЖ ДЛЯ ДОСЛІДЖЕННЯ ШЛЯХІВ УДОСКОНАЛЕННЯ ТЕКСТОЛОГІЧНИХ МЕТОДІВ ПОШУКУ ІНФОРМАЦІЇ	129
І.І. МІТАСОВ СХЕМОТЕХНІЧНА РЕАЛІЗАЦІЯ КОМІРКИ ДАТЧИКА В <i>TIMING</i> -СИСТЕМІ ЗБОРУ ІНФОРМАЦІЇ З ВИКОРИСТАННЯМ МІКРОКОНТРОЛЕРА PIC10F204	132
О.А. МИХАЙЛОВСЬКА ХАРАКТЕРИСТИКА ПОКАЗНИКІВ ЯКОСТІ СПЕЦІАЛЬНОГО ДИТЯЧОГО ВЗУТТЯ ДЛЯ ЗАНЯТЬ СПОРТИВНИМИ БАЛЬНИМИ ТАНЦЯМИ	137
Д.Н. МОАМАР, Т.Ю. УТКИНА, Л.А. ШУВАЛОВА МЕТОД МОДЕЛЮВАННЯ АЛГОРИТМІВ АВТОМАТИЗОВАНОГО УПРАВЛЕННЯ ФАСОВОЧНО-УПАКОВОЧНИМИ МАШИНАМИ	140
С.В. МОСТОВИЙ ПРЕДСТАВЛЕННЯ ВХІДНИХ ДАНИХ ДЛЯ СИСТЕМИ ПРОГНОЗУВАННЯ СТАНУ ПРОЦЕСІВ В ПЕРСОНАЛЬНОМУ КОМП'ЮТЕРІ	145
І.В. МУЛЯР ОПТИМІЗАЦІЯ ПРОЦЕСУ ПОШУКУ ІНФОРМАЦІЇ В СЕРЕДОВИЩІ ІНФОРМАЦІЙНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ПРОЦЕСУ ДІАГНОСТУВАННЯ	148

TRACING AND BUILDING OF TOPOLOGY IN WIRELESS NETWORK SENSORS

Questions, related to functioning of wireless networks of sensors, are imaginable in the article, with the special account of network with the far of nodes and end devices. Signal main problems, related to the selection of route and building of topology in such systems. Solution is offered some with imaginable questions.

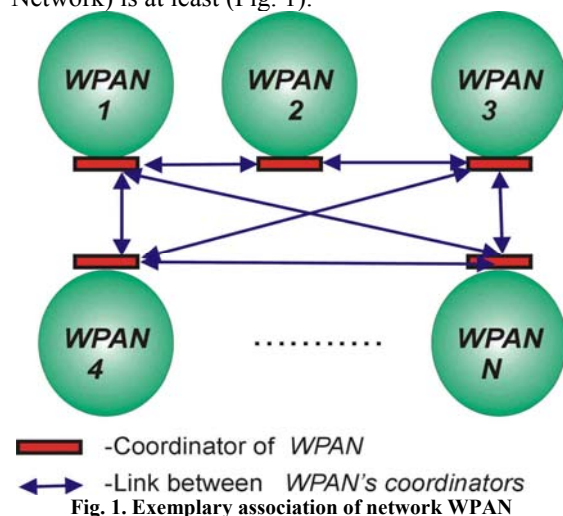
Introduction

Wireless Networks Sensors make the association of end devices and also devices, carrying out the function of sites and coordination devices of network. Make up comparatively with connects low throughput proper also to have demand possibly low on power consumption. Topologies of network of sensors can be different e.g. star, mesh, variously depending on the applied of communication protocol. Space of application of wireless technologies is each time more wide, like business appears from networks sensors: systems of household automation, electronics for the use, measuring systems which manage, medical applications, soldiery applications.

Very attractive protocol of network of sensors is ZigBee. In a physical layer and data link layer uses the channels of information from the standard of IEEE 802.15.4, higher it is impossible layers, network and application, develop through society of ZigBee Alliance, in the complement of which the producers of electronic options or producers of the incorporated one whole electronic systems enter by the way.

Problem definition

In this treatment we aim concentrated on the problem of choice of route in the large networks of sensors. Speaking „large” we think with decisions in which a sprat of co-operating networks of WPAN (Wireless Personal Area Network) is at least (Fig. 1).



We found, that communication between networks can be done only and exceptionally at mediation the purpose of setting which coordinator of network is sent on an assignment to that. Except for that coordinators of network create between itself associations in an arbitrary topology (e.g. star, mesh).

Except for that in the limit of every from the network of WPAN (ZigBee) can except for mentioned coordinator of ZC (ZigBee Coordinator) function the followings devices (Fig. 2):

- end devices (watch posts) ZED (ZigBee End Device) – related directly to the function of sending of information which manages or also measuring device, which is communicated with the use of or nodes of network or coordinator;

- nodes of network of ZR (ZigBee Router), or options which except for functionality of ZED, serve for connect to the network of eventual options and also passed of communicate which are generated through the options of ZED.

Options, making WPAN, can be erected with the use of an arbitrary network topology, and their amount can be considerable (e.g. in the case of networks of ZigBee 2^{64}).

During planning of network of computers and telephone by a main rank we pay regard to optimum location of sites and channels and also on the flows of threads of information in a network. There are many different methods of planning of network, but none is so general, that given to implementation in arbitrary case. Methods or those techniques of planning of network we can divide into three groups:

- optimum (most desired but not productive in the case of large networks with many limitations, given to application in small networks);
- heuristic (often near decision to optimum at everyday life much less supplies);
- simulations (consist in the design of saving of network at the help of the proper computer programs. The detail of reflection of reality influences on complication of the program, and consequently on time of receipt of decision).

In the case of the described systems the package of questions and problems, related to the choice of route appears higher:

- by what route communication must be passed in the limit of WPAN,

- by what route communication must be passed between WPAN,
- in what method distribute of information with the shortest path in a limit and for WPAN,
- how often distribute information with the shortest path,
- whether to distinguish communicates, appointing them priorities.

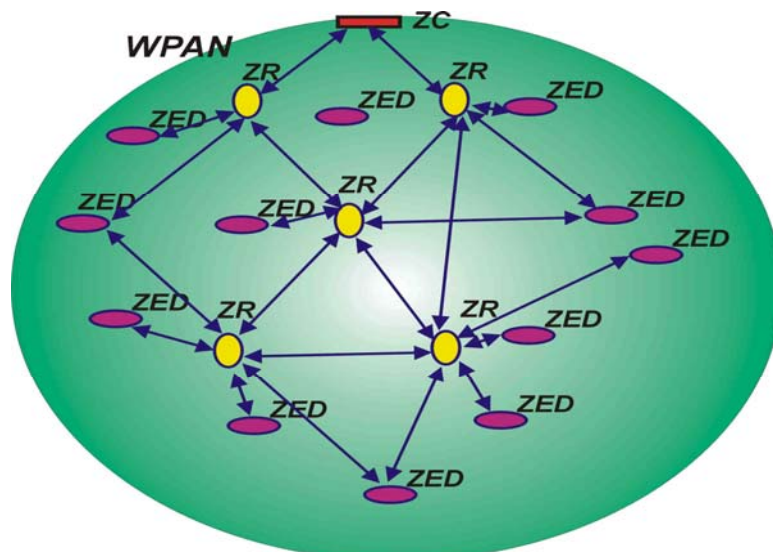


Fig. 2. Exemplary WPAN

Searching an answer for foregoing questions it should be remembered, that on the whole options of ZR, ZED are options with a battery and desired feed is them possibly maximal time of work without the exchange of energy source, in same queue coordinator of network of ZC often is setting, sub connected to the permanent source of feed.

Except for that analyzing foregoing pictures we notice, that possibility of run-time determination of topology of network is. And here are questions again:

- how to build a topology, meaning the minimum wear of energy,
- how to build the topology of network taking into account time of supply of information,
- whether and how to complete reconfiguration of topology of network.

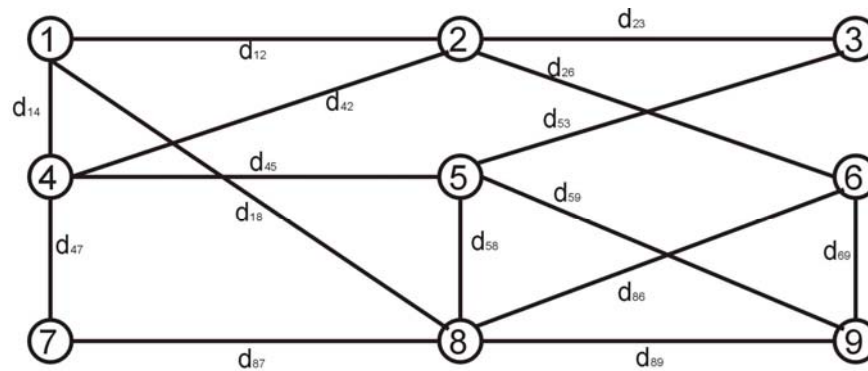
2. Problems of tracing

During the choice of method of tracing designer of the system must act the proper choice of method of routing, meaning the row of limitations and specific of the system which is examined.

Management rules by the selection of path we can divide on:

- 1) Taking into account localization of management points by the selection of routes:
 - with complete centralization (one centre in all system),
 - with a regional centre (e.g. centralization on height of network of WPAN),
 - with a local centre,
 - system in a complete measure decentralizing.
- 2) Taking into account the method of choice of route between a source and destination:
 - deterministic,
 - probabilistic.
- 3) Taking into account the period of time on which the table of routes obeys actualization:
 - static (year, month) routing,
 - run-time routing (day, hour, minute).
- 4) Taking into account the number of routes between a source and destination of communicate:
 - with one by a briefly certain route,
 - with many alternative paths.
- 5) Taking into account constancy of route of information, which is sent:
 - communication with the dedicated channel,
 - communication with virtual circuits,
 - communication of datagram [1].

Let given will be a network which was imaginable in appearance graph of out of control $G(V, K)$, where V means collection of sites (nodes), K is collection of channels (Fig. 3).



d_{ij} - cost (distance) of channel between nodes i and j ($d_{ij}=d_{ji}$)

Fig. 3. Graph of exemplary network

We will describe a subject network at a help model running. We add a flow f_{ij} which makes sense middle tension of threads of information guided from a site i to j every steam of sites. With every by such steam we can also link throughput c_{ij} , that top limit, imposed on a flow, or permanent cost of channel d_{ij} , and:

$$0 \leq f_{ij} \leq c_{ij} \quad (1)$$

Let f_i means an entrance or such, that goes out flow from a network in a site and (so-called external flow), here $f_i > 0$ if a flow is directed to the network and $f_i < 0$ – in opposite case. We will accept in subsequent deliberations, that a right for saving of flow is executed in every site: a sum of flows, entrance to the site, is evens the sum of flows which quit a site (plugging external flows in that).

Between the site of s and t (by a source and destination) it is required the purpose of choice of the shortest route to find the minimum cost of function of cost [1]:

$$z = \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^N d_{ij} f_{ij} \quad (2)$$

at next limitations:

$$\sum_{\substack{j=1 \\ (j \neq s)}}^n (f_{sj} - f_{js}) = 1, \quad (3)$$

$$\sum_{\substack{j=1 \\ (j \neq t)}}^n (f_{tj} - f_{jt}) = -1, \quad (4)$$

$$\sum_{\substack{j=1 \\ (j \neq s, t)}}^n (f_{ij} - f_{ji}) = 0, \quad i = 1, 2, \dots, n, i \neq s, t, \quad (5)$$

$$0 \leq f_{ij} \leq c_{ij}, \quad c_{ij} \in \{0, 1\}, \quad i, j = 1, 2, \dots, n, i \neq j. \quad (6)$$

Literature gives the row of algorithms (e.g. algorithm of Dijkstra, Ford-Fulkerson) of decision of this problem, however necessarily can be they against carried to the network of sensors.

3. Analysis of fitness of imaginable methods in wireless networks of sensors

In our deliberations, finding of such algorithm of tracing is substantial and also construction of such topology of network, to get the minimum fence of force through options which create the network of sensors.

Set, that an element of network can be in one of the followings states P gets certain forces in which:

- it is active (broadcasting, with the fence of force of PT , or reception, with the fence of force of PR , communicate),

- inactive state – PID (translation or reception of new does not call),

- state of lulling to sleep – PS .

Those state differ between itself the certainly realized of communication function in this sentinel moment, but also by the fence of force. Below we will define the power request of the separate states.

Let P_t mean force of transmitter, P_r force, taken away through receiving aerial, G_t , G_r power gain of antenna transmitter and receiver respectively. Accepting model of propagation signal in free space and also founding, that a signal propagate in the centre of isotropic, linear, break-even, at the slowness of wave λ and distance between transmitter aerial and receiving r , we get the following dependence:

$$Pr \text{ [dBm]} = Pt \text{ [dBm]} + Gt \text{ [dBi]} + Gr \text{ [dBi]} + 20 \log \frac{\lambda}{4\pi * r} \quad (7)$$

From the analysis of foregoing equalization, flows out, that at the set deep feeling of receiver, power incomes and also recurrence of translation, necessary to the radiation through transmitter aerial force depends on distance of r between aerials. Size $20 \log \frac{\lambda}{4\pi * r}$ determines extinguishing of free space of FSL (*free space loss*). In the case of networks, sensors the free of license band of ISM (*Industry, Science and Medicine*), which occupies a recurrence in obedience to Table 1, is often used [2].

Table 1

Not licensed bars of ISM for communication of radio and also extinguishing of free space

Range of frequently	868-870MHz	902-928MHz	2400-2483,5 MHz	5725-5780 MHz
Transmitter power	-	-	<10mW	<25mW
Space of meaningfulness	Europe	Both of America	Europe, Asia, America, Australia	Europe, Asia, America, Australia
Estimated FSL (r- distance) [dB]	32 dB+ 20log r		40 dB+ 20log r	48 dB+ 20log r

Correlated the exemplary parameters of transceivers of ZigBee in Table 2 [3, 4].

Table 2

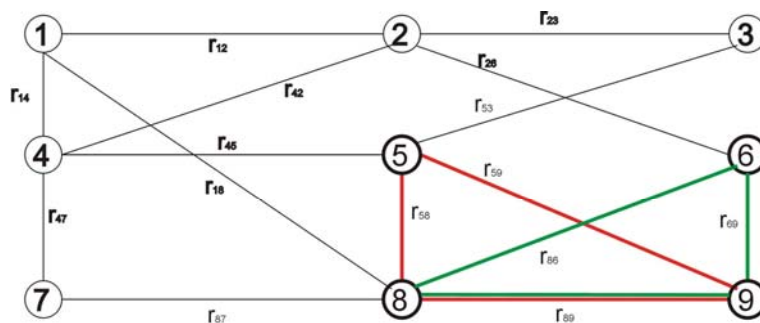
Equalization of parameters of transceivers of ZigBee

Producer, model	Radiocrrafts, RC230x	Chipcon, CC2420
Frequently band	2400-2483,5 MHz	2400-2483,5 MHz
Width of channel	25 kHz	25 kHz
Data rate	250 kbps	250 kbps
Maximal output power	0 dBm	0 dBm (regulated)
Sensitivity	-92 dBm (PER 1 %)	-94 dBm
Power supply voltage	2,0-3,6 V	2,1-3,6 V
Current consumer during transition	27 mA	17,4 mA
Current consumer during receiver	27mA	19,7 mA
Current consumer during sleeping state	0,9µA	1 µA

On the basis of information with Table 2 and also dependence on extinguishing of signal in free space we can estimate distance of translation between the options of the designed network of sensors.

Accepting, what is near reality, that in a state of active, where setting gives a communicate, energy is by a main rank got on translation of signal we notice ($PT = Pt$), that PT is the function of distance between aerials of receiver and transmitter – $PT(r)$.

Lets look consequently a network, to imaginable on more early Fig. 3, and concretely to the sites 5, 6, 8, 9 (Fig. 4).



r_{ij} - distance (Euklides) between node i and j .
Fig. 4. Problem of selection of route in the network of sensors

How we see, communicate from a site 5 to 9 we can send directly or at mediation a 8. site we will. Accomplish presently the rates of force in both the cases of translation:

- at direct translation from a site 5 to 9

$$P_1 = \frac{R}{B} P_T(r_{59}) + \frac{R}{B} P_R + 2(1 - \frac{R}{B}) P_{ID} + P_S, \tag{8}$$

- at mediocre translation with 5 to 8 and 8 to 9

$$P_2 = \frac{R}{B}(P_T(r_{s8}) + P_T(r_{s9})) + \frac{2R}{B}P_R + (3 - \frac{4R}{B})P_{ID}. \quad (9)$$

where: R [bps] is a volume of information to sending, B [bps], is throughput of channel.

Graphic presentation of foregoing dependence represents the mentioned below diagram (Fig. 5) [5].

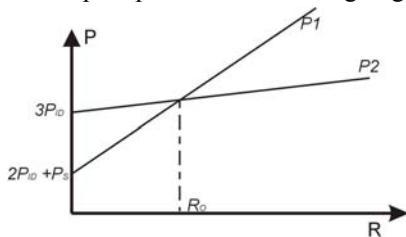


Fig. 5. Equalization of fence of force variously depending on speed of generation of information through a source

Accepting for denotations which obligate concerning flow in networks, definition problem of finding of network, with the minimum fence of force, MPC (*Minimum Power Configuration*) appears following:

At this network of $G(V, L)$ and also collection of flows which are required I , it is required to find sub graph $G'(V', L')$, ($V' \subseteq V, L' \subseteq L$), and also path between every steam source- destination of $g(s_i, t_j)$ in graph G' for every motive (s_i, t_j, f_{ij}) requirement, such, that the overall cost (request of power) of $P(G')$ is minimum, thus [5]:

$$P(G') = |V'| P_{ID} + \sum_{i \in V'} \sum_{(i,j) \in g(s_i, t_j)} f_{i,j} * (P_T(i, j) + P_R - 2P_{ID}). \quad (10)$$

The described model concludes some the disadvantage, which are not to ignore in the networks of ZigBee:

- principle is accepted, that setting is in a state of active or idle state is a shortage of the state sleeping P_s ,
- a topology is sought after, in the case of when all options can be a source be destination of communicate and also all can create the shortest path – what does not answer reality taking into account the presence of options of ZED.

Extremely there is consequently untwisting of the offered methods and algorithms, so the networks of ZigBee reflected better. A certain decision would be introduction both the function of cost of d_{ij} , in methods, used in the wired networks. Function that would be dependency upon distance between sites, meaning equalization (7).

Except for that taking into account relatively large necessary complication is its modification. Except for the described problem of construction of topology of network with the smallest fence of force, for a decision there is a distribution question of information with the shortest path is a question of protocols of routing. Imagined, that the best would be centralized approach, in which coordinator of network of ZC is liable for distribute in the network of inferior of information itself with the shortest routes. To that purpose it would be required to use of multicast transmission (one to much), here to choice of mother of protocol of the state of channel (link of state) or vector of distance (distance of vector). In the case of large networks of sensors more desired protocols of the state of channel are imagined, taking into account the less loading of network and less of information, necessary to distribute.

Conclusions

Classic, developed on necessities networks the telecommunication and computer, algorithms of tracing can find the use in the wireless networks of sensors it is here required to subordinate the function of cost of channel from distance between options taking into account extinguishing of free space.

Imagined, that in the limit of network of sensors main plough-land in the sphere of building of topology and also routing must have coordinator of network of ZC, its tasks in this industry proper to consist of three steps:

- 1) building of topology of network – in obedience to a certain algorithm, meaning the minimum fence of force, chooses the associations of options in the limit of network (constructions of graph G');
- 2) calculation of the shortest paths is building of table of routing;
- 3) distribute of information with paths.

Distribute protocols of information with routes, or protocols of routing it is required to modify so minimalist wear of energy through the options of network. Imagined, that extremely there will be everyday life of translation of multicast (e.g. from the inspector of network to all sites of network), and protocol must be protocol of the state of channel (less of information to sending than in the case of protocols of vector of distance). Opened here is a question of exchange of signalling information in the large networks of sensors in which coordinators of network is much. Imagined, that extremely there is ascription to one of them main function – master of coordinator – by the purpose of adjusting of translation of information between ZC, but in the limit of network of WPAN function but to remain the sphere of ZC.

References

1. Pach R., Rzaşa J. Sieci teleinformatyczne. – Cracow (Poland): AGH, 2007. – 279 p.
2. Nawrocki W. Rozproszone systemy pomiarowe. – Warsaw (Poland): WkiŁ, 2006. – 324 p.

3. <http://radiocrafts.com>
4. <http://chipcon.com>
5. Xing G., Lu C., Zhang Y., Huang Q., Pless R: Minimum Power Configuration in Wireless Sensor Network // Proceedings of the 6th ACM International Symposium on Mobile Ad Hoc Networking and Computing "MobiHoc 2005" (Urbana-Champaign, IL, USA, May 25-28, 2005). – Illinois (USA): ACM MobiHoc, May 2005.

Надійшла 12.5.2008 р.

UDC 004.73

KOUROSH ESLAMI

National Technical University of Ukraine,
Kyiv Polytechnic Institute, Department of Applied Mathematics

WIMAX NETWORK STANDARDS AND DRAFTS

This article is devoted to the different ways of organization of the wireless networks "WiMAX" standard 802.16 technology.

Basic descriptions of the WiMAX technology are included in this article, the questions of planning and designing are considered, principles of work of this technology are described, and also distinctions between the WiMAX and Wi-Fi networks are analyzed. On the basis of analysis comparison it's exposed that both technologies are often used together, but on different areas of network. WiMAX networks are the logical continuation of the Wi-Fi networks.

In this article the existing standards are described. The comparative analysis of their different characteristics are carried out, the prospective standards of the family IEEE 802.16x are viewed which are in the stage of working out and will be transferred within several years.

Introduction

WiMAX is one of the most perspective trends of development of wireless networks. The main task of this technology is the assignment of the universal wireless access for different devices (working stations, notebooks, mobile telephones etc.) and the unification of local networks of separate offices.

To develop the WiMAX networks and coordinate the operation of many different researchers the WiMAX-forum was created. The main coordinating role in the development of WiMAX networks belongs to the working group IEEE 802.16x. It works out and confirms the complex of standards 802.16x, which outline the creation (usage) of WiMAX networks in different conditions.

General Characteristics

The IEEE 802.16 Working Group on Broadband Wireless Access Standards, which was established by IEEE Standards Board in 1999, aims to prepare formal specifications for the global deployment of broadband Wireless Metropolitan Area Networks. The Workgroup is a unit of the IEEE 802 LAN/MAN Standards Committee. A related future technology Mobile Broadband Wireless Access (MBWA) is under development in IEEE 802.20. Although the 802.16 family of standards is officially called WirelessMAN, it has been dubbed "WiMAX" (from "Worldwide Interoperability for Microwave Access") by an industry group called the WiMAX Forum [1]. The mission of the Forum is to promote and certify compatibility and interoperability of broadband wireless products.

Worldwide Interoperability for Microwave Access (WiMAX) provides specifications for both fixed Line of sight (LOS) communication in the range of 10-66GHz (802.16c), and fixed, portable, Non-LOS communication in the range of 2-11GHz (802.16a & 802.16d) [2]. In addition, it defines wireless communication for mobiles, moving at a speed of 125 KMPH, in the range of 2-6 GHz (802.16e). Support for both time division duplex (TDD) and frequency division duplex (FDD) SS is provided, both using a burst transmission format whose framing mechanism supports adaptive burst profiling in which transmission parameters, including the modulation and coding schemes, may be adjusted individually to each SS on a frame-by-frame basis, thus providing high data rates [3].

A. IEEE 802.16c

Wireless metropolitan area network- single carrier physical layer (WirelessMAN-SC PHY) specification is targeted for operation in the 10- 66 GHz frequency band. The BS is essentially an isotropic radiator, which transmits data (downlink) to all the users designated by their connection identifier (CID). The subscriber station (SS) shall use highly directional antennas directed towards the BS. The signal chain for this physical layer, at the transmitter is defined as, randomization, forward error correction (FEC) encoder, symbol mapping followed by pulse shaping and transmission.

Randomization is done in order to ensure the carrier recovery at the receiver.

Mandatory FEC scheme comprises of Reed Solomon (RS) encoder and Block convolutional coder (BTC), optional scheme includes parity check codes and convolutional turbo codes (CTC). Moreover the encoding rate depends on channel conditions and required bit error rate (BER). Adaptive modulation schemes (Quadrature phase shift keying (QPSK), 16 Quadrature amplitude modulation (16 QAM)) are used for symbol mapping, additionally, 64 QAM is provided as an optional modulation scheme.

Application of this standard includes point to point (PPP) and point to multi point (PMP) microwave

communication, interconnection between remote locations and backhaul services. Implementation cost and time is saved when compared with laying of cables [4].

B. IEEE 802.16a

This part of the WiMAX standard uses single carrier (WirelessMAN-SCa PHY) physical layer specification, similar to that of 802.16c, except that it is targeted for the frequency below 11 GHz and at NLOS. The SS can be personal computers with an external box connect to an outdoor 'isotropic' antenna [5]. Hence this is fixed NLOS wireless communication. Support for both TDD and FDD is provided, similar to 802.16c. Since single carrier in multipath environment is used, a receiver needs to perform efficient channel estimation and equalization techniques to overcome the multipath effects. Another difference is the concatenated FEC using RS and pragmatic trellis coded modulation (TCM) (rate $\frac{1}{2}$ convolutional coding (CC)) with optional interleaving. Optionally to improve the performance support is provided for BTC, CTC, Adaptive antenna systems (AAS) and space time coding (STC) are provided.

802.16a devices can be used to provide with T1/E1 level services to enterprises, thus eliminating wire lines and saving the implementation cost and time. Additionally it can be used to provide backhaul for hotspots being served by 802.11. Also it can be used in residential locations to provide broadband internet connections.

C. IEEE 802.16d

This is targeted to provide a broadband internet connection to indoor users. The SS operating on this standard use indoor antenna and a limited mobility (portable devices) is allowed [5]. 802.16d uses orthogonal frequency division multiplexing (OFDM) as its physical layer specification to enable NLOS communication below 11 GHz. Since OFDM is used, the receiver is made simple by 'elimination' of bulky equalizer. The other features have nearly been kept similar in all the physical profiles of the standards. FEC includes concatenated RS-CC followed by interleaving. Similar to 802.16a, AAS, STC schemes are provided but are kept optional. Variable FFT size and symbol time is specified, which could be fixed depending on type of environment and allocated bandwidth.

D. IEEE 802.16e

Specifications are provided such that mobility of the SS at 125 KMPH is allowed. Orthogonal frequency division multiple access (OFDMA) is used as the physical layer scheme. Channel coding is provided by use of mandatory CC and optional BTC, CTC and low density parity check codes (LDPC). Data is randomized and interleaved to avoid loss of carrier recovery and burst errors. In addition to AAS, STC, optional multi input multi output (MIMO) scheme has been specified [6]. Code division multiple access (CDMA) codes are used along with the random window length based contention control algorithm for initial ranging, periodic ranging, bandwidth request and handoff. The inter BS communications have been defined, which will be used as a backbone network between the BS's to aid the inter-cell mobile subscriber station (MSS) handoff. This ensures fast and accurate synchronization at the cost of slightly increased complexity. Similar to 802.16d, variable FFT size and symbol time is provided which could be set depending on the environment and allocated bandwidth.

Put together, the 802.16 technology would enable the SS to get broadband wireless access (BWA) at all times in all locations, either when stationary, or at pedestrian speed or when traveling at 125 KMPH.

Few of the difference between 802.16d and 802.16e are presented here. In OFDM, SS uses all the available subcarriers for the allocated time, but in OFDMA, user is allocated region having definition in both time and frequency. The subcarrier mapping is different in both the standards, resulting in channel estimation done in 802.16d being complex, but done less number of times. In 802.16e the channel estimation is simple, but more frequently done (because data considered, per iteration is less – Channel is flat only over limited subcarriers). Another difference is use of CDMA codes for ranging in 802.16e, the receiver performs correlation to detect the user, and hence more processing is involved.

OFDM is a multi carrier transmission scheme where the information is transmitted on multiple subcarriers, with a lower data rate, instead of one high data rate carrier (Figure 1) and moreover, the subcarriers are orthogonal to each other, leading to saving of bandwidth. The major disadvantage of an OFDM system is its requirement of perfect synchronization in time and frequency. But the advantages of using OFDM are far more and provide enough reasons for the popularity of the OFDM systems. A typical channel fade will degrade only a few of the subcarriers, which in most cases can be compensated by use of efficient interleaving and channel coding [7]. OFDM systems can be implemented very efficiently by using the Inverse Fast Fourier transform (IFFT) at the transmitter and Fast Fourier transform (FFT) at the receiver. The overall complexity and its increase with data rate in OFDM systems is far less than the single carrier systems, hence OFDM is becoming a widely accepted technology and more prominent to be used in future mobile wireless communication standards.

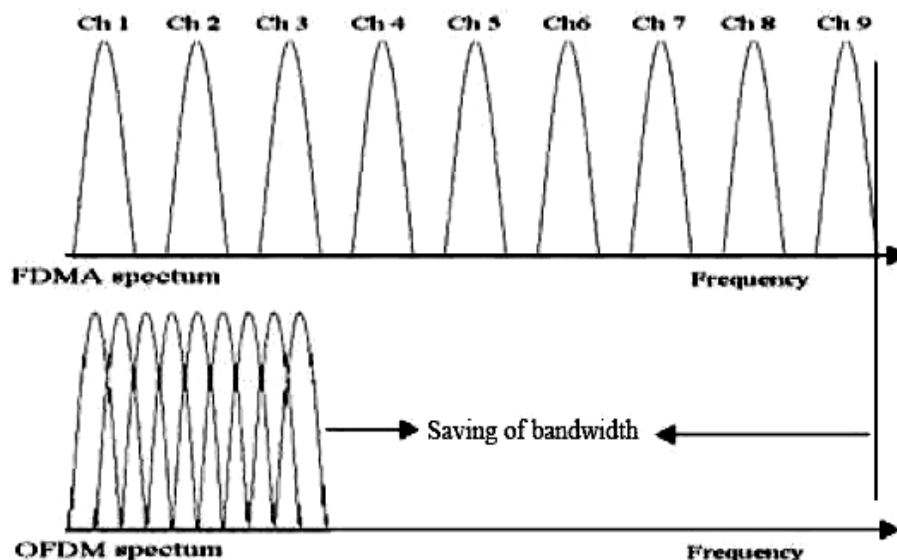


Figure 1. Comparison between FDMA and OFDM

Table 1

Difference between standards IEEE 802.16x

	802.16	802.16a	802.16b	802.16c	802.16d	802.16-2004	802.16e-2005	802.16.1	802.16.2	802.16.2a	802.16.3	802.16m
Completed	Dec 2001	January 2003	2003	Dec 2002	June 2004	2004	Dec 2005	2000	2001	Aug 2002	May 2003	2006-2009
Frequency	10-66 GHz	2-11 GHz	5-6 GHz	10-66 GHz	2-11 GHz	< 11 GHz	2-6 GHz	10-66 GHz	10-66 GHz	2-11 GHz	< 11 GHz	2,3-3,8 GHz
Application	Backhaul	Wireless DSL & Backhaul	Wireless HUMAN (License Exempt)	Wireless Internet	Wireless DSL & Backhaul	Wireless DSL	Mobile Internet	Wireless DSL	Wireless MAN	Wireless MAN	Wireless Internet	Mobile WiMAX
Channel conditions	Line of sight only	Non-line of sight	Non-line of sight	Line of sight	Non-line of sight	Non Line of Sight	Non-line of sight	Line of sight	Line of sight	Non-line of Sight	Non-line of sight	Line of sight
Bit rate	32-134 Mbps at 28 MHz	Up to 75 Mbps at 20 MHz	Up to 70 Mbps at 20 MHz	32-134 Mbps at 128 MHz	Up to 75 Mbps at 20 MHz	Up to 75 Mbps at 20 MHz	Up to 15 Mbps at 5 MHz	Up to 134 Mbps	134,4 Mbps	144 Mbps	54-175 Mbps	Mbps ~ 100 Mbps / 1 Gbps
Modulation	QPSK, 16QAM and 64QAM	OFDM 256 sub-carriers, QPSK, 16QAM and 64QAM	Scalable OFDMA	QPSK, 16QAM and 64QAM	OFDM 256 sub-carriers, QPSK, 16QAM and 64QAM	OFDM and OFDMA with TDD and FDD	Scalable OFDMA	QPSK, 16 QAM or 64 QAM with TDD & FDD	QPSK, 64QAM-TDD & FDD	QPSK, 16 QAM with TDD & FDD	OFDM-QPSK, 16QAM and 64QAM	OFDM A with TDD & FDD
Mobility	Fixed	Fixed	Fixed/ Nomadic	Fixed	Fixed/ Nomadic	Fixed/ Nomadic	Fixed/ Nomadic and Full mobility/ Portable	Fixed	Fixed	Fixed	Fixed	Fixed/ Mobile/ Nomadic
Channel bandwidths	20, 25, and 28 MHz	1.5 and 20 MHz	10, 20 MHz	20, 25 and 28 MHz	1.5 and 20 MHz	20 MHz	1.5 and 20 MHz	12.5 MHz through 28 MHz to 50 MHz	20, 25, 28 MHz	28 MHz	3.5, 7, 10.5 and 14 MHz	5, 10, 20 MHz
Typical cell radius	1-3 miles	4-6 miles, up to 3 miles	7-10 km, up to 50 km	1-3 miles	4-6 miles, up to 30 miles	7-10 km, up to 50 km	1-3 miles	<10 km	8-10 km	12 km	30-50 km	30-100 km

EXPERIMENTS

IEEE 802.16 Published Standards and Drafts

A. Active Standards

- IEEE Std 802.16-2004
- IEEE Std 802.16g-2007 – Management Plane Procedures and Services.
- IEEE Std 802.16f-2005 – Management Information Base.
- IEEE Std 802.16-2004/Cor1-2005 (corridendum to IEEE 802.16, published along with IEEE 802.16e-

2005).

- IEEE Std 802.16e-2005

Just as 802.16d has never existed as a standard, neither has 802.16e. 802.16e is an amendment to 802.16-2004, and the amendment is properly referred to as 802.16e-2005. 802.16e-2005 is not a standard in its own right – since it is only an amendment, the original document (802.16-2004) has to be read and then the amendments added to it.

B. Superseded Standards

- IEEE Std 802.16-2001
- IEEE Std 802.16a-2003
- IEEE Std 802.16c-2002
- IEEE Std 802.16.2-2001

In September 2003 during the 27th session of the IEEE 802.16 Working Group, a new project, 802.16-REVd, was approved. Prior to this, the complete IEEE 802.16 standard was comprised of three documents within the IEEE 802.16 group of standards; “IEEE Std 802.16-2001”, “IEEE Std 802.16c-2002”, and “IEEE Std 802.16a-2003”. The standard commonly known as “16a” is in fact an amendment to the “IEEE 802.16-2001” and is not a stand alone standard.

C. Terminated Project

- IEEE Draft P802.16d
- IEEE Draft P802.16-2004/Cor2

D. Projects in Pre-Draft Stage (Project P802.16m)

IEEE 802.16's 802.16 Task Group m (TGm) is chartered to develop an amendment to IEEE Standard 802.16 under the PAR P802.16m and the relevant Five Criteria Statement statement. The PAR addresses "Air Interface for Fixed and Mobile Broadband Wireless Access Systems – Advanced Air Interface" and was approved by the IEEE-SA Standards Board on 6 December 2006 [8].

WiMAX Forum Certified products are interoperable and support broadband fixed, nomadic, portable and mobile services.

Fixed WiMAX

This is a phrase frequently used to refer to systems built using 802.16-2004 ('802.16d') and the OFDM PHY as the air interface technology [9]. Fixed WiMAX deployments do not cater for handoff between Base Stations, therefore the service provider cannot offer mobility.

Nomadic WiMAX

A special case of mobility is the so called nomadic mobility, when the user – who is on the move – is not connected to the network. An average laptop user can hardly concentrate on his work, while he is on the way. He needs network connection only when he stopped and can pull out his laptop from his bag. For instance, such typical places of temporary, nomadic presence are the public WLAN Hot spots located in airports or cafeterias, or connection points made available by companies for their business partners visiting them.

Portable WiMAX

Sympatico Unplugged and WiMax service is a portable wireless service that is part of the Inukshuk Inc. project. The project aims to provide broadband Internet access to underserved areas across Canada.

Mobile WiMAX

A phrase frequently used to refer to systems built using 802.16e-2005 and the OFDMA PHY as the air interface technology [10]. "Mobile WiMAX" implementations can be used to deliver both fixed and mobile services.

- IEEE Std 802.16.2-2004
- IEEE Std 802.16/Conformance01-2003
- IEEE Std 802.16/Conformance02-2003
- IEEE Std 802.16/Conformance03-2004
- IEEE Std 802.16/Conformance04-2006
- IEEE Std 802.16k-2007

Drafts Under Development

- IEEE Draft P802.16h – Improved Coexistence Mechanisms for License-Exempt Operation.
- IEEE Draft P802.16 i – Mobile Management Information Base.
- IEEE Draft P802.16j – Multihop Relay Specification.
- IEEE Draft P802.16Rev2 – Consolidate 802.16-2004, 802.16e, 802.16f, 802.16g and possibly 802.16i into

a new document.

Comparison of WiMAX and Wi-Fi Technologies						
	Wi-Fi				WiMAX	
	802.11A	802.11B	802.11G	802.11N	802.16E-2005	802.16M
COMPLETED	1999	1999	2002-2003	2007-2009	DEC 2005	DEC 2006-2009
FREQUENCY	5 GHZ	2.4 GHZ	2.4 GHZ	2.4-5 GHZ	2-6 GHZ	2,3-3,8 GHZ
APPLICATION	WIRELESS LAN	WIRELESS LAN	WIRELESS LAN	WIRELESS LAN	MOBILE INTERNET	MOBILE WIMAX
BIT RATE	54 MBPS	11 MBPS	54 MBPS	74-248MBPS	UP TO 15 MBPS AT 5 MHZ	30 MBPS ~ 100 MBPS / 1 GBPS
MODULATION	QPSK, BPSK, 16-, 64-QAM	QPSK-DSSS	QPSK, BPSK, 16-, 64-QAM	OFDM	SCALABLE OFDMA	OFDMA WITH TDD&FDD
MOBILITY	FIXED/PORTABLE	FIXED/PORTABLE	FIXED/PORTABLE	FIXED/PORTABLE	NOMADIC AND FULL MOBILITY& PORTABLE	FIXED/MOBILE/ NOMADIC
CHANNEL BANDWIDTHS	20 MHZ	25 MHZ	20 MHZ	40 MHZ	1.5-20 MHZ WITH UL SUB CHANNELS TO CONSERVE POWER	5,10,20 MHZ
TYPICAL CELL RADIUS	50M	100M	100M	70-250M	1-3 MILES	1/5/30 KM (OPTIMAL AT 5KM) FUNCTIONAL FOR 30-100 KM EXPECTS TO IMPROVE MOBILE PERFORMANCE MORE THAN 2-3X THE CURRENT 802.16E CAPABILITIES
DESCRIPTION	8 NON OVERLAPPING CHANNELS. NO QOS	14 OVERLAPPING CHANNELS	14 OVERLAPPING CHANNELS. UPWARD COMPATIBILITY WITH THE STANDARD 802.11B	HIGH THROUGHPUT WILL SUPPORT DIGITAL HOME APPLICATIONS, SUCH AS VIDEO OVER IP	WIMAX PROVIDES HIGH DATA RATES AND QOS CLASSES TO SUPPORT BROADCAST AND MULTI-CAST VIDEO	

CONCLUSIONS

WIMAX is not WI-FI

One of the most often heard descriptions of WiMAX in the press is that it is "Wi-Fi on steroids". In truth, it is considerably more than that. Not only does WiMAX offer exponentially greater range and throughput than Wi-Fi (technically speaking 802.11b, although new variants of 802.11 offer substantial improvements over the "b" variant of 802.11), it also offers carrier grade quality of service (QoS) and security. Wi-Fi has been notorious for its lack of security. The "b" variant of 802.11 offered no prioritization of traffic making it less than ideal for voice or video. The limited range and throughput of Wi-Fi means that a Wi-Fi service provider must deploy multiple access points in order to cover the same area and service the same number of customers as one WiMAX base station (note the differences in nomenclature). The IEEE 802.11 Working group has since approved upgrades for 802.11 Security and QoS [11].

Literature

1. WiMAX Forum (2006): Mobile WiMAX- Part II: Competitive Analysis. Available at www.wimaxforum.org.
2. OECD: The Implications of WiMAX for Competition and Regulation, Mar.2006, <http://www.oecd.org/dataoecd/32/7/36218739.pdf>
3. [http://www.rfcafe.com/references/resources/IEEE802p16 %20WiMAX %20-%20WiMAN %20Resources.htm](http://www.rfcafe.com/references/resources/IEEE802p16%20WiMAX%20-%20WiMAN%20Resources.htm)
4. IEEE Standard 802.16c-2002 {amendment to IEEE Std 802.16, developed by Task Group c} IEEE Standard for Local and metropolitan area networks – Part 16: Air Interface for Fixed Broadband Wireless Access Systems – Amendment 1: Detailed System Profiles for 10– 66 GHz.
5. Laine Philippe, Boscher Christophe, Boettel Dietrich, Feijt Laurence, "WiMAX, making ubiquitous high-speed data services a reality", Whitepaper, Alcatel. June 28, 2004.
6. Bolcskei H. MIMO-OFDM Wireless Systems: Basics, Perspectives, and Challenges // IEEE Wireless Commun., vol. 13, August, 2006.
7. Saeed, M.A.; Ali, B.M.; Habaebi, M.H. "Performance evaluation of OFDM schemes over multipath fading

channels". The 9th Asia-Pacific conference on Communications, 2003, APCC 2003. Volume: 1, Pages: 415 – 419, 21-24 September 2003.

8. <http://www.wirelessman.org/tgm/index.html>

9. IEEE Standard for Local and metropolitan area networks, "Part 16: Air Interface for Fixed Broadband Wireless Access Systems, IEEE Std 802.16™-2004", 1 Oct 2004.

10. Draft IEEE Standard for Local and metropolitan area networks "Part 16: Air Interface for Fixed and Mobile Broadband Wireless Access Systems, Amendment for Physical and Medium Access Control Layers for Combined Fixed and Mobile Operation in Licensed Bands, IEEE P802.16e/D5", September 2004.

11. WI-Fi (TM), Bluetooth (TM), Zigbee (TM) and Wimax (TM) by Houda Labiod, Afifi Hossam, Costantino De Santis, June 2007

Надійшла 20.5.2008 р.

UDC 004.056: 004.77

KATERYNA LOBACHOVA, VYACHESLAV KHARCHENKO

Computer Systems and Network Department, National Tavrida University,
Computer Systems and Network Department, National Aerospace University

A CONCEPTUAL APPROACH TO ASSESSING COMPOSITE COMPONENT-BASED SOFTWARE SYSTEM RELIABILITY

An objective approach to assessing the reliability of component-based software systems is presented. Some more insight to assessing OTS and custom components reliability characteristics is given. The described approach is universal and can be used for different software projects and complex component-based systems.

1. Introduction

Component-based software systems are widely used in various critical and commercial applications. An absolute majority of them, besides the custom modules, integrates different off-the-shelves (OTS) components [1]. Assessing dependability of such composite systems is often not an easy task while the necessity of the assessment is clearly evident. In the present paper we describe a conceptual approach to estimating composite software system reliability using the data from open resources as a base for OTS components reliability assessment [2] and metric-probabilistic approach [3,4] for custom modules reliability measurement.

2. Problem Statement and Approach to Assessment

As a rule any composite software system includes components of two different types: pre-developed or OTS-components and custom components developed and verified during creating project. Assuming the numbers of the items are n and k respectively, software system structure is represented as follows (Fig.1).

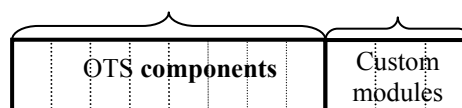


Fig. 1. Software system structure

To assess the whole system reliability both OTS and custom components should be considered in terms of data for software reliability assessment. For this, the following approach can be used (Fig.2):

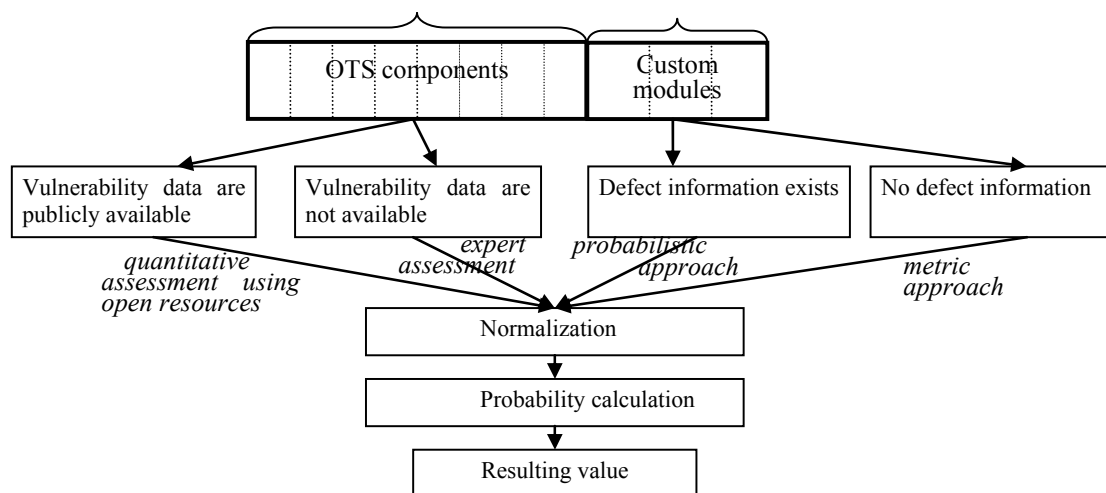


Fig. 2. An algorithm of assessing software

- components are classified depending on the presence and mode (type) of data about reliability characteristics;
- different groups of components are estimated by the use of different techniques taking into account reliability data;
- reliability of software system are assessed as a whole.

Here the resulting value is not really a faultness probability value but rather some quantitative characteristic or factor of system reliability. Calculating such factors for different component configurations we can compare different composite systems in terms of reliability and achieve the desired level of reliability measure value. In the following sections a brief description of each block is provided.

3. Assessing OTS Component Reliability

In order to characterize the reliability value of the OTS software, we propose using a quantitative approach based on the information provided in the open vulnerability resources. Here we will not provide a detailed description of this approach as it was thoroughly discussed in our works [2] and [5]. But the general idea is that by parsing and analyzing vulnerability database content, it is possible to obtain the number of discovered vulnerabilities, observe their severity, compare failure frequency, evaluate recovery time, and therefore assess many of the product dependability characteristics. For example, to calculate the reliability value we should parse and structure vulnerability data giving particular attention to the number of discovered vulnerabilities, their disclosure date and severity rate (if you want to take into account the criticality of the disclosed breaches), then perform a detailed analysis of the data, arranging the information, making it more specific, fitting the data to the classical models, drawing the corresponding graphs and diagrams, then explicitly specify the failure rate and on its basis calculate the reliability value. The illustration of such analysis for different Apache branches (assuming Apache as a non-commercial OTS product) is given below (Fig3).

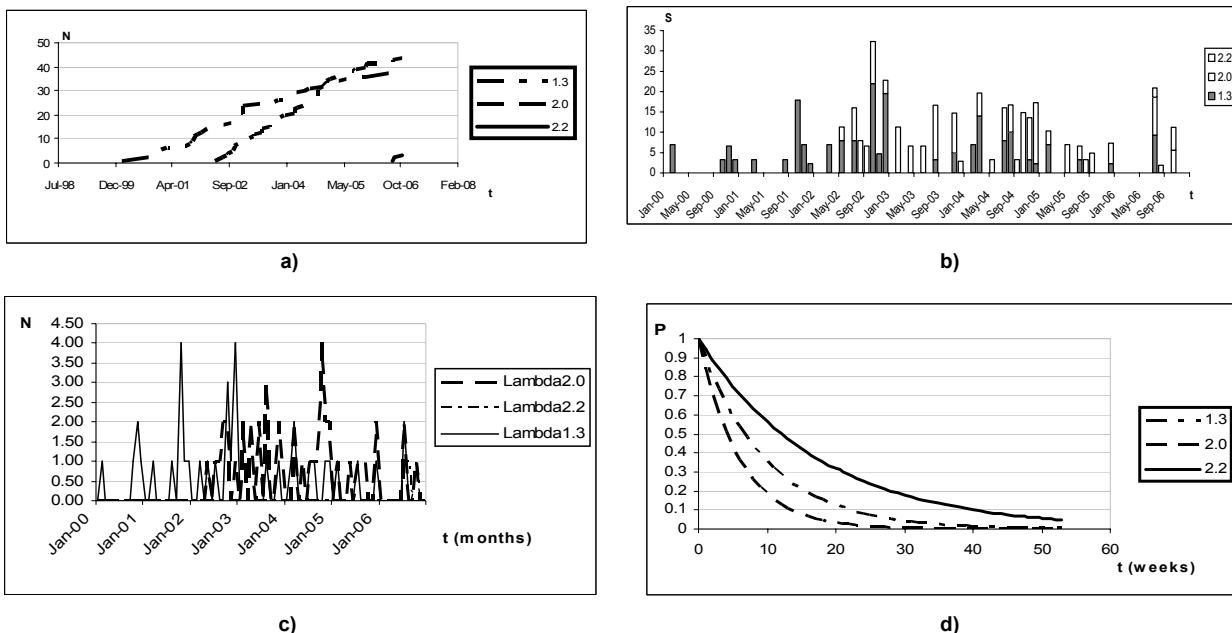


Fig. 3. Graphs for Apache product: a) cumulative number of vulnerabilities, b) severity rate, c) failure rate, d) faultness probability

Building a set of Apache 1.3 graphs (for the last three years), we can notice some similarities with the Jelinski-Moranda model [3] (Fig 4).

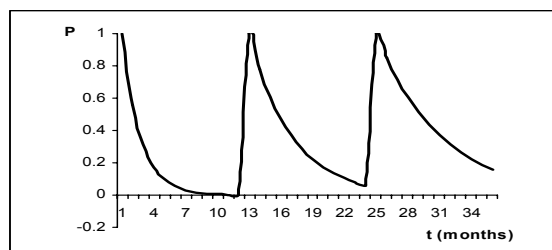


Fig. 4. Faultness probability

So for Apache 1.3 product the approximate P factor calculated for one year is:

$$P_{ots} = 0,135335 .$$

This value can be used in further calculations.

If there are no vulnerability information for some product (though modern vulnerability recourses includes dozen of thousands OTS software, and this number is constantly increasing), a well-known expert method will help us

to estimate product reliability. To assess reliability of OTS-components Internet resources were used [6-9].

4. Assessing Custom Component Reliability

The approach to assessing software module reliability is oriented to the usage of metrics or mathematical models. The metric-probabilistic method has been thoroughly analyzed and described in [3], [4], [10]. Although it is not the primary focus of this paper, we will mention the main idea and assessment steps here. The software characteristics as well as software development and testing features are considered the initial model data while the reliability measures are the output data. Besides, the special metrics are also applied at the quantitative approach for the determination of a residual defects level, defects detection intensity etc. The software reliability assessment based on the metric-probabilistic method involves the following steps [4]:

- 1) selecting the metrics and software reliability growth models (SRGMs) for software reliability assessment;
 - 1.1) forming the metrical software reliability assessment model; determining a set of metrics used;
 - 1.2) analysing the documentation and determining a subset of metrics that may be actually estimated for software reliability assessment;
 - 1.3) analysing the characteristics of the software and the processes of its development; determining the assumptions from the organic set out of which subset of actual assumptions is derived;
 - 1.4) selecting the most adequate model or model subset for the software on the basis of the assumptions matrix;
- 2) estimating metrics and probabilistic reliability measures using SRGMs;
 - 2.1) determining model's parameters using statistic methods (maximum likelihood method, least-squares method, etc.). The results of the metrical assessment may be used for more accurate parameters definition, especially the metric values for software volume and complexity in particular;
 - 2.2) estimating probabilistic reliability measures according to analytic SRGM expressions on the basis of statistics of faults detection during software testing;
 - 2.3) determining metric parameter (evaluative element) values by analysing software documentation and by using the values of reliability measures obtained on the previous step;
 - 2.4) estimating the metrics values;
- 3) final assessing the conformity of the software reliability to the requirements demanded. To estimate metrics and models and also to obtain intermediate and final results the tools can be used [11].

If the testing information is available, the probabilistic model, similar to the one, discussed in the previous section, can be used to get the faultness probability factor.

After the custom modules reliability is assessed, it can be combined with the values obtained for OTS product to assess the whole system reliability rate. This issue is discussed in the next paper section.

5. The Whole System Reliability

Now when the components reliability characteristics are assessed, we can estimate the impact which different products have on the whole system reliability. Of course, in order to use this method efficiently, the obtained values must all be of numerical type. They should be calculated for the same period of time, and should be normalized in order to allow fair computation of the overall reliability measure.

We show that component reliability can be evaluated separately as there is generally a small correlations between the component faults. Here we assume that the failure of each component leads to the whole system failure. Such assumption is partly correct, since, of course, each system is different and the functionality depends on the way it is constructed and the products included. But the mentioned approach is applicable to many real non-redundant systems.

So the whole composite system reliability characteristics can be calculated and represented in the following way:

$$P = P_{ots1} \cdot \dots \cdot P_{otsn} \cdot P_{cus1} \cdot \dots \cdot P_{cusk}$$

It is the resulting value block shown on the Fig.2. This final assessment is not strict and can vary depending on the composite system configuration. It will be different, if system degradation is possible or if the component failures are dependent.

Conclusion

We considered composite software systems in terms of reliability. The objectives of this study were to describe the process of evaluating component-based system reliability. The described methods provide a meaningful reliability measure for software products so that we could analyze them, compare to each other and achieve the desired level of reliability value for our composite system. The approach is universal and can be used for different software projects and complex component-based systems.

References

1. Gashi, I., Popov, P., Stankovic, V., Strigini, L. On Designing Dependable Services with Diverse Off-The-Shelf SQL Servers. Architecting Dependable Systems II, R. de Lemos, C. Gacek, A. Romanovsky (Eds). 2004, Springer-Verlag. – P. 191-214.
2. Lobachova K.I., Kharchenko V.S. Assessing Software Vulnerabilities and Recovery Time: Elements Of Technique And Results // Radioelectronic and Computer Systems, 2007, № 8, P.61-65.
3. Lyu M. Handbook of Software Reliability Engineering. – McGraw-Hill Company, 1996. – 805 p.
4. Kharchenko V., Sklyar V., Tarasyuk O. Method of Simulation and Software Quality and Reliability

Assessment. – Kharkov: Ministry of Education and Science of Ukraine. – 159p.

5. Lobachova K.I., Kharchenko V.S. "Researching dependability of Apache and IIS web-servers // Proceedings of International Conference INFOTECH, Sebastopol, Ukraine, September, 10-16, 2007 (accepted).

6. <http://nvd.nist.gov/>, National Vulnerability Database, February 2007.

7. <http://secunia.com>, Vulnerability and Virus Information, February 2007.

8. http://httpd.apache.org/security_report.html, Apache Security Updates, February 2007.

9. <http://www.microsoft.com/technet/security/bulletin>, Microsoft Security Bulletin, February 2007.

10. Kharchenko V., Tarasyuk O., Sklyar V., Dubnitsky V. The Method of Software Reliability Growth Models Choice Using Assumptions Matrix // Proceedings of 26th Annual International Conference (COMPSAC), Oxford, England, Aug. 2002, pp. 541– 546.

11. Kharchenko V., Konorev B., Tarasyuk O. and others. Assessment of Quality, Reliability and Safety of NPP I&C Systems: Models, Methods and Tools // Proceedings of 3th International Symposium "Significant Assessment for Reactor Safety", Russia, Moscow, 2003, pp. 11– 12.

Надійшла 21.5.2008 р.

УДК 681.3: 621.375

О.Д. АЗАРОВ, В.А. ГАРНАГА, С.В. БОГОМОЛОВ

Вінницький національний технічний університет кафедра обчислювальної техніки

ДВОТАКТНІ ПІДСИЛЮВАЧІ ПОСТІЙНОГО СТРУМУ ІЗ СИМЕТРИЧНОЮ СТРУКТУРОЮ

Традиційно структури підсилювачів постійного струму містять у переважній більшості диференційні каскади, але мають асиметричну структуру, що призводить до таких наслідків: асиметрія фронтів та нелінійність передатної характеристики. У даній статті пропонується побудова підсилювальних схем за двотактною симетричною структурою відносно входу і виходу схеми. Застосування такого підходу дає можливість отримати симетричну реакцію схеми на прямокутний двополярний вхідний імпульс, і підвищити лінійність переданої характеристики підсилювача, а також зменшити коефіцієнт нелінійних спотворень.

Вступ

Значна кількість сучасних підсилювачів постійного струму [1-3] (ППС) переважно застосовують одноканальну асиметричну структуру в диференційному підсилювальному каскаді, який передбачає принцип підсилення і перетворення напруг [3]. Це в значній мірі пов'язано з тим, що історично перші ППС було побудовано на електронних лампах, які по аналогії з польовими транзисторами мають однакову провідність і по суті є «п- каналними». Для побудови двотактних структур на електронних лампах необхідно було застосовувати трансформатори [3], що робило практично неможливим мікроелектронне виконання схеми. Вони також використовували вхідний диференційний каскад. Перевагами такого підходу є функціональна універсальність призначення таких схем, що дозволяє їх використовувати у різних пристроях (операційні підсилювачі, пристрої вибірки-зберігання аналогових сигналів, компаратори і т. д.). Проте схеми на базі диференційного каскаду мають і значні недоліки: низька швидкість наростання вхідного сигналу, значний коефіцієнт нелінійних спотворень. Перенесення підходів та принципів побудови структурних схем лампових підсилювачів на транзисторні призвело до того, що інтегральні транзисторні схеми ППС, які з'явилися в 60-х і 70-х роках [1], в значній мірі нагадували лампові схеми. Це значно обмежувало динамічні характеристики схем, оскільки не дозволяло використовувати частотні властивості транзисторів.

Розвиток мікроелектронних технологій і можливість виготовлення на одному кристалі біполярних як р-п-р, так і п-р-п транзисторів, а також польових п- і р- каналних транзисторів стимулювали розробників до проектування нових структур і схем та застосування двоканальних симетричних структур. Перший прорив у даному напрямку було здійснено американським інженером Джорджем Жозефом Фраєм [4]. Він відмовився від використання вхідного диференційного каскаду і застосував на вході ППС двотактну симетричну схему із загальною базою, такого типу схеми орієнтовані на принцип підсилення струмів і потенційно мають вищу швидкодію [5]. Проте вказана схема мала проблему, пов'язану з завданням режиму по постійному струму у підсилювальних каскадах, що ускладнювало задачу побудови багатокаскадних підсилювачів з високим коефіцієнтом підсилення по струму K_i і обмежувало сферу їх застосування. Навіть у теперішній час такі схеми переважно застосовують у буферних пристроях.

Водночас у ВНТУ під керівництвом професора Азарова О. Д. розвивається науковий напрямок пов'язаний з побудовою ППС на базі двотактних симетричних структур як без використання, так і з використанням диференційного каскаду. Вказані схеми можуть використовуватися у перетворювачах інформації, вхідних та вихідних буферах АЦП і ЦАП, у операційних підсилювачах, пристроях вибірки-зберігання аналогових сигналів і т. д [6].

Побудова вказаних схем передбачає інтегральну технологію біполярних п-р-п та р-п-р транзисторів і польових п- та р- каналних транзисторів. Вказаний підхід дозволяє максимально використати частотні

властивості транзисторів аж до граничної частоти f_T , розширити смугу пропускання в малосигнальній зоні, збільшити швидкість наростання вхідного сигналу, симетрувати реакцію підсилювача на двополярний прямокутний вхідний імпульс, а також будувати високолінійні схеми для багаторозрядних АЦП і ЦАП.

Проте схемотехніка таких підсилювачів постійного струму ще мало досліджена і саме тому вказаний напрям є актуальним.

Метою статті є

Аналіз можливості побудови підсилювачів постійного струму із симетричною структурою та дослідження їх коефіцієнтів передачі по струму.

Постановка задач

1. Розглянути структури двотактних підсилювачів постійного струму із симетричною структурою.
2. Проаналізувати коефіцієнти передачі по струму розглянутих ППС.

Розв'язання задач

У теперішній час багато провідних компаній світу займаються розробкою підсилювачів постійного струму. Найбільш відомі з них такі: "Analog Devices", "National Semiconductor", "Texas Instruments", "NEC, Linear Technology", "MAXIM", "Philips", "Pioneer", "Inetrsil" і т. д. Було сформульовано досить багато вимог, яким повинні відповідати такі підсилювачі для забезпечення належної точності та швидкості. Головні вимоги при побудові високолінійних двотактних симетричних підсилювачів постійного струму такі:

- 1) мінімальний струм зміщення нуля $\approx 10^{-2} \div 10^0$ мкА; схеми з:
 - а) низьким вхідним гвх та низьким вихідним гвх опорами за умови входу по струму і виходу по напрузі;
 - б) низьким гвх та високим вихідним гвх опором за умови входу і виходу по струму;
- 2) коефіцієнт підсилення по струму на рівні $10^3 \div 10^6$;
- 3) низький коефіцієнт нелінійних спотворень на рівні $0,01 \div 0,0001$ % при $f_c = 1 \div 10$ кГц;
- 4) симетричність вихідного сигналу відносно нуля за умови подачі на вхід підсилювача прямокутного двополярного імпульсу.

Передана характеристика двотактного підсилювача постійного струму із симетричною структурою описується такою формулою [7]:

$$\Delta I_n = \frac{\beta_4 \alpha_2 + \beta_3 \alpha_1}{2} I + (\beta_4 \alpha_2 - \beta_3 \alpha_1) \left(\sqrt{\frac{I_{ex}^2}{4} + I_0^2} - I_0 \right)$$

де $I_{вх}$ – струм, що потрапляє на вхід підсилювача, I_n – струм навантаження, I_0 – струм зміщення нуля, β_3 , β_4 і α_3 , α_4 – параметри транзисторів, що входять до підсилювальних каскадів.

Усе різноманіття схемних рішень можна зобразити двома узагальненими структурами:

При побудові підсилювачів постійного струму з середнім коефіцієнтом підсилення використовується структурна схема, зображена на рис. 1. Вона містить двотактний симетричний вхідний каскад, два симетричних канали підсилення на біполярних n-p-n та p-n-p транзисторах, двонаправлений відбивач струму та вихідний двотактний каскад.

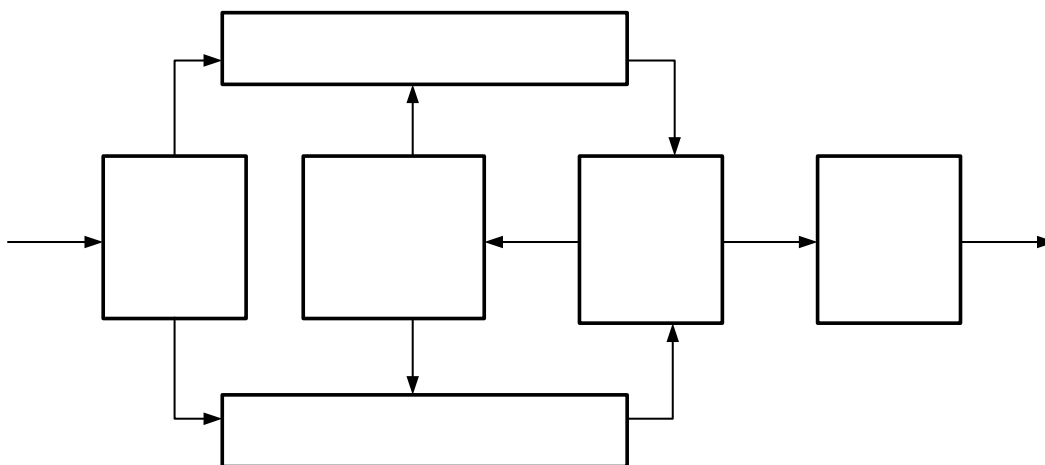


Рис. 1. Структурна схема двотактного симетричного ППС із середнім коефіцієнтом підсилення

При побудові підсилювачів постійного струму з високим коефіцієнтом підсилення використовується структурна схема, зображена рис. 2. Схема містить: симетричний двотактний вхідний каскад, два канали підсилення на n-p-n та p-n-p біполярних транзисторах з декількома підсилювальними каскадами, декілька двонаправлених відбивачів струму та вихідний двотактний каскад.

Спрощену практичну принципову схему ППС із симетричною структурою зображено на рис. 3. Цей підсилювач містить вхідний двотактний каскад, побудований у вигляді самодоповняльної схеми із загальною базою на транзисторах Т4 та Т5. Робоча точка цього каскаду задається падінням напруги на транзисторах Т1 та Т2 у діодному вмиканні, рівень яких забезпечується значеннями струмів генераторів струмів І1 та І2. Схема

також містить два симетричних підсилювальних канали на транзисторах Т11 і Т14. Робочі точки цих транзисторів задаються введенням у схему двонаправленого відбивача струму, а також відбивачів струму: верхнього – на транзисторах Т3 і Т7 та нижнього – на транзисторах Т6 і Т10.

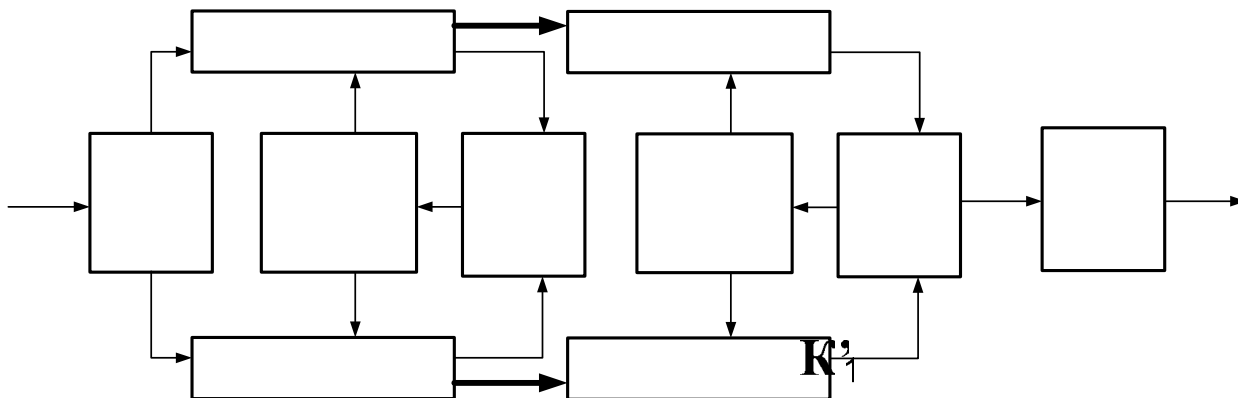


Рис. 2. Схема двотактного симетричного ППС із високим коефіцієнтом підсилення

Вказаний принцип завдання робочої точки забезпечується самобалансуванням колекторних струмів транзисторів Т11, Т14 і Т7, Т10 у діодному вмиканні, а також Т3 і Т4. Таким чином, за умови $I_{вх}=0$, $I_{K4} \approx I_{K5} \approx I_{K11} \approx I_{K14} \approx I_{K8} \approx I_{K9} \approx I_{K3} \approx I_{K6} \approx I_1 \approx I_2$. Виходячи з останнього співвідношення, слід зазначити, що робочі точки транзисторів як верхнього, так і нижнього каналів задаються рівнями струмів генераторів I_1 та I_2 .

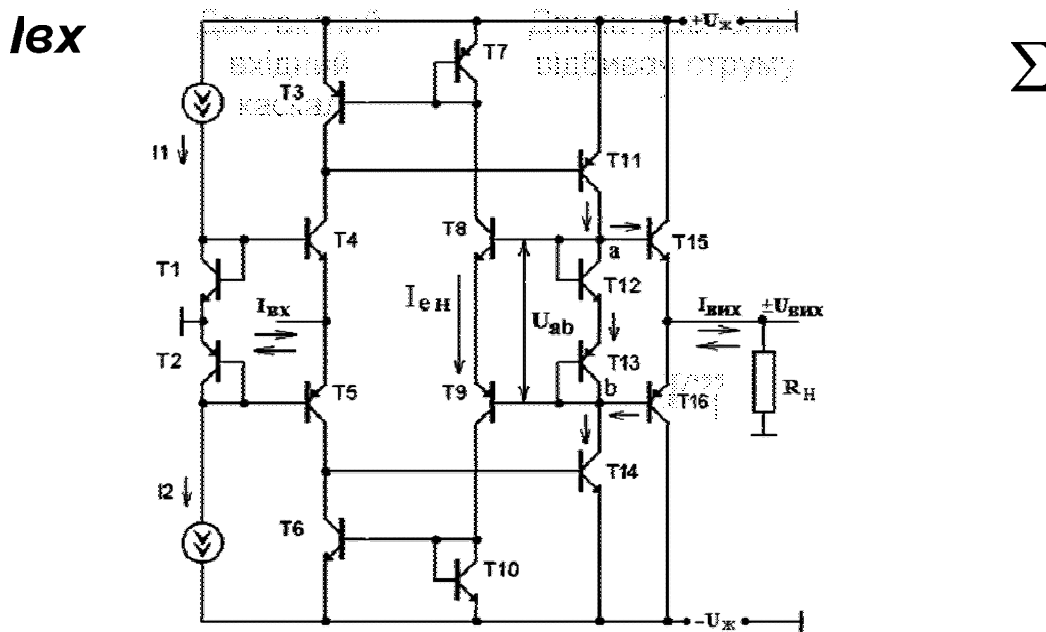


Рис. 3. Спрощена принципова схема ППС із симетричною структурою

Наявність у схемі двонаправленого відбивача на транзисторах Т8, Т9, Т12, Т13 забезпечує постійну сумарну різницю потенціалів U_{ab} на переходах база-емітер Т12 і Т13 не лише за умови $I_{вх}=0$, а й коли $I_{вх} \neq 0$ та $I_{K11} \neq I_{K14}$. Слід відзначити, що наскрізний $I_{ен}$ струм через переходи колектор-емітер транзисторів Т15 і Т16 приблизно дорівнює I_{K8} та I_{K9} . Приріст $\Delta I_{вих}$ ($I_{вих} \neq 0$) з'являється за умови, що $I_{вх} \neq 0$ та $I_{K11} \neq I_{K14}$ і $I_{K15} \neq I_{K16}$ і на виході з'являється різницевий струм ΔI_n , що створює ненульове падіння напруги $U_{вих}$.

Коефіцієнт підсилення по струму вказаної схеми для малосигнальної зони визначається за формулою:

$$K_i = K_{i_{вх}} \cdot K_{ПК} \cdot K_{i_{вих}}, \tag{1}$$

де $K_{i_{вх}}$ – коефіцієнт підсилення по струму вхідного каскаду, який визначається як:

$$K_{i_{вх}} = \frac{1}{2}.$$

$K_{ПК}$ – сумарний середній коефіцієнт підсилення по струму проміжних каскадів підсилення на транзисторах Т11 і Т14, який визначається за формулою:

$$K_{ПК} = \beta_{p-n-p} + \beta_{n-p-n};$$

$K_{i\text{вих}}$ – коефіцієнт підсилення по струму вихідного каскаду, який визначається у вигляді:

$$K_{i\text{вих}} = \frac{2 \cdot \beta_{p-n-p} \cdot \beta_{n-p-n}}{\beta_{p-n-p} + \beta_{n-p-n}} \quad (2)$$

Отже загальний коефіцієнт підсилення у малосигнальній зоні визначається за кінцевою формулою:

$$K_i = \frac{\beta_{p-n-p} + \beta_{n-p-n}}{2} \cdot \frac{2 \cdot \beta_{p-n-p} \cdot \beta_{n-p-n}}{\beta_{p-n-p} + \beta_{n-p-n}} = \beta_{p-n-p} \cdot \beta_{n-p-n}$$

Розглянемо двотактний симетричний ППС з високим коефіцієнтом підсилення, за схемою на рис. 2 який захищено патентом України [8] № 18466. Цей підсилювач струму зображено на рис. 4

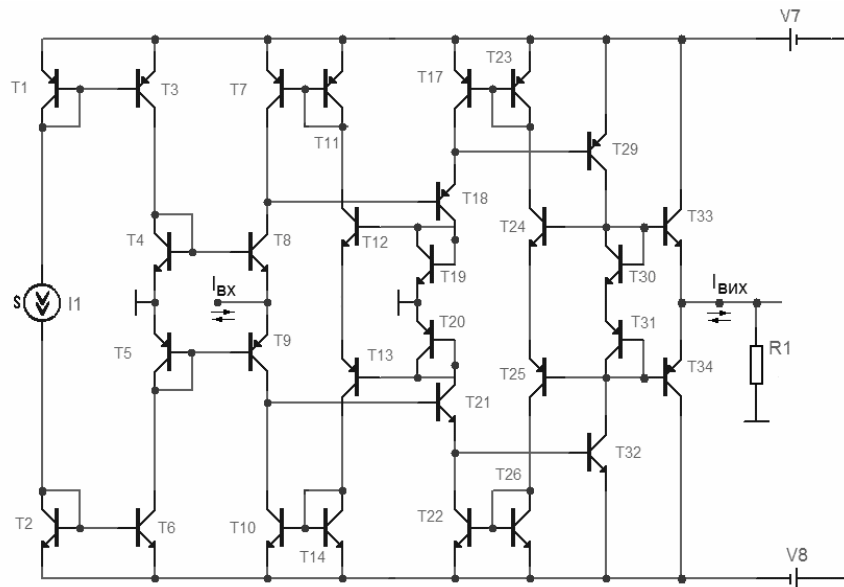


Рис. 4. Принципова схема двотактного ППС із симетричною структурою та високим коефіцієнтом підсилення

Особливістю підсилювального каскаду є наявність двох каскадів підсилення: першого на транзисторах T_{18} та T_{21} , а другого на транзисторах T_{29} та T_{32} . Для забезпечення належних умов роботи вказаних транзисторів використовується дві “струмові підвіски”, які компенсують коливання струму у каскаді підсилення. Перша “струмова підвіска” яка складається з транзисторів $T_7, T_{10}, T_{11}, T_{12}, T_{13}, T_{14}, T_{15}, T_{16}, T_{19}$ і T_{20} . Особливістю даної “струмової підвіски” є те, що емітери транзисторів T_{19} і T_{20} жорстко прив’язані до нульового потенціалу, що дозволяє значно краще гасити коливання струму, які виникають у першому підсилювальному каскаді. Вона завдає режим роботи транзисторів T_{18} та T_{21} . Друга ж “струмова підвіска” складається з транзисторів $T_{17}, T_{22}, T_{23}, T_{24}, T_{25}, T_{26}, T_{27}$ і T_{28} . Ця схема частково скомбінована з вихідним каскадом і завдає режим роботи транзисторів T_{29} і T_{32} .

Загальний коефіцієнт підсилення підсилювача постійного струму буде визначатися за формулою (1). Використовуючи теорію зворотних зв’язків у підсилювачах, отримаємо, що коефіцієнт підсилення для загального підсилювального каскаду буде визначатися як:

$$K_{ПК} = \frac{2 \cdot \beta_1' \cdot \beta_2' \cdot \beta_1'' \cdot \beta_2''}{\beta_1' \cdot \beta_2' + \beta_1'' \cdot \beta_2''},$$

де β_1' і β_2' – коефіцієнти підсилення по струму біполярних транзисторів першого каскаду, а β_1'' і β_2'' – коефіцієнти підсилення по струму біполярних транзисторів другого каскаду.

Для вихідного каскаду справедливою є формула коефіцієнту підсилення (2). Таким чином загальний коефіцієнт підсилення підсилювача буде визначатися:

$$K = K_{i\text{вих}} \cdot K_{ПК} \cdot K_{i\text{вих}} = \frac{\beta_1' \cdot \beta_2' \cdot \beta_1'' \cdot \beta_2''}{\beta_1' \cdot \beta_2' + \beta_1'' \cdot \beta_2''} \cdot \frac{2 \cdot \beta_{p-n-p} \cdot \beta_{n-p-n}}{\beta_{p-n-p} + \beta_{n-p-n}}$$

За розглянутим напрямом ведеться активна винахідницька робота і вже отримано патенти більш як на 15 двотактних підсилювачів струму із симетричною структурою для різноманітного застосування. Ось лише деякі з них [8-9].

Висновки

Розглянуто структури двотактних симетричних підсилювачів струму, використання яких дозволяє отримати високі статичні динамічні характеристики таких пристроїв для різноманітного застосування.

Отримано аналітичні співвідношення для загального коефіцієнту передачі по струму для

малосигнальної зони та зони великого сигналу, що дає змогу аналізувати передатну функцію вхід-вихід симетричних ППС із середнім і високим коефіцієнтом підсилення по струму.

Література

1. Walt Kesler Analog-digital conversion. ADI Central Application Department March 2004. 1127 p.
2. United States Patent № 3184687 Charles A. Wilkins Push-pull power amplifier May 18, 1965
3. Alan B. Grebene Bipolar and MOS analog integrated circuit design. Published 2002 John Wiley & Sons Technology & Industrial Arts. 912 pages
4. United States Patent № 3852678 George Joseph Frye Push-pull amplifier with current mirrors for determining the quiescent operating point Dec. 3, 1974
5. Степаненко И. П. Основы микроэлектроники: учебное пособие для вузов. 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Лаборатория Базовых Знаний, 2003. – 488 с.: ил.
6. Азаров О.Д. Основы теорії аналого-цифрового перетворення на основі надлишкових позиційних систем числення: Монографія. – Вінниця: УНІВЕРСУМ – Вінниця, 2004. – 260с.
7. Аналіз передатної характеристики двотактного симетричного підсилювача постійного струму / Азаров О.Д., Гарнага В.А., Решетнік О.О., Богомолів С.В // Наукові праці Вінницького національного технічного університету. Електронне наукове фахове видання – 2007. – № 1 (1). – 8 с // www.nbu.gov.ua/e-journals/VNTU/2007-1/vyp1.html
8. Пат. № 18466 Підсилювач постійного струму / – О.Д. Азаров, В.А. Гарнага, О.О. Решетнік, О.О. Лукашук 2006.
9. Пат. № 18599 Двотактний симетричний підсилювач струму / О.Д. Азаров, В.А. Гарнага, О.О. Решетнік, О.О. Лукашук. – 2006.

Надійшла 14.5.2008 р.

УДК 681.3: 621.375

О.Д. АЗАРОВ, О.О. РЕШЕТНИК
Вінницький національний технічний університет

АЦП ЗІ ЗМІННОЮ ТРИВАЛІСТЮ ТАКТІВ ВРІВНОВАЖЕННЯ НА ОСНОВІ НПСЧ {0, 1} ТА {1, -1}

Одним з перспективних напрямків розвитку АЦП порозрядного наближення є їхня побудова з використанням надлишкових позиційних систем числення (НПСЧ). Використання при цьому змінної тривалості тактів врівноваження дає можливість максимально використати потенціал вагової надлишковості. В статті запропоновано структуру порозрядного АЦП зі змінною тривалістю тактів врівноваження на основі надлишкових позиційних систем числення виду {0,1} та {1,-1}. Також запропоновано структуру пристрою для завдання синхронізуючих імпульсів різної тривалості для такого АЦП.

Вступ

Теорія аналого-цифрових перетворювачів порозрядного наближення протягом багатьох років служить поприщем для розвитку великої кількості способів підвищення точності й швидкодії АЦП. Це пояснюється як відносно простою технічною реалізацією методу, так і його проміжним становищем між послідовними (інтегруючі, дельта-сигма) і паралельними методами перетворення. Одним з перспективних напрямків розвитку АЦП порозрядного наближення є їхня побудова з використанням надлишкових позиційних систем числення (НПСЧ).

Мета

Метою статті є аналіз можливості побудови порозрядного АЦП зі змінною тривалістю тактів врівноваження на основі НПСЧ.

Задачі

Відповідно поставленій меті формується задача аналізу можливості побудови порозрядного АЦП зі змінною тривалістю тактів врівноваження на основі НПСЧ з використанням стандартної елементної бази.

Розв'язання задач

У НПСЧ використовується недвійкова основа системи числення $1 < \alpha < 2$, а ваги розрядів представляються у вигляді $Q_i = q \alpha^i$, де q – вага молодшого розряду.

Будь-яке дійсне число може бути представлене в НПСЧ у вигляді суми ваг розрядів

$$X = \sum_{i=0}^N a_i \cdot q \cdot \alpha^i,$$

де $a_i = \overline{0,1}$ – двійковий i -й біт N -розрядного результату перетворення. Рівень вагової надлишковості НПСЧ визначається виразом:

$$\delta Q = \frac{\sum_0^{n-2} Q_j - Q_{n-1}}{\sum_0^{n-1} Q_j},$$

де n – кількість розрядів НПСЧ, Q_j – вага j -го розряду НПСЧ. Однією з особливостей НПСЧ є існування не одного, як у двійковій системі числення, а декількох кодових еквівалентів для представлення того самого числа.

Основна перевага НПСЧ, реалізована при аналого-цифровому перетворенні, полягає у відсутності "розривів" у перетворювальній характеристиці, викликаних відхиленнями реальних ваг розрядів від їхніх розрахункових значень. Для "двійкових" АЦП ці відхилення не повинні перевищувати половини молодшого розряду. Для АЦП на основі "золотої пропорції" відносна похибка ваг розряду за рахунок технологічних, температурних, часових факторів може досягати до 23,6% [1, 2], що не призведе до пропусків кодів. Таким чином є можливість, знаючи точні значення реальних ваг розрядів, що беруть участь у перетворенні, одержати точне значення вхідного аналогового сигналу.

Структурна схема АЦП порозрядного врівноваження з ваговою надлишковістю і змінною тривалістю тактів врівноваження має деякі відмінності від схеми звичайного АЦП з ваговою надлишковістю [1]. Такий АЦП як на базі НПСЧ $\{0, 1\}$, так і $\{1, -1\}$ (рис. 1) повинен містити схему порівняння (СП) з регульованою чутливістю та спеціальний цифровий блок, тактовий генератор імпульсів регульованої тривалості (ТГІРТ або просто ТГ) для завдання різної тривалості тактів врівноваження. На рис. 1 наведено структурні схеми АЦП для НПСЧ $\{0, 1\}$ і $\{1, -1\}$. Тут α -ЦАП – це ЦАП із ваговою надлишковістю; α -ЦАП „+” та α -ЦАП „-” – надлишкові ЦАП для НПСЧ $\{1, -1\}$; БК – блок керування; ЛБ – логічний блок для формування вихідного коду $N_{вих}$; Σ – суматор аналогових сигналів.

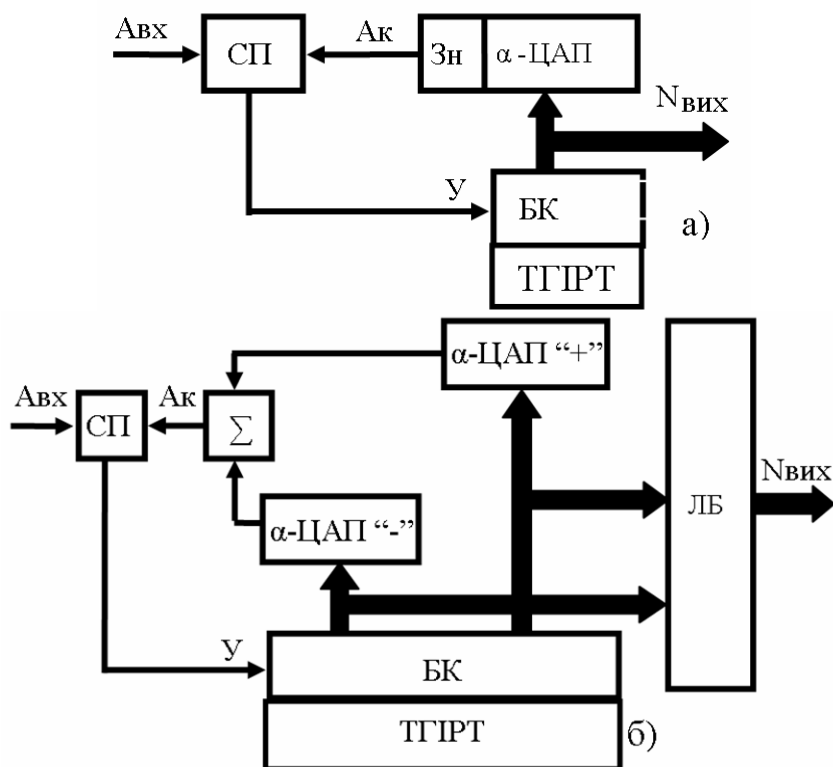


Рис. 1. Структурна схема АЦП порозрядного врівноваження: а) НПСЧ $\{0, 1\}$; б) НПСЧ $\{1, -1\}$

У процесі прискореного "самокомпенованого" аналого-цифрового перетворення відбувається "природна" автокомпенсація динамічних похибок. Проте при цьому не повною мірою використовуються позитивні властивості надлишковості НПСЧ (1,-1). Потенційний виграш швидкодії від застосування НПСЧ та змінної тривалості тактів врівноваження визначається виразом:

$$\gamma_{ШВ} = \frac{n_2(n_2 + 1)(1 - \alpha^{-1}) \ln 2}{-\ln(\delta Q + \alpha^{-n})},$$

де n_2 – кількість двійкових розрядів, α – основа системи числення, δQ – відносний рівень вагової надлишковості.

В запропонованих структурах АЦП при застосуванні змінної тривалості тактів врівноваження особливої уваги вимагає реалізація тактового генератора, схеми порівняння з регульованою чутливістю та надлишкового ЦАП. Структурну схему тактового генератора для завдання змінної тривалості тактів врівноваження наведено на рис 2.

Структурна схема містить такі елементи: ПТГ – первинний тактовий генератор; ПЗП – постійний запам'ятовуючий пристрій; БК – блок керування; ПЛЧ – програмований лічильник. Пристрій працює наступним чином. ПТГ генерує короткі (порівняно з основними) тактові імпульси, які надходять на ПЛЧ. ПЛЧ підраховує їх до запрограмованого значення. В кінці рахунку на вихід подається тактовий імпульс. Перед початком кожного великого такту (за якими власне працює АЦП) ПЛЧ програмується новим значенням тривалості такту, яке отримується з ПЗП. БК здійснює загальне керування роботою тактового генератора: вибирає потрібне значення тривалості такту з ПЗП; керує записом в ПЛЧ. БК керується зовнішнім сигналом із блоку керування АЦП.

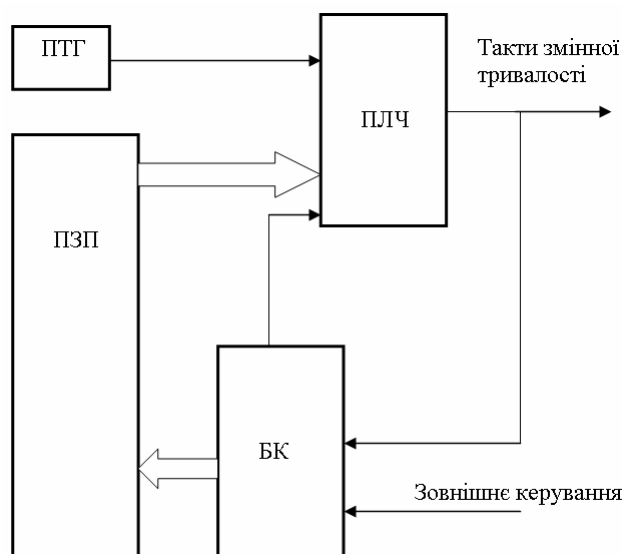


Рис. 2. Структурна схема тактового генератора для формування тактів різної тривалості

ЦАП із ваговою надлишковістю можна виготовляти у вигляді цілісного пристрою, а можна використати запропонований підхід щодо використання для цього звичайних двійкових ЦАП. При побудові надлишкового ЦАП на базі двійкових за методом „гребінки” [3] можна використовувати загальний РПН (рис 3, а) (регістр послідовного наближення) або окремі РПН для кожного з ЦАП (рис. 3, б), проте це потребує додаткового блоку керування. Використовуючи метод „гребінки”, можна отримувати НПСЧ з основою $\alpha = 2^{\frac{b}{m}}$ [4]. Це є ряди виду:

$$\{1; 2^{\frac{b}{m}}; \dots 2^{\frac{b}{m}(m-1)}; \dots; 2^b; 2^b 2^{\frac{b}{m}}; \dots 2^b 2^{\frac{b}{m}(m-1)}; \dots; 2^{(n-1)b}; \dots 2^{(n-1)b} 2^{\frac{b}{m}(m-1)}\},$$

де b – кількість базових двійкових рядів (ЦАП), m – ступінь використання базових рядів (при $m=1$ використовуються всі члени базових рядів, а при $m=2$ – лише кожен другий).

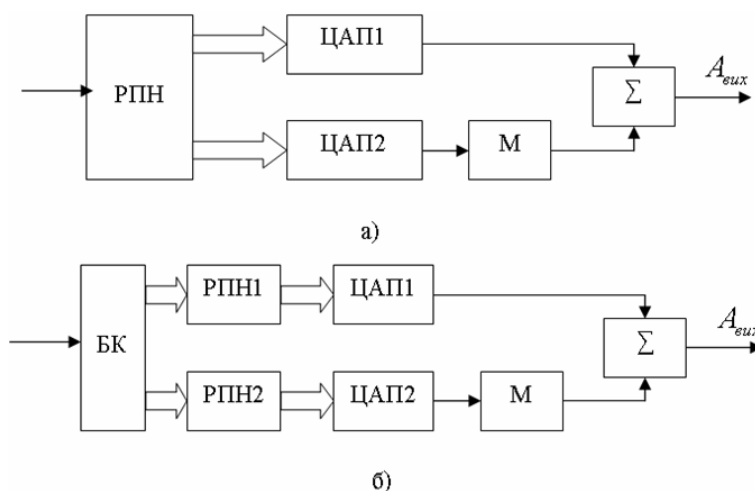


Рис. 3. Структурна схема ЦАП із ваговою надлишковістю на базі двійкових ЦАП (побудована за методом „гребінки”)

У випадку, коли надлишковий ЦАП будується за іншим методом, то доцільно ввести спеціальну комутаційну матрицю (КМ) для комутації входів ЦАП. Наявність КМ та масштабного блоку (М) із програмованим коефіцієнтом передачі дозволяє конфігурувати ЦАП і задавати НПСЧ довільним чином.

Висновки

1. Показано, що структура порозрядного АЦП із змінною тривалістю тактів врівноваження на основі НПСЧ має деякі відмінності від структури класичного АЦП. Проте ці відмінності не заперечують можливості побудови такого пристрою на стандартній елементній базі.

2. Запропоновано технічні рішення для побудови надлишкового α -ЦАП для такого АЦП на базі

ненадлишкових двійкових ЦАП. Також запропоновано схему генератора тактових імпульсів змінної тривалості.

Література

1. Азаров О.Д. Основи теорії аналого-цифрового перетворення на основі надлишкових позиційних систем числення: Монографія. – Вінниця: УНІВЕРСУМ-Вінниця, 2004. – 260 с.: ил
2. Крупельницький Л.В., Азаров О.Д. Аналого-цифрові пристрої систем, що самокоригуються, для вимірювання і оброблення низькочастотних сигналів: Монографія / Під заг. ред. О.Д. Азарова. – Вінниця: УНІВЕРСУМ-Вінниця, 2005. – 167 с.
3. Формування нерозривних передатних характеристик ЦАП і АЦП на основі вагової надлишковості / Азаров О. Д., Решетнік О.О., Захарченко С.М., Лукашук О.О., Харьков О.М. // Інформаційні технології та комп'ютерна інженерія. – 2006. – №3 (7). – С. 7-15с.
4. Азаров О.Д., Решетнік О.О., Гарнага В.А. Методи побудови ЦАП із ваговою надлишковістю на базі двійкових ЦАП // Проблеми інформатизації та управління: Зб. наук. праць. – К., 2006. – № 3. – С. 5-11.

Надійшла 2.5.2008 р.

УДК 681.883.41

С.Т. БАРАСЬ, О.В. ОНИЩУК, В.Ф. ЯБЛОНСЬКИЙ
Вінницький національний технічний університет

ВИКОРИСТАННЯ ФІЗИЧНОЇ МОДЕЛІ ДОПЛЕРІВСЬКОГО СИГНАЛУ ДЛЯ ОЦІНКИ ПОХИБКИ ВИМІРЮВАННЯ ЧАСТОТИ ЙОГО ЗАПОВНЕННЯ ПРИ ЧАСОВІЙ ФРАГМЕНТАЦІЇ

Комп'ютерне моделювання дозволяє сформувати доплерівські сигнали з різними співвідношеннями сигнал/шум на виході вузькосмугового фільтра, що відповідає їх фактичній первинній обробці у прийнятно-підсилювальному тракті доплерівського лага. У роботі аналізуються глибокі структурні зміни доплерівського сигналу, які супроводжують вузькосмугову фільтрацію, та наводяться рекомендації щодо забезпечення точного вимірювання частоти на основі часової фрагментації. Показано, що оцінки похибок вимірювання частоти є близькими до теоретичних значень. Встановлена відповідність між середньоквадратичними значеннями похибок вимірювання частоти по реальних доплерівських сигналах та їх моделях. Підтверджена адекватність математичної та фізичної моделей реальним доплерівським сигналам.

Вступ

У попередніх роботах [1, 2] наголошувалося на тому, що тільки шляхом моделювання доплерівського сигналу можна забезпечити всебічний об'єктивний аналіз його структури. Причина цього у швидкоплинності реальних доплерівських сигналів та низькій просторово-часовій кореляції ехосигналів, з якими доводиться працювати гідроакустичному доплерівському лагу. Що стосується фізичних моделей доплерівських сигналів, то, очевидно, у першу чергу повинна бути впевненість в адекватності отриманих моделей реальним сигналам. Виконання саме цієї умови дає підстави для об'єктивності висновків.

В [2] наведено достатньо аргументів, які підтверджують адекватність фізичної моделі доплерівського сигналу, отриманої при комп'ютерному моделюванні, його реальному аналогу. Серед них – зовнішні ознаки схожості (структура обвідної, залежність форми сигналу від швидкості носія, подовження ехосигналу відносно випроміненого тощо), а також виявлені закономірності у поведінці височастотного заповнення, які є однаковими для моделі та реального сигналу. Слід зазначити, що аналіз, власне, височастотного заповнення отриманих моделей дав підставу здійснити фрагментацію ехосигналу на інтервалі його існування і виділити три зони з характерними особливостями. Дослідження показали, що тільки одну з виділених зон можна вважати такою, що містить об'єктивну інформацію про доплерівські зсуви частоти. У даній роботі продовжено дослідження фізичних моделей доплерівських сигналів, зокрема, зосереджено на з'ясуванні реальних похибок вимірювання частоти.

Постановка задачі

Моделювання доплерівських сигналів можна вважати повністю завершеним, якщо будуть враховані всі або хоча б основні чинники, які впливають на остаточну обробку сигналів. Структурою доплерівського лага передбачається прийом ехосигналів гідроакустичною антеною, його попереднє та основне підсилення, вузькосмугова фільтрація і, зрештою, вимірювання частоти. Зрозуміло, що найперше повинен бути врахований фактор адитивного накопичення ехосигналом шуму, як постійного супутника всіх процесів в пристроях підсилення та обробки сигналів. Крім цього, зауважимо, що у той час, коли лінійне підсилення сигналу практично не змінює амплітудних та часових співвідношень і його нема потреби враховувати, то відносно вузькосмугової фільтрації цього сказати не можна. Таким чином, на основі поглибленого аналізу фізичної моделі доплерівського сигналу потрібно з'ясувати ступінь флуктуацій частоти заповнення, а також оцінити похибки її вимірювання в умовах дії адитивного шуму та за наявності вузькосмугової фільтрації, які

супроводжують роботу вимірювального пристрою.

Програма моделювання доплерівських сигналів дає можливість створити процеси з різними значеннями співвідношення сигнал/шум, а також проаналізувати проходження «зашумленого» ехосигналу зі складними обвідним та високочастотним заповненням через вузькосмуговий фільтр. Результатом такого аналізу повинні бути сформульовані рекомендації щодо алгоритму та структури пристроїв вторинної обробки інформації, які б забезпечували найефективніше виділення та вимірювання основного параметру ехосигналу – частоти його заповнення.

Аналіз фізичної моделі

Результати моделювання доплерівського сигналу на основі математичної моделі [1] для ідеального випадку (без впливу шумів) та за наявності адитивної суміші сигналу та шуму наведені, відповідно, на рис. 1 і 2.

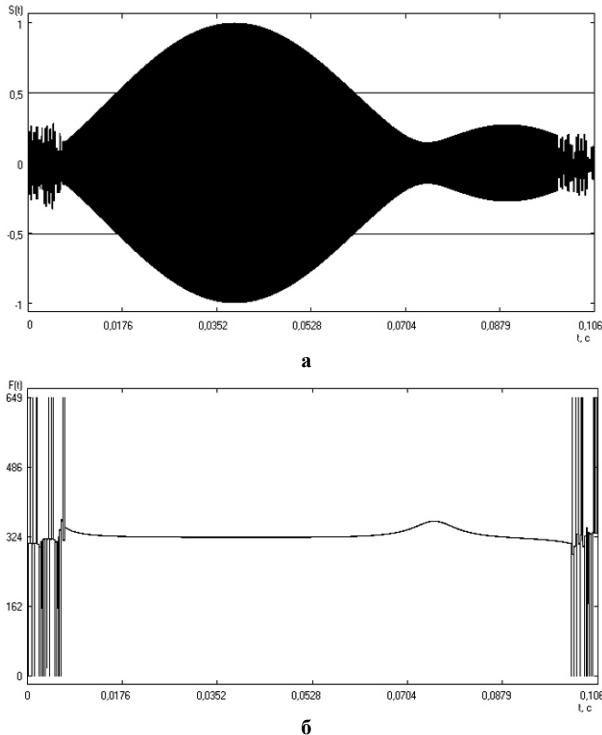


Рис. 1. Фізична модель доплерівського сигналу, сформованого в ідеальних умовах (а); графік миттєвих частот заповнення сигналу (б)

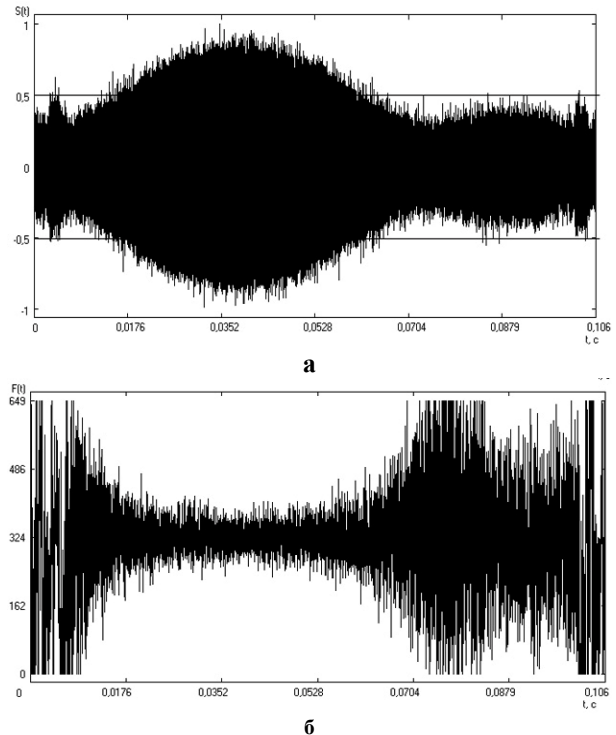


Рис. 2. Фізична модель адитивної суміші доплерівського сигналу та шуму (а); графік миттєвих частот заповнення сигналу (б)

Графік миттєвих частот, наведений на рис. 1, б, показує, що протягом значної частини тривалості ехосигналу частота є незмінною і, очевидно, відповідає заданій швидкості носія та куту нахилу характеристики спрямованості антени. В той же час на графіку можна виділити зони, у межах яких частота відхиляється від усталеного значення. Це – зони фронтів ехосигналу, а також зона, яка збігається з мінімальною амплітудою обвідної.

Графік миттєвих частот, зображений на рис. 2, б, суттєво відрізняється від попереднього. Відмінність торкнулася всіх зон ехосигналу. Графік відображає значення миттєвих частот протягом тривалості ехосигналу для встановленого співвідношення сигнал/шум, рівного 5. Зауважимо, що суміш сигналу та шуму, яка піддавалася вимірюванням, приведена до входу гідроакустичної антени. Зрозуміло, що рівень флуктуацій частоти навіть у зоні найбільшої амплітуди обвідної настільки великий, що не може бути прийнятий для використання при подальшій обробці. Приведення суміші сигналу та шуму до входу антени означає відсутність такої процедури обробки як вузькосмугова фільтрація. В той же час структурою гідроакустичного лага [3] передбачається використання у тракту прийому ехосигналу частотно-вибірних кіл, частотна характеристика яких узгоджена з можливими значеннями доплерівських зсувів. Саме тому для об'єктивного аналізу «зашумленої» фізичної моделі з метою визначення рівня флуктуацій та оцінки похибки вимірювання частоти змодельовану суміш необхідно пропустити через вузькосмуговий фільтр. Таким чином, змодельовано проходження отриманої апріорі суміші ехосигналу та шуму через вузькосмуговий фільтр, після чого проаналізуємо розподіл миттєвих частот у межах тривалості сигналу.

Моделювання виконувалося для таких параметрів сигналу та приймального тракту: робоча частота 70 кГц; ширина характеристики спрямованості 3^0 ; відношення сигнал/шум на вході антени 5; вузькосмуговий фільтр Калмана з коефіцієнтом прямокутності 4 по рівнях мінус 3 та мінус 20 дБ; смуга пропускання фільтра узгоджена з доплерівськими зсувами частоти, які відповідають швидкостям заднього ходу носія 5 вузлів та переднього ходу – 50 вузлів (ширина смуги становить 1200 Гц, тривалість перехідних процесів у фільтрі 1,7 мс).

Результат моделювання ехосигналу, що пройшов вузькосмуговий фільтр, представлений на рис. 3а. На

рис. 3б, як і в попередньому випадку, наведений графік зміни миттєвих частот на інтервали існування ехосигналу. Поряд з зображенням фізичної моделі наведена осцилограма реального доплерівського сигналу (рис. 4), яка була зафіксована під час натурних випробувань гідроакустичного лага, причому початкові параметри в умовах натурального експерименту відповідають наведеним вище для моделювання.

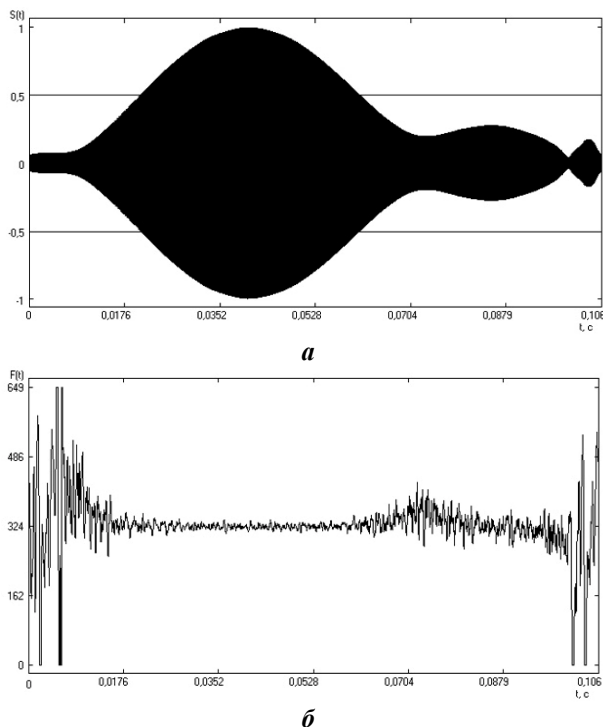


Рис. 3. Модель доплерівського сигналу на виході вузькосмугового фільтра (а); графік миттєвої частоти заповнення сигналу (б)

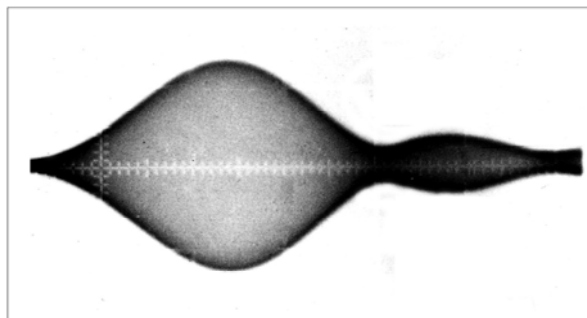


Рис. 4. Осцилограма реального доплерівського сигналу на виході вузькосмугового фільтра в натурних умовах плавання

Важко не помітити ідентичності моделі та реального доплерівського сигналу за суто зовнішніми ознаками. Перш ніж перейти до більш глибокого аналізу, зазначимо низку відомих аспектів, які стосуються сигналу, що пройшов через вузькосмуговий фільтр. Найцікавішими з них є: затримка обвідної ехосигналу, зменшення глибини амплітудної модуляції та певне згладжування викидів високочастотного заповнення.

Затримка обвідної ехосигналу може бути визначена за такою формулою [4]:

$$t_{затр} = \left| \frac{d\varphi}{d\Omega_{обв}} \right| = \left| \frac{d(\arctg(\Omega_{обв} \tau_{к\Omega}))}{d\Omega_{обв}} \right| = \frac{\tau_{к\Omega}}{1 + \Omega_{обв}^2 \tau_{к\Omega}^2},$$

де $\Omega_{обв}$ – найвища частота у спектрі обвідної ехосигналу; $\tau_{к\Omega}$ – стала часу вузькосмугового фільтра.

Інтерес до зазначеної затримки пояснюється тим, що з її появою стає менш помітним прямий зв'язок між амплітудою обвідної та поведінкою високочастотного заповнення. Саме цей фактор характеризувався як дуже важливий з точки зору створення ефективного алгоритму вимірювання частоти [3,5]. З наведеної формули видно, що найбільша затримка має місце за умови $\Omega_{обв} = 0$. Тоді затримка чисельно дорівнює сталій часу вузькосмугового фільтра.

Зменшення глибини амплітудної модуляції характеризується відношенням коефіцієнтів модуляції на виході $M_{вих}$ і вході $M_{ех}$ фільтра:

$$D_A = \frac{M_{вих}}{M_{ех}} = \frac{1}{\sqrt{1 + \Omega_{обв}^2 \tau_{к\Omega}^2}}.$$

Наведена формула демонструє зменшення глибини модуляції на виході вузькосмугового фільтра при збільшенні частоти обвідної ехосигналу та сталої часу фільтра.

Зрештою, інерційність вузькосмугового фільтра сприяє зменшенню девіації високочастотного заповнення ехосигналу на виході такого фільтра порівняно з девіацією на його вході [6]. Відносне зменшення девіації частоти виражається індексом демодуляції D_ω :

$$D_\omega = \frac{\Delta\omega_{вих}}{\Delta\omega_{ех}} = \frac{1}{\sqrt{1 + \Omega_\omega^2 \tau_{к\Omega}^2}},$$

де Ω_ω – частота модуляції високочастотного заповнення ехосигналу.

Таким чином, вузькосмугова фільтрація суміші змодельованого ехосигналу та шуму беззаперечно

суттєво зменшує флуктуації частоти (це підтверджує формула для індекса демодуляції, а також графік миттєвої частоти заповнення сигналу, рис. 3б, у порівнянні з аналогічним графіком, рис. 2б). Одночасно з цим фільтр помітно впливає на поведінку обвідної ехосигналу, що повинне бути враховане при доопрацюванні алгоритму вимірювання частоти. Очевидно, що задекларований у попередніх роботах алгоритм вимірювання частоти на основі часової фрагментації ехосигналу [2] залишається основним і для випадку «зашумленого» ехосигналу на виході вузькосмугового фільтра. Такий висновок випливає з того, що три зони фрагментації існують і їх легко відшукати також і на моделі, зображеній на рис. 3, тобто в ехосигналі, який формується на виході вузькосмугового фільтра.

Вимірювання частоти

Практична реалізація принципу часової фрагментації для забезпечення вимірювання частоти у зонах з найменшим рівнем її флуктуацій пояснюється графічно, рис. 5.

Часова фрагментація базується на виділенні зон ехосигналу, які характеризуються найбільшими значеннями амплітуди обвідної. Для виділення таких зон необхідно постійно аналізувати стан обвідної після амплітудного детектування ехосигналу. Зрозуміло, що післядетекторна високочастотна фільтрація вносить додаткову затримку обвідної, результатом якої є значне поглиблення невідповідності між часовими інтервалами існування великої амплітуди обвідної і зон ехосигналу з найменшими флуктуаціями частоти.

На рис. 5 показаний варіант застосування постійного порогу C_0 , за допомогою якого компаратором визначаються моменти старту (t_1, t_3) та моменти закінчення (t_2, t_4) процедури вимірювання частоти. Неважко помітити, що виділені у цьому випадку компаратором фрагменти ехосигналу не можуть бути віднесені до задовільних. У той час, коли моменти старту захоплюють вже достатньо велику амплітуду ехосигналу, моменти закінчення процедури вимірювання частоти припадають на суттєве зниження амплітуди, тобто визначають роботу вимірювача частоти у зоні її значних флуктуацій. Отже, використання постійного порогу не дає бажаного результату, оскільки відхід від зони значних частотних флуктуацій вимагає збільшення цього порогу, а його збільшення приводить до зменшення тривалості зон вимірювання.

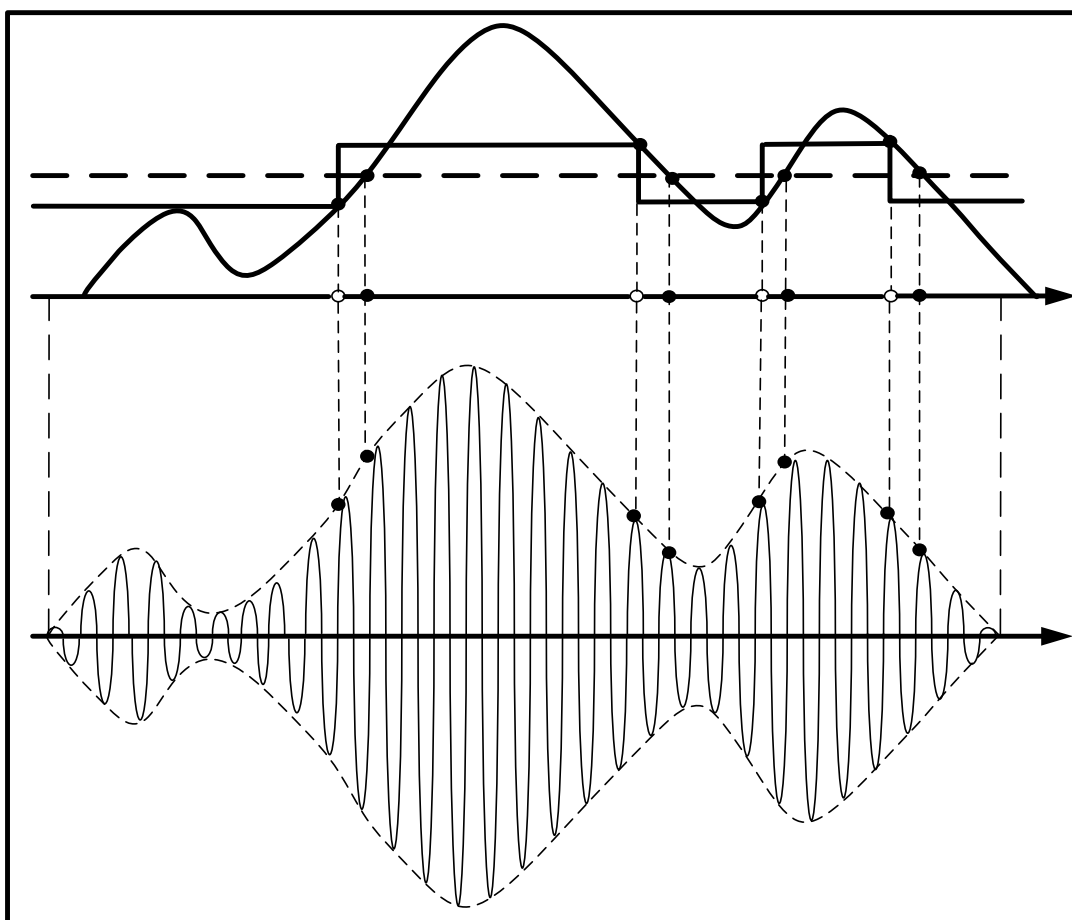


Рис. 5. Пояснення принципу часової фрагментації

Ефективнішим рішенням є використання адаптивного порогу C_a , рис. 5. Алгоритм його формування такий. У режимі очікування ехосигналу встановлюється мінімальне значення порогу C_{amin} , який визначає момент старту (t'_1, t'_3). Одночасно з моментом спрацювання компаратора (у моменти старту) стрибок порогу збільшується значення порогу до C_{amax} . Тому моменти закінчення роботи вимірювача частоти будуть формуватися компаратором раніше – (t'_2, t'_4). Таким чином, сформований компаратором інтервал часу

$A(t)$
обвідна
 C_{amax}

(вимірювальний строб) виявиться максимально наближеним до зони з мінімальними флуктуаціями частоти. У ці ж моменти (t'_2, t'_4) поріг стрибкоподібно повертається в початковий стан для фіксації нового старту процедури вимірювання частоти. Слід зазначити, що початкові значення порогів C_{amin} і C_{amax} встановлюються у процесі наладки пристрою.

Після прийняття зазначених заходів можна стверджувати, що переважна більшість значень миттєвих частот у межах вимірювального стробу повинна характеризуватися незначними флуктуаціями. У той же час не можна не враховувати згадані вище особливості впливу на структуру ехосигналу вузькосмугового фільтру, а також поведінку, власне, високочастотного заповнення, що є результатом формування донного ехосигналу [2]. Крім цього, важливим фактором при вимірюванні частоти є перехідні процеси, які фактично постійно супроводжують проходження ехосигналу вузькосмуговим фільтром і які проявляються у тому, що несівна частота під час перехідного процесу тяжіє до середньої частоти смуги пропускання вузькосмугового фільтру [5]. Таким чином, існує достатньо підстав, щоб поглибити та довести до довершення процедуру підготовки ехосигналу до вимірювання частоти. За таке довершене рішення пропонується прийняти наступне – додатковий поділ відрізків високочастотного заповнення у межах вимірювальних стробів на рівні серії по 100-200 періодів – парціальні сигнали, вимірювання середньої частоти у кожному такому парціальному сигналі та наступна статистична обробка отриманих результатів. Логіка цієї пропозиції полягає у тому, що суттєві відхилення частоти у якому-небудь парціальному сигналі будуть спонукати до повного вилучення цього парціального сигналу за результатами статистичної обробки.

Перейдемо до оцінки похибок вимірювання частоти. Заради об'єктивності теоретичну оцінку доповнимо порівняльними даними з іншими підходами, а також з похибками вимірювання частоти в реальних доплерівських сигналах. Отже, спочатку – отримання математичних співвідношень для похибок вимірювання частоти.

Прийmemo у якості методу вимірювання частоти модифікований метод підрахунку періодів вхідної частоти f . Для його реалізації виділяється часовий інтервал $\tau_{инт}$, який визначається цілим числом періодів n_n вимірювального сигналу:

$$\tau_{инт} = n_n \cdot T_n = \frac{n_n}{f}. \quad (1)$$

Цей інтервал «заповнюється» імпульсами еталонної частоти f_{em} , яка вибирається якомога більшою по відношенню до вхідної частоти f . Неважно впевнитись у тому, що у цьому випадку частота вхідного сигналу визначається за формулою:

$$f' = \frac{n_n}{n_e \cdot T_{em}} = \frac{n_n}{n_e} f_{em}, \quad (2)$$

де f' – несівна частота вхідного сигналу, що є результатом вимірювання (на відміну від дійсної частоти f); n_e – кількість періодів еталонної частоти у межах часового інтервалу $\tau_{инт}$.

При цьому тривалість інтервалу, у якому вимірюється частота, буде мати дещо інше значення, оскільки його фактична тривалість визначається цілим числом періодів еталонної частоти:

$$\tau'_{инт} = n_e \cdot T_{em} = \frac{n_e}{f_{em}}. \quad (3)$$

Очевидно, що в загальному випадку похибка вимірювання частоти з використанням даного метода виникає через відмінність між вимірним інтервалом $\tau'_{инт}$ та його точним значенням $\tau_{инт}$. Причини вказаної відмінності різні: похибка дискретності, яка є результатом некогерентності сигналів вхідної несівної частоти та еталонної частоти, похибки перетворення синусоїди в меандр, флуктуації фронтів меандру через дію шумів тощо. Отже, можна записати:

$$n_e \cdot T_{em} = n_n \cdot T_n \pm \Delta t, \quad (4)$$

де Δt – похибка у визначенні істинної тривалості інтервалу вимірювання.

Тоді вираз (2) з урахуванням (4) буде мати такий вигляд:

$$f' = \frac{n_n}{n_n \cdot T_n \pm \Delta t}. \quad (5)$$

Абсолютну похибку вимірювання частоти можна знайти як різницю між істинним значенням частоти f (1) та вимірним f' (5):

$$\Delta f = f - f' = \frac{1}{T_n} - \frac{n_n}{n_n T_n \pm \Delta t} = f \left(1 - \frac{n_n T_n}{n_n T_n \pm \Delta t} \right). \quad (6)$$

Виконавши заміну (1) і перейшовши до середньоквадратичних значень похибок вимірювання інтервалу вимірювання σ_t та частоти σ_f , отримаємо остаточний вираз для середньоквадратичної похибки вимірювання частоти модифікованим методом підрахунку періодів:

$$\sigma_f = f \cdot \left(1 - \frac{\tau_{им}}{\tau_{им} + \sigma_t} \right) \quad (7)$$

Слід зазначити, що отримана формула (7) є не тільки зручною для визначення похибок вимірювання частоти імпульсного сигналу, але й дозволяє визначити залежність потенційної похибки вимірювання від суто апаратурних параметрів $\tau_{им}$ і σ_t . Перший з них однозначно пов'язаний з тривалістю імпульсного сигналу випромінювання і, відповідно, ехосигналу, інший – з частотою еталонного генератора. Отже, формулу (7) можна використовувати для вибору таких важливих параметрів лага, як тривалість імпульсу випромінювання та частота еталонного генератора вимірювача частоти.

В статті [7] наведена формула для визначення середньоквадратичного значення флуктуацій тривалості інтервалу вимірювання σ_t , яка отримана для випадку модифікованого методу підрахунку періодів частоти доплерівського сигналу з урахуванням некорельованості флуктуацій вхідної частоти та частоти еталонного генератора:

$$\sigma_t = \frac{1}{3} \sqrt{\frac{3}{2(1+a_c)^2} \cdot f^2 + T_{em}^2}, \quad (8)$$

де a_c – співвідношення сигнал/шум.

Підставивши (8) у формулу (7), отримуємо остаточну формулу для середньоквадратичної похибки вимірювання несвівної частоти імпульсного сигналу методом підрахунку періодів в умовах дії шумів:

$$\sigma_f = f \cdot \left\{ 1 - \frac{\tau_{им}}{\tau_{им} + \frac{1}{3} \sqrt{\frac{3}{2} [f(1+a_c)]^2 + T_{em}^2}} \right\} \quad (9)$$

Формула (9) дає теоретичну оцінку похибки вимірювання частоти заповнення імпульсного сигналу модифікованим методом підрахунку періодів. За цією формулою буде отриманий один з результатів, які вище задекларовані для порівняння заради об'єктивності висновків. При розрахунках за формулою (9) у якості інтервалу вимірювання $\tau_{им}$ буде прийматися та частина тривалості ехосигналу, яка виділена компаратором (див. рис. 5), тобто є результатом виконаної часової фрагментації.

За методикою статистичної обробки, яка викладена у статті [8], виділимо масив парціальних сигналів у межах визначеного вимірювального стробу і розрахуємо середньоквадратичні значення похибок вимірювання частоти з використанням фізичної моделі доплерівського сигналу. Позначимо результати розрахунків через σ'_f . Введемо позначення σ''_f для середньоквадратичного значення похибки вимірювання частоти, визначеного на всьому інтервалі існування ехосигналу (за винятком переднього та заднього фронтів), а $\sigma_{екс}$ – для такої ж похибки, визначеної експериментально (за результатами натурних випробовувань), наведеної у роботі [9]. Результати розрахунків зазначених варіантів похибок наведені у таблиці для декількох значень співвідношень сигнал/шум a_c , двох значень тривалості імпульсів випромінювання $\tau_{випр}$ та двох швидкостей руху носія.

Таблиця

Оцінки середньоквадратичних похибок вимірювання частоти доплерівського сигналу

a_c	$f_0 = 70000 \text{ Гц}, H=27 \text{ м}, \tau_{випр}=30 \text{ мс}, \tau_{им}=10 \text{ мс}, V=5 \text{ м/с}$				$f_0 = 70000 \text{ Гц}, H=100-150 \text{ м}, \tau_{випр}=100 \text{ мс}, \tau_{им}=40 \text{ мс}, V=7 \text{ м/с}$			
	$\sigma_f, \text{ Гц}$	$\sigma'_f, \text{ Гц}$	$\sigma''_f, \text{ Гц}$	$\sigma_{екс}, \text{ Гц}$	$\sigma_f, \text{ Гц}$	$\sigma'_f, \text{ Гц}$	$\sigma''_f, \text{ Гц}$	$\sigma_{екс}, \text{ Гц}$
5	2,6	0,93	3,25		0,75	0,82	2,41	
10	1,23	0,62	1,64		0,37	0,50	1,52	
20	0,65	0,46	1,03	1,1	0,19	0,31	0,93	0,9

Зробимо короткий коментар щодо вище наведеної таблиці.

По-перше, при виборі глибин та швидкостей судна виконувалася чітка прив'язка до даних натурних досліджень. По-друге, тривалості імпульсів випромінювання вибиралися відповідно до часової діаграми роботи лага [7], тобто наведені у таблиці значення тривалості $\tau_{випр}$ дорівнюють реальним значенням тривалості для прийнятих умов роботи. По-третє, розрахунки середньоквадратичних значень похибок σ'_f , σ''_f та $\sigma_{екс}$ велися по масивах з 20-и моделей та реальних доплерівських сигналів відповідно.

Аналіз результатів виконаних розрахунків показує, що метод часової фрагментації доплерівських сигналів, доповнений розділенням вимірювальних фрагментів на парціальні сигнали, дає оцінки середньоквадратичних похибок вимірювання частоти того ж порядку, що і теоретичні оцінки. Дещо більші значення середньоквадратичних похибок отримані для випадку вимірювань з використанням всього інтервалу існування ехосигналу σ''_f . Причини цього розкриті у даній статті. Такі ж результати отримані і в процесі

натурних випробовувань, оскільки ці вимірювання проводилися також у межах всього інтервалу існування ехосигналу.

Висновки

Оцінки похибок вимірювання частоти, що отримані з використанням моделей доплерівських сигналів, виявилися достатньо близькими до теоретичних значень. З іншого боку, встановлена відповідність між середньоквадратичними значеннями похибок вимірювання частоти по реальних доплерівських сигналах та їх моделях. Таким чином, підтверджена адекватність математичної та фізичної моделей реальним доплерівським сигналам, що дозволяє з упевненістю переносити результати всебічних досліджень моделей на реальні доплерівські сигнали. Знайшли своє підтвердження суттєві структурні зміни доплерівського сигналу при його вузькосмуговій фільтрації. Аналіз процесів формування розсіяного дном сигналу та його попередньої обробки у приймальному тракті лага дозволив сформулювати рекомендації стосовно підвищення точності вимірювання частоти на основі часової фрагментації, додаткового виділення парціальних сигналів та статистичної обробки результатів вимірювання частот у них.

Література

1. Онищук О.В., Барась С.Т. Моделювання доплерівського сигналу // Вісник ВПІ – 2007. – № 5. – С.143-147.
2. Онищук О.В., Барась С.Т. Узагальнена модель доплерівського сигналу гідроакустичного // Електронне науково-спеціалізоване видання «Наукові праці Вінницького національного технічного університету» англ., рос. та укр. мовами. – 2008. – Вип. № 1. // <http://www.nbu.gov.ua/e-journals/VNTU/2008-1/vypr1ru.html>
3. Абсолютные и относительные лаги / К.А. Виноградов, В.Н. Кошкарев, Б.А.Осюхин, А.А. Хребтов: Справочник. – Л.: Судостроение, 1990. – 264 с.: ил.
4. Гоноровский И.С. Радиотехнические цепи и сигналы. М.: Радио и связь, 1986. – 312 с.
5. Вимірювання несівної частоти імпульсного радіосигналу на виході вузькосмугового фільтра / Барась С.Т., Шеремета О.П., Калінін В.І., Мартинюк А.П., Онищук О.В // ВОТТП. – 2007. – № 2. – С. 64-69.
6. Баскаков С.И. Радиотехнические цепи и сигналы. М.: Высшая школа, 1988. – 448 с.
7. Барась С.Т., Костюк О.А., Лободзінська Р.Ф. Оптимізація часової діаграми роботи гідроакустичного доплерівського лага // Вимірювальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах – 2002. – № 2. – С. 87-91.
8. Барась С.Т. Методика експериментальних досліджень флюктуацій частоти доплерівського сигналу гідроакустичного лага в реальних умовах плавання // Вісник ВПІ. – 2003. – № 4. – С. 105-109.
9. Барась С.Т. Аналіз результатів експериментальних досліджень флюктуацій частоти доплерівського сигналу гідроакустичного лага в реальних умовах плавання // Вісник ВПІ. – 2003. – № 5. – С. 81-85.

Надійшла 26.5.2008 р.

УДК 681.323: 327.1

О.М. БЕРЕЗЬКИЙ, Ю.М. БАТЬКО, Г.М. МЕЛЬНИК
Тернопільський національний економічний університет

ІНФОРМАЦІЙНО-АНАЛІТИЧНА СИСТЕМА ДОСЛІДЖЕННЯ ТА ДІАГНОСТУВАННЯ ПУХЛИННИХ КЛІТИН НА ОСНОВІ АНАЛІЗУ ЇХ ЗОБРАЖЕНЬ

В роботі проаналізовано комплекси автоматичної мікроскопії здійснення гістологічних та цитологічних досліджень. Запропоновано структури апаратної та програмної складових інформаційно-аналітичної системи. Крім цього розроблено алгоритмічне забезпечення системи, що дозволяє проводити контурний та текстурний аналіз мікрооб'єктів.

Вступ

Медична мікроскопія біоматеріалів більше ста років є незамінним джерелом діагностичної інформації і в той же час в ній все ще домінує суб'єктивний якісний аналіз. Візуальні методи, що застосовуються у багатьох випадках досить трудомісткі, вимагають високої кваліфікації лікаря, погано контролюються, обмежені по інформативності аналізованих об'єктів. У останніх 40 років робилися багаточисельні спроби автоматизувати надзвичайно складний з технічної точки зору процес мікроскопічного аналізу біоматеріалів. Завдяки бурхливому прогресу у відео і комп'ютерній техніці, інформатиці, математиці на початку поточного десятиліття з'явилися перші ефективні комплекси автоматизованої мікроскопії (КАМ). КАМ виконують роботизацію процесу мікроскопії, переміщують і фокусують препарат, шукають, розпізнають і вимірюють об'єкти аналізу, формують і пересилають результати. КАМ є апаратно-програмними системами, до складу яких входять моторизований керований мікроскоп, відеокамера, комп'ютер, функціональні програми-методи. В цілому медичні комплекси автоматизованої мікроскопії покликані забезпечувати високу продуктивність праці

лікаря, збільшену точність аналізів, доступність трудомістких і рідких аналізів, застосування сучасних інформаційних технологій обробки даних і документації, контролю якості, збору архіву препаратів, навчання, сервісу і сертифікації.

Основне значення масового застосування таких систем пов'язане з переходом від описових до кількісних характеристик цито- і гістопатології. Тим не менше кількісна діагностика не отримала широкого розповсюдження через низьку надійність правил рішень, отриманих на недостатньо показному матеріалі конкретної дослідницької лабораторії [1, 2]. Для автоматизації роботи спеціаліста медика промисловість різних країн випускає широкий спектр устаткування (мікроскопи, відеокамери, фотокамери, монітори, препарати) і цілі комплекси.

Морфометрія клітин є тільки однією з автоматизованих методик у КАМ. Основними етапами цитологічного і гістологічного аналізу є вибір об'єкту дослідження, підготовка його для вивчення в мікроскопі, застосування методів мікроскопування, якісний і кількісний аналіз зображень.

Морфометричний аналіз передбачає оцінку форми мікрооб'єктів (визначення форми та ступеня зміни форми, ступеня відмінності в індивідуальній формі мікрооб'єктів), оцінка орієнтування і площі та об'єму мікрооб'єктів [4]. Отримані дані використовуються для подальшої обробки, наприклад для отримання додаткової статистичної інформації за певний проміжок часу, пошуку подібних об'єктів в базах даних, постановкою попереднього діагнозу тощо.

Постановка завдання. В статті необхідно запропонувати узагальнені структури програмної та апаратної складових інформаційно-аналітичної системи і розробити алгоритмічне забезпечення системи.

Апаратна частина інформаційно-аналітичної системи

Розглянемо функції КАМ на прикладі системи МЕКОС-Ц2 (Росія), яка передбачає наступні рівні автоматизації мікроскопічних аналізів:

- рівень візуального аналізу, документації;
- рівень аналізу зображень для визначення характеристик препарату;
- рівень автоматизації переміщення та спостереження препарату (замість людини).

Велика частина фірм-розробників, що існують зараз на українському, російському і зарубіжному ринках фірм-виробників систем аналізу зображень та комплектуючих утворилася в 80-90-х роках 20-го століття [3]. Фірми, що є постачальниками аналізаторів зображень, можна умовно розділити на дві категорії:

- фірми, що пропонують повні автоматизовані комп'ютерні робочі місця, які складаються з мікроскопа (для роботи з мікрооб'єктами), системи вводу, комп'ютерної техніки і програмного забезпечення: "ВидеоТест", Leica (системи аналізу для багатьох областей медицини і біології, генетики та ін.), ЗАТ "Медицинские Компьютерные Системы" (МЕКОС), Microsystems (універсальні і спеціалізовані системи для різних застосувань), Applied Imaging (системи для цитогенетики: автоматичне каріотипування, люмінесцентні методи аналізу);
- фірми, що продають "полегшені" комплекти (системи вводу і програмне забезпечення), або варіант коробкового програмного забезпечення. Таких фірм дуже багато: Clemex (Канада), Soft Imaging System (Німеччина), Noesis (Франція), Universal Imaging Corporation (США), SIAMS (Росія).

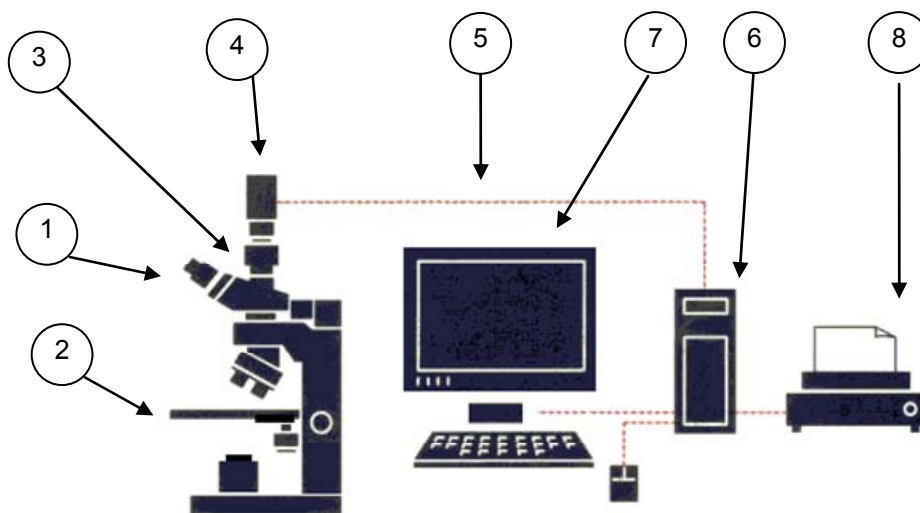


Рис. 1. Структура комплексу автоматичної мікроскопії

Типову структуру КАМ показано на рис. 1, яка була покладена в основу інформаційно-аналітичної системи. Апаратна частина КАМ складається з наступних частин: 1 мікроскоп з системою освітлення, 2 пристрій переміщення та фокусування, 3 фотоадаптер, 4 фотокамера (відеокамера), 5 система інтерфейсу із комп'ютером 6, 7 монітор, 8 принтер. Найпростіша система аналізу мінімальної конфігурації, яка потребує найменше налаштувань, може складатись із цифрового мікроскопа з вбудованою камерою і інтерфейсом USB (наприклад Motic DW BA 200), комп'ютера з процесором рівня Intel Pentium 4 2 ГГц та програмного

забезпечення. Якщо розглядати комплектацію КАМ запропоновану на ринку, то можна переконатися, що спеціалізоване програмне забезпечення може займати більше 60 відсотків загальної вартості комплексу [3]. Вартість програмного забезпечення досить різноманітна – від 500\$ до 20000\$. Вартість обладнання, що доповнює мікроскоп змінюється в тих же межах. Для автоматизації виконання рутинних клінічних досліджень рекомендуються застосування професійних мікроскопів Carl Zeiss, Nikon, Olympus, Leica, пристрою переміщення та фокусування та спеціалізованого програмного забезпечення (наприклад фірми ЗАТ "Мекос").

Програмна частина інформаційно-аналітичної системи

Сучасні програмні комплекси надають користувачеві широкий спектр засобів для обробки та аналізу біомедичних зображень (відеозображень), зокрема в генетичних, цитологічних, гістологічних онкологічних дослідженнях тощо. Характерними особливостями сучасних систем є високий рівень автоматизації, можливість віддаленої роботи на робочому місці та зменшення залежності від медичної відеодіагностичної апаратури.

Основною перевагою використання програмних засобів є перехід від суб'єктивного та якісного аналізу до об'єктивного та кількісного. Основним недоліком при цьому можна вважати складність налаштування та можливі похибки опису зображення.

Для проектування структурної схеми сучасної системи обробки біомедичних зображень було проведено аналітичне дослідження існуючих програмних засобів. Зокрема порівняння проводилось за наступними параметрами:

- спосіб вводу інформації: зображення приймається з давача в реальному часі (підтримка, найпоширенішої на сьогоднішній день, технології MCI/TWAIN) чи завантаження з жорстких носіїв даних;
- алгоритми сегментації – ручна (оператор в ручному режимі виділяє об'єкти інтересу на зображенні), автоматизована (оператор вводить деяку початкову інформацію (проводить навчання) після чого програма проводить сегментацію самостійно) чи автоматична сегментація (система на основі запрограмованих алгоритмів та відомих параметрів проводить сегментацію самостійно);
- попередня обробка вхідного зображення – чи забезпечує програма можливість додаткової обробки зображення (видалення шумів, корекція яскравості, контрасту, фільтрація, виділення поля уваги тощо);
- обчислення характеристичних ознак – набір ознак, що компактно описують зображення, найбільш використовувані: периметр, площа, ядерно-цитоплазматичне відношення, обчислення кутів тощо;
- обчислення статистичних ознак – інформація про групу об'єктів інтересу. До даного класу ознак відносять середнє значення, середньоквадратичне відхилення, максимальне (мінімальне) значення тощо;
- вивід інформації у візуальному форматі – можливість побудови діаграм, гістограм, графіків тощо;
- взаємодія з іншим програмним забезпеченням – можливість обміну інформацією з іншими програмними засобами, наприклад MS Word, MS Excel, MS Access, FoxPro тощо;
- використання скриптів – присутність вбудованої мови (шаблонів) для написання скриптів для пакетної обробки даних;
- технічна документація – наявність додаткової інформації про систему.

На основі проведеного аналізу можна зробити висновок, що сучасні системи аналізу біомедичних зображень володіють наступними властивостями:

- незалежність від апаратного забезпечення (відсутність прив'язки до конкретних апаратних засобів);
- підтримка MCI/TWAIN технології;
- інтуїтивний інтерфейс та наявність додаткової інформації для навчання роботи з програмою;
- робота з вхідними зображеннями в режимі реального часу;
- додаткова та пакетна обробка зображень (видалення шумів, виділення полів уваги тощо);
- автоматизоване (автоматичне) виділення об'єктів інтересу на основі вхідної інформації;
- автоматичне обчислення інформаційних ознак об'єктів та формування компактного опису;
- можливість зберігання (архівування) як вхідних зображень, так і результатів обробки;
- експорт результатів роботи в сучасні офісні програмні пакети.

Нижче наведено порівняльну таблицю програмних систем цифрової обробки біомедичних зображень показано в таблиці 1.

На основі аналізу існуючих систем та сучасних вимог до аналізу біомедичних зображень спроектовано структурну схему інформаційно-аналітичної системи, яка показана на рис. 2. Опишемо структурні елементи запропонованої системи.

Підсистема отримання зображень забезпечує ввід візуальної інформації в систему. Отримання візуальної інформації відбувається шляхом завантаження вже існуючого зображення з запам'ятовуючого пристрою або шляхом отримання даних з відеодіагностичної апаратури (як локальної, так і віддаленої).

Підсистема попередньої обробки зображення – забезпечує корекцію вхідних даних. Для покращення результатів аналізу зображення проводиться корекція яскравості, насиченості, контрасту, згладжування шумів, підвищення чіткості окремих ділянок поля уваги тощо.

Підсистема сегментації зображення проводить сегментацію поля уваги за допомогою певного алгоритму [5]. Алгоритм сегментації може обиратись користувачем.

Підсистема формування звітів та взаємодії з іншими програмними засобами – модуль, який забезпечує формування звітів у зручному для користувача форматі, а також проводить взаємодію з іншими сучасними програмними засобами.

Порівняльна таблиця програмних систем цифрової обробки біомедичних зображень

№	Назва	Робота з існуючими зображеннями	MSI/TWAIN сумісні пристрої	Ручне/автоматизоване виділення об'єктів інтересу	Попередня обробка зображення	Обчислення характеристик ознак обертів: площа, периметр, ЯЦВ, кути, колоподібність	Обчислення статистичних даних	Побудова гістограм	Робота з MS Office	Використання скриптів	Технічна документація
1	ImageTool for Windows v.2.00	+	-	+/+	+	+/+/+/+/+	+	+	+	+	+
2	ImageWarp	+	-	+/-	+	+/+/+/+/+	+	+	+	+	+
3	„ИМАДЖЕР-ЦГ”	+	-	+/-	+	+/+/+/+/+	+	+	+	-	+
4	ВидеоТесТ-Морфо 3.2	+	+	+/-	+	+/+/+/+/+	+	+	+	-	+
5	ВидеоТесТ-Морфология 5.0	+	+	+/+	+	+/+/+/+/+	+	+	+	+	+
5	Micromed Images	+	-	+/-	+	+/+/+/+/+	+	-	+	-	+
6	ScreenMeter	+	-	+/-	-	+/+/+/+/+	+	-	+	-	+
7	ImageExpert Pro 3	+	+	+/+	+	+/+/+/+/+	+	+	+	-	+
8	ImageExpert™ Gauge	+	+	+/+	+	+/+/+/+/+	+	+	+	+	+
9	AnalySIS Five	+	+	+/+	+	+/+/+/+/+	+	+	+	+	+
10	BioVision	+	+	+/+	+	+/+/+/+/+	+	+	+	+	+
11	QCapture PRO 6.0	+	+	+/+	+	+/+/+/+/+	+	+	+	-	+
12	Motic Images Advanced 3.2	+	+	+/+	+	+/+/+/+/+	+	+	+	-	+
13	MCID™ Core	+	+	+/+	+	+/+/+/+/+	+	+	+	-	+
14	Image-Pro Plus 6.2	+	+	+/+	+	+/+/+/+/+	+	+	+	-	+
15	MetaMorph 7.5	+	+	+/+	+	+/+/+/+/+	+	+	+	-	+

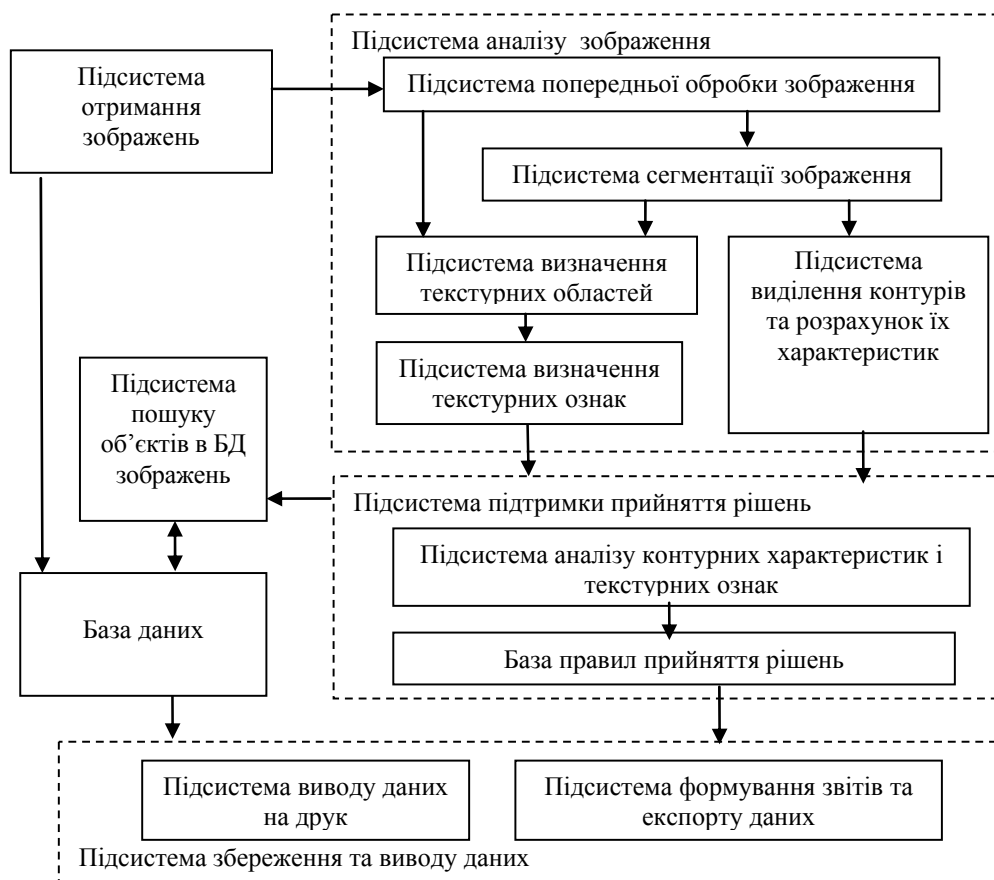


Рис. 2. Структурна схема інформаційно-аналітичної системи

Підсистема виділення контурів та розрахунок їх характеристик – проводиться виділення границь та аналіз контуру об'єктів з метою отримання характеристичних ознак (периметр, площа, нахил об'єкта,

величина великої та малої осі, точки мінімуму та максимуму тощо) [6].

Підсистема пошуку подібних об'єктів в БД – на основі отриманого опису та ознак подібності проводиться пошук подібних об'єктів в базі даних.

Підсистема підтримки прийняття рішень. Дана підсистема складається з двох взаємозв'язаних частин: підсистеми аналізу контурних характеристик і текстурних ознак та бази правил прийняття рішень. Перша підсистема забезпечує аналіз отриманих контурних та текстурних ознак, на основі якого проводиться розподіл отриманих мікрооб'єктів на класи. База правил прийняття рішень дозволяє на основі експертних знань проводити оцінку рівня відхилення від норми в досліджуваних мікрооб'єктах і тенденції протікання паталогічних процесів, що дозволяє попередньо ставити діагноз.

База даних – це структурований організований набір даних, що описує характеристики досліджуваних об'єктів. Використання власної бази даних сприяє зменшенню залежності від іншого програмного забезпечення, що сприяє автономності системи в цілому.

Підсистема виводу даних на тверді носії даних забезпечує вивід інформації на тверді носії даних (папір, плівка тощо). Результати форматуються залежно від вимог користувача.

До переваг запропонованої структурної схеми можна віднести:

- отримання додаткових описів об'єктів на основі контурного та текстурного аналізів (підвищення точності опису, що позитивно впливає на результати обробки зображень в цілому);
- можливість пошуку подібних об'єктів в базі даних, що дозволяє порівнювати отримані результати з даними які були отримані перед тим. Дана функція спроектована з метою подальшого визначення діагнозу в автоматичному режимі.

Алгоритмічне забезпечення інформаційно-аналітичної системи

Авторами запропоновано ряд алгоритмів, які реалізують інформаційно-аналітичну систему.

У статті [7] досліджені алгоритми виділення контурів зображень, запропоновано та проаналізовано алгоритм визначення зовнішнього контуру зображень, а також приведено приклад програмної реалізації запропонованого алгоритму та результати його роботи.

Інша праця [8] присвячена питанням аналізу та синтезу текстури пухлинних клітин. Для синтезу текстури пухлинних клітин використано псевдовипадкові функції (шум) Перліна. В наступній роботі [9] розглянуто способи опису контурів зображень. Отримано вирази для обчислення коефіцієнтів квадратичних і кубічних поліномів у глобальній системі координат. Розроблений підхід промодельований на прикладі зображень біологічної природи. Аналізу алгоритмів контурного аналізу зображень присвячена робота [10], в якій запропоновано алгоритми визначення характерних точок контурів і алгоритми апроксимації контурів в локальних координатах на прикладі зображень пухлинних клітин людини. У наступній статті [11] розглянуто клас біомедичних зображень і запропоновано фрактальний підхід до синтезу та аналізу зображень пухлинних клітин і розроблено алгоритми синтезу та аналізу їх зображень. Питанням розробки алгоритмів пошуку зображень пухлинних клітин в базі даних присвячена робота [12]. Цей алгоритм базується на ознаках форми і кольору зображення. Розглянемо деякі із роблених алгоритмів.

Алгоритм виділення контурів об'єктів

Для визначення зовнішньої границі зображення використано метод, у якому ділянки зображення не аналізуються, якщо їхній колір ідентичний або наближений до кольору зображення з деякою похибкою Δ . Даним підходом визначаються пікселі фону. Колір точки (пікселя) передається в просторі RGB. Для визнання точки частиною фону, значення її RGB компонент повинно відповідати наступним умовам (1):

$$\Delta R \geq |R_{fon} - R|, \Delta G \geq |G_{fon} - G|, \Delta B \geq |B_{fon} - B|, \quad (1)$$

де $\Delta R, \Delta G, \Delta B$ – значення можливого відхилення компонент RGB від заданих значень фону;

$R_{fon}, G_{fon}, B_{fon}$ – значення кольору фону в базисі RGB;

R, G, B – значення кольору пікселя в базисі RGB.

Для покращення результатів роботи алгоритму запропоновано використовувати динамічне значення кольору фону. Визначення значення динамічного фону проходить за наступними правилами (2):

$$R_{fon} = \begin{cases} \left\lfloor \frac{R_{fon} + R}{2} \right\rfloor; R_{fon} \neq R, \Delta R \geq |R_{fon} - R| \\ R_{fon}; R_{fon} = R \end{cases},$$

$$G_{fon} = \begin{cases} \left\lfloor \frac{G_{fon} + G}{2} \right\rfloor; G_{fon} \neq G, \Delta G \geq |G_{fon} - G| \\ G_{fon}; G_{fon} = G \end{cases}, \quad (2)$$

$$B_{fon} = \begin{cases} \left\lfloor \frac{B_{fon} + B}{2} \right\rfloor; B_{fon} \neq B, \Delta B \geq |B_{fon} - B| \\ B_{fon}; B_{fon} = B \end{cases}$$

де $\Delta R, \Delta G, \Delta B$ – значення можливого відхилення компонент RGB від заданих значень фону;
 $R_{fon}, G_{fon}, B_{fon}$ – значення кольору фону в базисі RGB;
 R, G, B – значення кольору пікселя в базисі RGB.

Використання динамічного значення фону дозволяє знизити вплив шумів та спотворень, спричинених давачами фотокамер. Недоліком цього підходу є зменшення ефективності роботи при недостатній якості зображень (шуми та спотворення перекривають зображення клітин або протягом значного проміжку мають схожий з кольором клітини відтінок), тому перед початком роботи програми, при необхідності, зображення потребує додаткової обробки.

Для відсікання малоінформативних точок, а також для подолання деяких недоліків, які виникають під час фотографування (одинокі точки (пікселі), які відрізняються від фону, але не є частинами клітин) використовується перевірка сусідніх пікселів на належність до фону. Для даної перевірки вводиться відображення рисунка із значеннями 0 та 1, де 0 – точка належить, а 1 – не належить фону. Алгоритм фільтрації зображення проводиться за наступними правилами (3):

$$f(i, j) = \begin{cases} 0; & \left(\sum_{k=-1}^1 \sum_{l=-1}^1 x_{i+k, j+l} \right) < p \\ 1; & \left(\sum_{k=-1}^1 \sum_{l=-1}^1 x_{i+k, j+l} \right) \geq p \end{cases}, \quad (3)$$

$i = \overline{1, n-1}; j = \overline{1, m-1}; k = l \neq 0; i, j, k, l, p \in Z$

де $f(i, j)$ – це логічна функція, яка визначає наявність зв'язків з сусідніми пікселями;
 $x_{i,j}$ – значення маски для i -го, j -го пікселя;
 n – ширина зображення в пікселях;
 m – висота зображення в пікселях;
 p – мінімальна кількість сусідніх точок необхідних для присвоєння точці значення належності фону.

Алгоритми апроксимації контурів зображень

Після виділення контуру отримуємо масив координат точок $\{(x_1, y_1), (x_2, y_2), \dots, (x_i, y_i), \dots, (x_n, y_n)\}$, які будуть використані для проведення апроксимації.

Апроксимація точок контуру розв'язує дві проблеми:

- 1) стискує інформацію про контур зображення;
- 2) підвищує точність оцифрування контуру.

При апроксимації контурів до апроксимуючої дуги можуть накладатися наступні вимоги:

- 1) крива повинна проходити через першу і останню точки апроксимуючої дуги (рис. 3а);
- 2) крива повинна проходити через першу точку (рис. 3б);
- 3) крива повинна проходити через першу і останню точки, витримуючи заданий кут нахилу дотичної в першій точці (рис. 3в);
- 4) крива повинна проходити через першу точку, витримуючи в ній заданий кут нахилу дотичної (рис. 3г);
- 5) крива повинна проходити через першу точку, витримуючи заданий кут нахилу дотичної в останній точці (рис. 3д);
- 6) крива повинна проходити через першу точку, витримуючи в ній заданий кут нахилу дотичної, в останній точці витримується тільки напрямок дотичної показано на рис. 3,е.

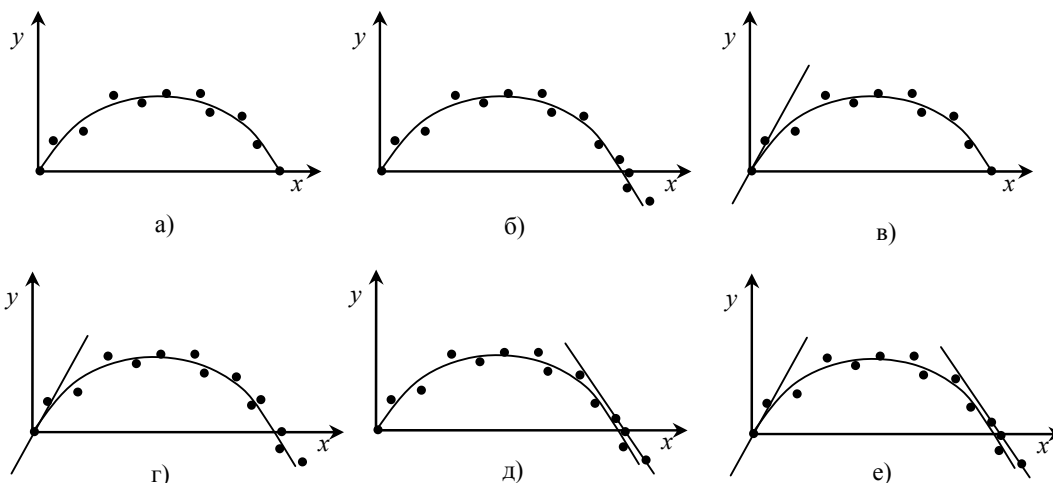


Рис. 3. Види апроксимації контуру зображення

Щоб запобігти неоднозначності функцій, апроксимація на будь-якій ділянці виконується в локальній системі координат. Обчислення коефіцієнтів апроксимуючого полінома можливе в різних варіантах. Спочатку деякі коефіцієнти встановлюються з умови апроксимації, решта – з мінімізації функціоналу, що складається з суми квадратів відхилень точок кривої від точок контуру.

Для цього розглянемо перший з наведених випадків і виведемо формули для коефіцієнтів апроксимуючого полінома третього та другого степенів.

Випадок 1.

а) апроксимуючий поліном є поліномом третього степеня, тобто має вигляд

$$y = a_0 + a_1x + a_2x^2 + a_3x^3. \quad (4)$$

На криву накладена умова проходження через кінцеві точки множини апроксимуючого полінома, тобто поліном проходить через точки з координатами $(0;0)$ і $(x_n;0)$. Звідси

$$\begin{aligned} y_1 = 0 &= a_0 + a_1x_1 + a_2x_1^2 + a_3x_1^3, \\ y_n = 0 &= a_0 + a_1x_n + a_2x_n^2 + a_3x_n^3. \end{aligned}$$

З першої рівності випливає, що $a_0 = 0$, з другої $a_1x_n + a_2x_n^2 + a_3x_n^3 = 0$. Коефіцієнт a_1 виражено через a_2 і a_3

$$a_1 = -(a_2x_n + a_3x_n^2). \quad (5)$$

Тоді мінімізуючий функціонал матиме вигляд

$$F(a_2, a_3) = \sum [a_2x_i(x_i - x_n) + a_3x_i(x_i^2 - x_n^2) - y_i]^2 \rightarrow \min.$$

Знаходимо часткові похідні функціонала по a_2 і a_3 та прирівнюємо їх до нуля

$$\begin{aligned} \frac{\partial F}{\partial a_2} &= 2 \sum (a_2x_i(x_i - x_n) + a_3x_i(x_i^2 - x_n^2) - y_i)(x_i(x_i - x_n)) = 0, \\ \frac{\partial F}{\partial a_3} &= 2 \sum (a_2x_i(x_i - x_n) + a_3x_i(x_i^2 - x_n^2) - y_i)(x_i(x_i^2 - x_n^2)) = 0. \end{aligned}$$

Звідси отримуємо систему рівнянь

$$\begin{cases} a_2 \sum x_i^2(x_i - x_n)^2 + a_3 \sum x_i^2(x_i^2 - x_n^2)(x_i - x_n) = \sum y_i x_i(x_i - x_n) \\ a_2 \sum x_i^2(x_i - x_n)(x_i^2 - x_n^2) + a_3 \sum x_i^2(x_i^2 - x_n^2)^2 = \sum y_i x_i(x_i^2 - x_n^2) \end{cases}$$

Введемо позначення $F_{11} = \sum x_i^2(x_i - x_n)^2$,

$$F_{12} = F_{21} = \sum x_i^2(x_i^2 - x_n^2)(x_i - x_n), \quad F_{22} = \sum x_i^2(x_i^2 - x_n^2)^2,$$

$$b_1 = \sum y_i x_i(x_i - x_n), \quad b_2 = \sum y_i x_i(x_i^2 - x_n^2).$$

Невідомі коефіцієнти визначаємо по формулах

$$a_2 = \frac{b_1 F_{22} - b_2 F_{12}}{F_{11} F_{22} - F_{21} F_{12}}, \quad a_3 = \frac{b_2 F_{11} - b_1 F_{21}}{F_{11} F_{22} - F_{21} F_{12}}.$$

Після визначення a_2 і a_3 можна по формулі (5) обчислити a_1 . Підставивши їхні значення в формулу (4), знаходимо шукане рівняння апроксимуючого полінома.

В інших випадках виведення рівнянь проводиться аналогічно (детально всі випадки розглянуті в роботі [12]).

Алгоритм визначення параметрів афінних перетворень розміщення клітин на плоскому зображенні.

Для обчислення параметрів афінних перетворень розміщення ядер клітин на вхідному зображенні необхідно визначити три ключові точки на контурі кожної клітини. На бінарному зображенні виділяємо контур і випадковим чином знаходимо стартову точку (піксел) з координатами (x, y) . Відшукується така точка, щоб відстань між стартовою і шуканою точкою була максимальною:

$$L = \sqrt{(x_n - x)^2 + (y_n - y)^2} \rightarrow \max.$$

Таким чином, отримуємо першу точку $A(x_n, y_n)$. Процедура визначення другої ключової точки аналогічна визначенню першої. Як стартова точка вибирається заздалегідь певна точка $A(x_n, y_n)$. Після m кроків виходить друга ключова точка B з координатами (x_{n+m}, y_{n+m}) , так що відрізок AB має найбільшу довжину L_{\max} . Точкам A і B надаємо індекси 1 і 2: $A(x_n, y_n) = A(x_1, y_1)$, $B(x_{n+m}, y_{n+m}) = B(x_2, y_2)$.

Третя ключова точка визначається як точка перетину прямої, що проходить через точку М і контур ядра клітини, перпендикулярно відрізьку АВ. Результат визначення трьох точок показаний на рис. 4.

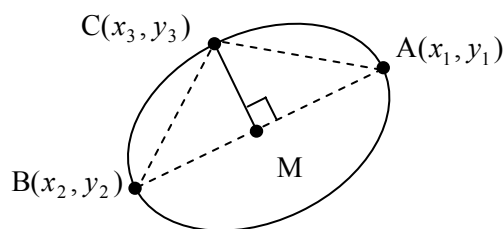


Рис. 4. Визначення трьох ключових точок

Параметри (коефіцієнти) афінних перетворень, що описують зміну форми і розміщення початкового зображення, визначаються з системи рівнянь

$$\begin{cases} \begin{bmatrix} x_1 & y_1 & 1 \\ x_2 & y_2 & 1 \\ x_3 & y_3 & 1 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} a \\ b \\ e \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \tilde{x}_1 \\ \tilde{x}_2 \\ \tilde{x}_3 \end{bmatrix}, \\ \begin{bmatrix} x_1 & y_1 & 1 \\ x_2 & y_2 & 1 \\ x_3 & y_3 & 1 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} c \\ d \\ f \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \tilde{y}_1 \\ \tilde{y}_2 \\ \tilde{y}_3 \end{bmatrix}, \end{cases}$$

де (x_3, y_3) – точки, які належать початковій множині E (початковому зображенню); $(\tilde{x}_1, \tilde{y}_1), (\tilde{x}_2, \tilde{y}_2), (\tilde{x}_3, \tilde{y}_3)$ – точки, які належать відображенню $E1$ початкової множини; a, b, e, c, d, f – коефіцієнти афінного перетворення, які відображують початкову множину E в множину $E1$.

Невідомі коефіцієнти визначаються таким чином

$$\begin{aligned} a &= \frac{y_1(\tilde{x}_3 - \tilde{x}_2) + y_2(\tilde{x}_1 - \tilde{x}_3) + y_3(\tilde{x}_2 - \tilde{x}_1)}{y_1(x_3 - x_2) + y_2(x_1 - x_3) + y_3(x_2 - x_1)}, \\ b &= \frac{x_1(\tilde{x}_2 - \tilde{x}_3) + x_2(\tilde{x}_3 - \tilde{x}_1) + x_3(\tilde{x}_1 - \tilde{x}_2)}{y_1(x_3 - x_2) + y_2(x_1 - x_3) + y_3(x_2 - x_1)}, \\ e &= \frac{x_1(y_2\tilde{x}_3 - y_3\tilde{x}_2) + x_2(y_3\tilde{x}_1 - y_1\tilde{x}_3) + x_3(y_1\tilde{x}_2 - y_2\tilde{x}_1)}{y_1(x_3 - x_2) + y_2(x_1 - x_3) + y_3(x_2 - x_1)}, \\ c &= \frac{y_1(\tilde{y}_3 - \tilde{y}_2) + y_2(\tilde{y}_1 - \tilde{y}_3) + y_3(\tilde{y}_2 - \tilde{y}_1)}{y_1(x_3 - x_2) + y_2(x_1 - x_3) + y_3(x_2 - x_1)}, \\ d &= \frac{x_1(\tilde{y}_2 - \tilde{y}_3) + x_2(\tilde{y}_3 - \tilde{y}_1) + x_3(\tilde{y}_1 - \tilde{y}_2)}{y_1(x_3 - x_2) + y_2(x_1 - x_3) + y_3(x_2 - x_1)}, \\ f &= \frac{x_1(y_2\tilde{y}_3 - y_3\tilde{y}_2) + x_2(y_3\tilde{y}_1 - y_1\tilde{y}_3) + x_3(y_1\tilde{y}_2 - y_2\tilde{y}_1)}{y_1(x_3 - x_2) + y_2(x_1 - x_3) + y_3(x_2 - x_1)}. \end{aligned}$$

Експериментальні дослідження алгоритмів афінних перетворень

Приклад реальної фотографії пухлинних клітин показано на рис. 5. Після виділення контурів і трьох характерних точок отримуємо зображення, які показано на рис. 6. В таблиці 2 наведено розрахунок афінних коефіцієнтів.

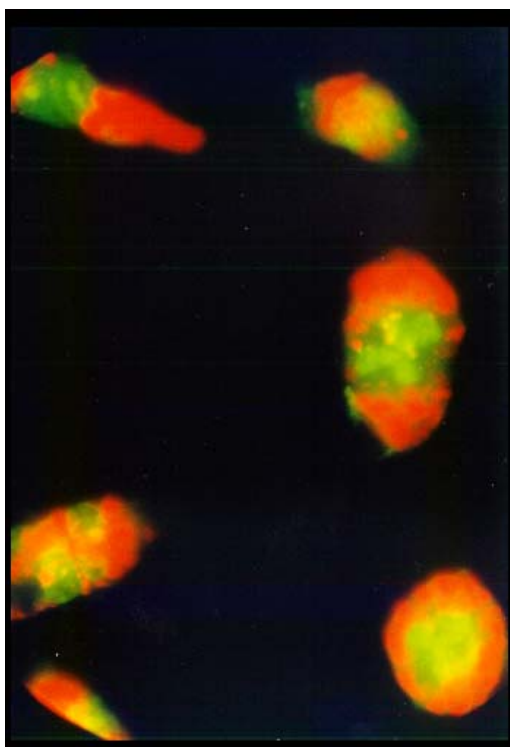


Рис. 5. Вхідне зображення

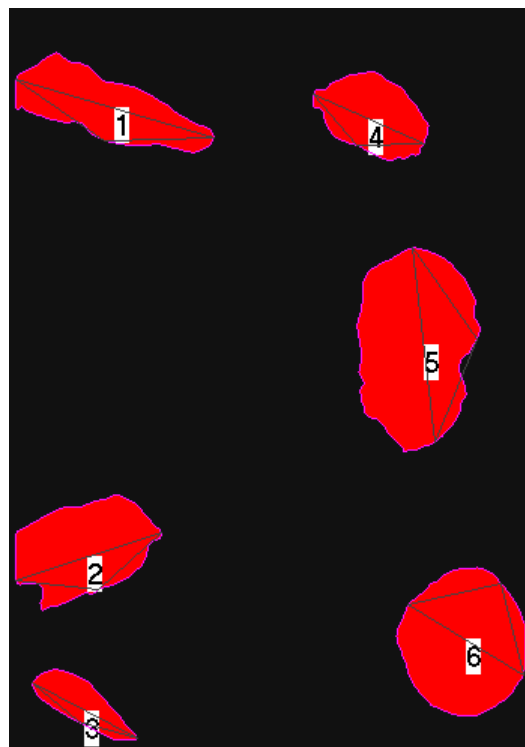


Рис. 6. Результат аналізу зображення

Таблиця 2

№ ядра \ Коефіцієнти	a	b	e	c	d	f
2	0.57634	0.50648	-21.52	-0.50077	0.85696	342.77
3	0.53391	-0.012215	13.438	0.16168	0.40148	429.348
4	0.61234	-0.16947	207.58	0.0083931	0.80985	18.788
5	-0.34137	1.54	196.98	0.94857	0.12279	149.43
6	0.23565	1.1611	209.75	0.78263	-1.48891	463.13

Висновки

В статті запропоновано структурні схеми апаратної та програмної підсистем, що дозволяють розробити інформаційно-аналітичну систему для дослідження та діагностування пухлинних клітин на основі аналізу їх зображень. Запропоновано алгоритми контурного та текстурного аналізу, проведено їх програмну реалізацію та експериментальні дослідження. Наступними кроками дослідження є розробка алгоритмів класифікації мікрооб'єктів та правил підтримки прийняття рішень.

Література

1. Медовый В.С. Зачем нужна и сколько стоит автоматизированная микроскопия? // <http://medprom.ru/medprom/110453>
2. Пантелеев В., Егорова О., Клыкова Е. Компьютерная микроскопия // Мир материалов и технологий – М.: Техносфера, 2005, 300 с.
3. Компьютерный анализ изображений: общие сведения, системы, примеры использования // http://www.akond.ru/index.php?issue_id=88
4. Автандилов Г.Г. Медицинская морфометрия. Руководство. – М.: Медицина, 1990. 384с.: ил.
5. Введение в контурный анализ; приложения к обработке изображений и сигналов / Я.А.Фурман, А.В.Кревецкий, А.К.Передреев, А.А.Роженцов, Р.Г.Ха- физов, И.Л.Егошина, А.Н.Леухин; Под ред. Я.А. Фурмана. – 2-е изд., испр. – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2003. – 592 с.
6. William K. Pratt. Digital Image Processing: PIKS Inside, Third Edition. – John Wiley & Sons, Inc. 2001 – 740 p.
7. Березький О., Батько Ю. Аналіз алгоритмів виділення контурів зображень // Вісник Національного університету «Львівська політехніка». Комп'ютерні науки та інформаційні технології. – 2006. – № 565. – С. 212-216.
8. Березький О.М, Мельник Г.М. Аналіз та генерування зображень біологічної природи Моделювання та керування станом еколого-економічних систем регіону. – 2006. – № 3. – С.69-77.
9. Berezsky O. Contour analysis of images Information technologies and Systems. – 2006 – V.9, № 1. – P.5-12.
10. Березький О.М, Березька К.М. Аналіз контурів зображень у глобальних координатах Оптико-електронні інформаційно-енергетичні технології. – 2006. – № 2 (12). – С.83-92.

11. Березский О.Н. Алгоритмы анализа и синтеза биомедицинских изображений Проблемы информатики и управления – 2007 – № 2. – С. 134-144.

12. Berezsky O., Melnyk G., Yu Bat'ko Image search and retrieval application Proceedings of the 2-th international conference on computer science and information technologies (CSIT'2007). – Lviv, Ukraine, 2007. – P. 121-122.

Надійшла 22.5.2008 р.

УДК 681.3

М.Ф. БИРКА

Науково-дослідний інститут інтелектуальних комп'ютерних систем

А.О. САЧЕНКО

Тернопільський національний економічний університет МОНУ та Інститут кібернетики ім. В.М.Глушкова НАНУ, Шльонська політехніка, Польща

КОМБІНОВАНИЙ АЛГОРИТМ ЗЛИТТЯ СЕНСОРНИХ ДАНИХ В ІНТЕЛЕКТУАЛЬНИХ ДИСТРИБУТИВНИХ СЕНСОРНИХ МЕРЕЖАХ

Запропоновано комбінований алгоритм злиття сенсорних даних з розподілених інтелектуальних сенсорів, покази яких завжди містять похибки. Алгоритм базується на об'єднанні усередненої інформації показів з інтелектуальних сенсорів. Показано, що використання даного алгоритму дозволило отримувати більш точну оцінку стану середовища спостереження.

Вступ

Сучасні інтелектуальні дистрибутивні сенсорні мережі застосовуються у різноманітних сферах суспільства. Ці сфери включають промисловість, виробництво, військову галузь, моніторинг навколишнього середовища, моніторинг житла [1-5]. Багато проблем складні для реалізації завдяки тому, що вони тісно пов'язані з передачею даних, отриманих сенсорами в інтелектуальних дистрибутивних сенсорних мережах.

Інтелектуальна дистрибутивна сенсорна мережа (ІДСМ) представляє собою об'єднання просторово розподілених інтелектуальних сенсорів (ІС). "Інтелектуальність" сенсорів має на увазі деяку первинну обробку вхідного сигналу і його представлення у цифровому вигляді [1, 2]. Прикладом ІДСМ може бути мережа, яка містить сукупність розподілених ІС, які пов'язані між зв'язками типу "повний граф" [9].

Характерною особливістю ІДСМ є злиття сенсорних даних (sensor fusion), отриманих не тільки з кількох однотипних сенсорів, які збирають інформацію про одну властивість середовища (температуру, тиск, вологість, швидкість та ін.), але й з різнотипних сенсорів, що збирають інформацію про кілька властивостей одночасно [6]. Можливі застосування алгоритмів злиття сенсорних даних віртуально охоплюють всі системи, де проводиться обробка сигналів. В сучасному інформаційному суспільстві ефективне збирання та представлення даних має важливе значення. Тому на сьогодні є актуальною задача отримання точних і достовірних сенсорних даних про стан оточуючого середовища та зміни, які відбуваються в ньому [2, 7].

Очевидно, що при зборі інформації з одного і того ж самого об'єкту, дані про нього повинні перекриватися, тобто бути однаковими. Тим не менш на практиці такого співпадіння не спостерігається завдяки тому, що кожен сигнал сенсору містить систематичні та випадкові похибки. В зв'язку з цим виникають труднощі при об'єднанні (злитті) сенсорних даних. Значний внесок у розв'язанні задачі злиття сенсорних даних зробили D. Dolev [8], S. Mahaney і F.Schneider [8], R.Brooks і S.Iyengar [8] та інші. В той же час запропоновані ними методи розв'язання задачі мають певні недоліки, тому, на думку авторів, доцільно провести порівняльну оцінку вищезгаданих алгоритмів для накреслення шляхів покращення розв'язання даної задачі.

1. Особливості злиття сенсорних даних у інтелектуальних дистрибутивних сенсорних мережах

Основним з базових понять дистрибутивних систем обчислення є побудова узгодження, більш відома як «Проблема Візантійських генералів» [7]. Постановка цієї проблеми – метафора, яка може бути прямо застосована до дистрибутивних комп'ютерних систем. Ця проблема вимагає алгоритму, який використовуватиметься лояльними генералами для прийняття рішення "атакувати" чи "відступити". Якщо вважати усі війська системою, а генералів компонентами цієї системи, то згідно з L. Lamport, R. Shostak та M. Pease [7] розроблені алгоритми стійкі до відмов, якщо задовольняється умова:

$$N \geq 3 * t + 1, \quad (1)$$

де N – загальна кількість компонентів системи, t – кількість непрацюючих (що відмовили) компонентів.

У випадку ІДСМ кожен ІС повинен бути зв'язаний не менш ніж з $2*t+1$ інших ІС.

Основним параметром алгоритмів є точність отриманого результату, під якою розуміється найменше відхилення результату алгоритму від істинного значення сигналу. Також важливим параметром є обчислювальна складність – кількість елементарних (додавання/множення) операцій, необхідних для виконання даного алгоритму залежно від часу його виконання.

Нижче виконана порівняльна оцінка алгоритмів злиття сенсорних даних за цими основними

параметрами.

1.1. Алгоритм D. Dolev

Основними етапами закладеними D.Dolev в алгоритмі злиття сенсорних даних є [8]:

- Перевірка умови (1) Візантійського узгодження.
- Передача даних до інших ІС.
- Кожен ІС сортує дані у вектор V . Відкидаються найменше (V_{\min}) і найбільше (V_{\max}) значення вектору V .
- Формування нового вектору V зі значень $V [i^*t]$, $i=0,1,\dots$ (тобто найменше і кожне t значення).
- Визначення результуючого для кожного ІС значення – середнє значення вектору V . Визначення результуючого значення для алгоритму – середнє значення векторів V з усіх ІС.

Обчислювальна складність даного алгоритму згідно з [8] становить $\min [O(N^*t), O(N^*\log N)]$ завдяки тому, що відбувається відкидання максимального і мінімального значень вектору V та сортування його значень.

Експериментальна оцінка показала, що до недоліків слід віднести неврахування умови прийнятності значень показів ІС та низьку точність результату алгоритму.

1.2. Алгоритм S. Mahaney та F. Schneider

Алгоритм злиття сенсорних даних по S.Mahaney та F.Schneider є частковим кроком вперед і оснований на [8]:

- Кожен ІС отримує дані від інших ІС та формує вектор V .
- Проводиться перевірка на прийнятність (допустимість) значень сигналу:

$$U_n(t) - U_c(t) \leq U(t) \leq U_n(t) + U_c(t), \quad (2)$$

де $U_n(t)$ – похибка сигналу, $U_c(t)$ – істинний сигнал, $U(t)$ – прийнятний сигнал;

- Обчислюється значення функції $e(A)$, у якості якої пропонується використати середнє, медіану, або середину діапазону значень. Будь-які неприйнятні значення замінюються на $e(A)$.
- Результатом роботи алгоритму є середнє арифметичне середин значень інтервалів допустимих показів ІС, де діапазони показів $N-t$ ІС пересікаються.

На відміну від попереднього даний алгоритм не проводить відкидання найбільшого і найменшого значень ІС з вектору V . Обчислювальна складність цього алгоритму $O(N^*\log N)$ [8].

Перевагою даного алгоритму є врахування прийнятності значень показів ІС та кращий, ніж у попереднього алгоритму, результат. Недоліком – підвищення обчислювальної складності.

1.3. Змішаний алгоритм R. Brooks та S. Iyengar

Особливістю змішаного алгоритму R. Brooks та S. Iyengar є те, він використовує результати попереднього алгоритму [8]. Далі виконуються наступні дії [8]:

- Визначається вихідний діапазон – це найменша нижня межа та найбільша верхня межею в A . Це діапазон усіх можливих значень.
- Обчислюється сума середніх точок діапазонів у A та ділиться на кількість ІС, значення показів яких пересікаються в цьому діапазоні.

Робота алгоритму базується на середньозваженій величині, тобто покази ІС вважаються тим більш правильними, чим більшу кількість разів його значення пересікається з інтервалами показів інших ІС. Обчислювальна складність даного алгоритму $O(N^*\log N)$ [8].

Хоча змішаний алгоритм покращує результати попереднього алгоритму, але обробка даних складна, виконання розрахунків вимагає порівняно багато часу, що є недоліком алгоритму.

1.4. Алгоритм середньоквадратичних вагових коефіцієнтів

Алгоритм середньоквадратичних вагових коефіцієнтів (СКВК) [9] було запропоновано для усунення недоліків попередньо розглянутих алгоритмів. Даний алгоритм побудований на тому, що всі значення, які надходять від сенсорів в дистрибутивній сенсорній мережі представляють вибірку даних. Тому доцільно розглянути його більш детально [9]:

- Перевіряється виконання умови (1) Візантійського узгодження.
- Над вибіркою проводиться попередня обробка даних. Її зміст в основному полягає у відсіюванні грубих похибок. Для перевірки аномальності показника потрібно розрахувати величину [9]:

$$\tau'_{ij} = \frac{|x_{ij} - \bar{x}_i|}{\sqrt{(n-1)/n * \bar{S}_i}}, \quad (3)$$

де x_{ij} – значення, що приймає i -й ІС від j -го ІС, яке перевіряється на аномальність, \bar{x}_i середнє значення i -ї вибірки.

$$\bar{S}_i = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{j=1}^n (x_{ij} - \bar{x}_i)^2},$$

де \bar{S}_i – середньоквадратичне відхилення незміщеної оцінки дисперсії, n – кількість елементів вибірки.

- Розраховане значення згідно (3) τ'_{ij} порівнюється із табличним значенням τ_{1-p} , яке обчислюється із довірчою імовірністю $q=1-p$. Якщо розраховане значення $\tau'_{ij} \leq \tau_{1-p}$, то з імовірністю p можна твердити, що значення є неаномальне (його не відсіюють з вибірок). Інакше значення відкидають із вибірки і перевірку аномальності значень здійснюють повторно на елементах, які залишилися [9]. Для великих вибірок $n > 25$ доцільно використовувати таблиці розподілу Стьюдента.

- Так як кожен результат окремого виміру дорівнює сумі істинного значення та випадкової похибки, то і результати вимірювань підкоряються тим же законам, що і випадкові похибки. Тому точність вимірювань оцінюється величиною середнього квадратичного відхилення від середнього арифметичного значення вибірки. На відміну від інших алгоритмів, для усереднення сенсорних даних використано не величину середнього арифметичного, а середню зважену, з врахуванням коефіцієнтів важливості кожного прийнятого сенсором значення:

$$\bar{X}_i = \frac{\sum_{j=1}^n k_{ij} x_{ij}}{\sum_{j=1}^n k_{ij}}, \quad k_{ij} = \frac{1}{(x_{ij} - \bar{x}_i)^2}, \quad (4)$$

де k_{ij} – коефіцієнт важливості j -го показника, який приймає i -й ІС. В якості коефіцієнту ваги береться величина, обернено пропорційна квадрату похибки вимірювань [9].

- Результуюче значення сигналу, яке повертається сенсором, шукається на основі (4) як середнє арифметичне із середніх зважених

$$\bar{X}_{рез} = \frac{\sum_{i=1}^n \bar{X}_i}{n}. \quad (5)$$

Таким чином, згідно з даним алгоритмом, знайдена усереднена оцінка має меншу випадкову похибку, ніж окремі значення, за якими вона знаходиться. Обчислювальна складність алгоритму СКВК $O(N * (N-1))$.

Недоліками даного алгоритму можна вважати неврахування прийнятності діапазону значень показів ІС. До переваг слід віднести порівняно високу точність результату.

2. Комбінований алгоритм злиття сенсорних даних

2.1. Суть алгоритму

Аналіз переваг і недоліків кожного з попередніх алгоритмів показав, що всі вони мають недостатню точність результатів та високу обчислювальну складність, тому авторами розроблено алгоритм на основі комбінування деяких властивостей попередніх алгоритмів (рис. 1).

Після стандартної процедури отримання значень сенсорів (бл. 1), формуються зовнішній А (бл. 2) та внутрішній В (бл. 3) цикли. Особливостями запропонованого алгоритму є те, що крім перевірки умови сигнал прийнятний (бл. 4) проводиться перевірка кожного показу ІС (бл. 6) на прийнятність (належність) показу до діапазону точності кожного ІС за формулою:

$$U_c(t) - U_n(t) \leq U(t) \leq U_c(t) + U_e(t), \quad (6)$$

де $U_c(t)$ – істинний сигнал, $U_n(t)$ – нижня межа діапазону точності ІС, $U(t)$ – прийнятний сигнал, $U_e(t)$ – верхня межа діапазону точності ІС.

Неприйнятні значення відкидаються (бл. 7). Блоки 8, 9 – завершуються внутрішній цикл В та зовнішній А відповідно. Після виконання цих перевірок проводиться обчислення середнього значення показів ІС, що залишилися (бл. 10), а неприйнятні значення замінюються середнім значенням $\overline{V[i]}$ (бл. 11). У блоці 12 визначається результуюче значення $V_{рез}$, а в блоці 13 розраховується сумарна обчислювальна складність комбінованого алгоритму:

$$S = \sum_{k=1}^M S_{bk}, \quad (7)$$

де M – загальна кількість блоків алгоритму, S_{bk} – обчислювальна складність k -го блоку.

У нашому випадку:

$$S = O(N) * O(N-1) + O(N) * O(N-1) + O(N) + O(N) + O(N) + O(N) + O(N) + O(N) + O(N).$$

Згідно правил спрощення виразів функції обчислювальної складності [10, 11], сумарна обчислювальна складність комбінованого алгоритму становить:

$$S = O(N * (N-1)).$$

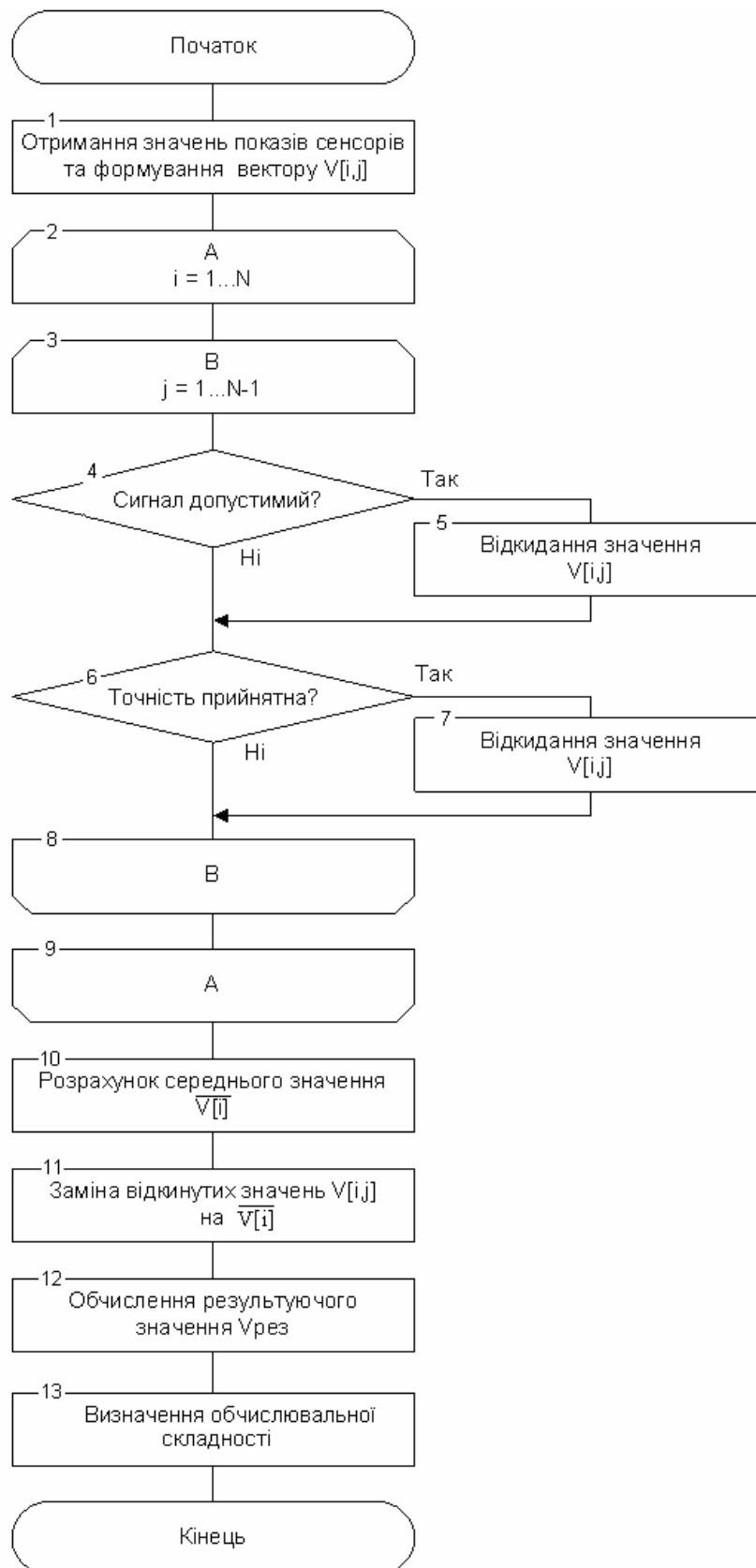


Рис. 1. Блок-схема комбінованого алгоритму злиття сенсорних даних

2.2. Верифікація розробленого алгоритму

Верифікація розробленого алгоритму проводилась шляхом його порівняльної оцінки з відомими алгоритмами на експериментальних даних. При обраній кількості ІС $N=8$, згідно з (1), кількість неправильно працюючих ІС $t \leq 2$, тобто шість ІС функціонують правильно, а сьомий і восьмий – з помилками; вони посилають різні значення іншим ІС. Покази сигналів, які приймає кожен ІС, представлені в таблиці 1, значення істинного сигналу дорівнює 3,1.

		Покази значень, які приймають ІС							
		ІС, які передають інформацію							
ІС, які приймають покази		1	2	3	4	5	6	7	8
	1	2,1±2	4,3±1,5	3,3±4	6,3±5,1	3,0±1,2	2,9±3,1	6,9±4,3	2,9±1,7
	2	2,1±2	4,3±1,5	3,3±4	6,3±5,1	3,0±1,2	2,9±3,1	3,2±4,3	1,8±1,7
	3	2,1±2	4,3±1,5	3,3±4	6,3±5,1	3,0±1,2	2,9±3,1	2,2±4,3	2,3±1,7
	4	2,1±2	4,3±1,5	3,3±4	6,3±5,1	3,0±1,2	2,9±3,1	1,9±4,3	6,2±1,7
	5	2,1±2	4,3±1,5	3,3±4	6,3±5,1	3,0±1,2	2,9±3,1	5,3±4,3	4,1±1,7
	6	2,1±2	4,3±1,5	3,3±4	6,3±5,1	3,0±1,2	2,9±3,1	3,3±4,3	2,2±1,7
	7	2,1±2	4,3±1,5	3,3±4	6,3±5,1	3,0±1,2	2,9±3,1	3,8±4,3	4,3±1,7
	8	2,1±2	4,3±1,5	3,3±4	6,3±5,1	3,0±1,2	2,9±3,1	3,1±4,3	1,6±1,7

На основі даних табл. 1 та згідно з (5) розраховані результуючі показники всіх алгоритмів. Розрахунки проводились на імітаційних моделях реалізованих у системі Matlab [12], у яких задавалися значення показів сенсорів та діапазони точності. Результати розрахунків відображено у табл. 2 та графічно представлено (рис. 2).

Таблиця 2

Результуючі показники алгоритмів сенсорних даних					
№ зп.	Назва алгоритму	Результуюче значення	Відхилення від номіналу	Обчислювальна складність	Час виконання, с
1	D. Dolev	3.290	0.19	$\min [O(N^*t), O(N^*\log N)]$	0.031
2	S.Mahaney та F.Schneider	3.213	0.11	$O(N^*\log N)$	0.046
3	R.Brooks та S.Iyengar	3.031	-0.07	$O(N^*\log N)$	0.077
4	Алгоритм СКВК	3.150	0.05	$O(N^*(N-1))$	0.093
5	Комбінований алгоритм	3.075	-0.03	$O(N^*(N-1))$	0.068

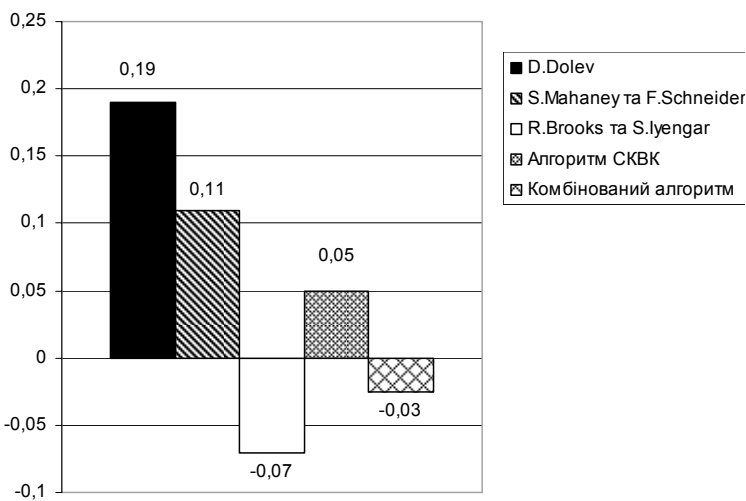


Рис. 2. Графічне представлення результатів експериментів

Як видно з табл. 2 та рис. 2 запропонований алгоритм дає найменше відхилення (-0.03), яке при рівній обчислювальній складності і меншому в 1,4 рази часу виконання, є майже вдвічі менше від найкращого результату алгоритму СКВК (0.05) [9] та приблизно у 6 разів менше від алгоритму представленого D.Dolev [8].

Висновки

Виконано експериментальну оцінку і розроблено новий алгоритм злиття сенсорних даних, який дає найменше відхилення від істинного значення показів сенсорів інтелектуальних дистрибутивних сенсорних мережах.

Видається перспективним подальше дослідження шляхів покращення алгоритмів злиття сенсорних даних з використанням методів штучного інтелекту.

Література

1. Akyildiz I., Su W., Sankarasubramaniam Y., Caurici E. A Survey on Sensor Network // Proc. of the IEEE Computer, 2002. P. 102-114.
2. Iyengar S., Seetharaman G., Kannan R., Durresi A., Park S., Brooks R.R., Krishnamachari B., Morrison J. Next Generation Distributed Sensor Networks // Proc. of Office of Naval Research. 2004, USA. P. 210-217.
3. Small T., Haas Z., Purgue A., Frstrup K. A Sensor Network for Biological Data Acquisition // Proc. of the fourth ACM International Symposium on Mobile Ad Hoc Networking&Computing. 2003. P. 114-132.
4. Szewczyk R., Osterweil E., Polastre J., Hamilton M., Mainwaring A., Estrin D. Habitat monitoring with

sensor networks // Proc. Of Communications of the ACM, 2004. Vol. 47, No. 6. P. 34-40.

5. Iyengar S., Wu Q., Rao N. Networking Paradigm for Distributed Sensor Networks // Proc. of IEEE International Workshop on Intelligent Data Acquisition and Advanced Computing Systems: Technology and Applications 8-10 September 2003, Lviv, Ukraine. P. 284-290.

6. Hall D., Llinas J. An Introduction to Multisensor Data Fusion // Proc. of the IEEE, Vol. 85, No. 1, January 1997. P. 6-23.

7. Lamport L., Shostak R., and Pease M. The Byzantine Generals Problem // Proc. of the ACM Trans. Program. Lang. Syst., July 1982, P.382-401

8. Brooks R., Iengar S. Multi-sensor Fusion: fundamental and applications with software. New Jersey: Prentice-Hall, 1998. 489 p.

9. Коваль В., Саченко О., Васильків Н. Алгоритми об'єднання даних в інтелектуальних дистрибутивних сенсорних мережах // Вісник Тернопільської академії народного господарства. – 2000. – № 10. – С.24-30.

10. Структуры и алгоритмы. Оценка программ. – <http://www.structur.h1.ru/ocenka.htm>

11. Дорошенко А.Е., Жереб К.А., Яценко Е.А. Об оценке сложности и координации вычислений в многопоточных программах // Проблемы програмування. – 2007. – № 2. – С. 41-54.

12. Hahn B., Valentine D. Essential Matlab® for Engineers and Scientists. 3-rd edition. Elsevier: 2007. 430 p.

Надійшла 24.5.2008 р.

УДК 531.7.08

Ю.Г. ВЕДМІЦЬКИЙ

Вінницький національний технічний університет

ВИМІРЮВАЛЬНЕ ПЕРЕТВОРЕННЯ І КОНТРОЛЬ МОМЕНТУ ІНЕРЦІЇ МЕХАНІЧНИХ ТА ЕЛЕКТРОМЕХАНІЧНИХ СИСТЕМ В ПРОЦЕСІ ЇХ ЕКСПЛУАТАЦІЇ. ТЕОРІЯ І ПРАКТИКА

В роботі розвинута загальна теорія вимірювального перетворення і контролю моменту інерції механічних та електромеханічних систем з обертальною формою руху і доведена її практична спроможність.

Вступ

Під час експлуатації механічних та електромеханічних систем з обертальною формою руху постає задача вимірювального перетворення і автоматизованого контролю їх моменту інерції, що в виробничих умовах є водночас і важливим, і складним.

Перше зумовлене тією обставиною, що момент інерції є однією з основних динамічних характеристик системи і визначає міру її інертності. Будь-яка зміна моменту інерції під час експлуатації системи призводить до зміни її властивостей, незалежно від причин, що викликали таку зміну. В першу чергу, це позначається на динамічних властивостях самої системи, оскільки причинами зміни моменту інерції механічних та електромеханічних систем можуть бути, звісно, різноманітні обставини, але в усіх без винятку випадках кінцевим фактором залишається перерозподіл фізичної маси їх обертючих частин в просторі.

За певних обставин такий перерозподіл, а отже, і зміна моменту інерції системи можуть виявитися критичними і призвести до незворотних наслідків.

Так, наприклад, досить небезпечними є повільні деформації, тобто такі, які відбуваються протягом тривалого проміжку часу. Це пояснюється тим, що, по-перше, такі деформації довго залишаються непомітними, часто навіть під час цільових обстежень системи, а по-друге, їх дестабілізуюча дія починається відразу і під час роботи системи ні на мить не припиняється, а лише посилюється із збільшенням ступеня деформації.

І друге. Складність задачі вимірювального перетворення і автоматизованого контролю моменту інерції полягає в одночасній дії багатьох чинників, більшість з яких являють собою окремі науково-технічні проблеми і або розв'язані лише частково, або не розв'язані на сьогодні взагалі.

До таких основних (фундаментальних) чинників потрібно віднести наступне.

1. Це проблема динамічного режиму роботи вимірювальних перетворювачів моменту інерції. Іншими словами, *будь-яке перетворення і контроль моменту інерції вимагають перехідного процесу для об'єкту вимірювання і можливе тільки за цієї умови*, що принципово унеможлиблює створення статичного еталону моменту інерції.

Звісно, ця проблема може бути в кращому випадку лише якимось чином послаблена, але розв'язаною вона бути ніколи не може в принципі.

Однак, з іншого боку, все ж важливою обставиною є її виявлення та усвідомлення, що дозволить в майбутньому уникнути багатьох ускладнень, породжених цією загальною ознакою вимірювального перетворення моменту інерції.

2. Огляд сучасного стану вимірювальних перетворювачів моменту інерції та аналіз їх теоретичного забезпечення [1-5] свідчить про відсутність на сьогодні єдиних підходів як в розробці методів вимірювання

моменту інерції, так і створенні їх математичних моделей.

Більш того, оскільки за своєю будовою наукова теорія має являти собою цілісну та внутрішньо диференційовану систему ієрархічно взаємозв'язаних, узагальнюючих, логічно сумісних між собою понять, законів та тверджень, то наразі існують всі підстави стверджувати, що як система узагальнюючих положень *теорія перетворювачів моменту інерції на сьогодні знаходиться тільки в початковій стадії свого розвитку*.

В роботах [1-4] авторами були розроблені та наведені узагальнені математичні моделі перетворювачів моменту інерції з одним (1-го і 2-го порядків) та двома (3-го порядку) ступенями вільності.

Це дозволило систематизувати відомі перетворювачі і методи перетворення моменту інерції та створило необхідні передумови для розробки нових методів перетворення з покращеними метрологічними характеристиками.

Проте все ж невіршеним залишилось, на думку автора, надзвичайно важливе питання: не була розроблена математична модель перетворювача моменту інерції довільного порядку (з n ступенями вільності), що, природно, має бути логічним завершенням самого процесу узагальнення.

3. Під час аналітичного та експериментального досліджень перетворювачів моменту інерції постає ряд суттєвих ускладнень та обмежень, які пов'язані з механічною або електромеханічною природою досліджуваних систем. Часто ці проблеми носять глибинний, системний характер і їх розв'язання засобами та методами суто теоретичної та прикладної механіки (електромеханіки) є або неефективним, або неможливим взагалі.

З іншого боку, огляд аналітичного апарату теоретичних основ електротехніки [6, 7], її методів розв'язання задач аналізу і задач синтезу (!) лінійних, нелінійних, параметричних електричних та електромагнітних систем із зосередженими та розподіленими параметрами, що перебувають як в усталених, так і перехідних режимах, а також можливостей і методів експериментального (!) дослідження таких систем, в багатьох випадках за схожих умов незаперечно доводять часткову або повну перевагу над засобами і методами дослідження механічних, електромеханічних та інших за фізичною природою динамічних систем.

Тому наразі постає проблема електричного моделювання як перетворювачів моменту інерції, так і самого процесу вимірювального перетворення і контролю.

В роботах [3, 4] була здійснена розробка електричних моделей перетворювачів моменту інерції з одним (1-го і 2-го порядків), які базуються на відомих в літературі підходах і схемах [8-13], та двома (3-го порядку) ступенями вільності.

Але, на жаль, наразі необхідно константувати, що на сьогодні загальної теорії електричного моделювання перетворювачів моменту інерції не існує взагалі. Як не існує ані узагальнених електричних схем систем-аналогів вимірювальним перетворювачам моментів інерції, ані їх розробленого математичного забезпечення.

Звісно, перелік проблем, що супроводжують вимірювальне перетворення та контроль моменту інерції можна продовжувати і далі, але, на думку автора, більшість з них будуть вторинними – похідними від наведених вище.

Так, наприклад, автоматизований контроль моменту інерції під час експлуатації механічних та електромеханічних систем з обертальною формою руху передбачає *неруїнівне* перетворення моменту інерції. Вирішення ж проблеми його математичного забезпечення можна отримати, розв'язавши другу вищенаведену проблему.

Більш того, успішне розв'язання другої та третьої з наведених проблем в загальному вигляді, на думку автора, дозволить не тільки систематизувати відомі перетворювачі та методи перетворення і контролю моменту інерції, створити необхідні передумови для розробки нових методів перетворення з покращеними метрологічними характеристиками, але виявити та обґрунтувати нові ознаки і властивості як перетворювачів моменту інерції, так і самого процесу вимірювального перетворення.

Таким чином, метою даної роботи є розвиток загальних теоретичних засад вимірювального перетворення і контролю моменту інерції механічних та електромеханічних систем з обертальною формою руху і обґрунтування їх практичної спроможності і самодостатності.

При цьому необхідно зауважити, що дана робота за жодних умов не претендує на *повний* розв'язок поставленої задачі.

1. Система узагальненого перетворювача моменту інерції

Для аналітичного розв'язання другої проблеми: забезпечення *єдиних* підходів в розробці методів вимірювання моменту інерції і створенні їх математичних моделей введемо абстрактну систему вимірювального пристрою – *узагальненого перетворювача моменту інерції* (УПМІ). Як сподівається автор, це дозволить закласти загальні теоретичні засади процесу перетворення моменту інерції і *частково* розв'язати проблему відсутності загальної теорії перетворювачів моменту інерції.

Узагальненим перетворювачем моменту інерції назвемо абстрактний вимірювальний пристрій довільного порядку (з n ступенями вільності), що реалізує вимірювальне перетворення моменту інерції в математично з ним пов'язану механічну фізичну величину – геометричну, кінематичну або динамічну, і який є узагальненою формою відносно відомих та можливих у майбутньому перетворювачів моменту інерції і перетворюється в них за окремих умов.

Як показано на рис. 1, цей пристрій має являти собою суто механічну або електромеханічну систему і складатися з *двох взаємодіючих* частин:

- самого об'єкту вимірювання (контролю), який за природою є або механічною, або

електромеханічною системою (назвемо цю частину підсистемою А);

- деякої додаткової суто механічної системи з наперед заданими властивостями та в'язями (підсистема В), що певним наперед заданим чином зв'язана з об'єктом вимірювання і створює для нього або поле активних сил, спонукаючи до руху, або поле реакції в'язей, обмежуючи цей рух. Отже, як і підсистема А, підсистема В визначає стан перетворювача як системи і впливає на систему його рівнянь руху.

Наразі у зв'язку з введеним базовим поняттям УПМІ необхідно зробити кілька важливих зауважень.

Перше. Наведене означення та структурна схема УПМІ не вступає в протиріччя з жодним з існуючих на сьогодні засобів та методів перетворення моменту інерції. Це стосується і окремого випадку, коли підсистема В відсутня зовсім.

Тому в частині саме перетворення моменту інерції як вхідної величини структурну схему будь-якого з існуючих перетворювачів можна подати через структурну схему введеного абстрактного узагальненого перетворювача моменту інерції.

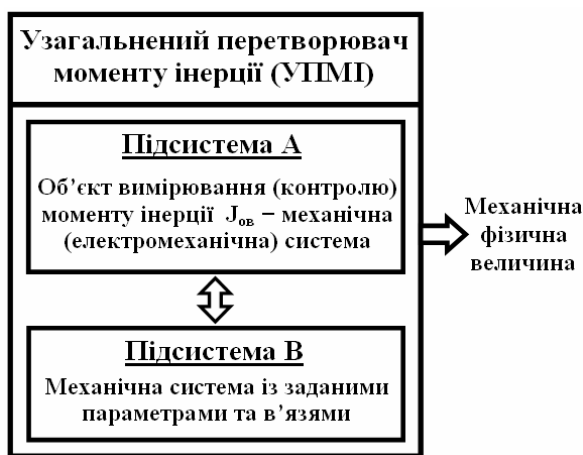


Рис. 1. Структурна схема узагальненого перетворювача моменту інерції

Відмінність лише може полягати в тому, чи буде рухатися підсистема А в заданому зовнішньому полі, що створене підсистемою В, чи навпаки. На практиці в існуючих засобах та методах перетворення моменту інерції в різних випадках авторами щодо цього закладені обидві концепції [1, 5]. Проте ця відмінність з точки зору спільного руху обох підсистем як єдиної механічної системи не має значення, оскільки на системі рівнянь руху УПМІ не позначається.

Друге. Математичною моделлю узагальненого перетворювача моменту інерції мають бути *рівняння руху* самого перетворювача як механічної (електромеханічної) системи, записані в тій чи іншій формі, оскільки обов'язково явно чи неявно в системі рівнянь будуть присутні і момент інерції як вхідна величина, так і інша механічна фізична величина, що обрана вихідною.

Третє. Природно, що математична модель узагальненого перетворювача моменту інерції буде також *узагальненою*.

І останнє – четверте. Огляд відомих перетворювачів та методів перетворення моменту дають можливість стверджувати і будемо сприймати це твердження як аксіому, що *пряме вимірювальне перетворення моменту інерції в фізичну величину немеханічного походження є або теоретично неможливим (для механічної системи УПМІ), або практично недоцільним (для електромеханічної системи УПМІ)*.

Як наслідок, перетворення моменту інерції в фізичну величину немеханічного походження, наприклад, електричного, вимагає *не менше двох операцій перетворення*, першою з яких обов'язково має бути перетворення моменту інерції в механічну фізичну величину.

Таким чином, система УПМІ є первинним, основним і обов'язковим елементом будь-якого вимірювального каналу моменту інерції.

2. Вимірювальний канал моменту інерції

Вимірювальним каналом моменту інерції будемо називати сукупність засобів вимірювальної техніки, засобів зв'язку та інших технічних засобів, що призначена для створення сигналу вимірювальної інформації про момент інерції об'єкту вимірювання (контролю).

Як впливає із вищенаведених тверджень, перетворення в такому каналі мають здійснюватися послідовно, що вимагає каскадного з'єднання вторинних вимірювальних перетворювачів. Тому структурна схема вимірювального каналу моменту інерції буде мати вид, показаний на рис. 2.

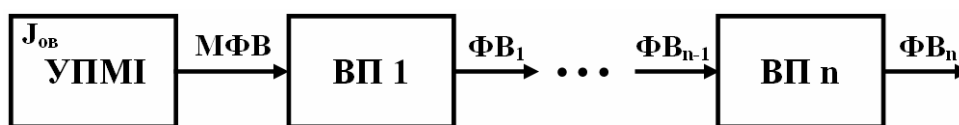


Рис. 2. Структурна схема вимірювального каналу моменту інерції

На рис. 2:

- УПМІ – узагальнений перетворювач моменту інерції, який, відповідно до означення, здійснює перетворення моменту інерції $J_{ов}$ в механічну (геометричну, кінематичну або динамічну) фізичну величину (МФВ);

- ВП – вимірювальні перетворювачі, призначення яких полягає в послідовному вторинному перетворенні механічної фізичної величини в інші фізичні величини (ФВ) як механічного походження, так і немеханічного.

3. Математична модель механічної та електромеханічної системи УПМІ

Як було показано вище, математичною моделлю узагальненого перетворювача моменту інерції мають бути його рівняння руху.

Математична модель механічної системи УПМІ

Математичну модель суто механічної системи УПМІ отримаємо, скориставшись варіаційними принципами аналітичної механіки, зокрема *принципом Даламбера-Лагранжа* [13]. Системою рівнянь руху УПМІ є сукупність рівнянь руху підсистем А та В, якщо тільки ці диференціальні рівняння отримані з врахуванням силової взаємодії між означеними підсистемами. Виходячи з цього положення, неважко довести, що системою рівнянь руху механічної системи УПМІ є система n диференціальних рівнянь другого порядку, складених відносно узагальнених координат і представлених у формі *рівнянь Лагранжа другого роду* [13]

$$\frac{d}{dt} \left[\frac{\partial}{\partial \dot{q}_s} T_A(J_{OB}) \right] + \frac{d}{dt} \left(\frac{\partial T_B}{\partial \dot{q}_s} \right) - \left[\frac{\partial}{\partial q_s} T_A(J_{OB}) + \frac{\partial T_B}{\partial q_s} \right] = Q_s^{(A)} + Q_s^{(B)}, \quad s = 1, 2, \dots, n, \quad (1)$$

де q_s і \dot{q}_s – узагальнені координати та узагальнені швидкості, T_A і T_B – кінетичні енергії відповідно підсистем А та В, $Q_s^{(A)}$ і $Q_s^{(B)}$ – їх узагальнені сили.

Система рівнянь (1) є узагальненою математичною моделлю будь-якого *теоретично можливого* перетворювача моменту інерції.

Спростимо систему (1), врахувавши ті особливості, що притаманні, як показує огляд [1, 5], рухові будь-якого з відомих на сьогодні перетворювачів моменту інерції. Тоді математична модель (1) набуде вигляду

$$\begin{cases} (J_{OB} + m_A l^2) \ddot{q}_1 = M_A^{(m)} - \frac{\partial \Pi}{\partial q_1} - \frac{\partial \Phi}{\partial \dot{q}_1}, \\ \frac{d}{dt} \frac{\partial T_B}{\partial \dot{q}_s} - \frac{\partial T_B}{\partial q_s} = Q_s - \frac{\partial \Pi}{\partial q_s} - \frac{\partial \Phi}{\partial \dot{q}_s}, \quad s = 2, 3, \dots, n, \end{cases} \quad (2)$$

де m_A – повна маса підсистеми А, $M_A^{(m)}$ – механічний головний момент сили підсистеми А відносно її осі обертання, Π – потенціальна енергія системи УПМІ, Φ – дисипативна функція Релея (функція розсіювання).

Диференціальні рівняння (2) є математичною моделлю механічної системи УПМІ, а отже, будь-якого з нині відомих або можливих у майбутньому перетворювачів моменту інерції.

Як вже зазначалося, обов'язковою ознакою під час здійснення *контролю* моменту інерції є *неруйнівний* характер перетворення інформативного параметра.

Для неруйнівного перетворення відстань l між віссю обертання підсистеми А та паралельною до неї однією з головних центральних осей інерції, тобто віссю, відносно якої і визначається момент інерції об'єкта вимірювання J_{OB} , має дорівнювати нулю. Тому за цієї умови для неруйнівних перетворювачів, як це і випливає з системи (2), можна записати

$$\begin{cases} J_{OB} \ddot{q}_1 = M_A^{(m)} - \frac{\partial \Pi}{\partial q_1} - \frac{\partial \Phi}{\partial \dot{q}_1}, \\ \frac{d}{dt} \frac{\partial T_B}{\partial \dot{q}_s} - \frac{\partial T_B}{\partial q_s} = Q_s - \frac{\partial \Pi}{\partial q_s} - \frac{\partial \Phi}{\partial \dot{q}_s}, \quad s = 2, 3, \dots, n. \end{cases} \quad (3)$$

Математична модель електромеханічної системи УПМІ

У випадку, якщо підсистема А буде *електромеханічною*, то її рух, як і рух системи УПМІ в цілому, визначатиметься дією та взаємодією не тільки механічних сил, але і сил *електромагнітного* походження [6, 13, 14], що супроводжуватиметься збільшенням кількості незалежних змінних, які однозначно будуть описувати стан та рух електромеханічної системи УПМІ. За цих умов математична модель механічної системи УПМІ (2) має бути доповнена додатковими електричними координатами та *рівняннями Лагранжа-Максвелла*

$$\begin{cases} (J_{OB} + m_A l^2) \ddot{q}_1 = M_A^{(m)} + M_A^{(e)} - \frac{\partial \Pi}{\partial q_1} - \frac{\partial \Phi}{\partial \dot{q}_1}, \\ \frac{d}{dt} \left(\frac{\partial T_B}{\partial \dot{q}_s} \right) - \frac{\partial T_B}{\partial q_s} = Q_s - \frac{\partial \Pi}{\partial q_s} - \frac{\partial \Phi}{\partial \dot{q}_s}, \quad s = 2, 3, \dots, n, \\ \frac{d}{dt} \left(\frac{\partial W_A^{(m)}}{\partial i_s} \right) - \frac{\partial W_A^{(m)}}{\partial q_s^{(e)}} = e_s - \frac{\partial W_A^{(e)}}{\partial q_s^{(e)}} - \frac{\partial \Phi_A^{(e)}}{\partial i_s}, \quad s = n+1, \dots, k, \end{cases} \quad (4)$$

де k – ступінь вільності електромеханічної системи УПМІ ($k > n$); $n+1, n+2, \dots, k$ – система

незалежних електричних контурів підсистеми А; $q_s^{(e)}$ – узагальнені електричні координати підсистеми А; i_s – контурні струми, що проходять незалежними контурами підсистеми А; $W_A^{(m)}$ – енергія магнітного поля підсистеми А; $W_A^{(e)}$ – енергія електричного поля підсистеми А; $\Phi_A^{(e)}$ – електрична дисипативна функція Релея, що характеризує інтенсивність розсіювання енергії внаслідок циркуляції в середовищі підсистеми А контурних струмів; $M_A^{(e)}$ – обертальний момент, що створюється внаслідок дії на підсистему А електромагнітних сил; e_s – контурні електрорушійні сили – зовнішні джерела електричної енергії та наведені е.р.с.

Аналіз системи рівнянь (4) показує, що ні кінетична енергія підсистеми В, ні потенціальна енергія системи УПМІ, ані механічна дисипативна функція Релея не залежать від узагальнених електричних координат і контурних струмів. Тому наразі переписемо дану систему у вигляді системи рівнянь (2),

$$\begin{cases} (J_{OB} + m_A l^2) \ddot{q}_1 = M_A^{(m)} + M_A^{(e)} - \frac{\partial \Pi}{\partial q_1} - \frac{\partial \Phi}{\partial \dot{q}_1}, \\ \frac{d}{dt} \left(\frac{\partial T_B}{\partial \dot{q}_s} \right) - \frac{\partial T_B}{\partial q_s} = Q_s - \frac{\partial \Pi}{\partial q_s} - \frac{\partial \Phi}{\partial \dot{q}_s}, s = 2, \dots, n, \end{cases} \quad (5)$$

врахувавши при цьому, що обертальний момент підсистеми А $M_A^{(e)}$ математично пов'язаний з узагальненими електричними координатами $q_{n+1}^{(e)}, q_{n+2}^{(e)}, \dots, q_k^{(e)}$ та контурними струмами $i_{n+1}, i_{n+2}, \dots, i_k$ і в загальному випадку залежить від часу t .

Отримана математична модель електромеханічної системи УПМІ (5) являє собою систему диференціальних рівнянь другого порядку відносно узагальнених координат q_1, q_2, \dots, q_n , що представлена у формі рівнянь Лагранжа другого роду. За умови відсутності дії електромагнітних сил $M_A^{(e)} = 0$ і ця математична модель трансформується в математичну модель суто механічної системи УПМІ (2).

4. Теоретичні засади електричного моделювання процесу вимірювального перетворення і контролю моменту інерції

Розв'язання другої проблеми, висвітленої у вступі, дозволяє розв'язати третю проблему і закласти теоретичне підґрунтя для розвитку теоретичних засад електричного моделювання перетворювачів моменту інерції.

Для розробки електричних моделей перетворювачів моменту інерції скористаємося *теорією динамічних аналогій* (методом електромеханічних аналогій) [3, 4, 8-12]. Відповідно до цієї теорії і механічна (електромеханічна), і деяка інша за природою система (системи), зокрема електрична, можуть бути *подібними* як *якісно*, так і *кількісно*.

Практично це означає, що моменту інерції об'єкта вимірювання (контролю) можна поставити у відповідність деякий параметр електричного кола-аналога. А саме електричне коло, в свою чергу, розглядати як перетворювач цього параметра в іншу фізичну величину електричного походження.

Наразі постає низка питань. В яких системах узагальнених координат мають бути побудовані електричні моделі перетворювача моменту інерції? В яких системах диференціальних рівнянь? Якими мають бути їх структурні та загальні електричні схеми?

Дані питання є доволі важливими і та чи інша відповідь на них приводить, як це впливає з принципу дуальності електричних кіл [6], до створення двох принципово різних електричних моделей.

В свою чергу, теорія динамічних аналогій вирізняє дві системи електродинамічних аналогій, які умовно називають *першою* (аналогія типу «сила-напруга») і *другою* (аналогія типу «сила-струм») [3, 8-13].

Тому будь-який перетворювач моменту інерції, а отже і система УПМІ, може мати дві принципово різні електричні моделі, стан і рух кожної з яких описуватимуться своєю системою електродинамічних аналогій. Назвемо умовно відповідні електричні моделі системи УПМІ *першою* і *другою електричними моделями системи УПМІ*.

Перша електрична модель системи УПМІ

Скористаємося основними положеннями теорії динамічних аналогій і опишемо рух першої електричної моделі системи УПМІ в рівняннях Лагранжа-Максвелла, що відповідно до першої системи електродинамічних аналогій [8-12] набувають вигляду *другого закону Кірхгофа*.

Тоді на основі рівнянь руху УПМІ (2) та (5) для *першої електричної моделі* УПМІ можна записати

$$\begin{cases} (L_{OB} + L) \ddot{q}_1^{(e)} = e_1 - \frac{\partial W_e}{\partial q_1^{(e)}} - \frac{\partial \Phi_e}{\partial i_1} \\ \frac{d}{dt} \frac{\partial W_M}{\partial i_s} = e_s - \frac{\partial W_e}{\partial q_s^{(e)}} - \frac{\partial \Phi_e}{\partial i_s}, \quad s = 2, 3, \dots, n, \end{cases} \quad (6)$$

де L_{OB} і L – індуктивності, які є аналогами для моментів інерції, відповідно, J_{OB} і $m_A l^2$.

В системі рівнянь (6) враховано, що електромагнітні коефіцієнти індукції залежать виключно від узагальнених швидкостей (контурних струмів) і не залежать від узагальнених координат *явно* (інакше енергія магнітного поля електричної системи за умови сталості її контурних струмів безперервно зростала б, що не відповідає дійсності).

На рис. 3 наведено узагальнену електричну схему першої електричної моделі УПМІ, електричний стан якої і описується системою диференціальних рівнянь (6).

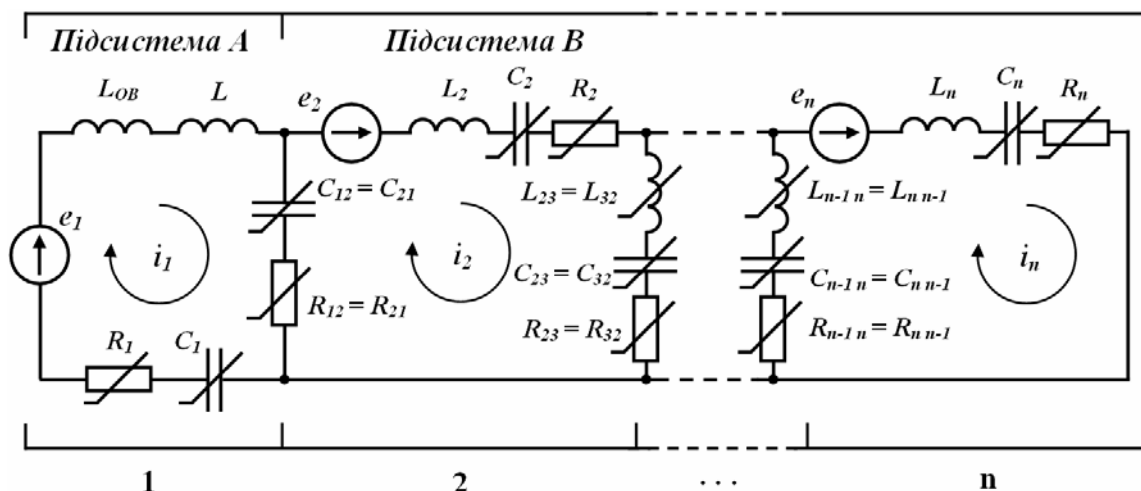


Рис. 3. Узагальнена схема першої електричної моделі системи УПМІ

Для побудови узагальненої схеми, зображеної на рис. 3, було враховано наступне.

Структура схеми електричної моделі УПМІ має бути схожою на структуру самого УПМІ і складатися з двох взаємодіючих електричних частин – підсистем А та В. Що ж стосується електричної схеми першої електричної моделі УПМІ, то електричне коло такої моделі має складатися з n незалежних контурів, в кожному з яких циркулюють контурні струми $i_s = \dot{q}_s^{(e)}$. При цьому n повинно збігатися із ступенем вільності самої системи УПМІ. В склад такого кола мають входити власні та спільні накопичувачі енергій магнітного та електричного полів, дисипативні елементи та джерела електричної енергії. В цьому колі взаємодія між електричними підсистемами А та В має здійснюватися через спільні вітки між контурами, одна з яких і наведена на схемі (для контурів 1 та 2).

Друга електрична модель системи УПМІ

В основу *другої електричної моделі* УПМІ покладемо другу систему електродинамічних аналогій. Тоді електричним аналогом математичних моделей УПМІ (2) та (5) буде система рівнянь Лагранжа-Максвелла, яка являтиме собою *перший закон Кірхгофа* для електричних кіл

$$\begin{cases} (C_{OB} + C) \ddot{\psi}_1 = J_1 - \frac{\partial W_M}{\partial \psi_1} - \frac{\partial \Phi_e}{\partial \varphi_1} \\ \frac{d}{dt} \frac{\partial W_e}{\partial \varphi_s} = J_s - \frac{\partial W_M}{\partial \psi_s} - \frac{\partial \Phi_e}{\partial \varphi_s}, \quad s = 2, 3, \dots, n. \end{cases} \quad (7)$$

Як і випадку з першою електричною моделлю, структурна схема другої електричної моделі УПМІ має бути схожою на структурну схему УПМІ і складатися з двох взаємодіючих електричних підсистем А та В.

Електрична ж схема другої електричної моделі УПМІ має бути дуальною відносно першої електричної моделі і являти собою електричне коло, що містить $n + 1$ вузлів (рис. 4), електричний потенціал одного з яких (наприклад, останнього) дорівнює нулю. В склад такого кола мають входити власні та спільні накопичувачі енергій електричного та магнітного полів, дисипативні елементи та джерела електричної енергії. Останні мають бути джерелами струму.

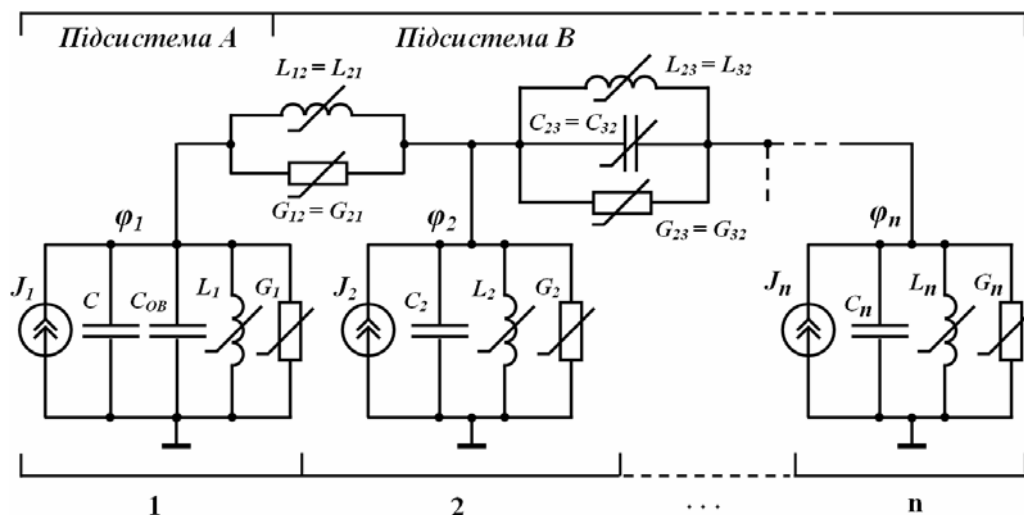


Рис. 4. Узагальнена схема другої електричної моделі системи УПМІ

В цьому електричному колі, що побудоване в другій системі електродинамічних аналогій також враховані всі особливості, що притаманні рухові системи УПМІ.

Взаємодія між електричними підсистемами А та В здійснюється через спільні вітки між вузлами. На схемі (рис. 4) для спрощення наведено тільки один зв'язок (між вузлами 1 та 2).

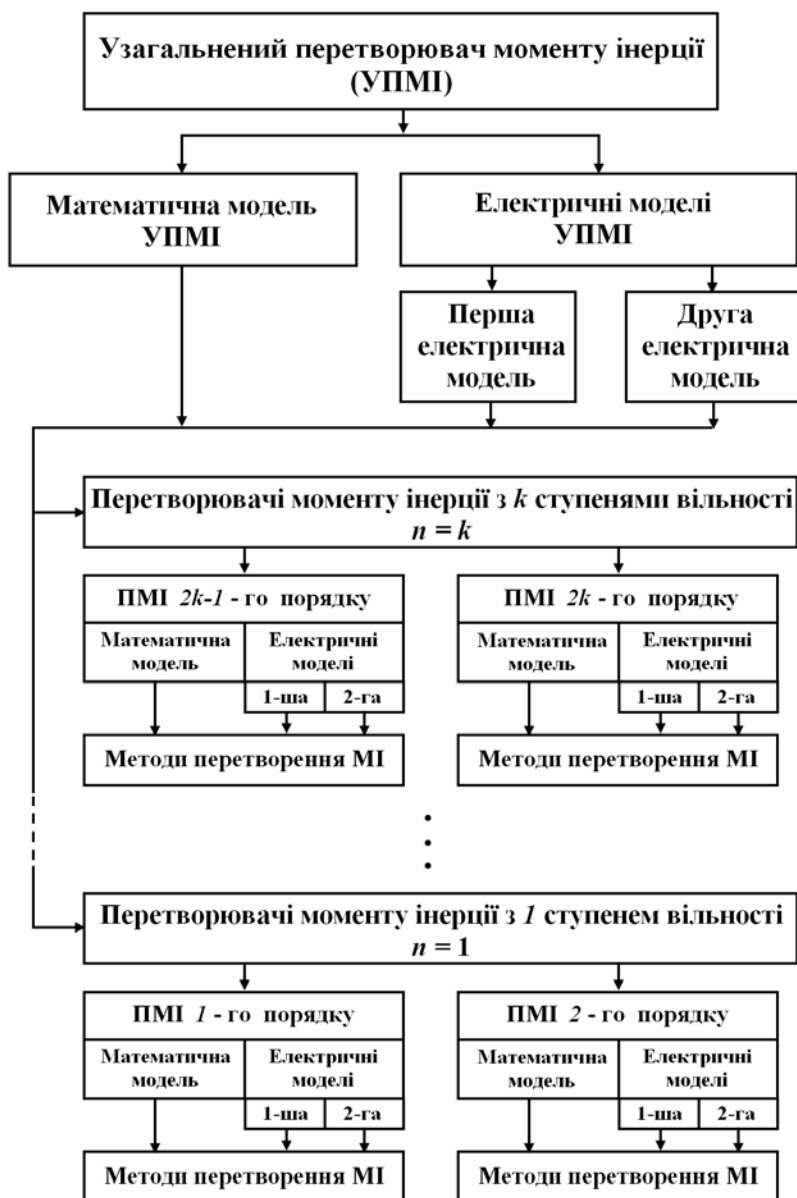


Рис. 5. Структурна схема систематизації перетворювачів моменту інерції

5. Систематизація перетворювачів, електричних моделей і методів вимірювального перетворення та контролю моменту інерції

Система УПМІ, його математична (5) та електричні моделі (6) і (7) дозволяють звести всі відомі і можливі у майбутньому перетворювачі та методи перетворення і контролю моменту інерції до ієрархічної єдності, утворивши багаторівневу структурну форму з ознаками підпорядкування об'єктів нижнього рівня об'єктам верхнього рівня, з послідовним сходженням до самої системи УПМІ (рис. 5).

З рис. 5 видно, що для систематизації необхідно, як показує аналіз математичної та електричних моделей УПМІ, за основу поділу вибрати число ступенів вільності n системи перетворювача моменту інерції, а за істотну ознаку – порядок диференціального рівняння руху системи. Останній, як відомо, зв'язаний із ступенем вільності. За такого вибору поділ існуючих та можливих перетворювачів, їх математичних і електричних моделей та методів перетворення і контролю моменту інерції буде послідовним, співмірним, а його члени виключатимуть один одного.

6. Нові методи вимірювання і контролю моменту інерції

Розв'язання другої та третьої проблем (див. вступ), що було здійснено в даній роботі, створює, серед іншого, необхідні сприятливі умови для розробки нових перспективних методів вимірювального перетворення і контролю моменту інерції з покращеними метрологічними характеристиками.

Так, наприклад, кількість ступенів вільності багатьох відомих на сьогодні перетворювачів та методів перетворення і контролю моменту інерції [1, 5] не перевищує одиниці (рис. 5). Тоді узагальнену математичну модель для них можна отримати на підставі математичної моделі системи УПМІ (2) або (5) за умови $n = 1$

$$(J_{OB} + m_A l^2) \ddot{q}_1 = M_A^{(m)} + M_A^{(e)} - \frac{\partial \Pi}{\partial q_1} - \frac{\partial \Phi}{\partial \dot{q}_1}. \quad (8)$$

З іншого боку, рівняння (8) є внаслідок його узагальненості достатнім математичним забезпеченням для нових перетворювачів з одним ступенем вільності (1-го і 2-го порядків) та методів перетворення. Нижче в таблиці 1 наведено деякі з таких нових методів вимірювального перетворення і контролю моменту інерції.

Таблиця 1

№	Назва методу	Рівняння перетворення	Математична модель
Перетворювач моменту інерції 1-го порядку			
1	Часовий метод	$J_{OB} = J_{zp} \frac{t_2}{t_1 - t_2}$	1. Математична модель УПМІ за умови $n = 1$: $(J_{OB} + J_{zp}) \ddot{q}_1 = M_A^{(m)} + M_A^{(e)} - \frac{\partial \Pi}{\partial q_1} - \frac{\partial \Phi}{\partial \dot{q}_1}$. 2. Лінеаризована математична модель за умов $M_A^{(m)} = 0, M_A^{(e)} = 0$ (режим самогальмування): $(J_{OB} + J_{zp}) \ddot{q}_1 + \beta \dot{q}_1 = 0$. 3. Загальний розв'язок: $\dot{q}_1 = C_1 e^{pt} + \dot{q}_{1np}, p = -\frac{\beta}{J_{OB} + J_{zp}}$.
2	Тау-метод	$J_{OB} = \beta \Delta t$	
3	Тау-метод зі зразковим моментом інерції	$J_{OB} = J_{zp} \frac{\Delta t_2}{\Delta t_1 - \Delta t_2}$	
4	Метод рівних інтервалів	$J_{OB} = \frac{\beta}{k_{i+1}} \Delta t$	
5	Метод рівних інтервалів зі зразковим моментом інерції	$J_{OB} = \frac{1}{K_{i+1}} J_{zp}$	
Перетворювач моменту інерції 2-го порядку			
1	Метод двох максимумів	$J_{OB} = \frac{\beta}{k} T$	1. Лінеаризована математична модель в режимі самогальмування: $(J_{OB} + J_{zp}) \ddot{q}_1 + \beta \dot{q}_1 + \zeta q_1 = 0$. 2. Загальні розв'язки: а) $\dot{q}_1 = C_1 e^{p_1 t} + C_2 e^{p_2 t} + \dot{q}_{1np}, D > 0$; б) $\dot{q}_1 = (C_1 + C_2 t) e^{pt} + \dot{q}_{1np}, D = 0$; в) $\dot{q}_1 = (C_1 \cos wt + C_2 \sin wt) e^{\delta t} + \dot{q}_{1np}, D = \beta^2 - 4\zeta(J_{OB} + J_{zp}) < 0$.
2	Частотний метод	$J_{OB} = \frac{c}{w^2}$	
3	Частотний метод зі зразковим моментом інерції	$J_{OB} = J_{zp} \frac{w_2^2}{w_1^2 - w_2^2}$	
4	Комплексний метод	$J_{OB} = \frac{c}{\delta^2 + w^2}$	

Висновки

В роботі розвинута загальна теорія вимірювального перетворення і контролю моменту інерції механічних та електромеханічних систем з обертальною формою руху і обґрунтована її практична спроможність та самодостатність. Для цього:

- 1) Введено поняття системи узагальненого перетворювача моменту інерції (УПМІ) – найзагальнішої

форми відносно відомих та можливих у майбутньому перетворювачів моменту інерції. Це надало змогу сформуванню їх загальної структурної схеми і на основі варіаційних принципів аналітичної механіки розробити узагальнену математичну модель в рівняннях Лагранжа другого роду.

2) На основі системи УПМІ, її математичної моделі за допомогою теорії динамічних аналогій побудовані перша та друга електричні моделі системи УПМІ, розроблені їх структурні та електричні схеми, отримані диференціальні рівняння руху в формі рівнянь Лагранжа-Максвелла, що дозволяє проводити теоретичні та експериментальні дослідження систем перетворювачів моменту інерції (як існуючих, так і можливих), їх методів перетворення, застосовуючи аналітичний апарат теоретичної електротехніки.

3) Проведена систематизація всіх відомих на сьогодні і можливих у майбутньому перетворювачів та методів перетворення і контролю моменту інерції, в основу якої покладене число ступенів вільності та порядок диференціального рівняння руху системи.

4) На основі математичної моделі системи УПМІ розроблені і представлені нові методи перетворення і контролю моменту інерції з покращеними метрологічними характеристиками.

Література

1. Ведміцький Ю. Г., Кухарчук В. В. До питання розв'язку проблеми систематизації математичних моделей і методів перетворення моменту інерції. Огляд та перспектива // Вісник Кременчуцького державного політехнічного університету. – 2006. – Випуск 3 (38). – Ч. 1. – С. 130-133.
2. Ведміцький Ю.Г., Кухарчук В. В. Рівняння Лагранжа як основа теорії перетворювачів моменту інерції // Вісник Кременчуцького державного політехнічного університету. – 2005. – № 3 (32). – С. 89-91.
3. Кухарчук В. В., Ведміцький Ю. Г. Теорія динамічних аналогій в перетворенні моменту інерції тіл обертання та електричні моделі існуючих і можливих вимірювальних перетворювачів // Вісник Хмельницького національного університету. – 2005. – № 4. Ч. 1. Т.1 (68). – С. 122-128.
4. Кухарчук В. В., Ведміцький Ю. Г. Математичні і електричні моделі перетворювача моменту інерції з двома ступенями вільності // Матеріали VIII міжнародної конференції КУСС-2005. – Вінниця. – С. 69.
5. Гернет М. М., Ратобильский В. Ф. Определение моментов инерции. – М.: Машиностроение, 1985. – 248 с.
6. Перхач В. С. Теоретична електротехніка: Підручник. – К.: Вища шк., 1992. – 439 с.
7. Карпов Ю. О., Магас Т. Є., Ведміцький Ю. Г. Теоретичні основи електротехніки. Перехідні процеси в лінійних електричних колах. – Вінниця: «УНІВЕРСУМ-Вінниця», 2004. – 159 с.
8. Olson H.F. Dynamical Analogies. – New York: D. Van Nostrand company, 1943. – 197 с.
9. Ольсон Г. Динамические аналогии. – Гизиностр. лит., 1947. – 224 с.
10. Фурдуев В. В. Электроакустика. – М. – Л.: Гос. изд-во техн. лит-ры, 1948. – 515 с.
11. Вибрации в технике: Справочник: В 6-и т. / Ред. совет: В. Н. Челомей (пред.). – М.: Машиностроение, 1978 – Т.1. Колебания линейных систем / Под ред. В. В. Болотина. 1978. – 352 с.
12. Гамбурцев Г. А. О существовании электромеханических аналогий // Докл. АН СССР. – 1948. – 60 (8). – С. 1335-1337.
13. Павловський М. А. Теоретична механіка. – К.: Техніка, 2002. – 512 с.
14. Скубов Д.Ю., Ходжаев К.Ш. Нелинейная электромеханика. – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2003. – 360 с.

Надійшла 25.5.2008 р.

УДК 004.832.34

Є.Г. ГНАТЧУК

Хмельницький національний університет

ІНФОРМАЦІЙНА ТЕХНОЛОГІЯ ПОДАВАННЯ ТА ОПРАЦЮВАННЯ ЗНАТЬ НА ОСНОВІ НЕЧІТКОЇ ЛОГІКИ В ЕКСПЕРТНИХ СИСТЕМАХ ДІАГНОСТУВАННЯ КОМП'ЮТЕРНИХ ЗАСОБІВ

В статті розглянуто методи і засоби подавання та опрацювання діагностичної інформації на основі нечіткої логіки в експертних системах діагностування комп'ютерних засобів. Врахування діагностичної інформації на основі нечіткої логіки підвищує ефективність процесу діагностування комп'ютерних засобів на етапі експлуатації.

Вступ. Жорстка конкуренція на ринку комп'ютерних засобів призводить до зростання вимог щодо їх складності та надійності. Виробники пропонують мінімізувати час виходу на ринок нових моделей і модифікацій комп'ютерних засобів (КЗ), часто не встигаючи підготувати для користувачів усю необхідну технічну документацію. За відсутності достатніх об'ємів інформації про КЗ не тільки користувач не в змозі зрозуміти причину та усунути несправності, але часто і спеціаліст-діагност, не маючи достатнього досвіду роботи саме з даною моделлю КЗ, не може виявити несправність.

Етап експлуатації КЗ характеризується рядом таких особливостей, що ускладнюють процес діагностування, як: неповнота та неточність діагностичної інформації; відсутність доступу до окремих вузлів; неможливість переривання функціонування та ін [1]. Відсутність або відносна висока вартість діагностичних програм та апаратних засобів діагностування також призводить до ускладнення процесу діагностування КЗ на етапі експлуатації. За допомогою класичних методів діагностування не завжди можливо вирішити задачу діагностування КЗ на етапі експлуатації. Отже, перспективним є використання засобів діагностування, побудованих на основі компонентів штучного інтелекту, що враховують неповноту та різнотипність подавання діагностичної інформації. На сьогоднішній день в технічній діагностиці широко використовується ряд компонентів штучного інтелекту, зокрема експертні системи діагностування (ЕСД). Відомі на сьогоднішній день інструментарії побудови експертних систем (ЕС) або експертних оболонок, такі як Cadiag-2, Fault, FLOPS, FRIL, SYSTEMZ-II, FLIPS та інші – використовують різні підходи для оперування з нечіткістю знань та даних, але вони вирішують проблеми представлення нечіткої інформації тільки для вузькоспеціалізованих проблемних галузей [2-4].

Одним з основних факторів використання експертних систем діагностування є можливість збереження та подальшої експлуатації унікального досвіду досвідчених експертів-діагностів. Ефективність роботи ЕСД визначається якістю та кількістю наявних в ній знань, особливо експертних, та стратегією їх використання. Слід зауважити, що знання експертів є індивідуальними, залежать від рівня кваліфікації експерта та часто подаються у нечіткій формі. Процес діагностування комп'ютерних засобів, які у подальшому розглядатимуться у якості об'єктів діагностування (ОД), потребує врахування нечітких знань при побудові ЕСД.

Постановка задачі. Отже, для технічного діагностування комп'ютерних засобів не було розроблено експертних систем діагностування, які в змозі опрацювати нечітку інформацію. Це зумовлено відсутністю формалізмів та методів представлення нечіткої діагностичної інформації у базах знань (БЗ) експертних систем та алгоритмів її подальшого опрацювання.

Метою подальших досліджень є підвищення ефективності процесу діагностування КЗ, шляхом подавання та опрацювання знань на основі нечіткої логіки в ЕСД КЗ.

Для досягнення мети необхідно вирішити наступні задачі:

- 1) дослідити відомі методи подавання та опрацювання діагностичної інформації у галузі технічного діагностування;
- 2) розробити формалізми подавання інформації щодо об'єкта діагностування та процесу діагностування у базах знань експертних систем технічного діагностування;
- 3) розробити методи та алгоритми опрацювання знань та даних на основі нечіткої логіки у ЕСД;
- 4) розробити структурну та функційну схеми експертної системи діагностування, побудованої на основі нечіткої логіки (НЕСД);
- 5) розробити програмне забезпечення експертної системи діагностування, побудованої на основі нечіткої логіки, для апробації одержаних результатів;
- 6) провести оцінку достовірності та ефективності функціонування експертної системи діагностування, побудованої на основі нечіткої логіки.

Подання та опрацювання нечіткої діагностичної інформації. Для подавання та опрацювання діагностичних знань і даних необхідно вирішити ряд задач: 1) визначити склад інформації в базі знань та джерела інформації; 2) підготувати та представити інформацію для реалізації процесу діагностування КЗ; 3) забезпечити опрацювання інформації різними модулями НЕСД КЗ.

До складу НЕСД комп'ютерних засобів входить інформація, яка описує компоненти та елементи об'єкта діагностування, значення та параметри апаратних складових та інше [5]. Оскільки задачею діагностування КЗ передбачено виявлення несправностей, то до складу БЗ внесена інформація про можливі типи несправностей, характерні ознаки їх прояву, причини виникнення та алгоритми їх усунення. Частково така інформація представлена у нечіткій формі [5]. Джерелами інформації є: документація на апаратні складові ОД та довідкова література; експертна інформація, отримана у процесі опитування експертів.

Основною інформаційною одиницею при діагностуванні КЗ є діагностичні ознаки. Необхідність врахування великої кількості різномірної інформації у процесі накопичення знань про предметну галузь (ПГ) призводить до ускладнення процесу нечіткого логічного висновку. У процесі діагностування КЗ у багатьох випадках можна визначити несправність за візуальними ознаками її прояву та усунути причину виникнення несправності у процесі роботи КЗ. Це дозволяє підвищити ефективність діагностування за рахунок зменшення витрат часу та ресурсів. Тому доцільним є проведення класифікації діагностичних ознак за рівнем візуального прояву.

Класифікація діагностичних ознак. Під діагностичною ознакою будемо розуміти ознаку прояву деякої несправності. Нехай існує деяка множина типів несправностей $H = \{h_i\}_{i=1}^n$. Для H несправностей представимо множину діагностичних ознак як:

$$D_Z = \{d_{Z_j}\}; j = \overline{1, m},$$

де d_{Z_j} – j -та діагностична ознака; m – кількість ознак.

Означення 1. Рівнем візуального прояву (РВП) будемо вважати ступінь доступності ознак прояву

несправностей для органів чуттів користувача.

Діагностичні ознаки розділимо на три рівні.

Означення 2. Діагностичними ознаками 1-го РВП будемо називати ознаки, які мають найвищий ступінь доступності для органів чуттів користувача, тобто їх прояв користувач може побачити або почути.

Означення 3. Діагностичними ознаками 2-го РВП будемо називати ознаки, які можна виявити на основі ознак 1-го рівня та комплексу додаткових дій.

Діагностичні ознаки 1-го та 2-го рівня не є критичними по відношенню до цілей користувача, тобто виявлення діагностичних ознак цих рівнів не вимагає припинення розв'язання задачі користувачем та вимкнення комп'ютерного засобу.

Означення 4. Діагностичними ознаками 3-го рівня візуального прояву будемо називати ознаки, які можна виявити лише після припинення розв'язання цільової задачі або (та) вимкнення комп'ютерного засобу.

Діагностичні ознаки 3-го рівня вважаються критичними по відношенню до цілей користувача.

Кожна діагностична ознака представляється за допомогою набору характеристик [6].

На етапі підготовки інформації для реалізації процесу діагностування КЗ формуються групи, що містять:

1) відомості про об'єкти діагностування: $G_1 = \langle K_Z, D, \Omega \rangle$, де K_Z – множина типів ОД, в якості яких виступають складові КЗ, $K_Z = \{k_{Ze}\}_{e=1}^n$; D – множина даних про ОД, яка розподіляється на множину чітких даних про ОД – D_{ch} та множину нечітких даних – D_{ch}^- , $D = (D_{ch} \cup D_{ch}^-)$, $D_{ch} = \{d_{ch_g}\}_{g=1}^k$, $D_{ch}^- = \{d_{ch_u}^-\}_{u=1}^k$; Ω – множина станів ОД у певний момент часу за певних умов [1], до Ω належать справний або несправний стани, граничні негативні, позитивні та невизначені стани, $\Omega = \{\omega_s\} = \{\omega^c, \omega^{nc}, \omega^{e-}, \omega^{e+}, \omega^{e?}\}$;

2) перелік типів несправностей складових КЗ: $G_2 = \langle K_Z, H \rangle$, де H – множина характерних для них типів несправностей, $H = \{h_i\}_{i=1}^n$;

3) характерні ознаки прояву несправностей: $G_3 = \langle K_Z, H, R_P, D_Z \rangle$, $K_Z : H \rightarrow D_Z$, $K_Z : D_Z \rightarrow R_P$, де R_P – множина рівнів візуального прояву несправностей, $R_P = \{r_{P_1}, r_{P_2}, r_{P_3}\}$; D_Z – множина діагностичних ознак [7], кожна з яких описується набором характеристик $D_Z = \bigcup_{i=1}^r A_i$, $D_Z = \{d_{Z_j}\}_{j=1}^m$,

$A = \{a_{ij}^{R_P}\}$, де A_i – множина характеристик діагностичних ознак; r – кількість характеристик; a_{ij} – i -а характеристика j -ї діагностичної ознаки; R_P – порядок характеристики, який відповідає рівню візуального прояву діагностичної ознаки, $R_P = \overline{1,3}$ [7];

4) можливі причини виникнення несправностей. $G_4 = \langle K_Z, H, P_N, M_U \rangle$, $P_N = \{p_{n_h}\}_{h=1}^w$, $M_U = \{m_{u_c}\}_{c=1}^z$, $M_U : H \rightarrow P_N$, де P_N – множина причин виникнення несправностей; M_U – множина методів усунення несправностей.

При наповненні БЗ необхідно забезпечити наявність усіх елементів у кортежах груп.

Об'єм діагностичної інформації має бути достатнім для розв'язання поставленої задачі, діагностична інформація має бути корисною та несуперечливою.

Якщо існує така множина $V = (D \cup D_Z)$, яка дозволяє ідентифікувати усі стани ОД з множини Ω , то інформація є корисною та її об'єм достатній, тобто $V = V_{kor}$.

Якщо $V > V_{kor}$, то у множинах D і (або) D_Z існує надлишок інформації. В такому випадку процес діагностування буде успішним, але НЕСД буде опрацьовувати надлишкову інформацію, що, в свою чергу, призводить до надлишкових витрат часу. Виникає необхідність прийняття рішення експертом, яка інформація є надлишковою.

Якщо $V < V_{kor}$, то у множинах D і (або) D_Z недостатньо інформації. У такому випадку діагноз не буде поставлений і виникає необхідність поповнення БЗ діагностичною інформацією.

Процес пошуку несправностей у НЕСД КЗ здійснюється до рівня елементів.

База знань експертної системи діагностування КЗ, побудованої на основі нечіткої логіки. Для побудови БЗ було визначено предметну область, задано клас об'єктів, значення їх характеристик і відношень між об'єктами та характеристиками. Опис предметної галузі представлений у вигляді ієрархічної структури. Кожен об'єкт ієрархічної структури ПГ описано фреймом. На верхньому рівні ієрархії розташовані фрейми, які містять інформацію про тип об'єкта діагностування. В якості значень слотів виступає інформація про фірму-

виробника КЗ, рік випуску, експлуатаційні та ремонтні характеристики та ін.

Найбільш перспективною моделлю представлення знань у БЗ НЕСД є змішана модель, а саме модель на основі фреймів та правил-продукцій. Використання змішаної моделі представлення знань має ряд переваг: можливість використання максимально широкого спектру експертних знань про ПГ, спрощення опрацювання виключень та збереження родовидової ієрархії [5].

Модель бази знань представимо наступним чином:

$$B_Z = \left\langle M_{K_Z} (P_i(X_k, Y_n, A_k, R_n), \Phi_j(E_i, W_i(P'_i, Q_i))) \right\rangle, \quad (1)$$

де B_Z – база знань, яка містить експертні знання, формалізовані за допомогою набору нечітких продукцій виду:

$$P_i = IF \ x_1 \text{ is } A_1 \text{ AND } \dots x_j \text{ is } A_j \text{ AND } \dots x_k \text{ is } A_k \text{ THEN } y_i \text{ is } R_i, \quad (2)$$

де M_{K_Z} – модель об'єкта діагностування, P_i – i -е правило-продукція, $i = \overline{1, g}$; g – кількість правил;

$X_k = \{x_j\}$, x_j – вхідні параметри, $j = \overline{1, k}$; k – кількість вхідних параметрів; $Y_n = \{y_i\}$, y_i – вихідні параметри, $i = \overline{1, n}$; n – кількість вихідних параметрів; A_k – множина нечітких змінних (терми лінгвістичних змінних); $R_n = \{R_i\}$, R_i – наслідок правила, який являє собою ступінь впевненості експерта у наявності певної несправності: 0,2 – дуже мала можливість, 0,5 – мала можливість, 0,7 – можливо, 0,9 – найбільш можливо; Φ_j – сукупність фреймів, $j = \overline{1, c}$, c – кількість фреймів; E_i – множина імен слотів, $i = \overline{1, b}$, b – кількість імен;

W_i – множина значень слотів, $i = \overline{1, b}$, b – кількість значень; P'_i – правила-продукції виду (2); Q_i – i -й метод-процедура, його наявність не є обов'язковою, $i = \overline{1, h}$, h – кількість методів-процедур. В якості вхідних змінних виступають множина даних про КЗ $D = (D_{ch} \cup D_{ch}^-)$ та множина діагностичних ознак

$D_Z = \{d_{Z_j}\}_{j=1}^m$. В якості вихідних змінних виступають множина D_Z , множина несправностей $H = \{h_i\}_{i=1}^n$,

множина причин виникнення несправностей $P_N = \{p_{N_h}\}_{h=1}^w$ та множина методів усунення несправностей

$M_U = \{m_{U_c}\}_{c=1}^z$.

Статичні знання про предметну галузь представляються у вигляді фреймової ієрархії, динамічні знання – у вигляді продукційних правил.

Особливостями знань, які містить база знань, є: 1) представлення всіх видів інформації у вигляді функцій належності; 2) структурованість, яка забезпечується фреймовим представленням знань; 3) зв'язність, що забезпечується правилами-продукціями або методами-процедурами.

Метод діагностування КЗ з врахуванням нечіткої діагностичної інформації. При використанні відомих алгоритмів нечіткого логічного висновку для діагностування КЗ виникає ряд проблем. Наявність різних видів нечіткості при описі процесу діагностування КЗ експертами призводить до проблеми інтерпретації даних на нечітку шкалу, оскільки існує ймовірність виникнення похибки, яка в подальшому суттєво вплине на результати діагностування.

З відомих алгоритмів нечіткого логічного висновку: алгоритму Мамдані, алгоритму Сугено і Такагі, алгоритму Ларсена, алгоритму Цукамото, у системах діагностування частіше використовуються алгоритми Мамдані та Сугено. Суттєва різниця між цими алгоритмами полягає у способах задання значень вхідних та вихідних змінних і формах представлення нечітких продукцій, що утворюють базу правил системи нечіткого логічного висновку [7 – 9]. Алгоритм Сугено при формуванні бази правил вимагає указування значень певних вагових коефіцієнтів, сума яких дає значення вихідної змінної, що визначається як деяке дійсне число. Під час виконання наступних етапів нечіткого висновку розрахунки здійснюються зі звичайними (чіткими) значеннями змінних. Враховуючи особливості процесу діагностування КЗ, алгоритм Сугено формально не може бути використаний у експертній системі діагностування КЗ. Алгоритм Мамдані має ряд недоліків, зокрема, перед початком етапу агрегування, який визначає ступінь істинності умов за кожним з правил системи висновку, вважається, що ступені істинності всіх підумов системи нечіткого висновку відомі наперед. Визначення цих ступенів істинності потребує попереднього експертного опрацювання, що є складною задачею для експертів. Це ж стосується і процесу активізації.

Для діагностування КЗ з врахуванням нечіткої діагностичної інформації пропонується метод, суть якого складають такі етапи: збір діагностичної інформації про стан ОД, вибір з БЗ інформації про ОД, побудова моделі об'єкта діагностування, нечіткий логічний висновок, який, в свою чергу, складається з наступних етапів: фазифікації, формування робочої бази правил системи нечіткого логічного висновку, агрегування, активізації, акумуляції та дефазифікації.

1. *Збір діагностичної інформації про ОД.* На цьому етапі формується множина типів ОД K_Z , множина чітких даних про ОД D_{ch} , множина нечітких даних – D_{ch}^- , множина станів ОД у певний момент часу за

певних умов Ω .

2. *Вибір з бази знань інформації про ОД.* Формування множини рівнів візуального прояву несправностей R_p , множини діагностичних ознак D_Z , множини характерних для них типів несправностей H .

3. *Побудова моделі об'єкта діагностування.* Будується модель ОД з врахуванням нечіткої діагностичної інформації.

4. *Фазифікація вхідних змінних.* Етап забезпечує встановлення відповідності між значеннями вхідних змінних системи діагностування та значеннями функцій належності відповідних їм термів.

5. *Формування робочої бази правил системи нечіткого висновку.* База правил системи нечіткого висновку являє собою скінченну множину правил нечітких продукцій виду (2). Для визначення якості відібраних правил сформовані критерії інформативності правил, а також виконується перевірка на несуперечливість та дублювання.

6. *Агрегування.* Цей етап представляє собою процедуру визначення ступеня істинності умов по кожному з правил системи висновку. Для знаходження ступеня істинності умов кожного з правил нечітких продукцій виду (2) використовується операція логічної кон'юнкції:

$$c_i(A \wedge B) = \min\{c_i(A), c_i(B)\}, \quad (3)$$

де A, B – нечіткі висловлювання, c_i – значення ступеня істинності кожного висловлювання. Використання кон'юнкції зумовлено тим, що правила, які містяться в БЗ мають логічний зв'язок типу «І». Етап агрегування рахується закінченим, коли будуть знайдені всі $\mu'(y)$ для кожного з правил P_i , яке входить в базу правил системи висновку.

7. *Активізація.* Етап активізації представляє собою процес знаходження функцій належності нечітких множин та ступеня істинності кожного з підвисновків правил нечітких продукцій виду (2). У методі процесу діагностування КЗ з врахуванням нечіткої діагностичної інформації в якості вагових коефіцієнтів кожного правила використовується ступінь інформативності (I) цього правила. Якщо правило містить необхідну інформацію для розв'язання поставленої задачі, тобто діагностичні ознаки одного рівня візуального прояву, $I = 1$; якщо містить бажану інформацію, тобто діагностичні ознаки різних рівнів візуального прояву, $I = 0,5$. Після визначення ступеня інформативності правила упорядковуються. У процесі діагностування КЗ ці змінні різні за змістом. Функції належності вихідних змінних представляють собою множину типів несправностей H або множину причин виникнення несправностей P_N . Значення ступенів істинності представляють собою ступінь можливості наявності тієї чи іншої несправності. При активізації функція належності вихідної змінної повинна підсилюватись або послаблюватись такими показниками, як інформативність правила та ступінь впевненості, тому використовується метод prod-активізації:

$$\mu'(y) = c_i \cdot \mu(y). \quad (4)$$

Чим вищий ступінь впевненості та ступінь інформативності, тим вищий ступінь істинності кожного з підвисновків правил нечітких продукцій.

8. *Акумуляція.* Під акумуляцією розуміють процес знаходження функції належності для кожної з вихідних лінгвістичних змінних. Для кожного правила обчислюємо добуток ступеня інформативності на ступінь впевненості експерта (R_i) для того чи іншого висновку.

$$\eta = I \times R_i. \quad (5)$$

Акумуляція у запропонованому методі нечіткого логічного висновку виконується за формулою операції λ – суми нечітких множин:

$$\mu_D(y) = \lambda \cdot \mu_A(x) + (1 - \lambda) \cdot \mu_B(x) \quad (\forall x \in X), \quad (4)$$

де λ розглядається як параметр, що відображає експертну оцінку частоти, з якою проявляється та чи інша несправність, відповідно специфіки процесу діагностування КЗ і приймає значення з інтервалу $[0, 1]$.

У процесі акумуляції визначається множина припущень експерта про можливість наявності тієї чи іншої несправності Y_i . Можлива причина несправності визначається шляхом відбору припущень з функціями належності, які мають ступені впевненості більші або рівні 0,7:

$$y_i = (\mu_{y_i} \geq 0,7). \quad (5)$$

Кількість причин несправностей має бути обмеженою, оскільки немає сенсу здійснювати перевірку великої кількості несправностей. Вважатимемо, що користувач може перевірити кількість несправностей не більше п'яти. Якщо $n > 5$, то $p = p + 1$, тобто, коли у результаті перевірки за ознаками 1-го РВП кількість можливих несправностей більше п'яти, то можливу несправність необхідно уточнити шляхом визначення діагностичних ознак 2-го РВП. Якщо ж аналіз діагностичних ознак 1-го і 2-го рівнів не дав змоги виявити можливі несправності, то переходять до виявлення несправностей з врахуванням діагностичних ознак 3-го рівня. У результаті етапу акумуляції для кожної змінної множини $Y_n = \{y_i\}$ будуть визначені кінцеві функції належності μ_{Y_i} .

9. *Дефазифікація вихідних змінних.* Дефазифікація вихідних змінних потрібна для визначення

звичайного (не нечіткого) значення для кожної з вихідних змінних. У процесі діагностування КЗ крім нечітких наявні також чіткі дані, про об'єкт та процес діагностування КЗ, які інтерпретуються на нечітку шкалу у вигляді одноточкових множин. Метод центру площі не може бути використаний у випадку одноточкових множин. Тому використовуємо метод центру мас, у якому результат дефазифікації обчислюється наступним чином:

$$y = \frac{\max_{\int \tilde{y} \cdot \mu(\tilde{y}) dy}}{\max_{\int \mu(\tilde{y}) dy}}, \quad (6)$$

де y – результат дефазифікації; \tilde{y} – вихідна лінгвістична змінна; μ – функція належності вихідного параметра.

Структура експертної системи діагностування КЗ, побудованої на основі нечіткої логіки. Для функціонування НЕСД комп'ютерних засобів необхідно забезпечити: збір, організацію та опрацювання різних видів інформації; механізм реалізації нечіткого логічного висновку та організацію діалогу з користувачем. Структурну схему НЕСД КЗ представлено у [6, 10].

До її складу входять наступні модулі: ДМ – діалоговий модуль, що забезпечує взаємодію користувача з НЕСД: реалізує опитування користувача в процесі роботи системи, занесення зібраної інформації у базу даних та візуалізацію результатів діагностування; МОІ – модуль опрацювання інформації, що забезпечує збір, організацію та опрацювання різних видів інформації, яка наявна у процесі діагностування КЗ, він, в свою чергу, складається з модуля організації інформації (МОІ) та модуля аналізу інформації (МАНІ); МНЛВ – модуль нечіткого логічного висновку, що забезпечує розв'язання задачі діагностування; БЗ – база знань, у якій зберігаються необхідні для роботи НЕСД знання про предметну галузь; БД – база даних, яка є тимчасовою протягом сеансу роботи користувача, і у ній зберігається інформація одержана від користувача в ході роботи системи.

Метод оцінки ефективності НЕСД КЗ. Основними модулями, що впливають на ефективність функціонування НЕСД КЗ, є база знань, модуль опрацювання інформації та модуль нечіткого логічного висновку.

Ефективність роботи НЕСД КЗ оцінимо на основі таких показників діагностування, як достовірність та повнота діагностування. Достовірність діагностування – це ступінь об'єктивної відповідності результату діагностування технічному стану об'єкта діагностування. Повнота діагностування – можливість виявлення несправностей ОД за допомогою обраного методу діагностування [11]. Позначимо їх DS та PD відповідно.

У загальному випадку достовірність діагностування визначатимемо як:

$$DS = PD / k, \quad (8)$$

де k – кількість експертів.

Повнота діагностування визначатиметься як:

$$PD = TN \times \sum_{i=1}^n s_i, \quad (9)$$

де s_i – рівень компетентності експертів; $s = 1$ – для кращого експерта; для спеціалістів з нижчим рівнем кваліфікації має виконуватись умова $0,6 \leq s < 1$; ступені впевненості експертів, рівень компетентності яких менше 0,6, не враховуються, $i = \overline{1, n}$.

Множина несправностей є результатом опрацювання об'єму діагностичної інформації:

$$TN = f(V),$$

де f – функційне перетворення.

Ефективність діагностування з задіюванням тільки чіткої інформації визначимо як:

$$EF_{ch} = \frac{DS_{ch} \times SK_{ch}}{K_{time}}, \quad (10)$$

де SK_{ch} – показник складності, який характеризує, скільки чітких правил треба задіяти для логічного висновку.

При сумісному використанні чіткої та нечіткої інформації, ефективність НЕСД визначаємо як:

$$EF_{ch \cup \bar{ch}} = \frac{DS_{ch \cup \bar{ch}} \times SK_{ch \cup \bar{ch}}}{K_{time}}, \quad (11)$$

де $SK_{ch \cup \bar{ch}}$ – характеризує кількість чітких та нечітких правил для логічного висновку.

В свою чергу, показник складності визначається як:

$$SK = G \times VR, \quad (12)$$

де G – кількість задіяних правил для організації логічного висновку; VR – вартість правила, яку визначимо в деяких умовних одиницях: для чіткого правила $VR_{ch} = 1$, для нечіткого правила $VR_{\overline{ch}} = 1,2$.

Критерієм ефективності використання нечіткої інформації є:

$$F = EF_{ch \cup \overline{ch}} / EF_{ch}. \quad (13)$$

На основі формули (13) оцінювання ефективності функціонування НЕСД здійснюється наступним чином:

- якщо $F = 1$, то створення і використання нечітких експертних систем діагностування не є доцільним;
- якщо $F < 1$, то для розв'язання даної задачі недоцільно використовувати НЕСД;
- якщо $F > 1$, то використання НЕСД є ефективним.

Ефективність інших модулів НЕСД комп'ютерних засобів обчислюємо за класичними методами [1].

Висновки

1. Дослідження показали, що класичні методи діагностування не вирішують задачу діагностування КЗ на етапі експлуатації.
2. Наявність нечіткої діагностичної інформації потребує розробки методів та засобів подавання та опрацювання цієї інформації шляхом використання нечітких експертних систем діагностування.
3. Розроблені модель представлення нечітких знань у БЗ та метод нечіткого логічного висновку є основою НЕСД.
4. Розроблений критерій ефективності використання НЕСД забезпечив можливість оцінювання ефективності діагностування КЗ.

Роботу виконано за підтримки Державного фонду фундаментальних досліджень (Міністерства освіти і науки України) в межах гранту Ф25.1/121 «Дослідження методів внесення апріорної діагностичної інформації в структуру штучних нейронних мереж для реалізації процесу діагностування комп'ютерних систем».

Література

1. Поморова О.В. Теоретичні основи, методи та засоби інтелектуального діагностування комп'ютерних систем: Монографія. – Хмельницький: ТОВ «Тріада-М», 2007. – 253 с.
2. Поморова О.В., Гнатчук Є.Г. Огляд комерційних оболонок експертних систем та методів представлення знань у них // Мікропроцесорні пристрої та системи в автоматизації виробничих процесів. Зб. наук. праць. – Хмельницький: ТУП. – 2003. – С. 101 -107.
3. Прикладные нечеткие системы / Под. ред. Т. Тэрano. – М.: Мир, 1993.
4. Герасимов Б.М., Грабовский Г.Г., Рюмшин Н.А. Нечеткие множества в задачах проектирования, управления и обработки информации. – К.: Техніка, 2002. – 140 с.
5. Gnatchuk E.G. Knowledge base of fuzzy diagnosis expert system of computer devices // Радіоелектронні і комп'ютерні системи. – Харків: Національний аерокосмічний університет ім. М. С. Жуковського “Харківський авіаційний інститут”. – 2006. – № .7 (19). – С.121 – 125.
6. Гнатчук Є. Г. Опрацювання нечіткої інформації в нечіткій експертній системі діагностування комп'ютерних засобів // Искусственный интеллект. – Донецьк: Інститут проблем штучного інтелекту МОН і НАН України. – 2006. – № .4. – С.526 – 533.
7. Локазюк В.М. Алгоритмізація нечіткого логічного висновку для процесу діагностування комп'ютерних засобів / Локазюк В.М., Гнатчук Є.Г // Вісник Хмельницького національного університету. – Хмельницький: ХНУ. – 2006. – № .6 (87). – С.52 – 58.
8. Леоненков А.В. Нечеткое моделирование в среде MATLAB и fuzzyTech. – СПб.: БХВ – Петербург, 2003. – 736 с.
9. Takagi T. Fuzzy identification of system and its applications to modeling and control / Takagi T., Sugeno M // IEEE Transaction on System, Man and Cybernetics, V. 15, 1985.
10. Гнатчук Є.Г. Розроблення нечіткої експертної системи діагностування комп'ютерних засобів // Труды седьмой международной наук. – практ. конференции «Современные информационные и электронные технологии СИЭТ-2006», 22 – 26 мая. – Одесса: Одесский национальный политехнический университет. – 2006. – Т.1. – С. 157.
11. Технічне діагностування та контроль технічного стану. Терміни та визначення: ДСТУ 2389-94. – Держстандарт України. – К., 1994. – 24 с.

Надійшла 20.5.2008 р.

ОЦІНКА ДОСТОВІРНОСТІ ІДЕНТИФІКАЦІЇ ПРИХОВАНИХ ПОМИЛОК ПРОГРАМНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ

Описано концепцію підвищення достовірності процесу тестування ПЗ і нейромережну категорійну модель підвищення достовірності процесу тестування програмного забезпечення за рахунок ідентифікації прихованих помилок програмного забезпечення. Наведена методика оцінки достовірності ідентифікації прихованих помилок програмного забезпечення, що базується на запропонованій моделі.

Вступ

Тестування з метою виявлення помилок, суть яких полягає у невідповідностях між програмою та її специфікацією, проводиться на етапі розроблення програмного забезпечення (ПЗ), а також під час налагодження. Але внаслідок об'єктивних (недосконалість методів тестування та неповнота тестів, недостатність коштів тощо) та суб'єктивних (недостатня кваліфікація розробників ПЗ та тестувальників, вплив притаманних їм суб'єктивних недоліків і таке інше) факторів після тестування ПЗ у процесі його розроблення і налагодження у програмах залишаються помилки. Такі помилки відносять до прихованих помилок.

Приховані помилки відрізняються від виявлених тим, що вони певний момент часу після тестування у процесі розробки і налагодження ПЗ існують ще не виявленими. При цьому помилки, зумовлені дефектами, певним чином впливають на систему через програмне забезпечення.

Виявлення прихованих помилок проводиться після розроблення і налагодження ПЗ, де тестування програм здійснювалось як часткова технологічна операція під час цих процесів (етапів). Вважатимемо його окремим технологічним процесом і назвемо повторним тестуванням.

Постановка задачі

Підвищити достовірність процесу тестування і відповідно якість ПЗ можна не тільки шляхом тестування дефектів на етапах розроблення та налагодження, а й шляхом повторного тестування з метою ідентифікації прихованих помилок у програмах після основного тестування. Це підтверджується тим, що як достовірність тестування, так і якість ПЗ залежать від кількості виявлених у ньому помилок, у тому числі і прихованих.

Головним напрямком представленого дослідження оберемо методи і засоби підвищення достовірності процесу тестування за рахунок ідентифікації прихованих помилок програмного забезпечення у процесі повторного тестування.

Основними задачами повторного тестування будуть:

- 1) виявлення максимальної кількості прихованих помилок з метою їх подальшого усунення; приховані помилки виявляються відомими методами тестування;
- 2) по можливості не допустити внесення нових неприхованих та прихованих помилок під час повторного тестування, а у разі їх внесення здійснити відповідні заходи для їх усунення.

Концепція підвищення достовірності процесу тестування ПЗ

Суть методики виявлення прихованих помилок полягає у послідовному виявленні помилок певного типу з наступним усуненням причин їх виникнення. У разі виявлення помилок одного типу, система переходить до відшукування помилок іншого типу. Виявлення прихованих помилок розпочинається з найбільш поширених чи найважливіших типів помилок.

Щодо розподілу помилок ПЗ взагалі за їх видами і впливом на роботу комп'ютерних систем, то в літературі відомий їх розподіл за пріоритетами і категоріями [1]. Розподіл помилок за пріоритетами здійснюється у відповідності до нормативів з визначення рівня серйозності помилок.

Проведемо уточнення цього підходу щодо опису прихованих помилок ПЗ [2]. Всі приховані помилки розподілимо за видами на незначні (НПП), помірні (ППП), серйозні (СПП) та катастрофічні (КПП) приховані помилки.

Визначення 1. Незначними прихованими помилками (НПП) програмного забезпечення вважатимемо такі, що не впливають на дії користувача, програмний продукт з їх наявністю придатний для використання.

Визначення 2. Помірними прихованими помилками (ППП) програмного забезпечення вважатимемо такі, що впливають на дії користувача. Програмний продукт з їх наявністю придатний для використання з частковою втратою функційності.

Визначення 3. Серйозними прихованими помилками (СПП) програмного забезпечення вважатимемо такі, що призводять до помилкових результатів, внаслідок чого програмний продукт непридатний до використання.

Визначення 4. Катастрофічними прихованими помилками (КПП) програмного забезпечення вважатимемо такі, що призводять до спотворення інформації (даних), внаслідок чого програмний продукт непридатний до використання і намагання його опрацювати призводить до відмови програмної системи.

Незначним прихованим помилкам присвоїмо найнижчий рівень категорійності – перший. Помірним

прихованим помилкам присвоїмо, відповідно, рівень 2; серйозним – рівень 3. Найвищим рівнем вважатимемо катастрофічний – рівень 4. Таким чином, рівнів прихованих помилок буде чотири.

Припустимо, що певна множина незначних помилок (НПП') призводить до появи підмножини окремих типів помірних помилок (ППП'), які, в свою чергу, призводять до появи певної підмножини серйозних помилок (СПП'), а вони, відповідно, до катастрофічних помилок (КПП').

Вихідними даними щодо реалізації повторного тестування є інформація про методи і операції основного тестування та типи помилок, виявлених під час основного тестування. Зрозуміло, що це вимагає складання звітів про процес та результати тестування під час здійснення основного тестування, що не завжди робиться. Але фірми і колективи, що серйозно працюють над підвищенням якості і достовірності тестування ПЗ, це здійснюють.

Запропонована концепція повторного тестування передбачає розв'язок важкоформалізованої задачі. Зокрема, це стосується важливості помилок ПЗ та їх взаємного впливу, нечіткості вихідних даних про наявні помилки і таке інше. Тому розв'язати ці задачі чисельними методами або методами лінійної алгебри дуже важко, а у ряді випадків неможливо.

Категорійна модель процесу повторного тестування програмного забезпечення на базі нейромережних інформаційних технологій

На основі запропонованої концепції підвищення достовірності процесу тестування ПЗ було побудовано категорійну модель процесу повторного тестування ПЗ, в основу якої було покладено штучну нейронну мережу (ШНМ) типу прямонапрявленого перцептрону [2, 3].

Вибір апарату ШНМ мотивований тим, що штучні нейронні мережі дають можливість враховувати важливість (ваги) кожного типу неприхованих та прихованих помилок, пороги граничної кількості допустимих помилок кожної категорії, взаємний вплив прихованих помилок одних типів на помилки інших типів.

Задачею повторного тестування є визначення ваги впливу помилок різних типів однієї категорії на помилки іншої категорії, причиною яких є помилки попередніх категорій. Ця задача може бути розв'язана методом навчання ШНМ.

Відобразимо зазначений підхід узагальненою складною ШНМ, в якій структура багатоварового перцептрону типу MLP (multi-layer-perceptron) поєднується зі структурою простого перцептрону Розенблатта. Структура цієї ШНМ представлена на рис. 1.

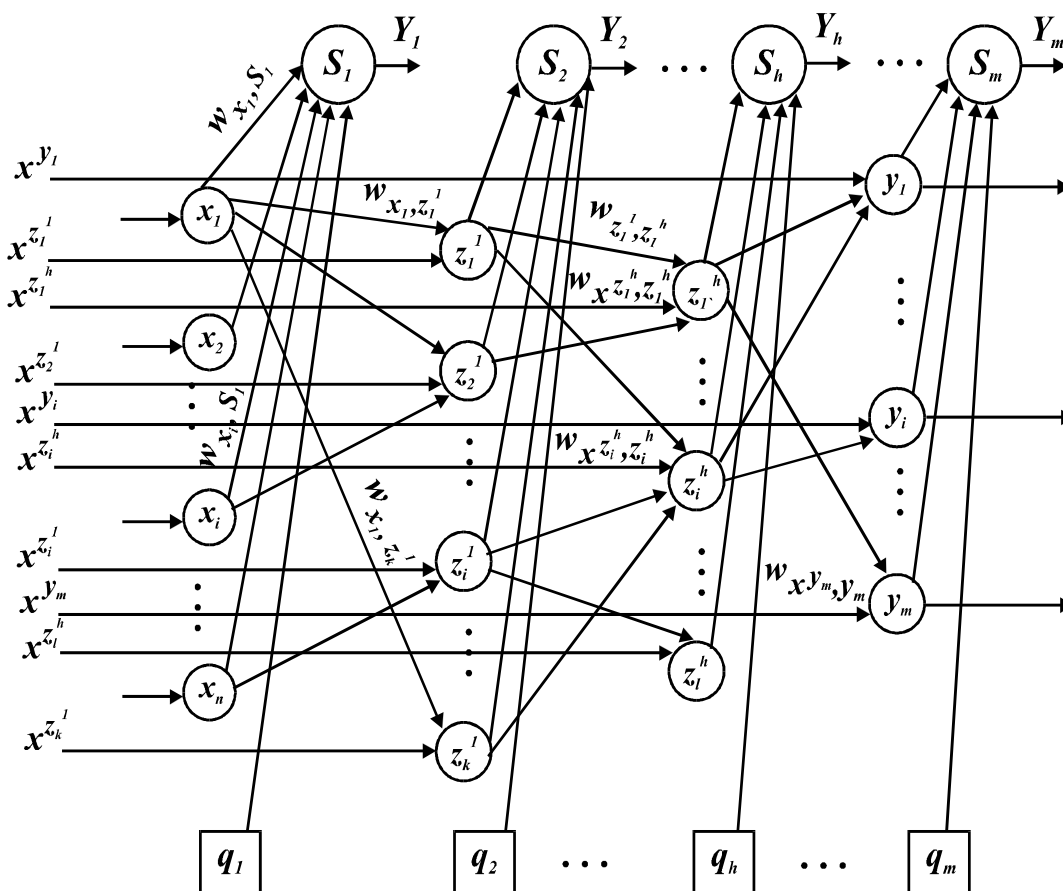


Рис. 1. Категорійна модель на базі ШНМ, що відображає зв'язок помилок ПЗ різних категорій

Функціонал ШНМ Y_1 визначиться за формулою:

$$Y_1 = F_{S_1} \left(\sum_{i=1}^n x_i w_{x_i} - q_1 w_{q_1} \right).$$

Визначимо функціонал ШНМ Y_h :

$$Y_h = F_{S_h} \left(\sum_{i=1}^h \left(f(z^h) \cdot \left(\sum_{i=1}^h z_i^{h-1} w_{z_i^{h-1}, z_i^h} + \sum_{i=1}^{\ell} x^{z_i^h} w_{x^{z_i^h}, z_i^h} \right) \right) \cdot w_{z_i^h, S_h} \right) - q_h w_{q_h, S_h}$$

де $f(z^h)$ – активаційна функція нейронів прихованого шару h ; z_i^{h-1} – вихідне значення активності i -го нейрона прихованого шару $(h-1)$; $w_{z_i^{h-1}, z_i^h}$ – ваговий коефіцієнт зв'язку між i -ми нейронами прихованого шару ШНМ $(h-1)$ і прихованого шару h ; $x^{z_i^h}$ – i -й вхід ШНМ, який безпосередньо пов'язаний з i -м нейроном шару h ; $w_{x^{z_i^h}, z_i^h}$ – ваговий коефіцієнт зв'язку між входом $x^{z_i^h}$ і i -м нейроном шару h ; $w_{z_i^h, S_h}$ – ваговий коефіцієнт зв'язку між i -м нейроном шару h і нейроном S_h .

Активізаційною функцією нейронів прихованих (асоціативних) шарів є функція гіперболічного тангенсу. Активізаційною функцією нейронів ефекторних шарів є лінійна функція. Результати лінійної активізаційної функції нейронів ефекторних шарів лежать в інтервалі $[-1; 1]$. Нас цікавлять результати у вигляді 1 або 0 (відповідно є помилка i -го рівня категорійності чи немає), тому здійснюється перетворення (заокруглення) результатів наступним чином:

$$Y_i = \begin{cases} 1, & \text{якщо } Y_i > 0; \\ 0, & \text{якщо } Y_i \leq 0. \end{cases}$$

Імітаційна модель ШНМ розроблена у пакеті Matlab [4, 5]. Досліджено процес навчання і тестування ШНМ у пакеті Matlab [4, 5], у результаті чого зроблено висновок, що похибка навчання змодельованої ШНМ залежить від критерію оцінки якості навчання та від форми представлення вхідних даних. За часовим показником та за показником “кількість епох” найкращими для розглянутої ШНМ є алгоритм СГВ на основі метода спряженого градієнта з оберненим поширенням і рестартами в модифікації Пауела-Біеле та його модифікації (алгоритм навчання Флетчера-Рівса або алгоритм навчання Полака-Рібейри).

Оцінка достовірності ідентифікації прихованих помилок програмного забезпечення

Із запропонованої моделі випливає, що при $Y_h > 0$ у програмі є помилки категорії, якій відповідає Y_h . Нехай без врахування впливу на початку у програмі було p_x помилок першого рівня категорійності, p_{z^1} – помилок другого рівня категорійності, ..., p_{z^h} – помилок h -го рівня категорійності. З врахуванням впливу помилок попереднього рівня категорійності на наступний помилку стало: p_x – першого рівня категорійності, $p_{z^1} + p_{z^{h-1}}$ – h -го рівня категорійності.

Припустимо, що ідентифікуються як помилки, що відповідають кожному рівню категорійності, так і помилки, що виникають внаслідок впливу кожного попереднього рівня на наступний.

За критерій достовірності процесу ідентифікації помилок ПЗ приймемо кількість виявлених помилок згідно з запропонованою моделлю.

Достовірність D процесу ідентифікації прихованих помилок ПЗ шляхом повторного тестування дорівнюватиме:

$$D = kn_1 p_x + kn_2 \frac{p_{z^1} + p_{x_i}}{p_{z^1}} + \dots + kn_h \frac{p_{z^h} + p_{z_i^{h-1}}}{p_{z^h}} + \dots,$$

де $KN = \{kn_h\}$ – множина коефіцієнтів нормування категорійності прихованих помилок.

Підвищення достовірності процесу ідентифікації прихованих помилок дорівнюватиме $\Delta D = 1 - \frac{D'}{D}$, де

D' – достовірність процесу ідентифікації прихованих помилок ПЗ без врахування впливу прихованих помилок кожного попереднього рівня категорійності на помилки наступного рівня категорійності.

Визначимо достовірність процесу виявлення прихованих помилок при повторному тестуванні для згаданих раніше чотирьох категорійних рівнів – НПП, ППП, СПП, КПП:

$$D = kn_1 \cdot p_x + kn_2 \cdot \frac{p_{z^1} + p_{x_i}}{p_{z^1}} + kn_3 \cdot \frac{p_{z^2} + p_{x_i^{z^1}}}{p_{z^2}} + kn_4 \cdot \frac{p_{z^3} + p_{x_i^{z^2}}}{p_{z^3}}.$$

З j -ї вибірки одержано наступні значення величин для визначення достовірності процесу повторного тестування (табл. 1).

Таблиця 1

Значення величин для визначення достовірності повторного тестування

№ експ.	p_x	p_{z^1}	p_{z^2}	p_{z^3}	p_{x_i}	$p_{x_i}^{z^1}$	$p_{x_i}^{z^2}$	D	D'	ΔD
1	28	16	10	4	6	4	2	16,92	12,16	0,28
2	32	20	10	6	8	6	2	16,26	12,48	0,23
3	46	28	14	8	10	6	4	18,40	13,60	0,26
4	50	30	18	10	12	8	2	16,36	13,92	0,15

Експертним шляхом після опрацювання експертних даних, одержаних від 9 експертів фірми-розробника програмного забезпечення Sitronics Telecom Solutions (філія, м. Хмельницький) присвоїмо наступні значення коефіцієнтам нормування категорійності прихованих помилок: $kn_1 = 0,08$; $kn_2 = 0,22$; $kn_3 = 1,7$; $kn_4 = 8$.

Достовірність процесу виявлення прихованих помилок при повторному тестуванні з j -ї вибірки представлена на графіку (рис. 2).

Підвищення достовірності процесу ідентифікації прихованих помилок дорівнюватиме:

$$\Delta D_1 = 1 - \frac{12,16}{16,923} = 0,28; \dots \Delta D_4 = 1 - \frac{13,92}{16,364} = 0,15.$$

На гістограмі ряд 1 (чорний колір) показує достовірність D процесу ідентифікації прихованих помилок при повторному тестуванні, а ряд 2 (сірий колір) – відображає достовірність D' процесу ідентифікації прихованих помилок ПЗ без врахування впливу прихованих помилок кожного попереднього рівня категорійності на помилки наступного рівня категорійності.

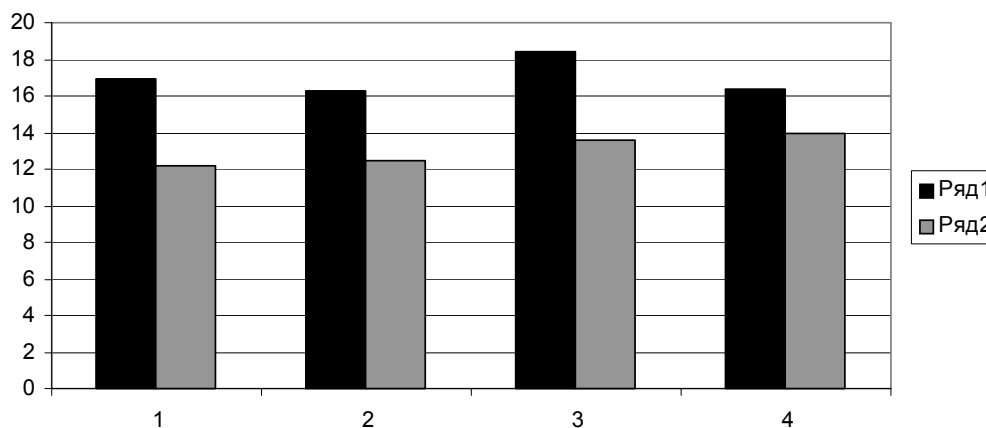


Рис. 2. Гістограма підвищення достовірності

Врахування впливу помилок попередніх рівнів категорійності підвищило достовірність процесу виявлення прихованих помилок на 15-28 %.

Висновки

Запропонована категорійна модель повторного тестування ПЗ за рахунок ідентифікації прихованих помилок поліпшує якість програмного забезпечення і дає можливість досить точно оцінити достовірність процесу виявлення прихованих помилок.

Удосконалено метод оцінки достовірності ідентифікації прихованих помилок ПЗ. Досліджено, що підвищення достовірності буде тим більше, чим більше буде виявлено прихованих помилок, що впливають на виникнення помилок на наступному рівні категорійності. У розглянутому прикладі підвищення достовірності склало від 15 до 28 %.

Література

1. Калбертсон Р., Браун К., Кобб Г. Быстрое тестирование: Пер. с англ. – М.: Издательский дом “Вильямс”, 2002. – 384с.
2. Локазюк В.М., Пантелеева (Говорущенко) Т.О. Категорійна модель процесу повторного тестування дефектів програмного забезпечення // Вісник Технологічного університету Поділля – Хмельницький: ТУП, 2004. – ч.1, т.1, с. 53 – 58.
3. Lokazyuk V.M., Govoruschenko T.O. Category Model of Process of Repeated Software Testing //

Proceedings of the Third IEEE Workshop on Intelligent Data Acquisition and Advanced Computing Systems: Technology and Applications. – Sofia, Bulgaria, 2005. – p. 241-245

4. Говорущенко Т.О. Дослідження моделі вирішувача системи повторного тестування прикладного програмного забезпечення // Вісник Хмельницького національного університету – Хмельницький: ХНУ, 2007 – № 3. – Т.1. – С. 236-244

5. Govoruschenko T.O. Model of decision maker of repeated application software testing system // Радіоелектронні і комп'ютерні системи – Харків: НАУ "ХАІ", 2007 – № 7. – С. 191-198.

Надійшла 27.5.2008 р.

УДК 003.26:004.056.53

К.Л. ГОРЯЩЕНКО, О.І. ПОЛІКАРОВСЬКИХ,
В.Є. ГАВРОНСЬКИЙ, Ю.І. СНІЖКО
Хмельницький національний університет

РИЗИКИ ЦІЛІСНОСТІ ІНФОРМАЦІЇ НА ПЕРЕНОСНИХ НОСІЯХ ІНФОРМАЦІЇ

Використання переносних (removable) носіїв інформації набуває широкого застосування у побуті. Розвиток сучасної мікроелементної бази дозволяє створювати мобільні системи роботи з переносними носіями інформації. В статті проведено дослідження надійності використання таких носіїв для захисту інформації від втручання у цілісність інформації як в процесі роботи, так і під час перенесення носію між пристроями.

В сучасному інформаційному середовищі постійно зростають обсяги інформації, з якими постійно працює людина. Сучасний темп життя породжує необхідність роботи з постійно зростаючим обсягом інформації.

Метою статті є виявлення ступеня надійності збереження інформації на переносних носіях інформації та виявлення ризиків можливого несанкціонованого доступу до цієї інформації. Особливу увагу слід приділити сучасним компактним носіям інформації.

20 років назад обсяги стаціонарних носіїв інформації знаходилися в межах 5-15 МБ, наприклад, носії на жорстких дисках стандарту MFM, а як засіб переносу інформації використовувалися 8- та 5-дюймові (5,25) дискети обсягом 360, 720 кБ, 1,2 МБ зі швидкістю запису до 4 кБ/с. За останні 18 років відбулося суттєве зростання ємності носіїв інформації – жорсткі диски досягнули обсягів 260-320 Гб для пересічного користувача та понад 1 ТБ для серверних систем.

В системах переносу інформації зростання обсягів носіїв та швидкостей обміну інформацією відбувалося у декількох незалежних між собою напрямках. Одночасно зі збільшенням ємності носіїв на жорстких дисках змінилися носії нового типу.

Найбільш типовим та широко розповсюдженим носієм інформації за останні 15 років залишається гнучкий диск типу 3,5-дюйма обсягом 1,44 МБ, що прийшов на заміну 5-дюймовим гнучким диском. Спроби збільшити об'єм інформації призвели до виникнення форматів "2,88 МБ" та "Floppy 3 Mode" (1,2 МБ) та зростання швидкості запису/зчитування до ~30 кБ/с при відсутній фрагментації під час запису файлів на носій. Дискети формату 3,5-дюйма залишаються у даний час одними з найбільш дешевих носіїв інформації.

Протягом 1980-х років було розроблено ряд документів, що увійшли в групу стандартів "Rainbow Books" – стандартів з опису надійних систем (trusted systems) [1]. У 1980 році корпорації "Philips" та "Sony" запропонували першу концепцію оптичних дисків [2]. З того часу почався відлік альтернативних носіїв – оптичних (або "компакт-диски"). На відміну від гнучких дисків, що виготовлялися з магніточутливих матеріалів, оптичні диски не чутливі до слабких та потужних магнітних полів.

З 1994 року як можлива альтернатива компакт-дискам компанією "Iomega" були запропоновані диски серії ZIP. Початковий обсяг складав 100 МБ, далі обсяги зросли до 250 та 750 МБ. При швидкості запису до 1 МБ/с диски формату ZIP позиціонувалися як прямий конкурент компакт-дискам, однак при ціні у \$20 на 100 МБ картридж, ZIP-диски так і не змогли замінити компакт-диски. Рис. 1 показує динаміку зміни ситуації на ринку з ZIP-приводами та дисками з 1997 по 2003 роки. На даний час диски Iomega ZIP не мають застосування і повністю зникли з обігу.

Одночасно з появою ZIP-приводів та дисків, збільшенням кількості розповсюдження та використання механічних систем збереження інформації, з початку 90-х років минулого століття набирає розмах електронна промисловість у галузі виробництва немеханічних носіїв великого об'єму.

Для зберігання інформації у радіоелектронних приладах застосовуються різні види носіїв пам'яті. Безперечно першість у інформаційній щільності мають елементи динамічної та статичної пам'яті, які виконують свої функції лише при наявності зовнішнього постійного живлення.

Продаж ZIP приводів та дисків

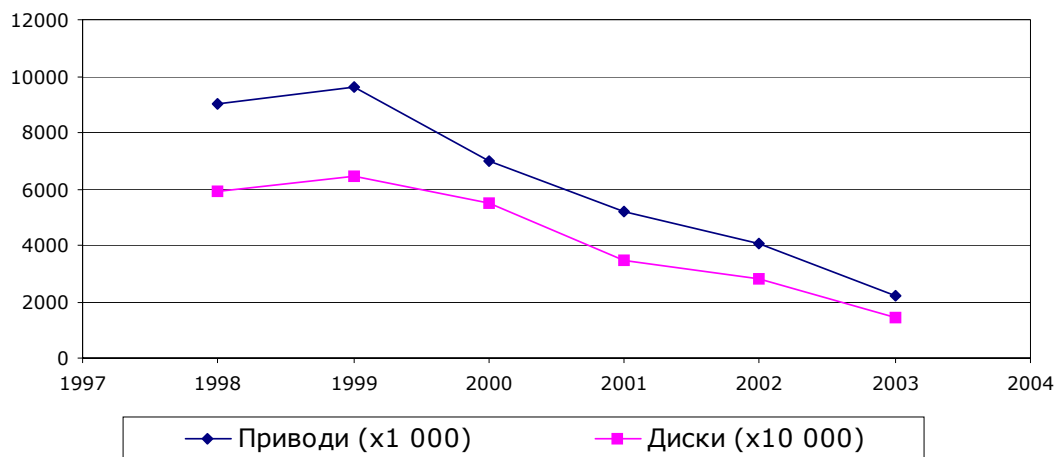


Рис. 1. Обсяг продажу Omega ZIP-приводів та дисків

Задачу постійного зберігання інформації не тільки за наявності живлення, а й в моменти відсутності живлення виконує інший клас елементів пам'яті – постійні запам'ятовуючі пристрої, серед яких можна відзначити найбільш важливі:

1. **Mask Read-only Memory** (Mask ROM, масковий ПЗП). Перший тип запам'ятовуючих елементів, що ґрунтується на створенні провідникової структури із заданими з'єднаннями для відповідних бітів. Характеризується найвищою щільністю структури пам'яті. Характеризується суттєвим недоліком - один раз розроблена програма або, у загальному випадку, масив даних не може бути змінений будь-яким іншим способом. Масковий ПЗП використовується лише для виробництва вже підготовлених та відлагоджених схем. Елементи програмування або доступу до масиву даних відсутні як клас у мікросхемах на основі маскових ПЗП, то сторонній споживач не має можливості відтворити або змінити цю інформацію. Для переносних носіїв інформації маскові ПЗП не використовуються.

2. **One-time programmed ROM** (OTP ROM, ПЗП, що програмується лише один раз). Другий тип запам'ятовуючих елементів, робота яких ґрунтується на однократному записі інформації у носій. Процес запису представляє собою перепалювання мікроперемичок у внутрішній структурі носія інформації. З точки зору зовнішнього користувача, мікросхеми OTP ROM мають повний набір засобів для запису інформації. Процес запису у OTP ROM вважається однократним. Однократність процесу полягає у виконанні лише одного циклу перепалювання перемичок у внутрішній структурі. Однак, початковий вміст мікросхем OTP ROM – це "1" (наявність перемички). Перепалювання створює розрив – "0" (рис. 2). Приклад використання OTP ROM (на прикладі чипу пам'яті D23128C фірми "NEC semiconductor") показано на рис. 3.



Рис. 2. Внутрішня структура OTP ROM



Рис. 3. PROM D23128 на платі ПК "ZX Spectrum", фрагмент [4]

Внаслідок того, що при програмуванні даних лише частина "1" змінюється на "0", з точки зору користувача існує можливість зміни всіх незмінених при першому програмуванні бітів з "1" на "0" додатково. Як приклад, розглянемо фрагмент програми для процесора сімейства x86 з використанням команди умовного переходу **jump above**:

```

CMP AX, BX
JA 0x100           ; 0x77FE    11101111111110

```

Замінюємо команду умовного переходу на обернену умову – **jump below**:

```

CMP AX, BX
JB 0x100           ; 0x72FE    11100101111110

```

Як результат, при зміні операнду "jump above" (0x77) на "jump below" (0x72) виявилось достатньо змінити лише два біти з "1" у "0", що може бути виконано для мікросхеми OTP ROM, оскільки в не запрограмованому стані міститься логічна "1". Зрозуміло, що така маніпуляція з інформацією може бути виконана не тільки для кодів процесорів x86, як у прикладі, але й для іншої довільної інформації. Певний рівень захисту від такої маніпуляції надавала фірма "NEC Corporation" для внутрішньої пам'яті процесорів серії μ PD78xxx [6] за рахунок запису разом з інформацією додаткової інформації – коду самовідновлення цілісності ECC.

Використання Mask-ROM та OTP ROM показали неспроможність реалізувати концепцію захисту цілісності інформації від зовнішніх посягань.

3. **Erasable ROM** (UV EPROM, EEPROM – пам'ять з ультрафіолетовим та електричним стиранням). До EPROM відносять групу мікросхем пам'яті, що мають здатність відновлювати початковий стан мікросхеми до програмування. Тобто запис у всі комірки пам'яті логічну "1". EPROM – пам'ять, що може бути змінена багаторазово користувачем. Мікросхеми з ультрафіолетовим стиранням винайдено у 1971 році в "Intel". Мікросхеми з електричним стиранням винайдені тією ж самою корпорацією "Intel" у 1979 році. Такий тип пам'яті надає повний механізм доступу до вмісту мікросхеми та перезапису її новими значеннями. Перепрограмована пам'ять використовується для зберігання інформації в сучасних пристроях, наприклад, як елементи SIM-карток мобільного зв'язку.

Пам'ять такого типу, в більшості випадків, не має яких-небудь засобів захисту від стороннього втручання у вміст мікросхеми. Враховуючи малі обсяги носіїв, EPROM пам'ять не застосовується у переносних носіях інформації для зберігання інформації користувача.

Flash ROM ("швидка" або "миттєва" пам'ять). Flash ROM є основою сучасних елементів пам'яті масового використання. Вважається, що історичним розробником є фірма "Intel", яка у 1988 році представила перші зразки нового типу пам'яті серії NOR. Назва "Flash" ("спалах") вперше використана фірмою Toshiba у 1989 році для опису власної розробки – мікросхем флеш-пам'яті типу NAND. Суттєвою перевагою мікросхем флеш-пам'яті є її секторна структура. Внутрішня структура мікросхеми представляє собою масив з секторів. Типовий розмір сектора – 512 байт для мікросхем пам'яті звичайного призначення. Наприклад, у контролерів серії AVR® MEGA фірми "Atmel" сектор складає лише 32 байти [5].



Рис. 5. Мікросхема флеш-пам'яті фірми "Hynix" 512Mbit у корпусі TSOP

Аналіз методів підвищення захисту інформації

Надійність збереження інформації у носії інформації, насамперед, визначається закладеними у неї технічними характеристиками та ідеями. Проведений вище аналіз показав, що для класичних оптичних носіїв інформації взагалі немає механізму захисту інформації від зняття. Існуючі механізми захисту вмісту оптичних дисків, на жаль, направлені на боротьбу проти стандартних засобів зчитування інформації.

Найбільш суттєвий механізм захисту інформації надають електронні системи зберігання інформації із використанням мікросхем пам'яті різного типу. Одним з таких засобів є USB Flash Disk, що відноситься до найбільш розповсюдженого засобу переносу інформації. USB Flash Disk як класичний пристрій збереження інформації може бути реалізовано як окремий диск, так і як складова іншого приладу, наприклад, MP3-програвачі або мобільні телефони. На рис. 6. показано внутрішню структуру USB Flash Disk на базі флеш-пам'яті.

З рис. 6. видно, що USB флеш-диск складається з двох принципово різних частин, що взаємодіють між собою. По-перше, це мікроконтролер, що виконує функції обміну через USB та мікросхемою флеш-пам'яті. По-друге, це сама мікросхема флеш-пам'яті. На рис. 6. показано принципову особливість електронної схеми із застосуванням флеш-пам'яті – це здатність на одній основі (друкованій платі) залежно від необхідності встановити лише одну, дві або більше мікросхем пам'яті. Об'єм, а отже й робота пристрою, цілком залежить від програмного забезпечення у мікроконтролері.

Проведений експеримент з переносу мікросхеми пам'яті типу flash з флеш-диску в програматор

Розробка та удосконалення технології флеш-пам'яті призвела до поширення використання мікросхем флеш-пам'яті у широкому спектрі мультимедійних технологій, надала необхідний елемент реалізації складних проектів типу PDA, смартфонів та навіть окремих продуктів – SOC (System-on-chip), що пов'язують на одному кристалі контролер (найчастіше типу ARM7/ARM9), пам'яті флеш та ОЗП від десятків МБ кожної (рис. 5).

Наявність відкритого інструментарію для зчитування/запису інформації у пам'ять чипу флеш-пам'яті дає такі ж самі результати, що й для пам'яті типу EPROM.

Таким чином, цілісність інформації, що міститься у мікросхемах пам'яті не дає можливості захистити її від зовнішніх посягань.

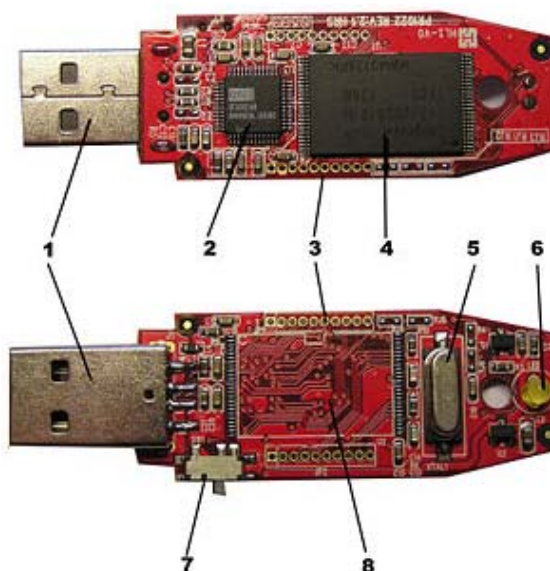


Рис. 6. Внутрішня конструкція типового USB Flash носія (показаний виріб фірми "Saitek"): 1) USB роз'язтя; 2) мікроконтролер; 3) контрольні точки; 4) мікросхема Flash пам'яті; 5) кварцовий резонатор; 6) світлодіод; 7) перемикач «захист от записи»; 8) місце для додаткової мікросхеми пам'яті

показав, що вміст мікросхеми може бути прочитаний на доступних користувачу технічних засобах. Такий же принцип доступу до інформації вже використовується на практиці у фірмах з відновлення інформації та ремонту мобільних носіїв пам'яті.

З наведеного вище видно, що інформація у відкритому вигляді не може зберігатися у носію, якщо її вміст є конфіденційним.

Як один з можливих підходів, пропонується використання зовнішньої ключової системи на базі так званого ВІК-ключа [7] (рис. 7). Одним з елементів системи є зовнішній механічний ключ та вбудований в флеш-диск зчитувач. Як видно з структурної схеми (рис. 7), доступ до схеми пам'яті контролює контролер персоналізації.

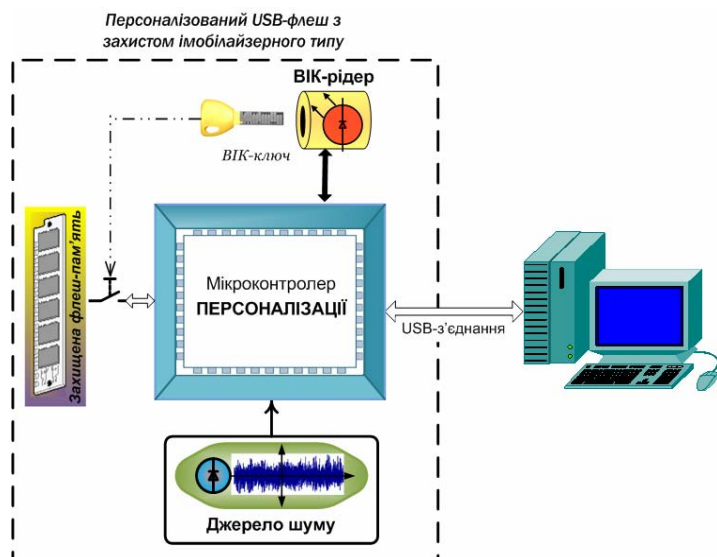


Рис. 7. Структурна схема персоналізованого флеш [7]

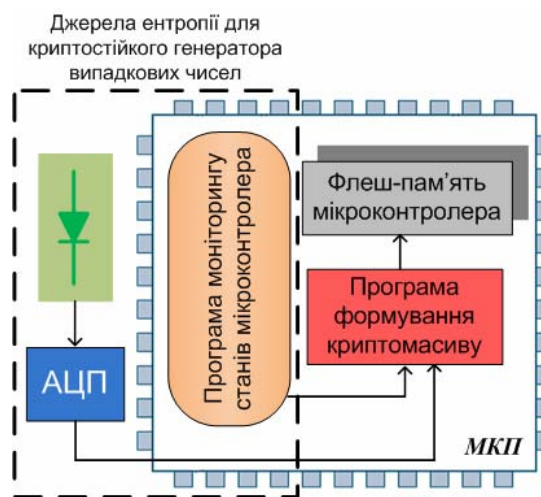


Рис. 8. Використання джерел ентропії для криптографічного генератора випадкових чисел [7]

Однак, застосування такого підходу має суттєві недоліки:

- схема пам'яті доступна для зняття та переносу на інший зчитувач інформації без персоналізації;
- можливість імітації ВІК-ключа шляхом прямого підключення до ВІК-рідера;
- мала кількість кодів, що можуть бути реалізовані за допомогою ВІК-ключа;
- доступність конструкції системи персоналізації дозволяє криптоаналітику провести серію атак на контролер персоналізації шляхом проведення нескінченної кількості циклів формування вхідної послідовності та аналізу вихідної;

- наявність "джерела шуму" (рис. 8) вносить нестабільність в роботу системи, оскільки генератор шуму на базі псевдошумового генератора здатний формувати однакові послідовності, що потрібно для реалізації функції гамування або формування ключової послідовності [8, 9].



Рис. 9. MyFlash FP1 від A-Data



Рис. 10. Stealth MXP USB-флеш диск від MXI Security

Більш потужний захист можуть надати системи з істинною (або біометричною) криптографічною системою захисту інформації, що реалізована на апаратному рівні. Одною з таких систем є носії зі зчитуванням відбиттів пальців, що виготовляються різними провідними фірмами світу: "Afa Technology", "A-Data", "CySecure", "9ray", "MXI Security" та інші [10].

Надійність системи захисту залежить від програмного забезпечення, що застосовано для реалізації протоколу роботи з диском. На жаль, більшість дисків не реалізують функцію криптографічного захисту всієї інформації, а лише допуск до інформації від операційної системи до диску [11].

Єдиною можливістю захисту інформації на носію інформації є реалізація прозорі криптографічної файлової системи типу OpenEFS або шифрування файлів безпосередньо на базі широкорозповсюдженої для флеш-дисків файлової системи FAT16. Останнє є підчас єдиною можливістю для embedded-систем на базі процесорів x51, ARM та інших.

Прикладом такого підходу є застосування VDRIVE1 - USB host модулю на базі універсального чипу VNC1L-1A (рис. 11), що дозволяє підключати флеш-диск до VDRIVE1 з одного боку, та до embedded-системи зі спрощеним інтерфейсом обміну інформацією. Як видно з самої конструкції VDRIVE1, використання флеш-дисків, що вимагають наявності додаткового драйвера вищого рівня (наприклад для ОС Windows) у такому випадку застосування просто не припустимо. У свою чергу, реалізація такого підходу дозволяє розробити новий тип захищеної пам'яті, яку можна використовувати не тільки в системах на базі ПК, а також і у автономних мікропроцесорних системах на базі ОС Windows ME, Symbian OS, Linux, embedded Linux, та, найголовніше, у будь-якій системі на базі довільного програмного забезпечення.

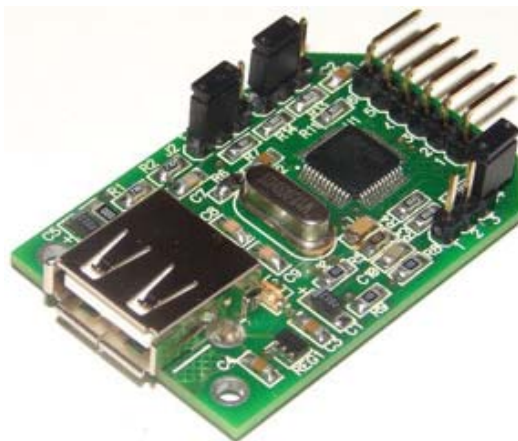


Рис. 11. VDRIVE1 - USB host модуль на основі VNC1L-1A

Висновок

Аналіз засобів збереження цілісності інформації показав, що розвиток сучасних технічних засобів запису інформації, з одного боку, збільшив гнучкість інструментів запису інформації, можливості модифікації. З другого боку, така гнучкість надає більше засобів для несанкціонованого доступу до носіїв.

Можливість захисту інформації можна реалізувати шляхом:

- 1) застосування систем обмеження доступу з біометричною інформацією, де ключем виступають біологічні характеристики власника інформації;
- 2) застосування криптографічних протоколів обміну інформації (бажано на базі асиметричних протоколів);
- 3) збереження інформації на некриптографічних носіях лише шифрованої інформації.

Література

1. NIST Security Publications // <http://csrc.ncsl.nist.gov/secpubs/rainbow/>
2. How the CD was developed. BBC News (August 17, 2007). Retrieved on 2007-08-17. // <http://news.bbc.co.uk/2/hi/technology/6950933.stm>
3. Iomega ZIP // <http://www.iomega.com/zip>
4. Programmable read-only memory // http://en.wikipedia.org/wiki/Programmable_read-only_memory
5. ATmega32. 8-bit AVR microcontroller with 32K Bytes In-System Programmable Flash. Preliminary // Atmel datasheet № 2503F-AVR-12/03.
6. μ PD78P324. 16-/8-Bit Single Chip Microcomputers // NEC Corporation. – 1999.
7. Корольов В.Ю., Поліновський В.В., Малікова О.В. Побудова системи захисту інформації на базі персоналізованого USB-флеш з використанням ключа-ідентифікатора // Вісник Хмельницького національного університету. – Технічні науки. – 2008. – №3. – С. 175-181.
8. Жельников В. Криптография от папируса до компьютера. – М.: Dore print, 1999. – 24 с.
9. Лагутин В.С., Петраков А.В. Утечка и защита информации в телефонных каналах. – М.: Энергоатомиздат, 1996. – 209 с.
10. MXI Security™ - Portable Security Devices // www.mxisecurity.com
11. Bachfeld Daniel. Access to protected data areas without the right fingerprint // In C'T magazine. – 2008. - № 05. – P. 70 // <http://www.heise-online.co.uk/security/features/110280>

Надійшла 23.5.2008 р.

УДК 004

В.М. ДЖУЛІЙ, А.В. ДЖУЛІЙ
Хмельницький національний університет

ЙМОВІРНІСНА МОДЕЛЬ ПРОГРАМНО-АПАРАТНОГО ЗАХИСТУ ІНФОРМАЦІЙНОЇ СИСТЕМИ

Запропонована ймовірнісна модель функціонування системи захисту інформаційної системи. Дана модель дозволяє розрахувати на будь-який момент часу t ймовірність перебування системи захисту в тому або іншому стані і здійснювати прогнозування ситуації на об'єкті, що захищається, по нелегальних вторгненнях в його інформаційне поле. Отримані результати можуть служити основою подальших досліджень по оцінюванню надійності використовуваних систем захисту в умовах невизначеності.

Зростання загрози несанкціонованого доступу нелегальних користувачів до електронних джерел

інформації вимагає розробки та впровадження адекватних заходів з припинення подібних впливів. Протидія можливим незаконним проникненням в інформаційне поле об'єкта здійснюється програмно-апаратними засобами, сукупність яких утворює *систему захисту* (СЗ) даного об'єкта.

Призначення *ідеальної* (гіпотетичної) СЗ – повне виключення протиправних (контрафактних) вторгнень. Проте стосовно реально функціонуючих систем справедливо вести мову лише про більший або менший ступінь нейтралізації атак і мінімізації числа можливих проникнень, що здійснюються, в інформаційну систему, яка захищається. В даному випадку природно ставити питання про *надійність* виконаного захисту конкретного об'єкта і дослідження її дієвості.

Проблема оцінки надійності СЗ є однією з ключових в комп'ютерних технологіях [1, 2]. Проте в наявних наукових публікаціях ця тема раніше не обговорювалася, принаймні, на рівні змістовного кількісного аналізу. Пояснення на зазначеному факті в цілому витікає з того, що саме по собі таке оцінювання представляє задачу, що вирішується в ситуації *ризик* і *невизначеності*. Ризик виражається стохастичним характером атак на інформаційне поле об'єкта і, отже, недетермінованістю обчисленої оцінки. Невизначеність задачі полягає в обмеженні спостережень: СЗ здатна фіксувати тільки відбивані спроби нелегального проникнення; факти успішних (для нелегалів) проникнень, що відбулися, СЗ не реєструє. Проте і в цих умовах застосуванням відповідного математичного апарату вдається добитися її результативного рішення.

Стохастичне оцінювання можливостей діючої системи захисту на даному проміжку часу тривалістю t пов'язане, перш за все, з аналітичною побудовою моделі функціонування СЗ. Така модель дозволяє, в принципі, вирішити два важливих питання: здійснювати прогнозування ситуації на об'єкті, що захищається, по нелегальних вторгненнях в його інформаційне поле; приблизно оцінювати надійність СЗ при вказаній вище умові невизначеності.

Враховуючи актуальність цих питань в даній статті виконано моделювання програмно-апаратного захисту об'єкта на марківському ланцюговому процесі з дискретними станами СЗ і безперервним часом.

Постановка задачі

Вважаємо випадковими наступні події: атаки (вторгнення), що поступають в СЗ; проникнення в інформаційне поле об'єкта (успішні атаки); припинення або відбивання атак (безуспішні атаки).

Потік вторгнень, що входить в діалог з СЗ, характеризуватимемо інтенсивністю λ (середнім числом подій в одиницю часу). Під впливом системи захисту вхідний потік підрозділяється на два потоки – відбиваних атак з інтенсивністю λ_0 і пропущених, невідбиваних атак з інтенсивністю λ_n .

Між перерахованими потоками виконується необхідна і достатня, балансова, умова

$$\lambda = \lambda_0 + \lambda_n, \quad (1)$$

яка називається “рівнянням витрати” [3]. З (1) одержимо

$$\frac{\lambda_0}{\lambda} + \frac{\lambda_n}{\lambda} = 1, \quad (2)$$

де перше з відношень є не що інше як *ймовірність відбивання* діючої СЗ об'єкта *атак нелегальних користувачів*:

$$P_{OA} = \frac{\lambda_0}{\lambda}. \quad (3)$$

Ймовірність, що визначається співвідношенням (3), приймемо за *основний показник надійності* системи захисту.

Другим відношенням в (2) виражається ймовірність P_n пропуску (невідбивання) атак як доповнення P_{OA} до одиниці.

Систему захисту інтерпретуємо як пуасоновську розімкнену систему [3] впливу на вхідний потік нелегальних вторгнень.

Згідно з перерахованими умови задача стисло формулюється так:

- розробити математичну модель марківського процесу “відбивання – невідбивання” атак нелегальних користувачів системою захисту об'єкта;
- знайти прогнозні рівняння ймовірностей станів СЗ;
- показати кількісні оцінки апіорної надійності СЗ.

Результати виконаного дослідження.

Процес, що вивчається, може бути представлений графом станів, показаним на рис. 1. На графі (рис. 1) позначено: S_0 - стан процесу, при якому число невідбиваних атак рівне нулю; S_2, S_4, S_6, \dots – стани процесу, в яких СЗ має на своєму рахунку одне, два, три і т.д. пропущених вторгнення; S_1, S_3, S_5, \dots – стани процесу, відповідні входженню в контакт (діалогу) нелегального користувача з СЗ; $p_i(t)$ – ймовірність перебування СЗ в стані S_k , $k=0, 1, 2, \dots$ за час t , відлічуваний від початку процесу (в добі від початку календарного місяця); $\lambda, \lambda_0, \lambda_n = \lambda - \lambda_0$ – умовні щільності перехідних ймовірностей процесу (інтенсивності потоків).

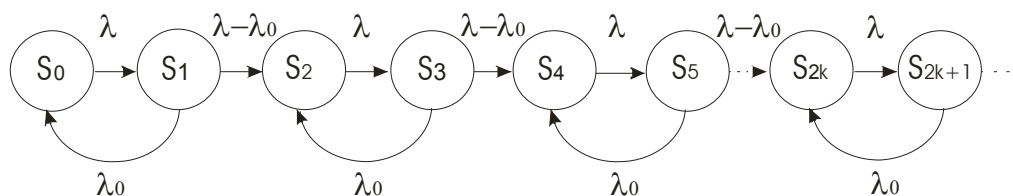


Рис. 1. Граф марківського процесу “відбивання – невідбивання” нелегальних вторгнень системою захисту інформаційного поля об’єкта

По розміченому графу складемо систему диференціальних рівнянь Колмогорова – Чепмена ймовірностей станів СЗ. Матимемо

$$\begin{cases} \frac{dp_0(t)}{dt} = -\lambda p_0(t) + \lambda_0 p_1(t) \\ \frac{dp_1(t)}{dt} = \lambda p_0(t) - \lambda_0 p_1(t) \\ \dots \\ \frac{dp_{2k}(t)}{dt} = (\lambda - \lambda_0) p_{2k-1}(t) - \lambda p_{2k}(t) + \lambda_0 p_{2k+1}(t) \\ \frac{dp_{2k+1}(t)}{dt} = \lambda p_{2k}(t) - \lambda p_{2k+1}(t), \quad k = 1, 2, \dots \end{cases} \quad (4)$$

Відмітимо, що граф на рис. 1. – нетранзитивний [3], тому процес, описаний системою рівнянь (4), неергодичний і не володіє стаціонарним режимом.

Суть протікаючого в СЗ процесу полягає в наступному.

Якщо подія потоку вторгнень з інтенсивністю λ присічена діями СЗ, то атака відвернута і після закінчення діалогу СЗ повертається із стану S_{2k-1} у попередній стан S_{2k-2} , $k=1, 2, \dots$. Якщо ж подія вхідного потоку не присічена СЗ, то після закінчення діалогу система захисту з інтенсивністю $\lambda_n = \lambda - \lambda_0$ віртуально переходить із стану S_{2k-1} у подальший стан S_{2k} . Невідбивані атаки нелегальних користувачів змінюють характеристичні стани СЗ, яка в даній задачі виступає в ролі “накопичувача” таких атак.

Неергодичність процесу і накопичення неприсічених вторгнень служить відмітною особливістю даної пуассоновської системи від відомих класичних схем [3].

Інтегрування рівнянь системи (4) виконується попарно стандартними методами [4] за початкових умов:

$$p_0(0) = 1, p_1(0) = p_2(0) = \dots = p_k(0) = \dots = 0 \quad (5)$$

Зокрема, інтегрування першої пари рівнянь з (4) зводиться до рішення однорідного рівняння 2-го порядку

$$\frac{d^2 p_0(t)}{dt^2} + 2\lambda \frac{dp_0(t)}{dt} + \lambda(\lambda - \lambda_0) p_0(t) = 0 \quad (6)$$

з приєднаною до нього рівністю

$$p_1(t) = \frac{1}{\lambda_0} \left(\frac{dp_0(t)}{dt} + \lambda p_0(t) \right) \quad (7)$$

В результаті рішення (6), (7) за умов $p_0(0) = 1, p_1(0) = 0$ одержимо такі вирази ймовірностей $p_0(t), p_1(t)$ станів S_0, S_1 системи захисту:

$$\begin{cases} p_0(t) = \frac{1}{2} \left(e^{-(\lambda - \sqrt{\lambda\lambda_0})t} + e^{-(\lambda + \sqrt{\lambda\lambda_0})t} \right) \\ p_1(t) = \frac{1}{2} \sqrt{\frac{\lambda}{\lambda_0}} \left(e^{-(\lambda - \sqrt{\lambda\lambda_0})t} - e^{-(\lambda + \sqrt{\lambda\lambda_0})t} \right) \end{cases} \quad (8)$$

Перебування СЗ в групі станів $\{S_0, S_1\}$ характеризується сумарною ймовірністю

$$p_0(t) + p_1(t). \quad (*)$$

Нею оцінюється ймовірність події, що полягає в тому, що за час t від початку процесу діюча СЗ не матиме на своєму рахунку невідбиваних атак нелегалів.

Інтегрування подальших пар рівнянь в (4) виконується аналогічним чином, проте виявляється трудомістким і громіздким через те, що, починаючи з другої пари, замість однорідного рівняння виду (6) доводиться вирішувати неоднорідне рівняння

$$\frac{d^2 p_{2k}(t)}{dt^2} + 2\lambda \frac{dp_{2k}(t)}{dt} + (\lambda^2 - \lambda\lambda_0)p_{2k}(t) = (\lambda^2 - \lambda\lambda_0)p_{2(k-1)}(t), \quad (9)$$

$k=1,2, \dots$

Істотного спрощення при обчисленні ймовірності можна добитися, застосовуючи одержані рекурентні формули

$$\begin{cases} p_{2k}(t) = \frac{\lambda - \lambda_0}{2k} t p_{2k-1}(t) \\ p_{2k+1}(t) = \frac{\lambda - \lambda_0}{2k\lambda_0} [\lambda t p_{2k-2}(t) - (2k-1)p_{2k-1}(t)] \end{cases} \quad (10)$$

$k = 1, 2, \dots$

За формулами (10) ймовірності станів $S_2, S_3 \dots$ вдається виразити через ймовірності функції $p_0(t), p_1(t)$, що визначаються рівністю (8). Наведемо декілька перших виразів:

$$\begin{cases} p_2(t) = \frac{\lambda - \lambda_0}{2} t p_1(t) \\ p_3(t) = \frac{\lambda - \lambda_0}{2\lambda_0} [\lambda t p_0(t) - p_1(t)] \end{cases} \quad (11)$$

$$\begin{cases} p_4(t) = \frac{(\lambda - \lambda_0)^2}{8\lambda_0} t [\lambda t p_0(t) - p_1(t)] \\ p_5(t) = \frac{(\lambda - \lambda_0)^2}{8\lambda_0^2} \{ \lambda \lambda_0 t^2 p_1(t) - 3[\lambda t p_0(t) - p_1(t)] \} \end{cases} \quad (12)$$

$$\begin{cases} p_6(t) = \frac{(\lambda - \lambda_0)^3}{48\lambda_0} t \{ \lambda \lambda_0 t^2 p_1(t) - 3[\lambda t p_0(t) - p_1(t)] \} \\ p_7(t) = \frac{(\lambda - \lambda_0)^3}{48\lambda_0^3} \{ \lambda \lambda_0 t^2 [\lambda t p_0(t) - 6p_1(t)] + 15[\lambda t p_0(t) - p_1(t)] \} \end{cases} \quad (13)$$

Сумами функцій

$$p_2(t) + p_3(t), \quad p_4(t) + p_5(t), \quad p_6(t) + p_7(t), \quad (**)$$

виражається ймовірність перебування СЗ в стані $\{S_2, S_3\}, \{S_4, S_5\}, \{S_6, S_7\}$, або, що те ж, ймовірності рівно однієї, двох, трьох невідбиваних системою захисту атак нелегальних користувачів за час t від початку функціонування СЗ. Для обчислення ймовірності більшого числа таких атак формули (11-13) можна необмежено продовжити.

Якщо в процесі роботи СЗ достовірно встановлено (апостеріорно), що відбулося до $t = 1, 2, \dots$ нелегальних проникнень в інформаційне поле об'єкта, то розрахунок ймовірності зміщується на стан S_{2k} . Цей стан приймається початковим і від нього поновлюється відлік часу t . Наприклад, якщо на час $t = 8,5$ стало відомо про дві успішні атаки нелегалів, то треба прийняти в подальших розрахунках $S_4(8,5) = S_0(0)$, $p_4(8,5) = p_0(0) = 1$, $p_5(8,5) = p_1(0) = 0$, $p_6(8,5) = p_2(0) = 0$, $p_7(8,5) = p_3(0) = 0$ і т.д. При цьому пара станів $\{S_0, S_1\}$ на рис. 1 ідентифікуватиметься з двома невідбиваними СЗ атаками, пара $\{S_2, S_3\}$ – з трьома і т.д. Формули (8), (11) – (13), зрозуміло, залишаться без змін.

Перша частина поставленої задачі розв'язана повністю рівняннями (4) – (13). За допомогою знайдених ймовірносних функцій $p_k(t)$, $k = \overline{0,7}$ є можливим прогнозування ситуації на об'єкті, який захищається, за умови, що ймовірність P_{OA} відбивання атак системою захисту відома з яких-небудь обставин або апіорно задається. Завершуючи дослідження, другу частину задачі проілюструємо прикладом чисельних розрахунків.

Припустимо, що на об'єкті включена СЗ з параметром $\lambda_0 = 1.62$ 1/добу. Значення λ_0 відомо за наявною статистикою відбиваних атак аналогічними системами, для яких апіорно прийнято $P_{OA} = 0,9$. Використовуючи ці дані, спрогнозуємо роботу СЗ строком на місяць.

Розв'язання

За формулою (3) знайдемо інтенсивність вхідного потоку атак нелегальних користувачів:

$$\lambda = \frac{\lambda_0}{P_{OA}} = \frac{1.62}{0.9} = 1.8 \text{ 1/добу.}$$

За формулами (8), (11) – (13) обчислимо значення ймовірностей на проміжку часу t тривалістю 1, 3, 7,

10, 20, 30 діб. Результати розрахунків наведені в табл. 1.

Таблиця 1

Прогнозні значення ймовірностей станів системи захисту об'єкта						
$p \setminus t$	1	3	7	10	20	30
$p_0(t)$	0.47086773	0.37899889	0.26191431	0.19852342	0.07882310	0.03129647
$p_1(t)$	0.46474925	0.39947152	0.27608191	0.20926205	0.08308684	0.03298937
$p_2(t)$	0.04182743	0.10785731	0.1739316	0.18833584	0.14955631	0.08907130
$p_3(t)$	0.02126737	0.09150680	0.16800212	0.18689774	0.15303026	0.09205665
$p_4(t)$	0.000957032	0.01235342	0.05292067	0.08410398	0.13772723	0.12427646
$p_5(t)$	0.00031909	0.00855303	0.04687588	0.078593310	0.13680378	0.12593555
$p_6(t)$	0.00000957	0.00076977	0.00984393	0.02357793	0.08917634	0.11334199
$p_7(t)$	0.00000236	0.00044339	0.00800780	0.020757521	0.07915114	0.112611579

За знайденими ймовірностями формуємо суми (*), (**), табл. 2. Цими сумами і визначається власне прогноз. Приведені дані наочно показують, що для забезпечення збереження інформації від нелегального доступу на об'єктах, схильних до інтенсивних атак, системи захисту, що розробляються, повинні мати високий ступінь надійності: $P_{OA} = 0.975 \div 0.995$.

Таблиця 2

Прогнозні значення ймовірностей 0, 1, 2, 3 і не більш 3-х нелегальних проникнень за час t в інформаційне поле об'єкту

$P_k + P_{k+1}$ t діб	$p_0(t) + p_1(t)$	$p_2(t) + p_3(t)$	$p_4(t) + p_5(t)$	$p_6(t) + p_7(t)$	$\sum_{k=0}^7 P_k$
1	0.93561698	0.063094801	0.00127612	0.00001193	0.99999983
3	0.77847041	0.19936411	0.02090645	0.00121317	0.99995414
7	0.53799622	0.34193372	0.09979655	0.01785173	0.99757822
10	0.40778547	0.37523358	0.16269709	0.04433545	0.99005159
20	0.16190994	0.30258657	0.2745310	0.16832748	0.90735498
30	0.06428583	0.18112795	0.25021201	0.22595778	0.72158357

Як бачимо з табл. 2, навіть при $P_{OA} = 0.9$ немає переконливих гарантій тому, що після закінчення приблизно тижневого терміну від включення СЗ не відбудеться її прорив. Дійсно, поклавши $p_0(t) + p_1(t) = 0.5$, нескладно порахувати одним з наближених методів [5] з рівняння

$$1.0270463e^{-0.0923701t} - 0.5 = 0,$$

що при $t = 7.792935$ діб буде з тією ж ймовірністю 0.5 не менше 1-го незаконного проникнення в інформаційне поле об'єкта.

Висновки

Слід відмітити, що забезпечення надійності СЗ в межах, які визначаються нерівностями $0.9 < P_{OA} < 1$, – непроста задача. Тому одним із способів підвищення дієвості програмно-апаратних засобів захисту об'єкта може розглядатися періодичне оновлення СЗ в сукупності з використанням інструменту дезінформації. Оптимальні терміни (періодичність) заміни діючої СЗ новою системою регламентуються її передбачуваною надійністю P_{OA} і спостережуваною інтенсивністю λ_0 . Показані результати можуть служити основою подальших досліджень по апостеріорному оцінюванню надійності використовуваних СЗ в умовах невизначеності.

Література

1. Галицкий А. В., Рябко С. Д., Шаньган В. Ф. Защита информации в сети – анализ технологий и синтез решений. – М.: ДМК Пресс, 2004. – 616 с.: ил.
2. Вэж Дж., Карнахан Л. Безопасность корпоративной сети при работе с Интернетом. Введение в межсетевые экраны // Конфидент. – 2000. – № 4-5. – С. 48-55.
3. Овчаров Л.А. Прикладные задачи теории массового обслуживания. – М: Машиностроение, 1969. – 324 с.
4. Эльсгольц Л. Э. Дифференциальные уравнения и вариационное исчисление. – М.: Наука, 1969.: 424 с.
5. Демидович Б. П., Марон И. А. Основы вычислительной математики. – М.: Наука, 1970.: 664 с.

Надійшла 7.5.2008 р.

КРИПТОГРАФІЧНІ МЕТОДИ ІДЕНТИФІКАЦІЇ ГРАФІЧНИХ ЗОБРАЖЕНЬ

В роботі розглянуто підходи для обчислення статистичних значень, які захоплять головні особливості зображення і залишаться по суті незмінними через прийнятні перетворення. Запропоновані методи є гнучкими і можуть використовуватися для розв'язання інших задач.

Вступ

Задача методів ідентифікації графічних зображень – знайти спотворення вмісту та визначити автора об'єкта даних. Два головні криптографічні примітиви для забезпечення достовірності – це коди ідентифікації повідомлення (MAC) і цифрові системи підпису (DS). В обох системах, щоб ідентифікувати об'єкт даних m , алгоритм генерації використовується для отримання ознаки ідентифікації t , який приєднується до об'єкта, щоб сформувати $m||t$. Алгоритм перевірки бере об'єкт та пару ознак $o||t$ і проводить порівняння і визначає (достовірність): справжній об'єкт чи ні. У системах MAC ключ генерації і верифікації однаковий (або один може бути легко одержаний з іншого), і система називається симетричною ключовою системою. Недоліком симетричних ключових систем – є те, що вони не забезпечують «неможливості відмови від авторства»: відправник може відхилити повідомлення, яке він послав. У системах DS ознака ідентифікації також називається підписом і використовується не тільки для ідентифікації, але і для забезпечення «неможливості відмови від авторства». Головний недолік систем DS – те, що вони потребують багато дорогоцінних ресурсів для обчислень.

Постановка задачі

Метод хешування зображення H бере довільне зображення I і створює строку бітів x_i . На відміну від криптографічних хеш-функцій, алгоритми хешування зображення повинні бути позбавлені чутливості до бітів і створювати таке ж значення для подібних зображень, які є визначеними через набір A – допустимих перетворень. Це перетворення, які не змінюють головні особливості зображення. Ми говоримо: зображення I' подібне I , якщо $I' = a(I)$; $a \in A$. Нам також потрібно визначити набір A' неприпустимих перетворень, що складаються з перетворень, застосованих до цілого зображення, як наприклад компресія в низькому якісному чиннику з метою пошкодження важливих деталей зображення, і локалізованої модифікації вмісту.

Метод хешування повинен створювати "близькі" значення для зображень, які одержані через прийнятні перетворення, і "віддалені" значення для зображень, які одержані через заборонені перетворення. Щоб визначити "близькі" і "віддалені" значення необхідні функції відстані.

Мірою відстані між двома значеннями v та v' є кореляційний коефіцієнт $d_{CC}(v, v')$

$$d_{CC}(v, v') = \frac{\sum_{i=0}^n (v_i - \bar{v}_i)(v'_i - \bar{v}'_i)}{\sqrt{\sum_{i=0}^n (v_i - \bar{v}_i)^2} \cdot \sqrt{\sum_{i=0}^n (v'_i - \bar{v}'_i)^2}} \quad (1)$$

та Евклідова відстань $d_{ED}(v, v')$

$$d_{ED}(v, v') = \sqrt{\sum_{i=0}^n (v_i - v'_i)^2} \quad (2)$$

Якщо хеш значення близькі $d_{ED}(H(I), H(I')) \in (1 - \varepsilon, 1 + \varepsilon)$ або $d_{ED}(H(I), H(I')) < \varepsilon$, ми кажемо, що два зображення є схожими і визначаємо рівень достовірності цього твердження.

Методи створення і перевірки хешу

Методи хешування зображення, які використовуються для ідентифікації, повинні мати таку властивість, щоб було неможливо створити два зображення I та I' які схожі та $I' \ll a(I)$; $a \in A$.

Для хорошого алгоритму хешування, вірогідність позитивної неправди і негативної неправди повинна залишитися маленькою.

Основна ідея – вирахувати статистичні значення, які захоплять головні особливості зображення і залишаться по суті незмінними через прийнятні перетворення. Тут незмінне означає, що хеш-значення буде близьким. Для набору допустимих перетворень відносимо компресію JPEG з різними якісними рівнями. Всі інші перетворення, зокрема фільтрацію, вважаємо неприпустимими маніпулюваннями, які повинні бути знайденими системою. Проте запропоновані системи є гнучкими і можуть використовуватися з іншими визначеннями.

Статистика отримується з певних регіонів зображення. Регіони можуть бути одержані через розподіл зображення на блоки або через алгоритми сегментації, або випадково за допомогою вибору підмножини пікселів. Використовуються дві наступні статистики:

- середнє $\bar{x} = \frac{\sum_1^n x_i}{n}$;
- відхилення від норми $S = \frac{\sum_1^n (x_i - \bar{x})^2}{n}$.

Алгоритм *K-середні/LBG* розроблений для процедур кластеризації в розпізнаванні образів і може бути описаний як вказано нижче.

Наданий великий набір векторів виходу від джерела, відомого як навчальний набір, і початковий набір характерних зразків k призначити кожному елементу навчального набору найближчим характерним зразком. Коли елементи призначені, характерний зразок відновлюється за допомогою обчислення центру навчальних векторів, призначених для нього. Коли процес призначення завершений, ми матимемо групи k векторів, що зібрані навколо кожної з точок виходу.

Заснований на цьому алгоритмі метод складається з наступних етапів:

1. Починаємо з відновлених даних $\{Y_i^{(0)}\}_{i=1}^M$ і набору навчальних значень $\{X_n\}_{i=1}^N$, встановимо $k=0$, $D^{(0)}=0$. Вибіримо границю ε .
2. Регіони квантування $\{V_i^{(k)}\}_{i=1}^M$ дані $V_i^{(k)} = \{X_n : d(X_n, Y_i) < d(X_n, Y_j) \forall j \neq i, i=1, \dots, M\}$.
Припустимо жоден з регіонів не є порожнім.
3. Порахуємо середнє викривлення $D^{(k)}$ між навчальними записами та відновленими.
4. Якщо $\frac{D^{(k)} - D^{(k-1)}}{D^{(k)}} < \varepsilon$ вихід, якщо ні – продовжуємо.
5. $k=k+1$. Знаходимо нові відновлені значення, які є середніми значеннями квантування регіонів $V_i^{(k-1)}$. Перехід на крок 2.

Створення хешу і перевірка складається з трьох методів. Перші два методи засновано на статистиці регіону: середнє, середнє квадратичне відхилення, і третій метод заснований на «книзі шифрування», навчений на стислих векторах особливості зображень.

Метод 1.

Створення хешу. Нехай A_σ складається з усіх JPEG алгоритмів до рівня якості σ .

1. Поділимо зображення на блоки розміром $a \times b$. Припустимо ми отримали $m \times n$ блоків.
2. Для кожного блоку визначимо статистику $S_{ij}^o, i=1, \dots, m, j=1, \dots, n$.
3. Для всіх зображень $I_m = a(I), a \in A_\sigma$ повторимо кроки 1 та 2 для отримання S_{ij}^m .
4. Знайдемо різницю статистик між змінним блоком та відповідним блоком оригінального зображення $|S_{ij}^o - S_{ij}^m|$.
5. Для всіх $i=1, \dots, m, j=1, \dots, n$ знайдемо $\tau = \max_{a \in A_\sigma} |S_{ij}^o - S_{ij}^m|$ та поріг $T_\sigma = \tau$.

Хеш значення зображення складається з послідовності статистик оригінального зображення S_{ij}^o , розміром $a \times b$, та пороговим значенням T_σ . Розмір блоку визначає рівень погрішності статистики. Вибір малого блоку $a \times b$ створить довгі рядки підпису, вибір великого – до втрати деяких даних.

Перевірка хешу. Щоб визначити чи кандидат I_c має той самий хеш x_i , що і I , виконаємо наступні кроки:

Обчислимо $|S_{ij}^o - S_{ij}^c|, i=1, \dots, m, j=1, \dots, n$.

Якщо $|S_{ij}^o - S_{ij}^c| \leq T_\sigma, i=1, \dots, m, j=1, \dots, n$ то I_c перекривається з I .

Експерименти показали, що в більшості випадків середнє квадратичне відхилення виконувалося краще, ніж середнє значення, вибір середнього квадратичного відхилення компенсував більше компресії, ніж вибір середини. Тому ми рекомендуємо використовувати середнє квадратичне відхилення замість середини. Також помічено, що за винятком умисних маніпулювань, обертання створило максимальну різницю в статистиках.

Метод 2.

Генерація хешу. Створення хешу на основі методу *k-середини*. Оригінальне зображення поділено на P частин за допомогою алгоритму *k-середини*. «Книга шифрування» навчена на векторах особливостей оригінального та стиснутого зображення.

1. Визначаємо статистику S_i^o для кожного регіону $i = 1, \dots, P$.
2. Для всіх зображень $I_m = a(I)$, $a \in A$ використовуємо «книгу шифрування» для сегментування та отримання статистики S_i^m .
3. Знаходимо евклідову відстань D_m між статистикою зміненого зображення та статистикою оригінального зображення S_i^o , $D_m = \sqrt{\sum (S_i^o)^2 - (S_i^m)^2}$.
4. Визначаємо поріг T на основі D_m для змінених зображень $I_m = a(I)$, $a \in A$.

5. Хеш-значення складається з послідовності статистик оригінального зображення S_i^o , кількості регіонів P , статистики, що використовується, «книги шифрування» та порогу T .

Перевірка хешу. Щоб перевірити: чи значення хешу зображення кандидата I_c таке ж як значення хешу початкового зображення, зробимо наступне.

1. Сегментуємо зображення I_c на P частин, використовуємо алгоритм *к-середини* для отримання «книги шифрування»

2. Визначаємо статистику S_i^c для цих регіонів.

3. Визначаємо Евклідову відстань D_c між I_c та I . Якщо $D_c \leq T$, то хеш значення однаковий, інакше – різні.

"Книга шифрування" отримується за допомогою прийнятних модифікацій зображення. Зараз, якщо зображення кандидата створено за допомогою прийнятної модифікації, сегменти є дуже подібними до сегментів початкового зображення і відтепер статистика регіонів близька до початкового зображення і відстань Евкліда між двома сегментами найменша. Якщо зображення є від неприпустимого перетворення, регіони різні і відстань велика.

Метод 3. Використовує книгу шифрування, навчену на векторах особливості зображень.

1. Беремо зображення I та зображення JPEG стиснуте з різними рівнями якості.

2. Знаходимо вектори особливостей, які містять значення пікселів (p), середні значення сусідніх пікселів (\bar{x}), та стандартне відхилення сусідніх пікселів (σ) для всіх вищезгаданих зображень. Це і є набір учбових значень T_c . З цього слідує, що $(p, \bar{x}, \sigma) \in T_{c_i}$ та $(p, \bar{x}, \sigma) \in T_c = T_{c_1} \cup T_{c_2} \cup \dots \cup T_{c_k}$, де T_{c_i} – набір учбових значень векторів особливостей стиснутих зображень I_i .

3. Навчаємо книгу шифрування I_c на наборі значень T_c створеного вище, використовуючи тільки стиснуті зображення.

4. Нехай $FC = \{C_1, C_2, \dots, C_p\}$ – книга шифрів, створена вище.

5. За допомогою FC виконаємо декілька ітерацій алгоритму, використовуючи набір значень T_{c_i} .

6. Припустимо $FC' = \{C'_1, C'_2, \dots, C'_p\}$ відхиленням у Евклідовій відстані буде

$$ED_{comp} = \sqrt{\sum_{i=1}^p (C_i - C'_i)^2}.$$

7. Повторимо крок 5 знову, використовуючи набір значень T_f створеного з векторами особливостей зміненого зображення I_f . Нехай $FC^o = \{C^o_1, C^o_2, \dots, C^o_p\}$ – книга шифрування після одної ітерації. Тоді

$$\text{відхилення у Евклідовій відстані буде } ED_{other} = \sqrt{\sum_{i=1}^p (C_i - C^o_i)^2}.$$

8. Шукаючи максимальне і мінімальне значення ED_{comp} для кожного стиснутого зображення I_i , встановлюємо границі для прийнятних відстаней Евкліда $[a, b]$.

9. Хеш складається з FC , a і b . Розмір хешу буде $((p \times 3) + 2) \times r$ байтів де p – розмір книги шифрування, а r – кількість байтів для представлення справжнього значення.

Перевірка хешу. Для того, щоб перевірити чи зображення I_c має той самий хеш, що і I , необхідно:

1. Створимо послідовність векторів особливостей для кожного значення пікселя, середні значення сусідніх пікселів та стандартне відхилення сусідніх пікселів.

2. Зробимо ітерацію *LBG* на отриманій DC . Нехай $FC^r = \{C^r_1, C^r_2, \dots, C^r_p\}$ – книга шифрування

$$\text{після іншої ітерації, тоді відхилення у Евклідовій відстані буде } ED_{received} = \sqrt{\sum_{i=1}^p (C_i - C^r_i)^2}.$$

3. Якщо отримана Евклідова відстань попадає в проміжок $[a, b]$, тоді хеші зображень співпадають.

Експеримент, для підтвердження методу 3 показав, що при збільшенні чіткості зображення має найвище відхилення на всіх зображеннях. На деяких зображеннях, оскільки розмір книги шифрування було збільшено, початкове зображення показало невелике відхилення в Евклідових відстанях в порівнянні зі стиснутими.

Висновки

Алгоритм хешування повинен створювати "близькі" значення для зображень, які одержані через прийнятні перетворення, і "віддалені" значення для зображень, які одержані через заборонені перетворення.

Метод 1 використовує блоки однакового розміру для кожної модифікації, тоді як регіони, що є результатом *k-седенинної сегментації* методу 2, не є однаковими для кожної модифікації. Метод 1 виконується краще, тому що він порівнює статистику відповідності блоків такого ж розміру, тоді як в методі 2 регіони, поділені на сегменти, не можуть зберігати такий же розмір для кожної модифікації. Метод 1 простий для здійснення і система відносно швидка, тоді як метод-2 дуже дорогий в термінах часу і складності за рахунок сегментації. Збільшення числа блоків або зменшення розміру блоку покращує роботу методу 1 за рахунок довгого хешу, тоді як збільшення числа регіонів не сильно впливає на продуктивність роботи методу 2.

Література

1. Нетравалі, Арун Н. та Хаскель, Баррі Г. Цифрові зображення: Представлення і компресія, – Нью-Йорк, 2002р. – 430 с.
2. Лин та Чанг. Створення надійного цифрового підпису для ідентифікації медіа. – 1998р. – 270 с.
3. Анин Б. Ю. Защита компьютерной информации. – СПб.: БХВ – СПб., 2000. – 580 с, ил.
4. Смит Ричард Э. Аутентификация: от паролей до открытых ключей // Издательский дом «Вильямс», 2002. – 348 с., ил.

Надійшла 25.5.2008 р.

УДК 681.3:621.396

А.В. ДУДАТЬЕВ, О.П. ВОЙТОВИЧ, Ю.В. БАРИШЕВ

Вінницький національний технічний університет

МЕТОД ОЦІНЮВАННЯ БЕЗПЕКИ ІНФОРМАЦІЙНИХ РЕСУРСІВ ПІДПРИЄМСТВА НА ОСНОВІ АНАЛІЗУ ВРАЗЛИВОСТЕЙ

Стаття присвячена питанням оцінювання безпеки інформаційних ресурсів підприємства на основі аналізу вразливостей, що йому притаманні. Для прийняття рішення щодо рівня безпеки та визначення загального ризику підприємства запропоновано використовувати нейронечіткий підхід. Метод заснований на визначенні значення ризику на основі знань експертів та навчається на експериментальних даних, що дозволяє проводити оцінювання інформаційної безпеки в умовах невизначеності та адаптуватись до зміни зовнішніх та внутрішніх факторів. Наведено приклад використання даного методу.

Вступ

Інформаційна система підприємства, як правило, складається з декількох рівнів управління, які в тій чи іншій мірі пов'язані між собою. Тому у зловмисників завжди знайдеться певний набір методів і засобів, які дозволять обійти політику безпеки підприємства, якщо він проник хоча б на один з них. Офіційна статистика представляє факти, які говорять про те, що більшість несанкціонованих спроб доступу до інформаційних ресурсів залишаються навіть невиявленими. Наприклад, за даними Національного відділення ФБР кількість невиявлених атак знаходиться в межах від 85% до 97%.

Звичайно, не всі недоліки, що призводять до результативного несанкціонованого доступу до інформаційних ресурсів, в тому числі і до найбільш захищених у світі, відомі. Тому постійно актуальним є питання проектування і оцінювання ефективності систем інформаційного захисту.

Проблема забезпечення безпеки актуальна як для державних, так і приватних підприємств. Вирішення цієї проблеми зводиться до мінімальних (допустимих) значень ризику та залежить від організації заходів захисту об'єкта. Тому при створенні систем захисту необхідно враховувати комплексний підхід, здатний вирішити питання забезпечення безпеки на об'єкті.

Аналіз методів створення систем захисту інформації

Відомий системно-концептуальний підхід [1] створення систем безпеки, який дозволяє враховувати фактори, що впливають на безпеку, проводити їх класифікацію, узагальнення, тобто формалізувати процес ідентифікації вихідних даних. Це дозволяє моделювати системи безпеки.

Методологічними принципами, які забезпечують вимоги системно-концептуального підходу, є:

- класифікація та розробка максимально великої сукупності моделей для забезпечення безпеки;

- системний підхід до проблем захисту об'єкта.

Необхідно зазначити, що в зв'язку з частою відсутністю чіткої статистичної інформації стосовно об'єкта, який оцінюється, виникає проблема невизначеності процесів. Все це робить неможливим практичне використання точних моделей, які базуються на класичній математичній теорії [2]. Щоб вирішити ці проблеми, зручно використовувати апарат нечіткої логіки, де залежність входів системи та виходів задається на основі нечіткого виводу, а не точних цифр, які досить складно отримати.

Значним доповненням до відомих положень концептуального моделювання є забезпечення можливості навчання, іншими словами підсилення інтелектуальної складової, що забезпечується нейрометодами.

Відомі такі засоби для оцінювання ризиків на основі зібраної інформації [1]: CRAMM, RiskWatch, COBRA, АванГард, ГРИФ, а також редактор дерев ризику-відмов [3]. Відомі методи орієнтуються на статичні показники та потребують перегляду створеної моделі об'єкту захисту після введення змін в його структурі. Результатом такого перегляду при суттєвих змінах буде рішення про повторення процедури оцінювання інформаційної безпеки, що може зайняти, навіть, місяці.

Серед наведених засобів для оцінювання безпеки та аналізу ризиків є системи здатні працювати як з точною кількісною, так і якісною інформацією, яка характеризується, зазвичай, неповнотою або неточністю [3]. Проте в більшості наведених систем не передбачений ефективний режим навчання, в тому числі самонавчання, який би дозволив засобу підтримки прийняття рішень адаптуватися до змін самого об'єкту та його оточуючого середовища.

Постановка завдання

З формальної точки зору нейронна мережа є універсальною моделлю-апроксиматором у вигляді графа. При моделюванні реального об'єкту такий граф здатний навчатись за рахунок модифікації ваг міжелементних зв'язків, тобто синоптичних зв'язків. Головна перевага нейронних мереж – наявність формальних методик навчання на основі експериментальних вибірок. До основних недоліків нейронних мереж можна віднести те, що навчання нейронної мережі необхідно проводити на різних вибірках, а отже збільшується час навчання, а також те, що на основі отриманих ваг міжнейронних зв'язків навченої нейромережі неможливо зробити інтерпретації. Використання нечіткої логіки має свої недоліки. Так якість побудованої нечіткої моделі повністю залежить від кваліфікації експерта, що надає дані. Ще одним суттєвим недоліком є неможливість навчати таку систему на основі експериментальних даних [2]. Для поєднання переваг нейронних мереж та нечіткої логіки запропоновано використовувати нейронечіткі системи, щоб формувати бази знань, як в системах з нечітким логічним висновком, а потім навчати їх за допомогою експериментальних даних за методикою нейромереж.

Мета та цілі

Отже метою даної статті є розробка методу проектування системи інформаційної безпеки підприємства на основі нейронечітких методів, який за рахунок здатності навчатися дозволить адаптуватися до змін параметрів об'єкту захисту та навколишнього середовища в процесі функціонування, що є актуальним на етапі проектування і вибору оптимального складу системи безпеки.

Проектування систем безпеки інформаційних ресурсів підприємства

В зв'язку з тим, що оцінювання інформаційної безпеки відбувається в умовах невизначеності, коли відсутня статистика появи певних видів загроз, в якості входної інформації для оцінювання захищеності системи можна використовувати знання експертів, представлені у вигляді лінгвістичних оцінок.

При проектуванні системи захисту інформації необхідно враховувати те, що ресурси об'єкта захисту зазвичай обмежені. Відповідно захищати необхідно найбільш критичні місця системи, щоб створити адекватну систему захисту інформації. З іншого боку, важливо врахувати вартість можливих втрат від реалізації атаки. Якщо в результаті реалізації атаки на певний ресурс інформаційної системи отримані об'єктом збитки виявляються низькими, то недоцільним буде застосування потужних заходів та засобів захисту, навіть у випадку, коли ймовірність реалізації загрози досить висока.

На рис. 1 представлено вигляд архітектури елемента нейронечіткої мережі, який призначений для визначення рівня захищеності (ризик) i -ї вразливості об'єкту захисту, на стан якої впливають n загроз та m засобів захисту.

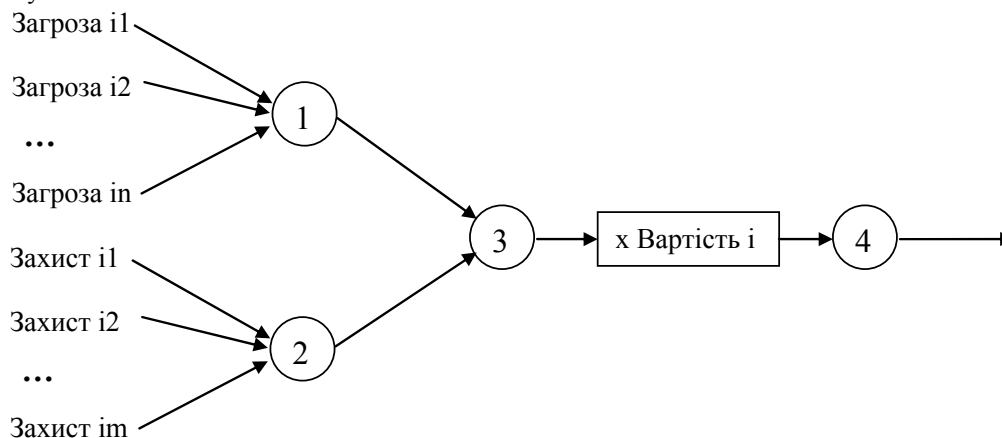


Рис. 1. Елемент аналізу захищеності i -ї коміррки

Запропонована структура дозволяє визначати рівень захищеності кожного елемента та врахувати його вартість. Вихідними даними i -о елемента нейронної мережі буде ризик, пов'язаний з i -ю вразливістю, оскільки вагою входу нейрона 4 є максимальна вартість збитків від реалізації загрози даному інформаційному ресурсу.

Процес функціонування нейронної мережі залежить від величини синаптичних зв'язків, тому, маючи певну структуру нейромережі, що відповідає задачі, необхідно знайти оптимальне значення всіх вагових коефіцієнтів. Для цього мережа попередньо навчається. При навчанні використовують ідеальні "еталонні" значення пар "входи-виходи" або вчителя, що оцінює поведінку нейронної мережі. Для навчання використовується навчальний алгоритм, який модифікує ваги зв'язків нейронної мережі таким чином, щоб поведінка мережі відповідала бажаній поведінці. При цьому використовується навчальна вибірка, тобто еталонні пари "входи-виходи".

Застосуємо для навчання метод зворотного поширення помилки. Навчання мережі починається з пред'явлення образу й обчислення відповідної реакції. Порівняння з бажаною реакцією дає можливість змінювати ваги таким чином, щоб мережа на кожному кроці могла видавати більш точний результат. Навчальне правило забезпечує настроювання ваг зв'язків.

Як було вказано вище, процес проектування відбувається в умовах невизначеності, тому пропонується використовувати нечіткі вхідні дані, тобто фактори, пов'язані із загрозами безпеки та захист від них, повинні вводитися лінгвістичними змінними. Даний підхід повинен забезпечити зручність і порівняну швидкість формування вхідних даних, а також уникнути проблем, які виникають, коли відсутні статистичні дані, що притаманно галузі захисту інформації.

Для побудови нейронної моделі для оцінки інформаційної безпеки окремої вразливості пропонується розглядати всі фактори, які впливають на її захист, як позитивно, так і негативно. Даний вплив пропонується визначати, використовуючи ваги входів нейрона. В загальному випадку пропонується використовувати $\omega_{kj} \in R$, де ω_{kj} – вага k -го входу j -го нейрона, що дозволить використовувати додатне значення ваг для загроз, а для протидії цим загрозам – від'ємне.

Очевидно, що не обов'язково можна розмежувати загрози і протидії ним, як це зображено на рис. 1, але за допомогою запропонованої архітектури розв'язується задача «перестрахування», тобто при зміні значень ваг входів нейрона 3, що оцінює загальний рівень захищеності нейрона, можна визначити наскільки в реальних умовах ефективні засоби захисту та загрози при їх впливі на конкретну вразливість.

За допомогою множення вартості елемента інформаційних ресурсів на стан його інформаційної захищеності визначається значення ризику. Очевидно, що вартість повинна враховувати не тільки фінансову складову, а також такі параметри, як, наприклад, репутація, але оскільки на сьогоднішній день гроші є засобом умовно універсального вираження вартості, то пропонується вартість використовувати в грошовому вимірі.

За показниками ризиків, отриманих від кожного елемента нейронної мережі, визначається значущість кожного елемента для загального стану ризику підприємства. Дана процедура виконується за допомогою блоку визначення значущості вразливостей, де порівнюються значення ризиків.

Загальну оцінку ризику R можна визначити за формулою (1), яка представляє собою формалізацію рис. 1.

$$R = \sum_{i=1}^k \left(w_i \cdot C_i \cdot \left(w_{загрози} \cdot \sum_{j=1}^n (w_{загрозиij} \cdot P_{загрозиij}) + w_{захисту} \cdot \sum_{u=1}^m (w_{захистуiu} \cdot P_{захистуiu}) \right) \right), \quad (1)$$

де k – кількість вразливостей;

n_i, m_i – кількість відповідно загроз та захистів для i -ї вразливості об'єкту;

w_i – значущість i -го ризику для загального ризику R ;

C_i – вартість збитків від реалізації загрози для i -ї вразливості;

$w_{загрози}, w_{захисту}$ – ваги, що враховують вплив відповідно загроз та засобів захисту на стан небезпеки i -тої вразливості;

$w_{загрозиij}$ – значущість реалізації j -ї загрози i -ї вразливості для стану безпеки i -ї вразливості;

$P_{загрозиij}$ – ймовірність появи j -ї загрози i -ї вразливості;

$w_{захистуiu}$ – значущість дії u -го захисту i -ї вразливості для стану безпеки i -ї вразливості;

$P_{захистуiu}$ – ймовірність спрацювання u -того захисту i -тої вразливості.

Загальна оцінка, вихід значущість вразливостей, самі значення ризику кожної вразливості аналізуються за допомогою нечіткої бази знань. Слід зазначити, що дана база формується шляхом опитування експертів та представляє собою набір правил типу: *ЯКЩО* <вхідний вектор>=<вектор оцінок> *ТО* <комплекс заходів і засобів>=<перелік реалізацій>. Таким чином визначається відповідний профіль захисту.

Відповідно до вищенаведеного, можна схематично зобразити вигляд структурних елементів методу, що пропонується, для k вразливостей (рис. 2).

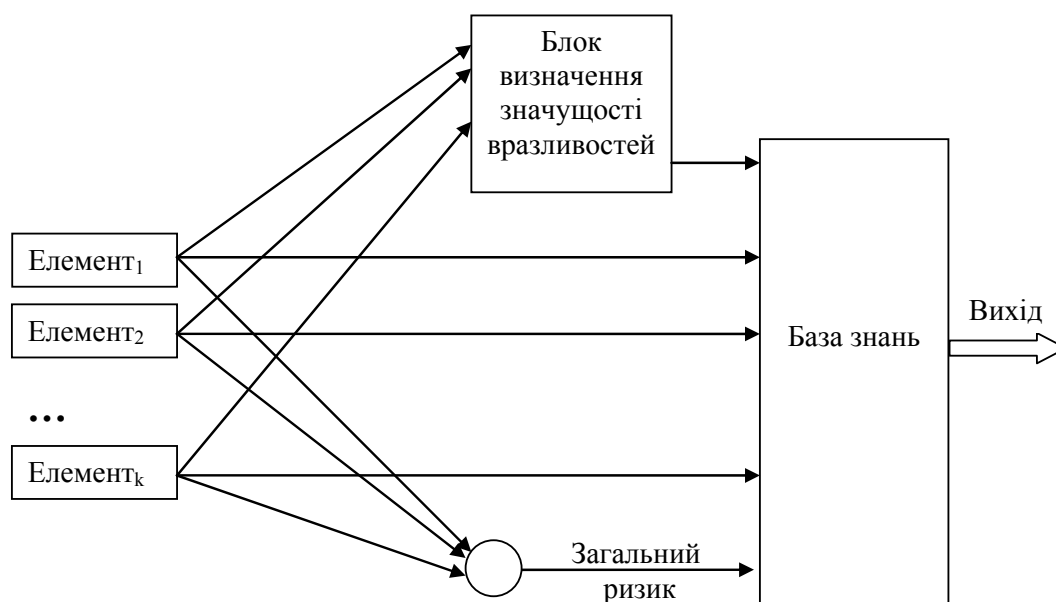


Рис. 2. Загальний вигляд схеми реалізації методу

З рис. 2 видно, що до нечіткої бази знань надходять як загальне значення ризику, так і значення ризику для кожної вразливості. В базі знань, в першу чергу, порівнюється значення загального ризику з прийнятним для даного об'єкту дослідження. Якщо реальний рівень ризику не перевищує заданого, то у якості вихідної інформації виводиться повідомлення про це та значущість впливу кожної вразливості на загальний стан безпеки системи. Якщо ж реальний ризик вище за допустимий, то пропонуються заходи з підвищення стійкості об'єкту з урахуванням важливості окремої вразливості на загальний стан.

Після гіпотетичного прийняття запропонованого комплексу заходів та засобів процедура оцінки ризиків повторюється. Даний алгоритм виконується доти, доки не буде досягнуто допустимого ризику, тобто

$$R_{\text{реальний}} \leq R_{\text{допустимий}}, \quad (2)$$

де $R_{\text{реальний}}$ – реальний рівень ризику;

$R_{\text{допустимий}}$ – допустимий ризик для даного об'єкту.

Після навчання та тестування адаптивної нейронної мережі за допомогою експериментальних даних отримуємо апроксимуючу модель системи для оцінки ефективності профілю безпеки.

Для вибору профілю захисту можна використовувати відомі таблиці відповідності з бази знань "СС Knowledge Base", яка включає 30 загроз, 34 політики безпеки, 36 пропозицій і 153 цілі безпеки. В [4] передбачено Стандарт ISO/IEC 15408 визначає профіль системи захисту як сукупність функціональних і гарантійних вимог, які дозволяють реалізувати систему захисту з необхідним рівнем інформаційної безпеки. Методологія оцінювання інформаційної безпеки профілю захисту базується на використанні методів аналізу і ідентифікації множини факторів, зокрема активи підприємства, недоліки в захисті, загрози, потенційні атаки тощо.

Приклад застосування запропонованої математичної моделі

Розглянемо у якості прикладу інформаційну систему, в якій, для спрощення, є лише два ресурси підприємства: програмне забезпечення та комп'ютерна мережа. Нехай, в результаті аналізу об'єкту було визначено, що загрозами для комп'ютерної мережі є троянські програми та несанкціонований доступ до ресурсів, а засобами захисту комп'ютерної мережі – брандмауер операційної системи Windows та Антивірус Касперського 7.0, максимальна вартість втрат від реалізації загроз 5000 грн.

Аналогічно виділимо такі загрози програмному забезпеченню: вірус та помилка коду. У якості засобів захисту цього ресурсу нехай використовується резервне копіювання та Антивірус Касперського 7.0. Припустимо, що ціна максимальних втрат від реалізації загроз програмному забезпеченню 4000 грн.

Згідно з визначеними вище даними можна побудувати нейронну мережу для визначення ризиків, зображену на рис. 3.

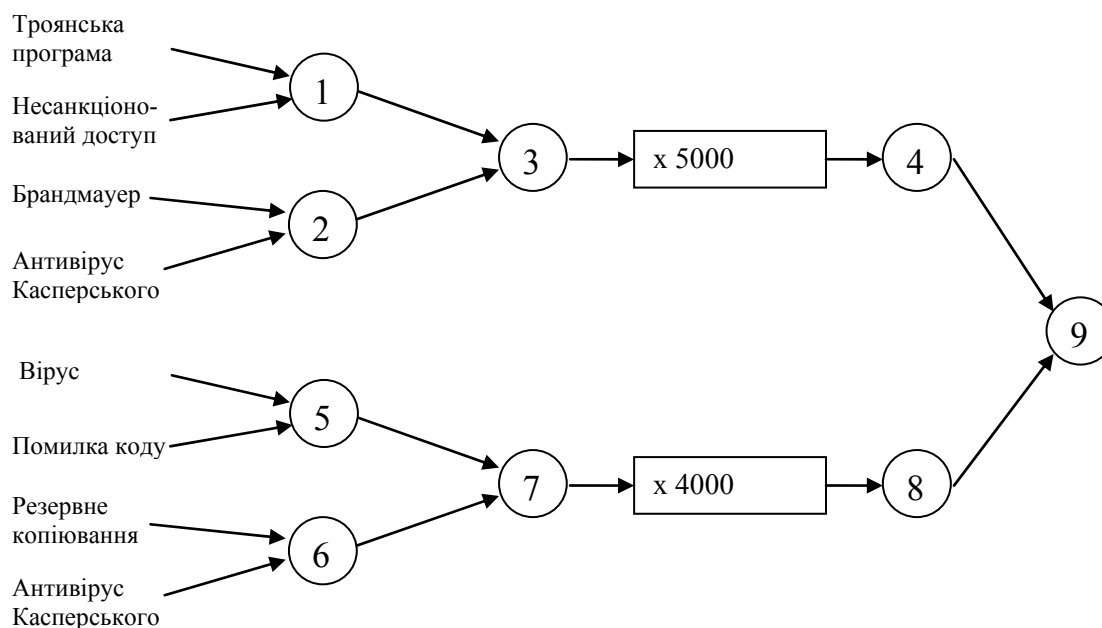


Рис. 3. Структура нейронної мережі для визначення ризиків

Наведемо опис функцій, які виконують нейрони в даній структурі мережі:

- 1 – визначає оцінку загальної загрози комп'ютерній мережі;
- 2 – визначає ступінь захисту комп'ютерної мережі;
- 3 – визначає оцінку виникнення загроз для даної комп'ютерної мережі;
- 4 – визначає ризик, який пов'язаний з комп'ютерною мережею;
- 5 – визначає оцінку загальної загрози програмному забезпеченню;
- 6 – визначає ступінь захисту програмного забезпечення;
- 7 – визначає оцінку виникнення загроз даному програмному забезпеченню;
- 8 – визначає ризик реалізації загрози для програмного забезпечення;
- 9 – визначає загальний ризик.

Для оцінювання вхідних даних пропонується використовувати лінгвістичні змінні, функції приналежності яких зображені на рис. 4, причому на вісі абсцис відкладено ймовірність виникнення події (для захисту – ймовірність адекватної протидії загрози, що виникла).

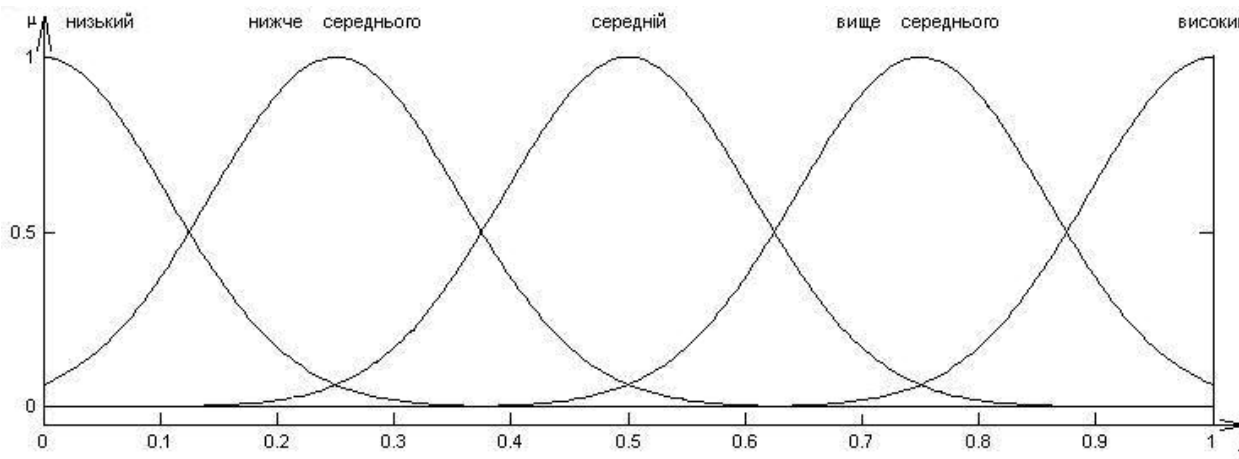


Рис. 4. Вигляд функцій приналежності

Очевидно, що при врахуванні специфіки кожного підприємства необхідно будувати свої графіки функцій приналежності, оскільки найбільш достовірне значення оцінки ймовірності виникнення загрози "нижче середнього" для одного типу об'єктів може бути високим для іншого.

Після проведення навчання нейронної мережі можна перейти до застосування нейронної мережі для оцінювання ризиків конкретного підприємства. Експертні оцінки представимо у такому вигляді.

$$\text{Фактор}_i = \{T_i, \mu_i\}, \quad (3)$$

де T_i – лінгвістична оцінка;
 μ_i – значення функції приналежності.
 Нехай були отримані такі вхідні експертні оцінки:

$$\begin{aligned}
& \text{Троянська програма} = \{ \text{"Високий"}; 0,8 \} \\
& \text{Несанкціонований доступ} = \{ \text{"Середній"}; 0,9 \} \\
& \text{Брандмауер Windows} = \{ \text{"Середній"}; 0,8 \} \\
& \text{Антивірус Касперського} = \{ \text{"Середній"}; 0,7 \} \\
& \text{Вірус} = \{ \text{"Високий"}; 0,9 \} \\
& \text{Помилка коду} = \{ \text{"Низький"}; 0,8 \} \\
& \text{Резервне копіювання} = \{ \text{"Низький"}; 0,9 \} \\
& \text{Антивірус Касперського} = \{ \text{"Середній"}; 0,8 \}
\end{aligned}
\tag{4}$$

Необхідно відзначити, що в (4) оцінки повинні визначатись з урахуванням специфічних особливостей впливу того чи іншого фактору на об'єкт, наприклад, для антивірусного забезпечення такими особливостями можуть бути параметри налаштування засобів, період оновлення вірусних баз, періодичність повної перевірки комп'ютерів тощо, тобто принципи антивірусної політики.

В результаті оцінки ризиків за вхідними даними (4) були отримані такі значення:

- ризик, пов'язаний з комп'ютерною мережею – 1387,5 грн з достовірністю 0,7;
- ризик, пов'язаний з програмним забезпеченням – 1650 грн з достовірністю 0,8;
- сумарний ризик становить – 3019,69 грн з достовірністю 0,7.

Вигляд функції приналежності сумарного ризику зображено на рис. 5.

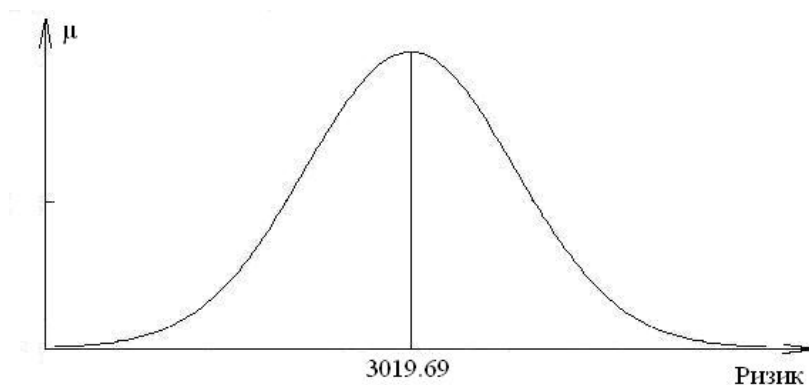


Рис. 5. Визначене нечітке значення ризику

За даними результатами визначаємо, що найбільший вплив на об'єкт мають фактори, які впливають на програмне забезпечення.

Висновки

В даній статті запропоновано метод оцінювання безпеки інформаційних ресурсів, який дозволяє визначити значення загального ризику підприємства. Даний метод дозволяє проводити оцінювання інформаційної безпеки в умовах невизначеності та адаптуватись до змін зовнішніх та внутрішніх факторів. Крім того, він полегшує задачу оцінювання вхідних факторів експертами, оскільки їм не потрібно буде аналізувати значущість впливу засобів протидії загрозам на загальну ймовірність виникнення події.

Даний метод може використовуватись у якості етапу в проектуванні систем захисту інформації. В статті запропоновано один з можливих варіантів його використання як частину системи підтримки прийняття рішень.

Було наведено приклад практичного застосування запропонованого методу.

Література

1. Корченко А.П. Построение систем защиты информации на нечетких множествах. Теория и практические решения. – К.: МК-пресс, 2006. – 316 с.
2. Ротштейн А.П. Интеллектуальные технологии идентификации: нечеткие множества, генетические алгоритмы, нейронные сети. – Вінниця: УНІВЕРСУМ-Вінниця, 1999. – 320 с.
3. Дудатьев А.В., Барішев Ю.В. Редактор дерева ризику-відмов // Інформаційні технології та комп'ютерна інженерія. – 2007. – №1. – С. 86-89.
4. ISO/IEC 15408-2. Information technology – Security techniques – Evaluation criteria for IT security – Part 2: Security functional requirements.

Надійшла 25.5.2008 р.

РОЗРОБКА МАТЕМАТИЧНИХ МОДЕЛЕЙ КОКЕТОК, ЩО ЗМІЩЕНІ ВІДНОСНО ЦЕНТРУ ГРУДЕЙ

Розроблено математичні моделі типових гармонійних кокеток, що зміщені відносно центру грудей. Формалізовано вибір рівняння, що описує лінію кокетки за заданими модельними особливостями і розміро-зростом.

Постановка проблеми

Градація лекал – це суто технічний процес, в основі якого лежать певні методи розрахунку і величини міжзростових і міжрозмірних інтервалів. Якщо при створенні моделі на базовий розмір естетичним властивостям виробу приділяється велика увага, то для виробів інших розмірів і зростів цей аспект практично не враховується. Здебільшого, в крайніх розмірах, незважаючи на точні розрахунки коефіцієнтів градації, вироби втрачають свою гармонійність [1].

На сучасному етапі розвитку галузі автоматизованого проектування швейних виробів широко використовується побудова модельних конструкцій на різні розміро-зрости за одним і тим самим алгоритмом замість використання традиційних процесів градації лекал.

На початкових етапах розробки нової моделі конструктору складно передбачити усі функціональні взаємозв'язки між параметрами системи та оцінити доцільність рішень, що приймаються. Виходом з цієї ситуації є впровадження математичних моделей тих чи інших конструктивних відрізків [2]. Наявність математичних моделей дозволяє швидко, а головне – правильно побудувати модельну конструкцію виробу будь-якого розміро-зросту.

Аналіз останніх досліджень та публікацій

В [3] розроблено математичні моделі рельєфів та кокеток, що проходять через центр грудей. Проте кокетки, що виконують лише декоративну функцію (зміщені відносно виступаючої точки грудей), не розглянуті.

В практичному моделюванні [4, 5] рекомендації щодо побудови лінії кокетки, що зміщена відносно центру грудей, не враховують розміро-зріст фігури, на яку розроблена конструкція. Побудована таким чином лінія кокетки не є оптимальною для всіх розміро-зростів з точки зору гармонійності композиційного членування.

В [6] визначено лінійні параметри усіх можливих гармонійних композиційних членувань відповідно до зросту типової фігури. Недоліком є те, що вони не мають математичного опису і не можуть бути використані при впровадженні систем з елементами штучного інтелекту. Крім того, в [6] не визначено які гармонійні рівні, раціональний кут повороту гармонійної горизонталі є характерними саме для типових композиційних членувань, зокрема кокетки, що зміщена відносно центру грудей.

Постановка мети та задач дослідження

Мета дослідження – розробити математичні моделі типових гармонійних кокеток, які будуть дійсними для всіх розміро-зростів, і дозволять побудувати оптимальну у будь-якій модельній конструкції лінію кокетки незалежно від вмінь і кваліфікації конструктора.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити наступні завдання:

- визначити типові кокетки, що зміщені відносно центру грудей та перевірити їх за умовою гармонійності композиційного членування;
- розробити математичні моделі типових гармонійних кокеток, що зміщені відносно центру грудей;
- встановити діапазон, в якому отримані функціональні залежності мають зміст.

Виклад основного матеріалу

Для визначення оптимального місця розміщення лінії кокетки, її кривизни, доцільно проаналізувати існуючі, тобто використати багаторічний конструкторський досвід авторів методичних вказівок, підручників, посібників з конструювання і моделювання одягу.

Розглянуті матеріали за 24 роки, що відповідає повному циклу розвитку загальної структури форми. Проаналізовано $34 \cdot 15 = 510$ конструкцій, у 6 % (28) із них були кокетки, що зміщені відносно центру грудей.

На наданих конструкціях з кокетками, що зміщені відносно центру грудей, визначені координати крайньої правої точки (точки перетину лінії кокетки з лінією горловини, краю борта), центральної (точки перетину лінії кокетки з віссю ординат) та крайньої лівої точки (точки перетину лінії кокетки з лінією плечового зрізу, пройми, бічного зрізу). При цьому центр координат розміщений у центрі нагрудної виточки БК, а виточки перенесені у бічний зріз.

Оскільки конструкції в різних літературних джерелах подаються переважно в значно зменшеному масштабі, то для визначення дійсних координат у масштабі 1: 1 використано масштабування сканованих зображень у графічному середовищі AutoCAD.

Усі лінії кокеток, відповідно до їхніх характеристик, нанесено на матричні конструкції пілочок, що

побудовані на типову фігуру розміром 164– 88– 92 (строго горизонтальні прямі, похилі прямі і криволінійні згруповані та нанесені на окремі креслення). Таким чином отримано три комплексних креслення усіх можливих варіантів кокеток, зміщених відносно центру грудей, що рекомендуються в літературних джерелах та практичному моделюванні.

Кокетки, зміщені відносно центру грудей, виконують лише декоративну функцію. Отже, вони є суто композиційними елементами форми. Тому для їх оцінки використовуються гармонійні рівні.

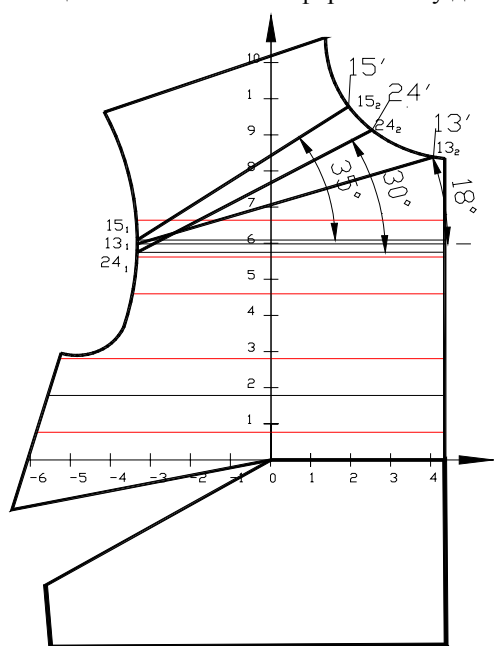


Рис. 1. Комплексне креслення типових гармонійних похилих кокеток, що зміщені відносно центру грудей

У програмному середовищі Excel отримані рівняння, що описують розглядувані лінії кокеток. Рівень адекватності підтверджується величиною достовірності апроксимації (рисунок 2).

Шляхом підстановки виразу коефіцієнта переведення [6] у дані рівняння в умовних одиницях отримані залежності $y=f(x)$, що дозволяють розрахувати координати ліній кокеток для конструкцій, що побудовані на фігури різних розміро-зростів в сантиметрах.

Математичні моделі в такому вигляді існують на проміжку від $-\infty$ до $+\infty$, що означає побудову лінії через всю конструкцію. Для виключення операцій обрізання та видалення непотрібних ділянок лінії доцільно встановити діапазон, в якому розроблені функціональні залежності мають зміст (тобто координати точок перетину лінії кокетки з контуром пілочки).

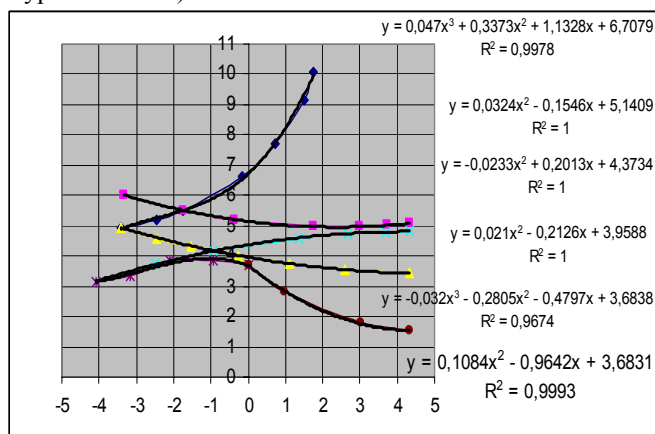


Рис. 2. Апроксимація криволінійних кокеток, що зміщені відносно центру грудей, (ум.од)

Для встановлення діапазону проведено повний трифакторний експеримент першого порядку. В результаті отримано залежності між абсцисами крайніх точок усіх кокеток та ведучими розмірними ознаками. Для окремих кокеток експеримент для визначення абсциси крайньої правої точки не проводився, оскільки вона може бути визначена однозначно за методикою конструювання. Наприклад, за методикою ЄМКО РЕВ для матричної конструкції ця величина становить половину відстані між сосковими точками. Рівняння, за якими визначаються абсциси крайніх точок, представлені в таблиці 2 на прикладі рівнянь для визначення абсцис крайніх точок криволінійних кокеток, що зміщені відносно центру грудей в графах 3, 5 таблиці 2. Адекватність отриманих теоретичних рішень підтверджена величиною достовірності апроксимації R^2 , що наближається до 1 для всіх моделей (графи 4,6 таблиці 2).

Формули розрахунку координат точок перетину ліній криволінійних кокеток з контуром конструкції

№ п/п	№ кок	X_1	R^2	X_2	R^2
1	9°	$0.0256T_1 - 0.0688T_{16} - 0.0072T_{19} - 6.7107;$ 0	0.9942	0 $0.5T_{46}$	-
2	17°	$0.0434T_1 - 0.0900T_{16} - 0.0079T_{19} - 7.8113;$	0.9781	$0.5T_{46}$	-
3	20°	$-0.0383T_1 - 0.0454T_{16} - 0.0082T_{19} + 3.6202;$	0.9804	$0.5T_{46}$	-
4	26°	$-0.0354T_1 - 0.0574T_{16} - 0.0010T_{19} + 4.3965;$	0.9655	$-0.0297T_1 + 0.0208T_{16} - 0.0158T_{19} + 8.3961;$	0.7863
5	27°	$-0.0477T_1 - 0.0312T_{16} - 0.0104T_{19} + 3.5348;$	0.9724	$0.5T_{46}$	-

Примітка: T_1, T_{16}, T_{19} – тотальні розмірні ознаки, см; T_{46} – відстань між сосковими точками, см; X_1 – абсциса крайньої лівої точки, см; X_2 – абсциса крайньої правої точки, см.

У літературних джерелах подані коефіцієнти прибавок для різних силуетів. В такому випадку прибавка залежить від величини розмірної ознаки (конструктивного відрізка), до якої розраховується прибавка, і заданого моделлю силуету [7].

Оскільки абсциси крайніх точок ліній кокеток розраховані для матричної конструкції пілочки, то для отримання абсцис для заданого силуету необхідно виконати перерахунок за допомогою коефіцієнтів, що подані в [3], а саме: для дуже прилеглого – 1,06; для прилеглого – 1,07; для напівприлеглого – 1,09; для прямого – 1,13; для вільного – 1,15.

За результатами досліджень розроблено блок-схему алгоритму вибору рівняння, що описує лінію кокетки, що зміщена відносно центру грудей, за заданими модельними особливостями та розміро-зростом.

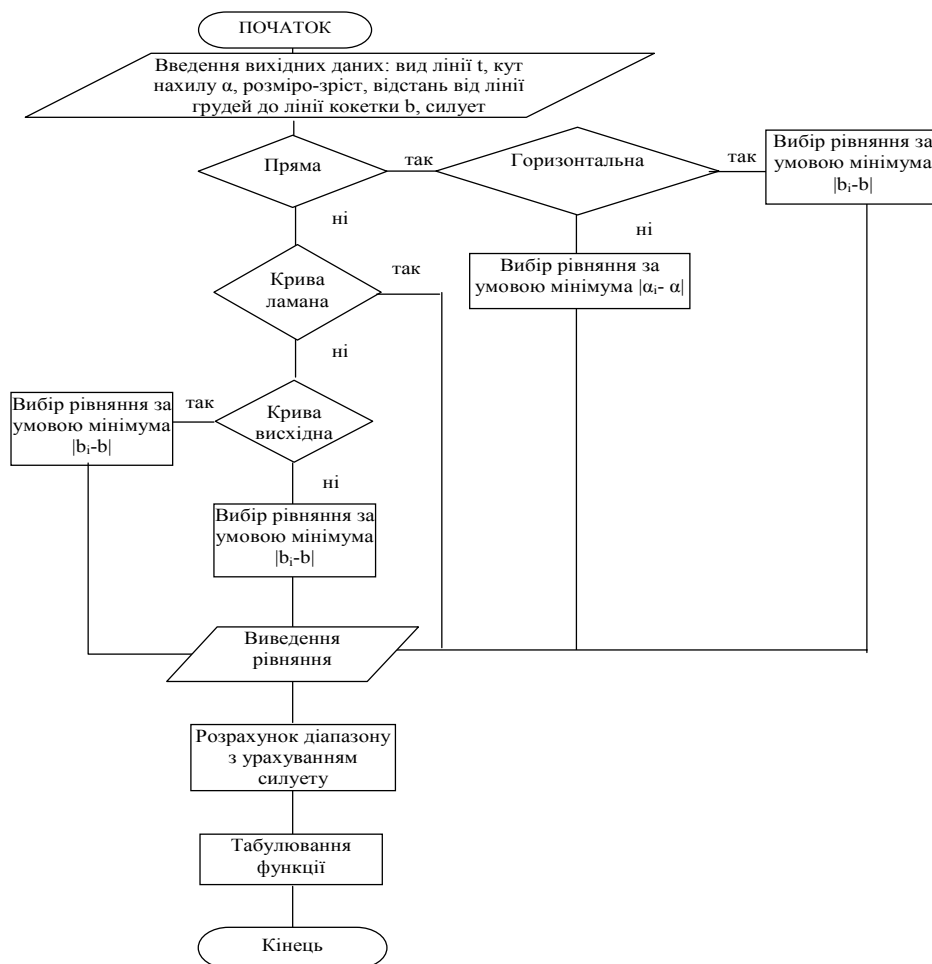


Рис. 3. Блок-схема алгоритму вибору рівняння лінії кокетки, що зміщена відносно центру грудей

Висновки

За результатом виконання даного алгоритму можна отримати координати лінії кокетки, що є найбільш наближеною до заданої, і при цьому задовольняється умова гармонійності. Крім того, отримані математичні моделі є вихідними даними для розрахунку довжини зрізу кокетки, що може бути використана для:

- дослідження розтягуваності матеріалу в розглянутих зрізах;
- удосконалення нормативів часу на виконання неподільних операцій при обробці кокетки;
- програмування машини напівавтоматичної дії для зшивання зрізів кокетки.

Література

1. Базилук Е.Б., Баннова І.М. Конструктивна прибавка як формотворний засіб для виробів різних розмірів і зростів // Вісник Хмельницького національного університету. – Технічні науки. – 2007. – № 6. – Т1. – С. 58-61.
2. Решение интеллектуальных задач конструирования в САПР «Грация» / Сурикова О.В., Сурикова Г.И., Ахмедулова Н.И., Жерлупина А.Е // Швейная промышленность. – 2005. – № 4. – С. 38-41.
3. Захаркевич О.В. Розробка методу конструктивного модифікування жіночого легкого одягу з урахуванням властивостей матеріалу: Дис. ... к.т.н.: 05.19.04/ ХНУ. – 2006. – 252 с.
4. Ерзенкова Н. В. Искусство красиво одеваться (или мода на все времена). – Рига, 1992. – 250 с.: ил.
5. Мартынова А. И., Андреева Е. Г. Конструктивное моделирование одежды. – М.: МГАЛП, 1999. – 216с.
6. Сиротенко О.П. Удосконалення методу гармонізації конструктивно-композиційних рішень жіночого легкого одягу: Дис. ... к.т.н.: 05.19.04/ ХНУ – 2005. – 242 с.
7. Бочкарева В.Е. Выкройки для женщин шикарных размеров: Модели на любую фигуру. – М.: РИПОЛЛ классик, 2006. – 608 с.: ил.

Надійшла 22.5.2008 р.

УДК 721.793

В.Г. КАПЛУН, П.В. МАТВІШИН, В.А. ГОНЧАР
Хмельницький національний університетДОСЛІДЖЕННЯ ПРАЦЕЗДАТНОСТІ І НАДІЙНОСТІ
ТЕРМОПЛАСТАВТОМАТА ДБ-33-28 ПРИ ПЕРЕРОБЦІ ПЛАСТМАС

Наведені результати досліджень форми і деформацій шнека і циліндра в процесі виготовлення та зношення шнека в процесі експлуатації, а також їх вплив на працездатність термопластавтоматів при переробці різних пластмас.

Працездатність і надійність термопластавтоматів залежить від працездатності і надійності роботи його вузлів. Матеріальний циліндр є одним з основних вузлів та термопластавтоматів, в якому відбувається пластикація пластмас, і від працездатності надійності роботи якого залежить надійність і працездатність машини в цілому. Тому його конструкція, технологія виготовлення і умови роботи суттєво впливають на ці важливі експлуатаційні параметри [1, 2]. Значні відхилення форми і геометричних параметрів шнека і циліндра від допуску при їх механічній, термічній і хіміко-термічній обробках і при силовому навантаженні під час експлуатації можуть призводити до відказів і катастрофічного зносу, а в окремих випадках до заклинювання шнека в циліндрі. Зношування витків шнека і внутрішніх стінок циліндра під час експлуатації призводить до зменшення продуктивності термопластавтоматів та якості продукції [3 – 6], що є також одним з видів відказів. Тому вибір прогресивної технології зміцнення поверхні шнека і циліндра, що забезпечує мінімальні деформації осі шнека і форми внутрішньої поверхні циліндра та мінімальний знос при експлуатації, сприяє підвищенню надійності і довговічності термопластавтоматів [5, 6].

Нами проведені дослідження відхилення форми поверхні циліндра і осі шнека термопластавтомата ДБ33-26 в період виготовлення за традиційною технологією та величини і характеру їх зносу в процесі експлуатації.

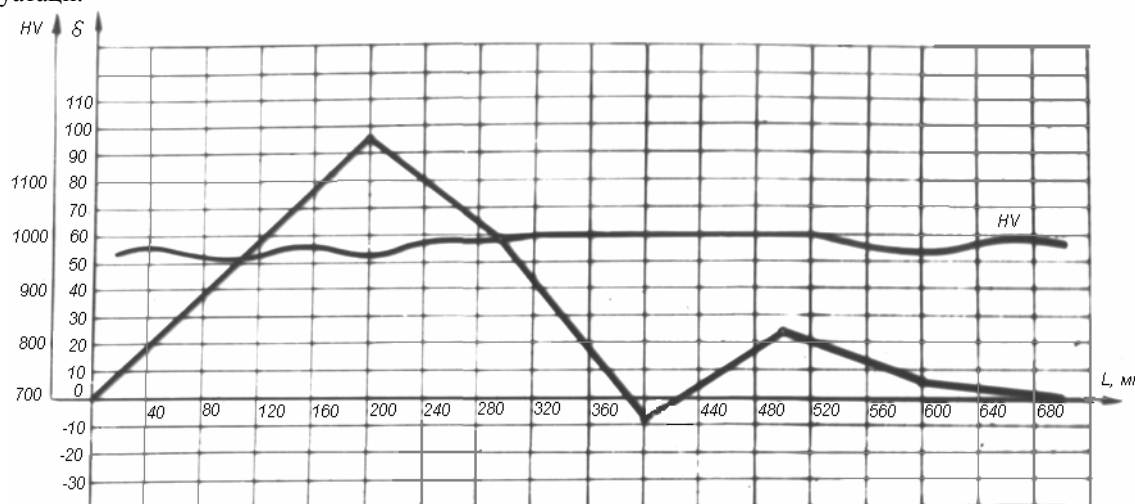


Рис. 1. Відхилення від прямолінійності розмірів внутрішньої поверхні циліндра

Технологічний процес обробки внутрішньої поверхні циліндра складається з наступних операцій: свердлування і розвертування отвору, азотування на глибину до 0,5 мм з наступним хонінгуванням. Дослідження твердості, форми і розмірів внутрішньої поверхні циліндра після даних операцій показали значні відхилення від встановленого кресленням допуску (рис. 1), величина якого на діаметр складала 27 мкм. Після виготовлення циліндра відхилення внутрішньої поверхні від циліндричності досягали 25-90 мкм і поверхня мала форму бочки. Твердість поверхні циліндра після азотування сталі 38ХМЮА складала 980HV.

Технологічний процес виготовлення шнека складався з операції механічної обробки, азотування і шліфування з послідовним поліруванням поверхні. Шнек виготовлявся зі сталі 38ХЮА і азотувався в печі в середовищі аміаку на глибині 0,5 мм. Дослідження відхилення радіуса поверхні шнека від його осі проводилися в центрах на кожному витку в 4-х точках у двох взаємно-перпендикулярних площинах. Результати вимірювань в формі графіків наведені на рис. 2.

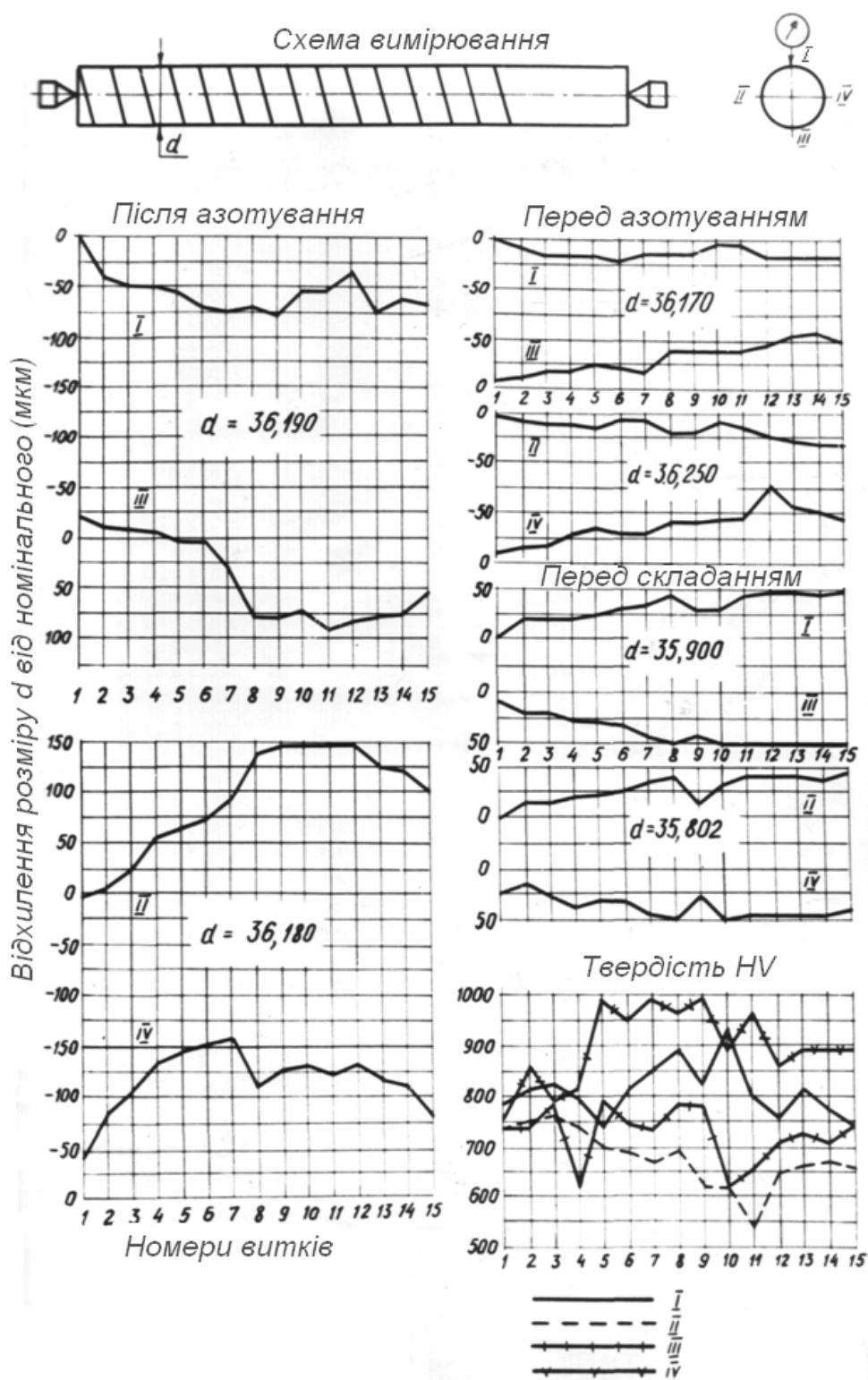


Рис. 2. Відхилення діаметра шнека від номінального розміру по довжині

З результатів вимірювань видно, що шнек в процесі хіміко-термічної обробки отримує значні деформації. Це обумовлено тим, що в процесі азотування при проходженні через піч потоку аміаку виникає різна температура по довжині шнека, яка призводить до зміни фізико-механічних характеристик азотованого шару (твердості і товщини) і, як наслідок, до різних деформацій при охолодженні. Після хіміко-термічної обробки шнек шліфують в результаті чого нерівномірно знімається азотований шар з поверхні. На окремих витках величина знятого шару досягає до $0,4 \pm 0,5$ мм, тобто повністю знімається азотований шар. В результаті такої обробки твердість витків шнека з різних сторін має різне значення, що в процесі експлуатації призводить до підвищених деформацій та зниження його зносостійкості і, в окремих випадках, до заклинювання шнека.

Таблиця 1

Величина зносу І витків шнека термопластавтомата ДБ33-28 після 4 млн циклів роботи при переробці полістиролу ПСМ.

№ витка	Середня відстань від хвостовика, см	Знос І в 4-х точках у двох взаємно перпендикулярних площинах, мкм				Середнє значення зносу, мкм
		0°	180°	90°	270°	
1	20	0	+1	-1	0	0
2	60	2	+1	0	+3	1,5
3	100	3	2	1	2	2,0
4	140	5	3	2	4	3,5
5	180	6	4	3	5	4,5
6	220	25	60	15	20	30
7	260	40	110	21	45	54
8	300	90	120	35	95	85
9	340	130	150	70	180	132
10	380	140	170	100	200	152
11	420	150	190	115	210	169
12	460	170	200	120	205	174
13	500	200	215	170	200	194
14	540	225	225	200	210	215
15	580	260	250	220	220	232
16	620	260	270	270	250	252
17	660	270	280	280	270	275

Нами проводилися дослідження величини і характеру зношування шнеків діючих термопластавтоматів після їх зняття з експлуатації в результаті зношування. Вимірювання проводились з допомогою спеціального пристрою в центрах у двох взаємоперпендикулярних площинах на гребнях витків з точністю до 1 мкм. Результати вимірювань зносу виступів витків шнека термопластавтомата ДБ33-28 після 4 млн циклів роботи при переробці полістиролу ПСМ наведені в таблиці 1 і рис. 3. З рис. 3 видно, що на кривій зношування по довжині шнека, яка побудована на основі даних середніх значень зносу таблиці 1, можна виділити три характерні зони:

- 1-а зона мінімального зносу на довжині 160 см, що розміщена під загрузочним бункером; в цій зоні матеріал не плавиться і шнек працює в умовах мінімального тиску і мінімальної температури;

- 2-а зона характеризується інтенсивним зростанням зносу; в цій зоні значно зростає тиск, відбувається екструзія матеріалу і початок плавлення та різке зростання температури;

- 3-я зона характеризується менш інтенсивним зростанням зносу. В цій зоні високий тиск і температура, матеріал розплавлений, гомогенізований з мінімальною в'язкістю і з високою хімічною

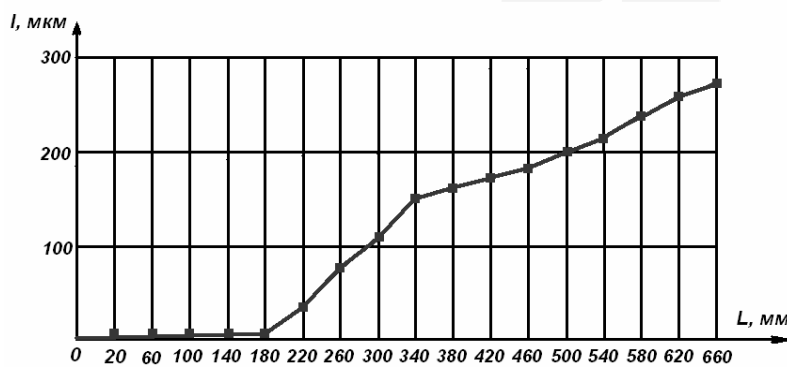
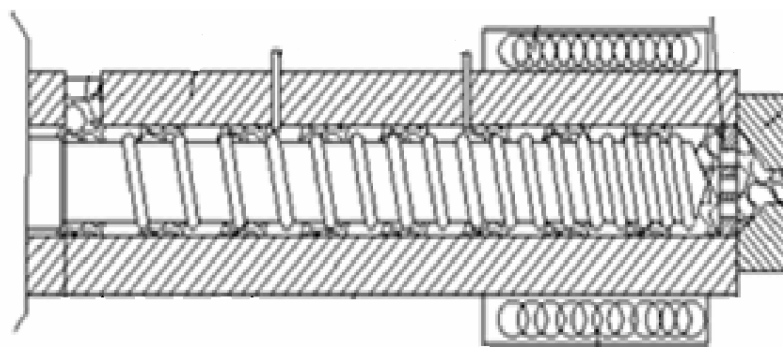


Рис. 3. Крива зношування шнека под довжині

активністю по відношенню до металевої поверхні шнеку.

Залежно від типу перероблюваного матеріалу переважає той чи інший вид зношування шнека. Наприклад, при переробці наповнених пластмас з абразивними частинами, (склопластику ПС-68-30) переважаючим є абразивне зношування, а при переробці ненаповнених пластмас (капрону, поліетилену, полістиролу тощо) переважаючим є корозійно-механічне зношування.

На рис. 4 наведено поверхні зношування витків шнека: а – при переробці склопластика ПС-68-30; б – корозійно-механічне зношування при переробці полістиролу ПСМ. В процесі абразивного зношування на поверхні витків видно риси від дії абразиву. При корозійно-механічному зношуванні видно ямки (основний знос) в результаті дії агресивного середовища. Дослідження показують, що при переробці пластмас інтенсивність абразивного зношування на порядок перевищує інтенсивність корозійно-механічного зношування.

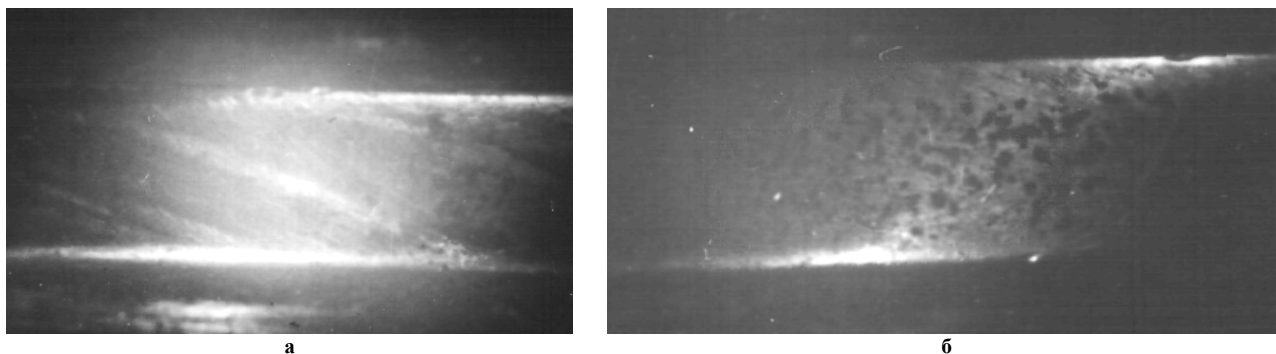


Рис. 4. Поверхні зношування витків шнека:
а – при переробці склопластика ПС-68-30; б – при переробці полістиролу ПСМ

Величина зносу шнека і циліндра має великий вплив на його працездатність. Зі збільшенням зносу зменшується величина тиску в матеріальному циліндрі, що знижує якість продукції і продуктивність термопластавтоматів. При цьому зниження продуктивності тим більше, чим менша в'язкість розплаву пластмас. Тому для різних матеріалів існує своє допустиме значення зносу пари шнек-циліндр, перевищення якого призводить до відказів в роботі термопластавтоматів. Працездатність термопластавтоматів можна продовжити, якщо встановити послідовність переробки пластмас такою, яка дозволяє при перевищенні допустимого значення зносу пари шнек-циліндр для даного матеріалу переробляти інші матеріали, що мають більшу в'язкість, ніж даний матеріал.

Таким чином, на основі проведених досліджень встановлено, що існуюча технологія виготовлення шнеків і циліндрів термопластавтоматів з застосуванням пічного азотування не задовольняє високу зносостійкість і працездатність термопластавтоматів. Пропонується технологія зміцнення поверхні шнеків азотуванням в плазмі тліючого розряду, що виключає деформації осі шнеку і забезпечує більшу працездатність термопластавтоматів. Для продовження працездатності термопластавтоматів пропонується послідовність переробки пластмас з більшою в'язкістю розплаву при перевищенні гранично допустимого значення зносу для матеріалу, що переробляється в даний час.

Література

1. Машины для переработки термопластических материалов / Гурвич С.Г., Ильященко Г.А., Сви́деренко С.Х. – М.: Машиностроение, 1965. – 321 с.
2. Надежность машин / Проников А.С. – М.: Машиностроение, 1978. – 592 с.
3. Износостойкость оборудования для переработки полимерных материалов / Гладченко А.Н., Зверлин В.Г., Петренко С.Д., Шевеля И.В. – М.: Машиностроение, 1992. – 256 с.
4. Зверлин В.Г., Гладченко А.Н., Сазонов В.В. Проблемы повышения эксплуатационной стойкости червяков и цилиндров эксплуатационного оборудования: Обзорная информация. – Серия ХМ-2. – М.: ЦИНТИХИМНЕФТЕМАШ, 1980, – 45 с.
5. Гладченко А.Н. Триботехническое обеспечение долговечности экструзионной техники: Автореф. дис.... д.т.н.: 05.02.04-К. – 1992. – 24 с.
6. Износ оборудования при переработке пластмасс / Сталбургский Е.А., Бейль А.И., Карливан В.П., Беспалов Ю.А. – М.: Химия, 1985. – 208 с.
7. Барамбойм Н.К. Механохимия высокомолекулярных соединений. – М.: Химия, 1978. – 384 с.
8. Барте́ньев Г.М., Лавре́нтьев В.В. Трение и износ полимеров. – Л.: Химия, 1972. – 240 с.
9. Каплун Я.Б., Ким В.С., М. Формующее оборудование экструдеров. – М.: Машиностроение, 1969.

Надійшла 25.5.2008 р.

СИСТЕМА ТЕСТУВАННЯ ІНФОРМАЦІЙНОГО ТРАКТУ УНІВЕРСАЛЬНОГО КОМП'ЮТЕРА

В роботі розглядаються питання тестування інформаційного тракту комп'ютера з простою системою команд, а також питання створення системи тестування з метою перевірки коректності виконання системи команд та забезпечення заданих технічних характеристик.

Вступ

Перевірка коректності виконання системи команд в інформаційному тракці універсального комп'ютера та забезпечення заданих характеристик відноситься до числа основних етапів проектування комп'ютера. Враховуючи те, що кожна команда складається з деякої кількості фаз, які виконуються послідовно з використанням конвеєрного принципу, та те, що кількість фаз для обробки даних та команд управління є різною, а також можливість одночасної подачі на виконання двох команд, задача тестування інформаційного тракту комп'ютера є досить складною. При цьому, на відміну від того, як це робиться при тестуванні інформаційного тракту відомих комп'ютерів з архітектурою RISC [1 – 3], в нашому випадку при тестуванні виникає ряд додаткових питань, пов'язаних з новизною архітектури комп'ютера, без перевірки яких цей продукт не можна пропонувати на ринок.

1. Інформаційний тракт універсального комп'ютера

В інформаційному тракці універсального комп'ютера, який створюється в рамках проекту по створенню високопродуктивного універсального комп'ютера в науково-виробничому підприємстві "Інtron" [4], здійснюється вибірка команд з кеш-пам'яті команд, вибірка даних з кеш-пам'яті даних та їх обробка відповідно до кодів операцій. Структура інформаційного тракту представлена на рис. 1. Блок формування наступної адреси формує цільову адресу наступної інструкції в пам'яті команд. Блок вибірки команди з ОП призначений для зчитування інструкції з основної пам'яті комп'ютера за адресою, яка була обрахована на попередньому ярусі конвеєра. Пам'ять команд та пам'ять даних – це кеш-пам'ять процесора, або відповідні сегменти в основній пам'яті, в яких відділені дані від команд. Блок декодування команд – на основі отриманої з пам'яті команд інструкції визначає кількість команд в інструкції, коди операцій команд, цільові адреси операндів та даних, а також генерує відповідні сигнали для коректної роботи всіх блоків інформаційного тракту. Блок вибірки операндів з регістрової пам'яті в основному призначений для зберігання проміжних результатів обчислень, завантажених даних з пам'яті даних та видачі операндів, за вказаною адресою, для подальшої їх обробки операційним блоком інформаційного тракту. Блок комутації операндів розподіляє вхідні дані з різних блоків між двома АЛП, які входять до складу операційного блоку. Операційний блок виконує операції, які вказані в полі коду операції команди. Блок завантаження/зберігання призначений для роботи з пам'яттю даних. Сірими

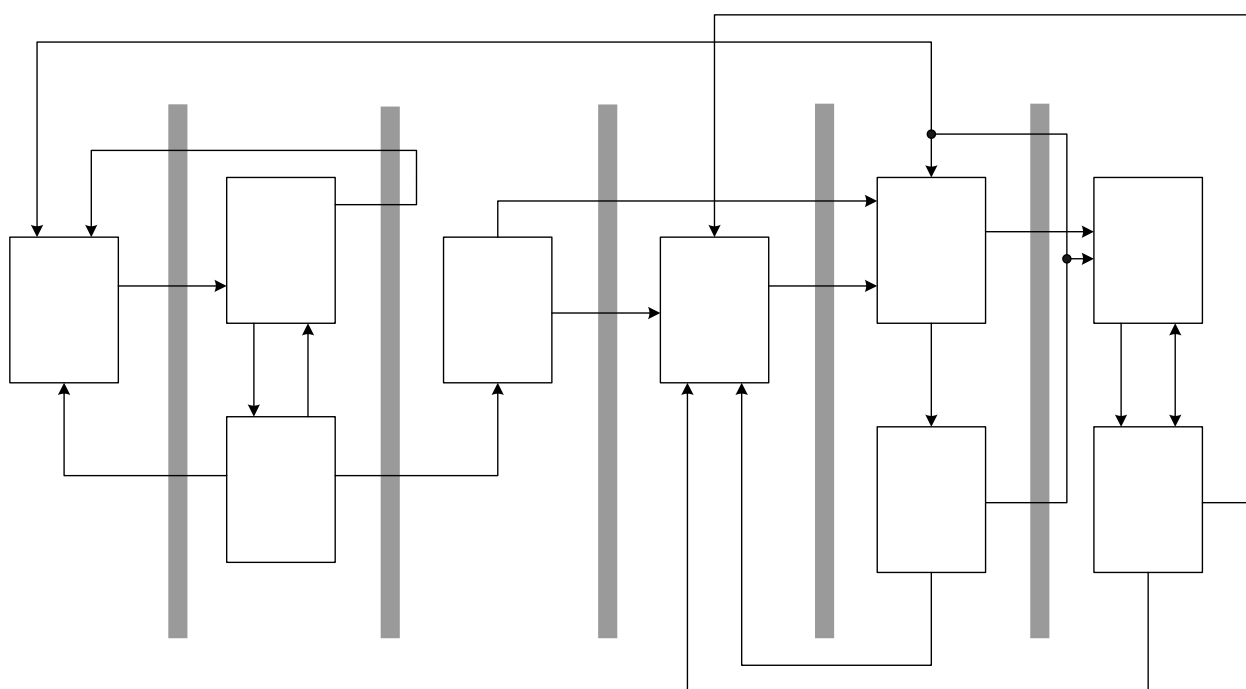


Рис. 1. Конвеєрна структура інформаційного тракту універсального комп'ютера

вертикальними лініями позначені коверні регістри, які розташовані на "межах" ярусів конвеєра інформаційного тракту універсального комп'ютера.

2. Тестування коректності виконання команд в конвеєрі інформаційного тракту комп'ютера.

Задача тестування є одною з найважливіх для розробника комп'ютерних пристроїв, оскільки вимагає розроблення методики тестування, спеціального програмного та апаратного забезпечення, великих часових затрат. Порівняно з простими комп'ютерними пристроями, задача тестування конвеєрного інформаційного тракту універсального комп'ютера є значно складнішою.

Конвеєрний інформаційний тракт вважається відтестованим тоді, коли доведено коректність (чи некоректність) роботи усіх фаз конвеєра, через які проходить команда та дані. На основі проведеного аналізу та результатів практичних робіт можна запропонувати наступні методи тестування коректності виконання команд в конвеєрі інформаційного тракту універсального комп'ютера:

- евристичний метод;
- метод повного перебору;
- метод вибіркового перебору.

Розглянемо ці методи більш детально.

2.1. Евристичний метод

Евристичний метод базується на логічному аналізі правильності роботи інформаційного тракту комп'ютера. Як правило, аналізується правильність схемотехнічних рішень функціональних вузлів, а також коректність роботи програмних моделей ярусів конвеєра на функціональному рівні. Для цього використовуються спеціальні інтегровані середовища із вбудованими засобами компіляції та симуляції, наприклад, ModelSim від Mentor Graphics, Active-HDL від Aldec та ін. Крім того, можуть використовуватись спеціальні програмні засоби очищення та відлагодження коду, наприклад, Verification Navigator від TransEDA, які базуються на правилах написання програмних моделей, описаних в роботі [5], в системі визначення якості ядер комп'ютерних пристроїв під назвою OpenMORE Assessment Program та ін.

Евристичний метод прийнятний у випадку простої структури інформаційного тракту комп'ютера. Його недоліком є неможливість повністю гарантувати правильність роботи інформаційного тракту та застосування виключно для тестування функціонально та структурно простих ярусів конвеєра.

2.2. Метод повного перебору

Метод повного перебору полягає у послідовному тестуванні виконання команд на всіх ярусах конвеєра і забезпечує повне тестування коректності виконання команд в інформаційному тракті. Його недоліком (у випадку, якщо існує велика кількість ярусів конвеєра) є довгий час тестування. Відтестованим вважається той ярус, який успішно пройшов функціональну і часову симуляцію. Для проведення тестування використовують спеціально розроблені системи тестування комп'ютерних пристроїв, що мають вигляд програмних моделей реальних середовищ, у яких працюватимуть ці пристрої. Структура системи тестування в цілому залежить від специфіки конкретного тестованого пристрою та тестованої команди, оскільки вона повинна, з одного боку, якнайповніше відображати реальне середовище роботи пристрою, а з іншого – забезпечувати можливість перевірки коректності його роботи у всіх можливих ситуаціях. Як правило, для комп'ютерних пристроїв, що виконують певні операції та реалізують певні стандартні алгоритми, використовують стандартизовані тестові набори. Зазначимо, що тестування кожного окремого ярусу конвеєра потребує застосування спеціально розробленої системи тестування з використанням специфічних тестових наборів.

Структура типової системи тестування комп'ютерних пристроїв має такий вигляд (рис. 2).

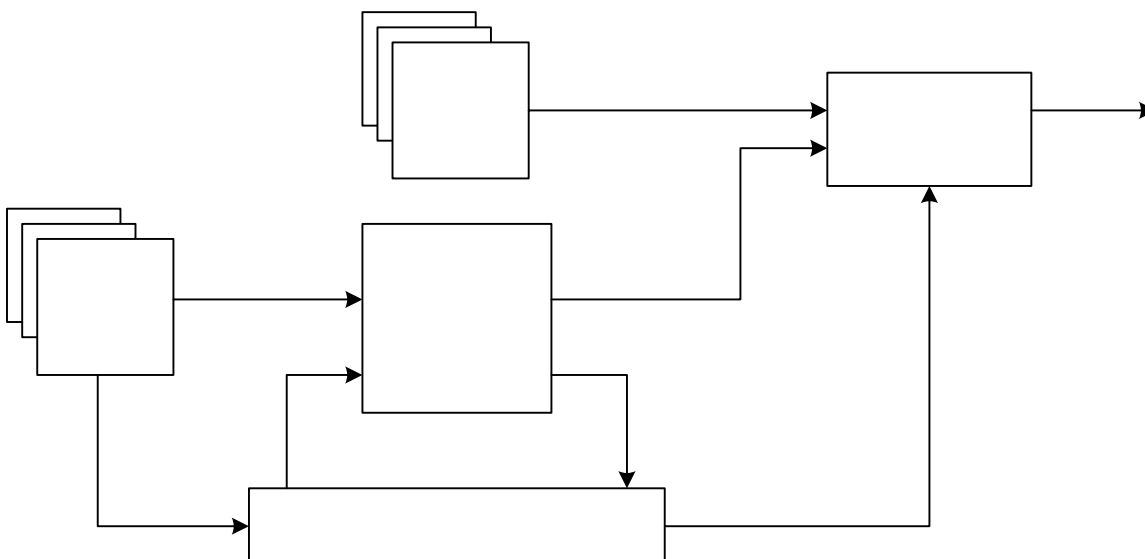


Рис. 2. Структура типової системи тестування комп'ютерних пристроїв

На вхід тестованого пристрою подають вхідні тестові набори, результати обробки яких порівнюють зі зразковими значеннями – вихідними тестовими наборами. Порівняння результату обробки вхідних тестових наборів зі зразковими значеннями виконує пристрій порівняння. Результат його роботи свідчить про коректність (чи некоректність) роботи тестованого пристрою. Функції керування тестованим пристроєм та пристроєм порівняння виконує пристрій керування системою тестування. Синхронізацію та початковий скид системи, як правило, виконують ззовні.

2.3. Метод вибіркового перебору

Згідно з методом вибіркового перебору послідовно тестують виконання команд на відповідних ярусах конвеєра інформаційного тракту, відібраних за певними ознаками, які відображають характеристики ряду команд певного типу. Коректність роботи такої команди дає підстави стверджувати (але не гарантувати) коректність роботи усіх команд, що належать до цього типу. Якщо ж серед можливих команд нема таких, коректність роботи яких свідчила б про коректність роботи інших, тоді потрібно тестувати або усі команди, або певну їх частину, наприклад, кожену другу, кожену третю і т.п. В останньому випадку потрібно враховувати, що генератор не є відтестованим повністю, а лише на 50 %, 33 % і т.д. Як і в попередньому методі, для проведення тестування використовують систему тестування комп'ютерних пристроїв (рис. 2).

3. Система тестування конвеєрного інформаційного тракту комп'ютера

З метою автоматизації процесу тестування створена система тестування всіх ярусів конвеєра інформаційного тракту комп'ютера, яка шляхом почергового тестування ярусів конвеєра дає змогу переконатися у коректності роботи інформаційного тракту. Структура системи тестування інформаційного тракту комп'ютера зображена на рис. 3.

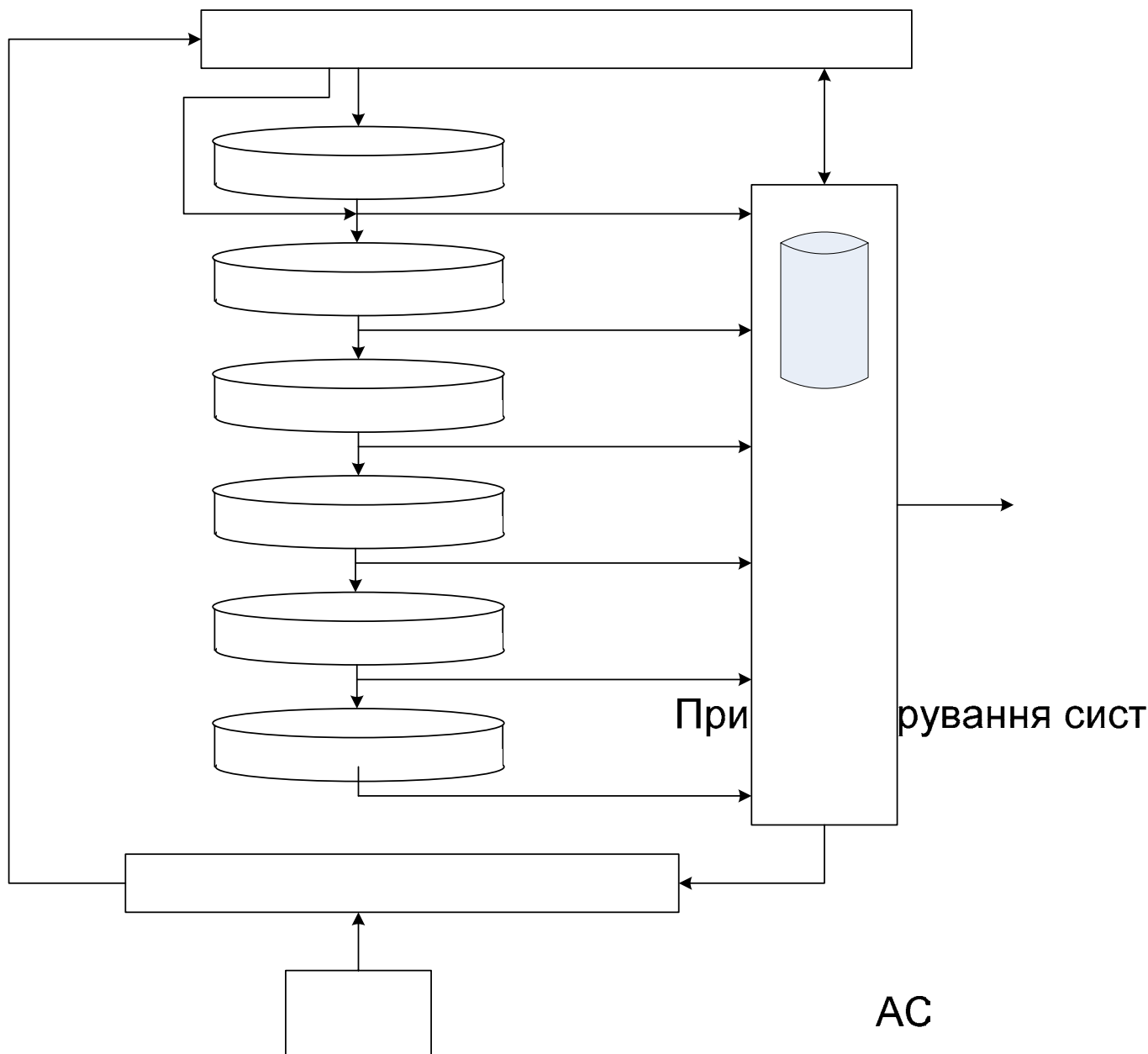


Рис. 3. Структура системи тестування інформаційного тракту комп'ютера

Система тестування інформаційного тракту комп'ютера передбачає як тестування коректності виконання команд в послідовному режимі (послідовна перевірка коректності роботи однієї тестової команди на всіх ярусах конвеєра) так і в конвеєрному режимі (коли тестові команди подаються з кожним тактом сигналу синхронізації). Функціонує система тестування за наступним алгоритмом: з схеми режиму тестування задається режим роботи схеми тестування (послідовний або конвеєрний):

Послідовний: Схема наборів тестових послідовностей видає одну команду на пристрій керування, який в свою чергу, емулює роботу кеш-пам'яті комп'ютера і задає відповідні вхідні інструкції та вхідні дані за заданим протоколом на інформаційний тракт та на схему порівняння проміжних даних. Схема порівняння проміжних даних містить в собі базу даних, в якій зберігаються еталонні значення. На кожному ярусі конвеєра інформаційного тракту процесора відбувається зберігання та порівняння вихідних послідовностей відповідного ярусу. Після того, як тестова команда пройшла всі яруси конвеєра без помилок в роботі – схема порівняння видає повідомлення про успішне виконання тестової команди. Якщо ж на якомусь з ярусів відбувається збій, схема порівняння видає повідомлення, в якому вказує ярус, на якому відбувся збій, інструкцію, що тестувалась та еталонне значення. Після цього генерується сигнал скиду на інформаційний тракт комп'ютера та видається дозвіл на видачу нової тестової послідовності (команди) з блоку набору тестових послідовностей.

Конвеєрний: Схема наборів тестових послідовностей видає (за відповідною адресою з ярусу вибірки команди) одну команду на пристрій керування, який, в свою чергу, емулює роботу кеш-пам'яті комп'ютера і задає відповідні вхідні інструкції та вхідні дані за заданим протоколом на інформаційний тракт та на схему порівняння проміжних даних. На кожному ярусі конвеєра інформаційного тракту процесора відбувається зберігання вихідних послідовностей цього ярусу. Також відбувається порівняння результатів обробки кожної тестової команди на відповідному ярусі конвеєра з усієї множини команд, які заповнюють конвеєр інформаційного тракту, з еталонними результатами обробки відповідної команди на цьому ярусі. Після того, як перша тестова команда пройшла останній ярус конвеєра без помилок в роботі схема порівняння видає повідомлення про успішне виконання першої команди, після чого відбувається вивід результату з приходом кожного наступного тактового інтервалу від задавального генератора, так як на той час наступна, в черзі, команда проходить останній ярус конвеєра. Якщо ж на якомусь з ярусів відбувається збій, схема порівняння видає повідомлення, в якому вказує ярус, на якому відбувся збій, інструкцію, яка тестувалась, адресу за якою видавалась дана інструкція та еталонне значення. Після цього генерується сигнал скиду на інформаційний тракт комп'ютера та видається дозвіл на видачу нової тестової послідовності (команди) з блоку набору тестових послідовностей.

В схемі порівняння проміжних даних закладена відповідна кількість фаз виконання для окремих типів команд.

Потрібно відзначити, що дана система перевіряє роботу інформаційного тракту комп'ютера тільки на його VHDL-моделі. Перевірка роботи на фізичному рівні вимагає додаткових апаратних та програмних засобів.

Висновки

В даній статті були розглянуті основні питання тестування інформаційного тракту комп'ютера з простою системою команд з метою виявлення переваг та недоліків різних методів тестування. Розроблена система тестування конвеєрного інформаційного тракту комп'ютера, перевага якої полягає в автоматизації процесу тестування і, відповідно, скороченні часових затрат на перевірку коректності виконання системи команд комп'ютера та ярусів конвеєра.

Література

1. Hennessy J.L., Patterson D.A. A Quantitative Approach // Computer Architecture. – USA, 2007. – P. 66-264.
2. Aharon A., Dorfman B., Gofman E., Leibowitz M., Schwartzburd V. Verification of the IBM RISC System/6000 by a dynamic biased pseudo-random test program generator // IBM Systems Journal. – 1991. – V. 30, n. 4. – P. 527-538.
3. Kranitis N., Merentitis A., Optimal periodic testing of intermittent faults in embedded pipelined processor applications // Proc. of the conference on Design, automation and test in Europe. – Munich (Germany). – 2006. – P. 65-70.
4. www.intron-technologies.com
5. Keating M., Bricaud P., Reuse Methodology Manual for System-On-a-Chip Design // Kluwer Academic Publisher. – 1999. – 224 p.

Надійшла 17.5.2008 р.

ТЕОРЕТИЧНІ ОСНОВИ УТВОРЕННЯ З'ЄДНАНЬ З ДОПОМОГОЮ КЛЕЇВ

Найвідповідальнішою і одночасно трудомісткою технологічною операцією при виготовленні швейного виробу будь-якого функціонального призначення, є метод з'єднання між собою як деталей крою, так і його монтаж в цілому. Залежно від початкових технічних вимог, вказаний процес може бути виконаний традиційно, тобто за допомогою швейних ниток і нетрадиційно з використанням ультразвука, електроструму дуже високої частоти, склеювання, а також комбінованим способом. Комбіновані з'єднання необхідно більш застосовувати у процесі виготовлення виробів спеціального призначення.

Постановка проблеми

Ефективний захист робітників по підготовці і власне очищенню закритих місткостей можливий тільки за допомогою спеціального одягу ізолюючого типу, основні початкові вимоги до якого передбачають герметичність сполучних швів. Тому, найвідповідальнішою і одночасно трудомісткою технологічною операцією при виготовленні швейного виробу будь-якого функціонального призначення, є метод з'єднання між собою як деталей крою, так і його монтаж в цілому.

Залежно від початкових технічних вимог, вказаний процес може бути виконаний традиційно, тобто за допомогою швейних ниток і нетрадиційно з використанням ультразвука, електроструму дуже високої частоти, склеювання, а також комбінованим способом. Серед вказаних найбільш професійний інтерес для проведення досліджень може представляти комбінований, тому що він є результатом об'єднання всіх інших способів, які можуть формуватися в різній послідовності, а тому характеризуватися визначеними закономірностями, які недостатньо проаналізовані в доступній науковій літературі. Це актуально ще тому, що комбіновані з'єднання необхідно більш ґрунтовно застосовувати в процесі виготовлення таких виробів спеціального призначення як, наприклад, ізолюючі костюми, які використовуються для проведення рятувальних робіт в екстремальних умовах, а також в наших конкретних умовах при очищенні закритих місткостей.

Аналіз останніх досліджень та публікацій

У зв'язку з цим, сполучні шви повинні бути герметичними, тому що дія небезпечних і шкідливих чинників виробництва (мінеральні кислоти, луги, розчини солей) може бути раптовою, а тому вести до їхнього руйнування, передусім, що є причиною розгерметизації одягу і непридатності для подальшої експлуатації. На підставі практичного досвіду таких зарубіжних фірм, як «Дрегер», «Таккони», «Ауер», «Треллеборг» та інших, шви виробів аналогічного асортименту герметизують, як правило, з виворітної сторони деталей або вузлів.

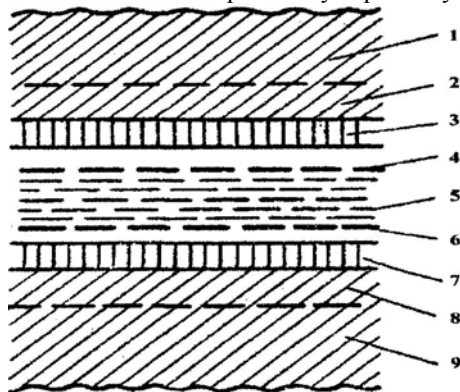


Рис. 1. Схема розділення клейового з'єднання на шари [12]:
1,9 – склеювані матеріали; 2,8 – близькі до поверхні розділу шари склеюваного матеріалу; 3,7 – поверхні розділу склеювальної речовини з відмінною від основної маси клею структурою, які поверхня розділу безпосередньо не впливає; 5 – шар склеювальної речовини, на властивості якої вплив поверхні розділу не позначається

Для цього використовується один з варіантів комбінованого способу, суть якого полягає в тому, що ниткові шви і спеціальну стрічку, призначену для герметизації, певним способом обробляють клеєм (можна клейовими розплавами полімерів), наповнювачами і добавками, максимально наближеними за своїми властивостями до полімерного покриття основних текстильних матеріалів, чим забезпечується їхній надійний адгезійний зв'язок і герметичність. Клейове з'єднання, згідно з роботою [12], представляє собою складну систему, що полягає, на думку окремих дослідників, з дев'яти шарів (рис. 1).

Взаємодія склеювальної речовини (адгезива) з склеюваним матеріалом (субстрат) оцінюється такою величиною, як адгезія, що характеризує міцність клейового шва.

Процес склеювання відноситься до складного і, в даний час, не маючи стійкої теорії, задовільно пояснюється адсорбційною, дифузійною, електричною і хімічною теоріями адгезії, суть яких розкрито в роботах [3, 5, 7]. Проте, слід зазначити, що вказані теорії, серед яких найпоширенішою є адсорбційна, розглядаючи утворення зв'язку між адгезивом і субстратом на основі дії тільки міжмолекулярних сил і не в змозі повністю пояснити процеси, що відбуваються, необхідно застосовувати разом. Такий спосіб логічний, оскільки прихильники електричної теорії вважають, що вплив електричних явищ в процесі склеювання більш значний, ніж молекулярних. Утворення адгезійного зв'язку згідно з дифузійною теорією зводиться до дифузії молекул ланцюжків або їхніх ланок в субстрат або їхньої взаємної дифузії [4, 6]. Дифузійна теорія достатньо обґрунтовано пояснює вплив на склеювання таких технологічних чинників, як застосування загального для адгезива і субстрата розчинника, пластифікатора, наповнювача та ін. Указана теорія не застосовна для

пояснення механізму склеювання металів, скла, кераміки та ін [12].

Що ж до хімічної теорії адгезії, то її основа побудована на утворенні хімічних зв'язків між адгезивом і субстратом.

Таким чином, короткий аналіз показує, що застосування розглянутих теорій можливе або кожної окремо, або в сукупності з іншою (іншими), знаючи при цьому природу адгезива і субстрата, тобто їхні фізико-хімічні особливості.

Виклад основного матеріалу

Відомо [4], що адгезивні з'єднання оцінюються адгезійною міцністю і типом порушення зв'язку між адгезивом і субстратом. Залежно від характеру руйнування (рис. 2, 1-4), міцність клейових з'єднань може прогнозуватись за допомогою термодинамічної теорії адгезії.

В основу вказаної теорії встановлені властивості (змочування) реологій адгезива і процеси, що відбуваються при змочуванні поверхні субстрата [4]. Характер і величина цієї взаємодії залежать від фізико-хімічної природи вказаних складових і оцінюються рівнянням Юнга:

$$\cos \alpha = \frac{\beta c - \beta c a}{\beta a}, \quad (1)$$

де α – краєвий ріг змочування; βc – поверхневе натягнення субстрата;

$\beta c a$ – поверхневе натягнення субстрат – адгезив; βa – поверхневе натягнення адгезива.

Якщо $\beta c < \beta c a$ і $\cos \alpha < 0$, то $\alpha > 90^\circ$ і поверхня субстрата не змочується, а якщо $\alpha < 90^\circ$, то поверхня субстрата змочується частково і лише при $\alpha = 90^\circ$ спостерігається повне змочування.

Адгезія клею до поверхні субстрата може бути описана рівнянням Дюпре, яке визначає роботу «А» по заміні поверхні «субстрат-адгезив» на поверхню «субстрат-пар» і «адгезив-пар»:

$$A = \beta c + \beta a + \beta c a. \quad (2)$$

З рівняння (2), в поєднанні з рівністю Юнга, де

$$\beta c = \beta c a + \beta a \cos \alpha \quad (3)$$

отримаємо:

$$A = \beta a(1 + \cos \alpha). \quad (4)$$

Залежність (4) відома, як рівність Дюпре-Юнга і дозволяє оцінити величину рівноважної роботи адгезії адгезива до субстрата, яку необхідно затрачувати на розділення фаз. Проте, з урахуванням чинників, що впливають на розглянуті термодинамічні залежності (наприклад, адсорбція поверхнею субстрата парів і газів розчинника адгезива, виклична зменшення його вільної поверхневої енергії та інше), залежність (4) прийме вигляд:

$$A = d + \beta a(1 + \cos \alpha), \quad (5)$$

де d – поверхневий тиск плівки парів адгезива, адсорбованих на поверхні субстрата.

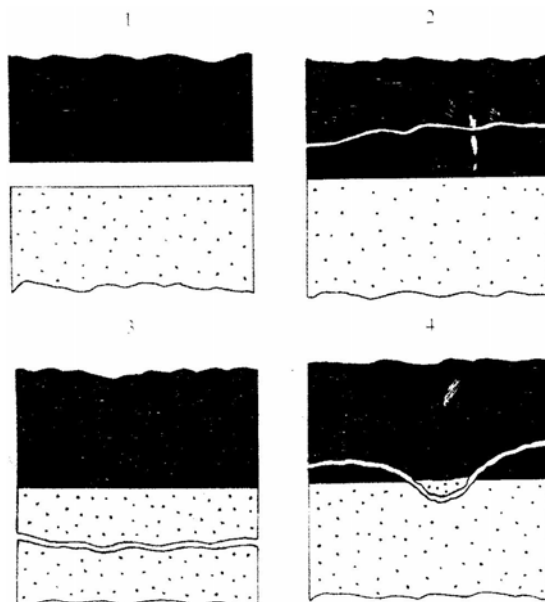


Рис. 2. Можливі види руйнування адгезійних з'єднань: 1 – адгезійне; 2 і 3 – когезійне; 4 – змішане

Аналіз рівняння (5) показує, що для досягнення високої адгезії необхідно, щоб поверхневе натягнення адгезива βa мало достатньо високе значення. При цьому необхідно також, щоб поверхневе натягнення субстрата βc було набагато більше поверхневого натягнення на межі розподілу системи «субстрат-адгезив», тобто $\beta c > \beta c a$.

Таким чином, на підставі аналізу термодинамічної теорії адгезії можна стверджувати про можливість отримання клейових з'єднань з заданими міцними характеристиками, але тільки при виконанні таких умов,

коли поверхневе натягнення субстрата буде більше абсолютного значення поверхневого натягнення адгезива. Вказані показники можна взяти з літературних джерел або отримати експериментально, що дає можливість формувати клейові з'єднання із заданими механічними властивостями. Проте необхідно відзначити, що на властивості клейових з'єднань ще роблять вплив такі чинники, як будова і структура склеювальних полімерів, їхня молекулярна маса, фізико-хімічні властивості, природа і стан поверхні субстрата, а також умови проведення процесу склеювання [2].

Загалом, до отримання якісного клейового з'єднання, необхідно вивчити адгезійні властивості клею залежно від фізико-хімічних характеристик початкового полімеру (молекулярна маса, термореактивність, термопластичність, природа наповнювачів та інше), умови експлуатації виробу, структуру і стан поверхні матеріалів, призначених для склеювання, їхню популярність і т.д. Оскільки на сьогодні, для пояснення механізму адгезії, використовуються адсорбційна, електрична, дифузійна, хімічна, термодинамічна теорії, і багато інших концепцій, які по-різному його трактують, то автори роботи [4] однозначно стверджують, що адгезійний процес – результат молекулярної взаємодії на рівні розділу «адгезив-субстрат». Якщо це так, то між молекулами адгезива і субстрата виникають різні сили для з'єднання, починаючи з таких незначних, як дисперсні (лондоновські), індуктивні (кеєзо-московські), орієнтаційні (дебаєвські) і закінчуються значними за величиною силами хімічної природи (іонні, ковалентні, координаційні). Так, в даному випадку для молекул з дипольним моментом «*a*», поляризованістю «*b*» і потенціалом іонізації «*f*», енергія вандерваальсової взаємодії «*U*» може бути виражена наступним рівнянням:

$$U = U_o + U_i + U_d = \frac{1}{r^6} \left[\frac{2a_1^2 a_2^2}{3kT} + a_1^2 b_1 + a_2^2 b_1 + \frac{3f_1 f_2 b_1 b_2}{4(f_1 + f_2)} \right], \quad (6)$$

де U_o , U_i та U_d – енергія орієнтаційної, індуктивної і дисперсної взаємодії відповідно; r – відстань між центрами диполів; k – постійна Больцмана; T – абсолютна температура.

Відповідно до наведеної залежності (6), сили взаємодії між молекулами обернено пропорційні між молекулярній відстані і стають незначними, якщо вона дорівнює п'яти або більше ангстремам. Указаний висновок з попередніми умовами і деякими особливостями частково використовується для теоретичних розрахунків оцінки величини адгезивної міцності, суть яких полягає у визначенні залежності між потенційною енергією «*U*» частинок і відстанню «*r*» між ними. Так, якщо прийняти до уваги концепцію Мі, то:

$$U = -Ar^{-n} + Br^{-m}, \quad (7)$$

де A , B , n , m – постійні величини, залежні від виду деформації (A і B) і типу зв'язків (n , m).

Для отримання необхідного математичного рівняння проводять диференціювання (7) по «*r*» з подальшим перетворенням:

$$F = \frac{dU}{dr} = nAr^{-(n+1)} - mBr^{-(m+1)}, \text{ звідки: } F = 1,46 \frac{U}{r}. \quad (8, 9)$$

Окрім цього, для проведення розрахунків (також теоретичних) адгезивного навантаження, іноді використовується емпіричне рівняння Морзе такого вигляду:

$$U = De^{-2b(r-r_0)} - 2De^{-b(r-r_0)}, \quad (10)$$

де U – потенційна енергія системи; D – енергія дисоціації зв'язок; r і r_0 – відстань між центрами взаємодії частин; b – постійна, пов'язана з амплітудою коливання взаємодіючих частинок.

Кінцевий результат розрахунків теоретичної міцності аналогічний вже наведеному, тобто:

$$F = \frac{Db}{2}, \text{ звідки: } F = 1,61 \frac{U}{r}. \quad (11)$$

Очевидно, що отримані залежності (9) і (11) по абсолютному значенню майже співпадають і якщо розрахувати механічне навантаження для системи. Наприклад «адгезив-метал» тільки відносно дії дисперсійних сил (U_d), то значення «*F*», відповідно до вказаних рівнянь, в середньому дорівнює 700 даН/см², а якщо урахувати ще й дію індукційних (U_i) і орієнтаційних (U_o) сил, то сумарна величина міцності може бути в межах 2000 даН/см і більше.

Висновки

Отже, наведені розрахунки показують, що тих молекулярних сил, діючих на межі розподілу системи, більш ніж достатньо для отримання надійного адгезійного з'єднання матеріалів. Якщо міцність з'єднання незначна або не відповідає технічним вимогам, то можна стверджувати, що потенційні можливості системи «адгезив-субстрат» не були повністю використані через наявність різного роду причин.

Література

1. А.с. 531902 СССР. Устройство швейной машины для изготовления герметичных швов на изделии. Оpub. ВОИПО и ТЗ. 1976. – № 38.
2. Барамбойм Н.К., Щекина Т.П. Свойства обувных клеев средней прочности с регулируемой жесткостью // Известия ВУЗов. Технология легкой промышленности. – 1987. – № 5. – С. 89 – 91.
3. Бартнев Г.М., Зуев Ю.С. Прочность и разрушение высокоэластичных материалов. – М.: Химия, 1964. – 387 с.

4. Берлин А.А., Басин В.Е. Основы адгезии полимеров. – М.: Химия, 1974. – 391 с.
5. Воюцкий С.С. Диффузионная теория адгезии // Высокомолекулярные соединения. – 1959. – № 1. – С 230-239.
6. Воюцкий С.С. Аутогезия и адгезия высокополимеров. – М.: Ростехиздат, 1960. – 244 с.
7. Дерягин Б.В., Кротова Н.А. Адгезия. – М.: АН СССР, 1944. – 244 с.
8. Зув Ю.С. Новые методы оценки механических свойств резины в условиях, близких к эксплуатационным. – М.: ЦНИИТЭ – нефтехимии, 1973. – 116 с.
9. Кокеткин П.П. Механические и физико-химические способы соединения деталей швейных изделий. – М.: Легкая и пищевая промышленность, 1983. – 200 с.
10. Михайлова Н.В., Болібрux Б.В., Мичко А.А. Вплив товщини адгезиву на міцність з'єднання спеціальних матеріалів // Пожежна безпека. – 2002. – № 2. – С. 67-71.
11. Феденюк В.Г., Ягловский В.И. Изготовление одежды из материалов с покрытием. – М.: Легкая индустрия. – 1967. – 153 с.
12. Шаньгина В.Ф. Соединение деталей одежды. – М.: Легкая индустрия, 1976. – 208 с.
13. Шаньгина В.Ф. Оценка качества соединений деталей одежды. – М.: Легкая и пищевая промышленность, 1981. – 128 с.

Надійшла 2.5.2008 р.

УДК 629.7.05.017

В.А. КУЛАНОВ, В.С. ХАРЧЕНКО

Национальный аэрокосмический университет им. Н.Е. Жуковского «ХАИ»

МОДЕЛЬ ЖИЗНЕННОГО ЦИКЛА СИСТЕМ ОБРАБОТКИ ИНФОРМАЦИИ НА ПРОГРАММИРУЕМОЙ ЛОГИКЕ ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ АВТОМАТНО-ЯЗЫКОВОЙ ДИВЕРСНОСТИ

Анализируется V-образная модель жизненного цикла систем обработки информации на программируемой логике. Рассматривается уровень представления систем на программируемой логике и область внесения автоматного-языковой избыточности на стадиях жизненного цикла. Предлагается модель ЖЦ многоверсионной разработки систем обработки информации на программируемой логике с использованием автоматного-языковой диверсности.

Введение

Многоверсионный подход к проектированию позволяет снизить риски отказов по общей причине (ООП) при разработке систем обработки информации (СОИ) критического применения [1, 2]. Основная его идея заключается во введении избыточности продуктов проектирования системы или процессов ее разработки на различных этапах жизненного цикла (ЖЦ) СОИ [3]. В последнем случае речь идет о многоверсионном жизненном цикле (МВЖЦ), т.е. ЖЦ, в котором используется избыточность процессов, а промежуточные многоверсионные продукты (МВП), равно как и конечный МВП – многоверсионная система (МВС) – являются результатом многоверсионного процесса разработки, т.е. многоверсионной технологии (МВТ). Поскольку МВТ предполагает применение избыточных процессов, модель МВЖЦ должна отражать помимо самих избыточных процессов и процесс их инициации (процесс внесения избыточности).

Выходным результатом при многоверсионном подходе к проектированию может являться как многоверсионный, так и одноверсионный продукт (или система), в то время как результатом одноверсионного проекта и соответственно одноверсионной технологии может быть только одноверсионный продукт (система).

С появлением программируемых логических интегральных схем (ПЛИС) появилась возможность реализации СОИ на одном кристалле.

В работе [4] рассматривается модель жизненного цикла многоверсионных информационно-управляющих систем на базе автоматов с программируемой логикой, анализируются способы внесения аппаратной версионной избыточности на этапах МВЖЦ систем на программируемой логике (ПЛ), а также методы оценки вариантов и выбора оптимальных решений по критериям «диверсность – стоимость».

Недостатком предложенной модели МВЖЦ [4] является ее недостаточная детализация и то, что она не учитывает автоматного-языковую диверсность на этапах представления системы на уровне автоматной логики (модели) и языков описания аппаратуры – собственно реализации автомата и его алгоритма функционирования.

Цель статьи – получение модели жизненного цикла многоверсионной разработки систем обработки информации и управления на программируемой логике с использованием автоматного-языковой диверсности.

V-модель жизненного цикла СОИ на ПЛ

Известно большое количество моделей ЖЦ систем [5]. Согласно требованиям к разработке систем критического применения используется V-образная модель ЖЦ (рис. 1) [4, 6, 7]. Она наиболее эффективна в тех случаях, когда необходимо обеспечить высокую надежность системы, и одновременно заранее определена

технология разработки, а персонал владеет необходимыми навыками и опытом работы с данной технологией. В работе [8] изложены основные преимущества и недостатки использования V-модели жизненного цикла.

В самом общем случае V-модель ЖЦ систем на ПЛ состоит из следующих стадий [4, 7, 8]:

- анализ требований к системе;
- спецификация системы;
- разработка архитектуры системы;
- разработка подсистем;
- разработка модулей подсистем;
- имплементация системы (Floorplan, Map, Place&Route);
- тестирование модулей подсистем;
- интеграция модулей и тестирование подсистем;
- интеграция подсистем и тестирование системы;
- приемка и сдача системы заказчику;
- сопровождение и усовершенствование (модернизация) системы/

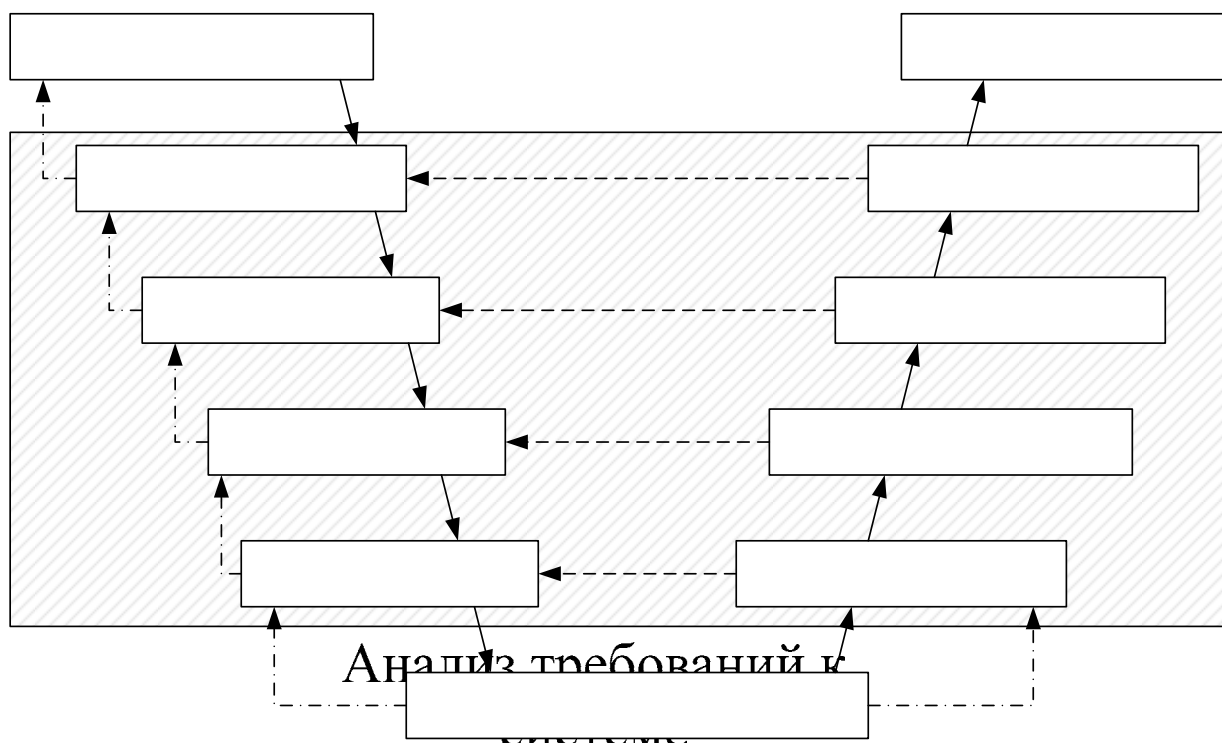


Рис. 1. V-модель ЖЦ разработки СОИ на ПЛ

Каждая из стадий ЖЦ разработки СОИ на программируемой логике характеризуется определенным выходным результатом, а также уровнем представления системы.

Для детализация ЖЦ многоверсионной разработки СОИ на ПЛ в части использования автоматически-языковой диверсности необходимо определить уровни представления системы, проанализировать выходной результат каждой из стадий разработки системы и выделить те этапы, на которых возможно внесение автоматически-языковой избыточности (рис. 2).

Модель ЖЦ многоверсионной разработки СОИ на ПЛ

На основании выходных данных каждого из этапов ЖЦ, области внесения автоматически-языковой диверсности (рис. 1), а также уровней представления системы, получим модель ЖЦ многоверсионной разработки СОИ на ПЛ (рис. 2).

Рассмотрим жизненный цикл многоверсионной разработки системы обработки информации на программируемой логике.

На первом шаге разработки системы анализируются требования, предъявляемые к системе. На основании требований формируется модель-спецификация, которая дает формализованное описание объекта.

верификация
 Спецификация системы
 Разработка архитектуры системы
 верификация
 Разработка подсистем
 верификация
 внесения
 верификация

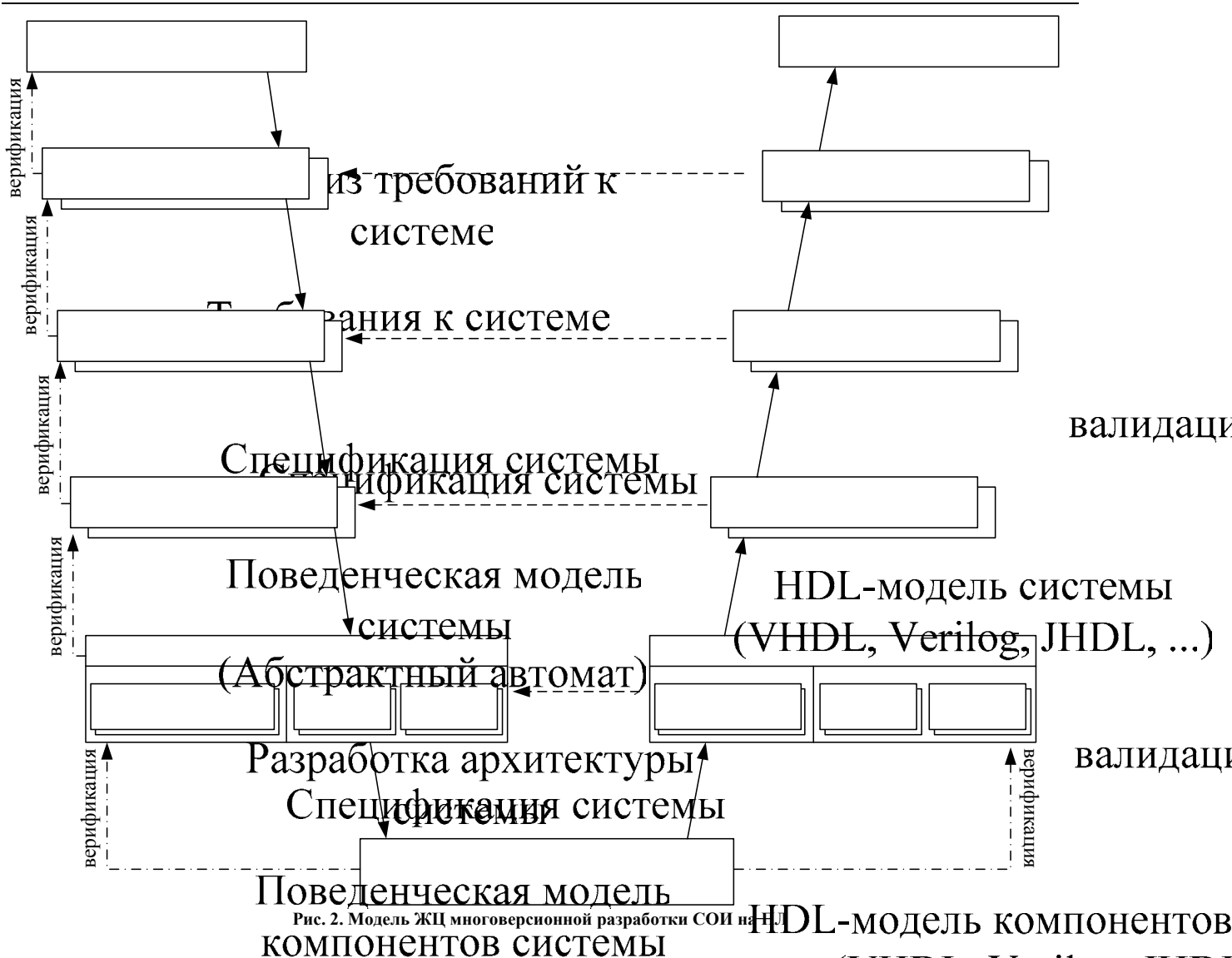


Рис. 2. Модель ЖЦ многоверсионной разработки СОИ на уровне ЦА

Выходным результатом этапа спецификации системы является ее поведенческое описание, представленное на уровне HDL-модели (Hardware Description Language). При этом система – это «черный ящик», некоторый абстрактный цифровой автомат с известными входными и выходными параметрами, но отсутствием внутренней реализации – структуры. Многоверсионная разработка на данном этапе возможна с использованием как множества специальных языков описания аппаратуры: VHDL, Verilog, JHDL, SystemC и т.д., так и языков программирования высокого уровня (C++, Java и т.д.). Данное направление является предметом большого количества работ, в которых рассматриваются основные характеристики, область применения и отличия между языками описания аппаратуры, а также используются различные методы верификации на этапе формирования спецификации систем на программируемой логике [9 – 12].

Следующий шаг – разработка архитектуры СОИ. Выходным результатом данного этапа является структура системы – совокупность различных компонентов (функциональных модулей) и связей между ними, где каждый компонент выполняет определенную задачу (функцию). При этом отдельный функциональный модуль представлен на уровне абстрактного автомата, поведенческое описание которого возможно с использованием множества языков описания аппаратуры (VHDL, Verilog, JHDL, SystemC, SystemVerilog и т.д.).

После формирования структуры идет этап разработки подсистем (компонентов системы), где происходит процесс перехода от абстрактной модели цифрового автомата к конкретным дискретным моделям – каноническому ЦА, микропрограммному цифровому автомату (МПЦА) и т.д. Внесение избыточности возможно за счет представления системы с использованием как канонического метода структурного синтеза ЦА, так и на уровне микропрограммного автомата (операционного устройства) [13], а также при поведенческом описании автоматной модели с использованием множества языков описания аппаратуры (VHDL, Verilog и т.д.).

На стадии разработки модулей компонентов синтезируется предложенная автоматная модель. В зависимости от типа выбранного метода структурного синтеза конечным результатом данного этапа может быть структура комбинационного (КА) или последовательностного (ПА) цифрового автомата при каноническом методе структурного синтеза (КА) или микропрограммного цифрового автомата (МПЦА) при структурном синтезе (ОА) и управляющего (УА) автоматов при использовании микропрограммной интерпретации алгоритма – микропрограммного цифрового автомата. Структура ЦА – это совокупность стандартных библиотечных элементов, предоставляемых САПР (система

автоматизированного проектирования) и организация связи между ними. Многоверсионная разработка на данном шаге включает в себя множество автоматных моделей и технологий синтеза цифровых автоматов, в том числе с использованием языковой избыточности при структурном и поведенческом описании, а также множество библиотечных элементов доступных разработчику при имплементации проектных решений.

В работах [14, 15] рассматривается вариант внесения версионной избыточности при разработке комбинационных и последовательностных автоматов, а также проводится оценка их диверсности.

Каждая из стадий жизненного цикла проектирования системы завершается этапом верификации.

Заключительным шагом разработки СОИ на ПЛ является ее размещение на кристалле различными средствами САПР. Внесение автоматного-языковой диверсности на данном уровне проектирования системы не представляется возможным.

После фазы разработки идет этап тестирования, интеграции и валидации полученных решений. Многоверсионный подход к разработке систем обработки информации и управления на программируемой логике позволяет применять избыточность на этапах тестирования, верификации и валидации, которая заключается как в различных методах тестирования, так и в области внесения языковой диверсности при написании программных TestBench модулей. В рамках многоверсионного подхода к проектированию существует возможность применения процедуры перекрестного тестирования на этапах разработки и тестирования СОИ [16].

Предлагаемая модель ЖЦ многоверсионной разработки СОИ на программируемой логике применима при разработке систем с различным уровнем интеграции и сложности, состоящих как из одного, так и множества функциональных модулей (компонентов). В этом случае каждый компонент представляет собой отдельный ЦА, а вся система – сеть автоматов с различной архитектурной связью [17].

Выводы и дальнейшая работа

В статье рассмотрена V-образная модель ЖЦ СОИ на ПЛ, проанализирована существующая модель ЖЦ многоверсионной разработки систем обработки информации на базе автоматов с программируемой логикой, а также рассмотрены уровни представления системы и область внесения автоматного-языковой избыточности на стадиях жизненного цикла.

Усовершенствована модель ЖЦ многоверсионной разработки СОИ на программируемой логике с использованием автоматного-языковой диверсности, которая отличается от существующих тем, что учитывает автоматную и языковую избыточность на стадиях ЖЦ при многоверсионном подходе к проектированию систем обработки информации и управления на ПЛ.

В дальнейшем необходимо детализировать этап многоверсионной разработки СОИ на ПЛ. В частности, исследовать модель многоверсионного синтеза комбинационных и последовательностных автоматов, принцип построения автоматов с микропрограммным управлением, провести оценку диверсности предложенных вариантов решений; выполнить оценку диверсности вариантов решений при многоверсионной разработке систем обработки информации на программируемой логике с использованием различных языковых конструкций и языков описания аппаратуры.

Литература

1. Avizienis A., Kelly J.P. Fault Tolerance by Design Diversity: Concepts and Experiments // IEEE Computer, August, 1984. – P. 67-80.
2. Mitra S., McCluskey J. Design of Redundant Systems Protected Against Common-Mode Failures // 19 IEEE VLSI Test Symposium (VTS'01), Los Angeles, CA, 2001. – P. 190-195.
3. Многоверсионные системы, технологии и проекты / Харченко В.С., Жихарев В.Я., Илюшко В.М., Нечипорук Н.В // Под ред. Харченко В.С. – Харьков: Нац. аэрокосм. ун-т «Харьк. авиац. ин-т», 2003. – 486 с.
4. Отказобезопасные информационно-управляющие системы на программируемой логике / Бахмач Е.С., Герасименко А.Д., Головир В.А., Сиора А.А., Скляр В.В., Токарев В.И., Харченко В.С // Под ред. Харченко В.С., Скляра В.В. – Национальный аэрокосмический университет «ХАИ», Научно-производственное предприятие «Радий», 2008. – 380 с.
5. Кальянов Г.Н. CASE структурный системный анализ (автоматизация и применение). – М.: ЛОРИ, 1996. – 242 с.
6. Söderberg A., Hérard J., Mortensen L.B. Guideline for Design and Safety Validation of Safety-Critical Functions Realized with Hardware Description Language // NT Technical Report 578, 2005. – 102 p.
7. Drechsler R. and Breiter A. Hardware project management – what we can learn from the software development process for hardware design // In 4th Conference of Informatics and Information Technologies, 2003.
8. IABG Information Technology, V-Model: Lifecycle Process Model // www.v-modell.iabg.de/kurzb/vm/kvme.doc, 1993.
9. Damaševičius R. A Subset-based Comparison of Main Design Languages // Information technology and control, Kaunas, Technologija, 2004, No. 1 (30), P. 48 – 55.
10. Jerraya A. A., Romdhani M., Marrec P. Le, Hes-sel F., Coste P., Valderrama C., Marchioro G. F., Daveau J. M., Zergainoh N. – E. Multi-language Specification for System Design and Co-design // In A. A. Jerraya, J. Mermet (eds.), System Level Synthesis, Kluwer Academic Publishers, 1999.

11. Bonanome G. Hardware Description Languages Compared: Verilog and SystemC // Technical Report, Department of Computer Science, Columbia University, New York, USA, 2001.
12. Castells D., Monton M., Pla R., Novo D., Portero A., Navas O., Farre J., Ribas L., Carrabina J. Comparing Design Flows for Structural System Level Specifications facing FPGA Platforms // XIX Conference on Design of Circuits and Integrated Systems. (DCIS). Bordeaux, France, November 24-26, 2004.
13. Глушков В.М. Теория автоматов и вопросы проектирования структур цифровых машин // Кибернетика. – 1965. – № 5. – С. 1-9.
14. Mitra S., Saxena N.R., McCluskey J. Techniques for Estimation of Design Diversity for Combinational Logic Circuits // Int. Conf. on Dependable Systems and Networks (DSN'01), Goteborg, Sweden, 2001, P. 25-34.
15. Mitra S., McCluskey J. Design Diversity for Concurrent Error Detection in Sequential Logic Circuits // 19th IEEE VLSI Test Symposium (VTS'01), Los Angeles, CA, Apr. 30-May 3, 2001, P. 178-183.
16. Куланов В.О., Харченко В.С. Метод та уніфіковане середовище перехресного тестування для верифікації багатoversійних цифрових систем управління на ПЛІС // Вісник Харківського національного технічного університету сільського господарства імені Петра Василенка. Вип. 57 «Проблеми енергозабезпечення та енергозбереження в АПК України». – Том 2. – Харків: ХДТУСГ, 2007. – С. 203 – 208.
17. Баранов С.И. Синтез микропрограмных автоматов (граф-схемы и автоматы). – 2-е изд., перераб. и доп. – Л.: Энергия, 1979. – 232 с.

Надійшла 18.5.2008 р.

УДК 621.3.08

В.В. КУХАРЧУК, В.В. УСОВ
Вінницький національний технічний університет

ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНЕ ОЦІНЮВАННЯ ВІРОГІДНОСТІ КОНТРОЛЮ КУТОВИХ ПОЛОЖЕНЬ КРОКОВИХ ДВИГУНІВ

В роботі приводиться методика оцінки вірогідності контролю куткових положень крокових двигунів, для чого знаходяться помилки першого та другого роду шляхом експериментального дослідження статистичних характеристик контрольованого параметра та похибки засобу контролю.

Під час вимірювального контролю на стан об'єкта впливають різноманітні випадкові фактори, що характеризують процес його знаходження в одному із можливих контрольованих станів як випадковий, і тому точно непередбачуваний. Крім того, сама процедура встановлення дійсного стану об'єкта засобами контролю також є випадковою, за рахунок неідеальності останніх. Тому контроль, перш за все, характеризується імовірнісними характеристиками, основною з яких є вірогідність контролю. Ця характеристика виражає ступінь об'єктивності та якості контролю, ступінь довіри до отриманих результатів [1]. Тому оцінювання вірогідності контролю є важливою і актуальною задачею при проектуванні засобів контролю для запобігання можливих економічних втрат як виробників, так і споживачів продукції.

Оцінкою вірогідності є ймовірність того, що результат контролю відповідає дійсному стану об'єкта. В ідеальному випадку контроль дає абсолютно достовірний результат, тому вірогідність рівна 1. В реальних умовах цього практично неможливо досягти, за рахунок похибок вимірювання засобів контролю та розсіювання контрольованих параметрів. Наявність похибок є основною причиною прийняття неправильних рішень, в результаті чого частина продукції, яка знаходиться в допустимих межах бракується, а частина бракованих виробів визнається відповідними встановленим нормам.

В процесі виготовлення та перевірки крокових двигунів (КД) досить важливо здійснити нормування кута відпрацювання кроків для кожного куткового положення [3]. Для цього застосовуються різні підходи, описані в [3-5]. Незважаючи на проведені оцінювання метрологічних характеристик, похибок та швидкодії вимірювання, для даних засобів контролю відсутні показники вірогідності. Тому метою даної роботи є оцінювання вірогідності контролю куткових положень крокових двигунів.

Аналіз показників вірогідності контролю

Однією з основних кількісних оцінок вірогідності контролю є абсолютна вірогідність, що представляє собою імовірність прийняття правильного рішення [1]:

$$D = 1 - P_{er}, \quad (1)$$

де P_{er} – імовірність помилкових рішень при контролі.

Відповідно до [1] P_{er} включає в себе імовірність прийняття неправильного рішення α при виході контрольованого параметра за допустимі межі (помилка першого роду або ризик виробника), та імовірність прийняття неправильного рішення β , коли контрольований параметр знаходиться в нормі (помилка другого роду або ризик замовника). Тоді можна (1) можна записати наступним чином:

$$D = 1 - \alpha - \beta. \quad (2)$$

При оцінюванні помилок першого та другого роду необхідно враховувати випадкові величини, що

впливають на результат прийняття рішення. Як зазначалося вище, основними такими величинами є власне контрольований параметр θ та похибка засобу контролю Δ . Тому загальна система випадкових величин буде характеризуватися деякою двохмірною щільністю розподілу $p(\Delta, \theta)$, при цьому помилка першого роду буде рівною [1]:

$$\alpha = \int_{-\delta}^{\delta} \left(\int_{-\infty}^{-\delta} p(\Delta, \theta) d\Delta \right) d\theta + \int_{-\delta}^{\delta} \left(\int_{\delta}^{\infty} p(\Delta, \theta) d\Delta \right) d\theta, \quad (3)$$

а помилка другого роду:

$$\beta = \int_{-\infty}^{-\delta} \left(\int_{-\delta}^{\delta} p(\Delta, \theta) d\Delta \right) d\theta + \int_{\delta}^{\infty} \left(\int_{-\delta}^{\delta} p(\Delta, \theta) d\Delta \right) d\theta. \quad (4)$$

Отже, для розрахунку вірогідності повинні бути відомі розподіли кутових положень КД та похибки засобу контролю, а також допуски на контрольований параметр.

Оцінювання статистичних характеристик кутових положень КД

Як зазначалося вище, параметри, які характеризують стан об'єкта контролю, мають випадкову складову. Для крокових двигунів дана складова визначається, в першу чергу, конструктивними параметрами, якістю його виготовлення та параметрами системи керування. Тому для оцінювання вірогідності контролю необхідно визначити статистичні характеристики кута повороту КД.

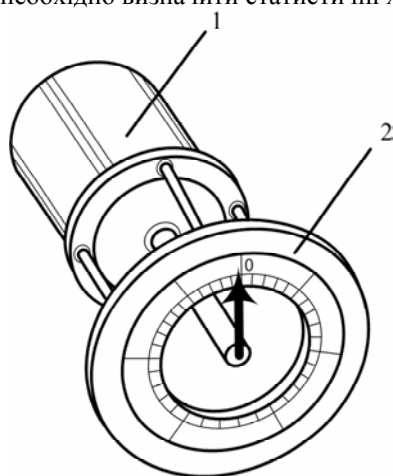


Рис. 1. Структурна схема вимірювання кутових положень КД

Для цього проведемо вимірювання кутових положень КД за допомогою зразкового електронного мікроскопа УИМ-200, відповідно до методики, описаної в [3]. Структурна схема засобу вимірювання наведена на рис. 1.

Вимірювання проводяться наступним чином. КД 1, зі стрілкою на роторі, закріплюється на електронному мікроскопі 2, на якому знаходиться проградуїрована шкала. Двигун працює в покроковому режимі роботи з ручним керуванням. Вимірювання здійснюються шляхом почергового проходження кожного стійкого кутового положення, кількість яких залежить від номінального кута кроку. Після чого розраховується похибка відпрацювання для кожного з вимірних значень кута відносно дійсного кута кроку.

Даний метод є досить трудомістким, вимагає значних зусиль оператора, проте має високу точність, яка залежить, в першу чергу, від точності мікроскопа. Наприклад, для УИМ-200 вона складає $\pm 0,5\%$, що дозволяє достовірно оцінити статистичні характеристики кутового положення КД. Отримані результати експерименту для КД типу М35SP-6 з номінальним кутом кроку 15° представимо в графічному вигляді (рис. 2).

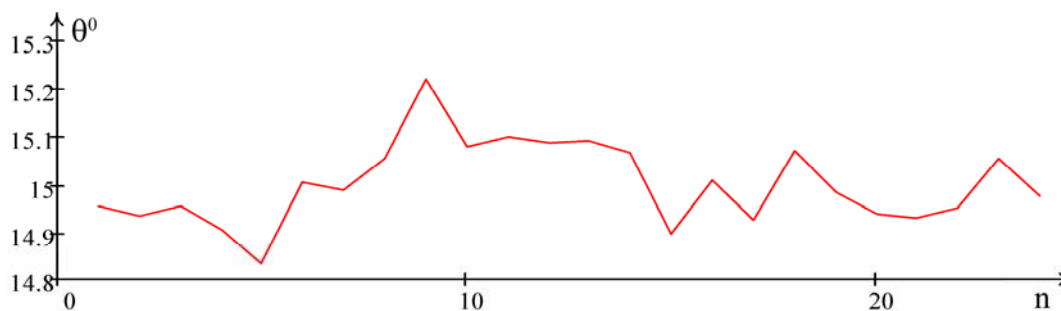


Рис. 2. Результати багаторазових вимірювань кутових положень КД М35SP-6 мікроскопом УИМ-200

Одними з основних статистичних оцінок, що необхідні для розрахунку вірогідності, є середнє значення $\bar{\theta}$ кута, мінімальне θ_{\min} і максимальне θ_{\max} значення, середнє квадратичне відхилення середнього арифметичного $\sigma[\bar{\theta}]$, дисперсія D [1, 2].

При цьому дисперсія визначається наступним чином:

$$D = \frac{\sum_{i=1}^n (\theta_i - \bar{\theta})^2}{n - 1}, \quad (5)$$

де середнє значення рівне:

$$\bar{\theta} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \theta_i, \quad (6)$$

а середнє квадратичне відхилення:

$$\sigma[\bar{\theta}] = \sqrt{D}. \quad (7)$$

Також важливою характеристикою контрольованого параметра є поле допуску, що виражає встановлені допустимі границі, при яких об'єкт здатний виконувати задані функції [2]. В нашому випадку даний інтервал визначається якісними показниками двигуна. Для більшості КД відхилення від номінального кута кроку не повинно перевищувати $\delta = \pm 3 - 5\%$.

Отримані результати оцінювання зведемо в таблицю (табл. 1).

Таблиця 1

Статистичні оцінки кутових положень КД

Умовне позначення	θ_{\min}	θ_{\max}	$\bar{\theta}$	D	$\sigma[\bar{\theta}]$	δ	n
Числове значення	14,75 ⁰	15,25 ⁰	15 ⁰	0,01 ⁰	0,1	± 0,25 ⁰	24

Припустимо, що закон розподілу кута пороту КД є нормальним. Тоді скориставшись оціненими статистичними характеристиками, за допомогою формули Гауса для щільності розподілу маємо:

$$p(\theta) = \frac{1}{\sigma[\bar{\theta}] \sqrt{2\pi}} \cdot e^{-\frac{(\theta - \bar{\theta})^2}{2 \cdot \sigma[\bar{\theta}]^2}}. \quad (8)$$

Графічне представлення щільності розподілу наведено на рис. 3.

Зроблене припущення про нормальність закону розподілу контрольованого параметра потребує обґрунтування. Для цього існує ряд способів, які дозволяють перевірити узгодження емпіричного розподілу з теоретичною моделлю. Основним критерієм вибору того чи іншого способу є об'єм експериментальних даних. Тому для даної вибірки з 24-х значень використовується складний критерій, що складається з двох підкритеріїв [6].

Відповідно до першого критерію обчислюємо відношення:

$$\tilde{d} = \frac{\sum_{i=1}^n |\theta_i - \bar{\theta}|}{nS_*} = 0.807,$$

де S_* – зсунена оцінка СКВ:

$$S_* = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (\theta_i - \bar{\theta})^2}{n}} = 0.212.$$

Тоді вважаємо, що результати вимірювань розподілено нормально, оскільки виконується умова $d_{1-q_{5/2}} < \tilde{d} \leq d_{q_{5/2}}$, де $d_{1-q_{5/2}} = 0.7040$ та $d_{q_{5/2}} = 0.8686$ – квантілі розподілу за рівнем значущості $q_{5\%}$ [6].

Відповідно до другого критерію, можна вважати, що результати вимірювань належать нормальному розподілові, якщо не більше m різниць $(\theta_i - \bar{\theta})$ перевищують значення $Z_{P/2} \cdot S$, де S – вибіркове СКВ, $Z_{P/2}$ – верхній квантиль розподілу функції Лапласа, що відповідає ймовірності $P/2$.

Тоді відповідно до даного об'єму вибірки $n = 24$ та рівня значущості $q_{5\%}$ значення ймовірності $P = 0.97\%$ та максимально допустиме число різниць $m = 2$ [6], а верхній квантиль $Z_{P/2} = 2.2$ [6]. Таким чином, добуток $Z_{P/2} \cdot S = 0.466$, який перевищує тільки одне значення з вибірки, що менше за максимально допустиме число m , тому, на підставі справедливості гіпотези по двом критеріям, робимо висновок про відповідність розподілу кутових положень КД нормальному.

Оцінювання статистичних характеристик засобу вимірювального контролю

Як зазначалося раніше, крім контрольованого параметра випадковою є похибка засобу вимірювання. При розрахунку статистичних оцінок кутових положень вона не враховується, оскільки в якості засобу

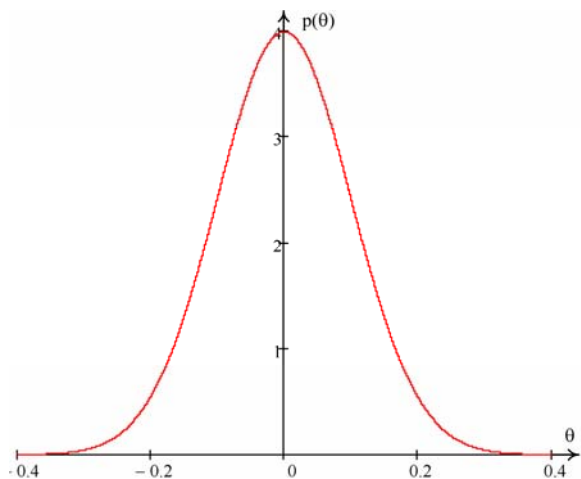


Рис. 3. Щільність розподілу контрольованого параметра

контролю використовується зразковий мікроскоп. Звичайно при проведенні досліджень з засобом контролю, для якого розраховується вірогідність, слід здійснити оцінювання його статистичних характеристик на основі експериментальних даних.

В [5] було розроблено вимірювальний канал (ВК) кутових положень крокових двигунів, структурна схема якого наведена на рис. 4. ВК призначений для вимірювання кута повороту КД при переході від одного кутового положення до наступного і включає в себе: систему керування кроковим двигуном (СК); пружну муфту (М); фотоелектричний сенсор кута повороту (СКП); мікропроцесорний контролер (МК); D-тригер; рідино-кристалічний дисплей (HL).

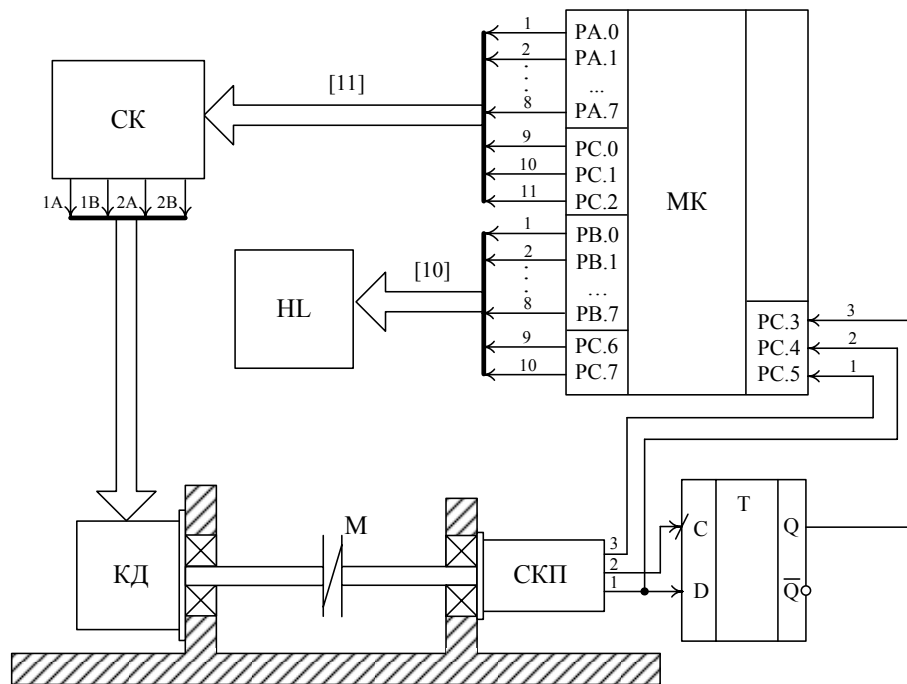


Рис. 4. Структурна схема вимірювального каналу кутових положень КД

В основі даного ВК лежить метод прискореного контролю, який ґрунтується на вимірюванні кутових переміщень вала КД під час переходного процесу, за рахунок чого досягається максимальна швидкодія вимірювання [5].

Відповідно до методики, описаної в [3], проведемо вимірювання кута повороту КД в кожному стійкому кутовому положенні. Аналогічно, як і при вимірюванні мікроскопом, представимо результати вимірювань в графічному вигляді (рис. 5).

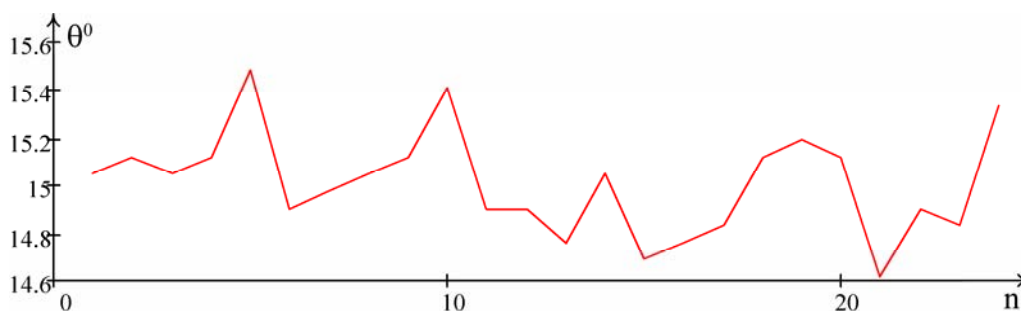


Рис. 5. Результати багаторазових вимірювань кутових положень КД М35SP-6 вимірювальним каналом

Розраховуючи статистичні характеристики похибок вимірювання кутових положень КД за допомогою вимірювального каналу [5], скористаємося наведеними формулами (4) – (7). Отримані дані занесемо в таблицю (табл. 2).

Таблиця 2

Статистичні оцінки похибок вимірювання кутових положень КД

Умовне позначення	Δ_{\min}	Δ_{\max}	$\bar{\Delta}$	D	$\sigma[\bar{\Delta}]$	n
Числове значення	-0,3 ⁰	0,5 ⁰	0,2 ⁰	0,023 ⁰	0,05	24

Аналогічно застосовуючи складний критерій, переконуємося, що випадкова похибка розподілена за нормальним законом. Тому використовуючи формулу Гауса (8), матимемо:

$$p(\Delta) = \frac{1}{\sigma[\bar{\Delta}]\sqrt{2\pi}} \cdot e^{-\frac{(\Delta - \bar{\Delta})^2}{2 \cdot \sigma[\bar{\Delta}]^2}} \quad (9)$$

На рис. 6 наведено його графічне представлення.

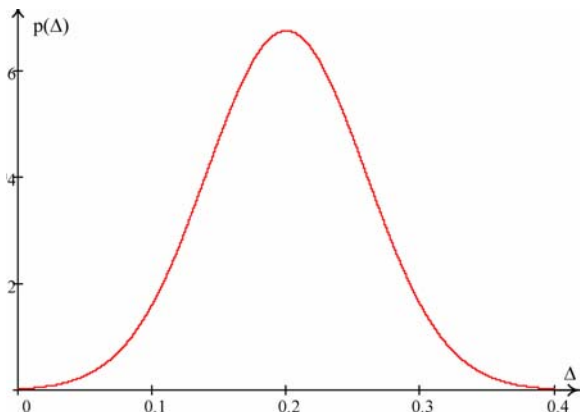


Рис. 6. Щільність розподілу випадкової похибки вимірювання кутівих положень КД

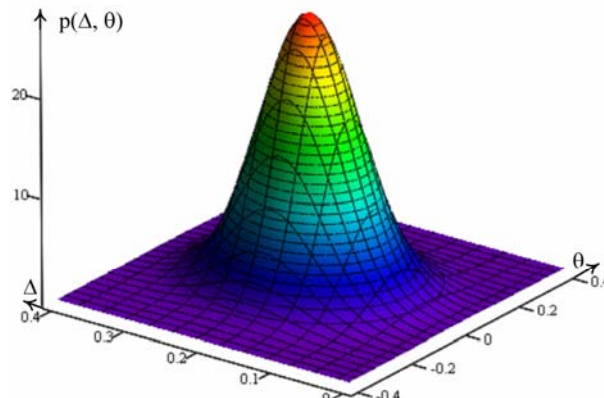


Рис. 7. Щільність композиційного розподілу

Для остаточного розрахунку вірогідності необхідно отримати композицію законів розподілу для обох складових. Як відомо з [1] це буде інтеграл згортки:

$$p(\Delta, \theta) = p(z) = \int_{-\infty}^{\infty} p(\Delta) \cdot p(z - \Delta) d\Delta = p(\Delta) \bullet p(\theta), \quad (10)$$

а графічно (6) представляється у вигляді поверхні (рис. 7).

Тоді з (3) та (4) для розрахованих статистичних оцінок кутівих положень КД та похибки засобу контролю помилки першого та другого роду відповідно складають: $\alpha = 0.033$, $\beta = 0.001$.

Отже, для розробленого в [5] вимірювального каналу кутівих положень КД типу M35SP-6, з (2) вірогідність рівна $D = 0.966$, що свідчить про високу якість процедури контролю.

Також важливим є побудова залежностей (номограм) помилок першого та другого роду від СКВ похибок засобу контролю. Для цього здійснимо розв'язок (3) та (4) в діапазоні $\sigma[\bar{\Delta}] = 0.025 \dots 0.075$ (рис. 8). Це дозволяє проводити оцінювання вірогідності контролю для різних типів КД і при контролі кутівих положень іншими методами.

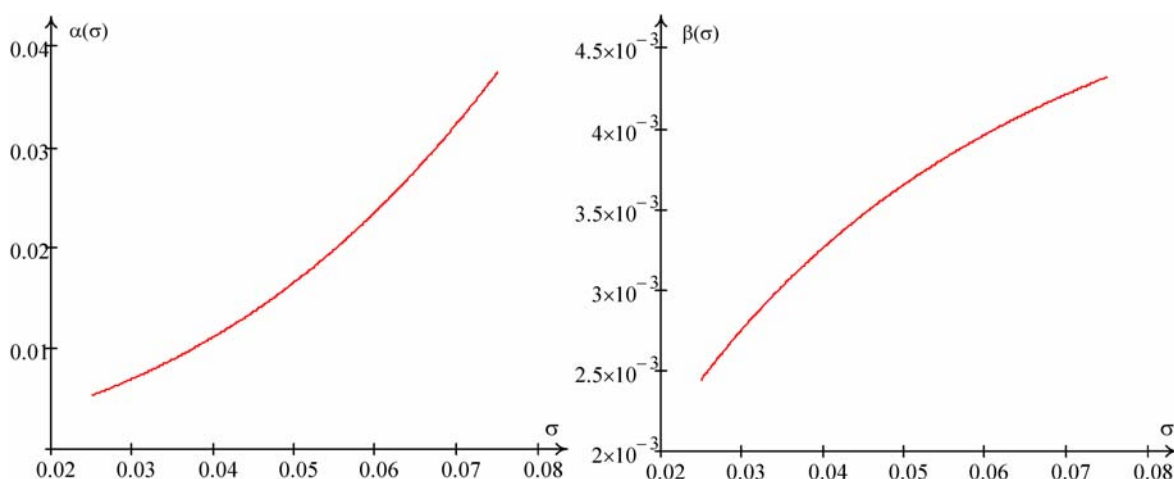


Рис. 8. Номограми визначення помилок першого і другого роду

Висновки

В даній роботі проведено оцінку вірогідності контролю кутівих положень КД, що здійснюються за допомогою розробленого вимірювального каналу. Для цього проведено аналіз основних показників вірогідності: законів розподілу випадкових величин, допуску контрольованого параметра, помилок першого та другого роду. Здійснено оцінювання статистичних характеристик контрольованого параметра на основі

експериментальних досліджень крокового двигуна М35SP-6 за допомогою мікроскопу УИМ-200 та похибки засобу контролю для знаходження композиційного закону розподілу системи випадкових величин. При цьому доведено, що закони розподілу контрольованого параметра та похибки вимірювального каналу є нормальними.

Також проведено розрахунок номограм для визначення помилок першого другого роду, що дозволяють оцінювати вірогідність контролю для інших типів крокових двигунів.

Література

1. Орнатский П.П. Теоретические основы информационно-измерительной техники.– К: Вища школа, 1983. – 319 с.
2. Метрологічне забезпечення вимірювань і контролю: Навч. посібник / Володарський С.Т., Кухарчук В.В., Поджаренко В.О., Сердюк Г.Б. –Вінниця: ВДГУ, 2001. –219с.
3. Двигатели электрические шаговые. Технические условия. ПТО.312.002ТУ.
4. А.с. №15258А/ Стенд вимірювання похибок позиціонування похибок позиціонування валів крокових двигунів.
5. Кухарчук В.В., Усов В.В. Вимірювальний канал та методика нормування похибок кутового положення крокового двигуна // Вісник Вінницького політехнічного інституту. –2007. – №2 – С. 5 - 9.
6. Ціделко В.Д., Яремчук Н.А. Невизначеність вимірювання. Обробка даних і подання результату вимірювання: Монографія. – К.: ІВЦ “Видавництво «Політехніка»”, 2002. – 176 с.

Надійшла 2.5.2008 р.

УДК 628.336.5

Є.Ф. ЛІСЦИН, С.Й. ШАМАНСЬКИЙ, В.В. ПОЧТОВЕНКО
Вінницький національний технічний університет

ЗНЕЗАРАЖУВАННЯ ОСАДУ КАНАЛІЗАЦІЙНИХ СТОКІВ З ОТРИМАННЯМ БІОГАЗУ У БАГАТОСЕКЦІЙНИХ МЕТАНТЕНКАХ

В статті розглянуто сучасний стан переробки органічних відходів у біогаз та добриво, наведено нові наукові уявлення про процеси зброджування осадів та сформульовані відповідні цим уявленням вимоги до нових конструкцій метантенків.

Вступ

В останні роки увага світового загалу прикована до розв'язання двох взаємно пов'язаних питань – попередженню виснажування природних ресурсів та охороні навколишнього середовища від забруднення.

У контексті цих питань актуальним сьогодні є використання органічних відходів для отримання газоподібного палива (біогазу) з одночасним знезаражуванням цих відходів. Для цього використовується біологічна конверсія відходів на базі анаеробного зброджування в метантенках. Залежно від виду відходів та їх кількості метантенки можуть бути досить великими та складними за конструкцією (робочим об'ємом до 13 тис. м³ і більше – на міських очисних спорудах каналізації) чи зовсім малими та примітивними (на сільськогосподарських фермах для переробки відходів тваринництва).

В Україні щорічно утворюється близько 45 млн м³ осаду міських каналізаційних стоків, в якому міститься 60 ÷ 90 % органічних сполук. Він є добрим субстратом для виготовлення біогазу та органічних добрив. При переробці хоча б 50 % цих відходів можна отримувати до 200 млн м³ біогазу, що відповідає 140 тис. т умовного палива. На жаль, в Україні тільки 30 % очисних станцій каналізації мають метантенки, а використовується біогаз усього на двох з них – у Києві та Харкові [1, 2].

Існує велика небезпека в тому, що мікробна забрудненість незброжених осадів складає $10^7 \div 10^8$ мл⁻¹, вміст сальмонел 10^3 л⁻¹, а яєць гельмінтів – до 100 кг⁻¹. Згідно з діючими за кордоном (у ФРН, Англії, Швеції та ін.) нормативами санітарно-гігієнічної безпеки при скиданні стоків у водойми та при використанні осаду як добрива, взагалі не допускається присутність сальмонел та життєздатних яєць гельмінтів. Дослідами встановлено [2, 3], що сальмонели у ґрунті та на листах рослин здатні виживати до 11 тижнів, а яйця аскарид залишаються життєздатними у ґрунті до двох років. Потрібно також відзначити, що в Україні ступінь знезаражування осаду оцінюється тільки за вмістом яєць гельмінтів [3].

Існуючі технологічні схеми анаеробного зброджування осаду

Існують дві принципові схеми зброджування – одноступенева та двоступенева (чи багаступенева). Перші великі метантенки, які з'явилися в 1925 році в Німеччині, Англії та Америці, а також у 1928 році у СРСР працювали за одноступеневою схемою. Усі метантенки, що працюють зараз в Україні, теж одноступеневі.

В одноступеневому метантенку (рис. 1) усі біохімічні процеси анаеробного бродиння протікають в одній загальній ємності, послідовно змінюючи один одного. Для того, щоб субстрат в такій ємності повністю перебродив і усі органічні речовини перетворилися на біогаз, потрібне досить великий проміжок часу навіть за

умови термостабілізації [4]. При мезофільному процесі тривалість бродіння складає від 15 до 50 діб, при термофільному – дещо менше. Така періодичність завантаження та вивантаження метантенків економічно не вигідна, оскільки наприкінці бродіння вихід біогазу знижується. Тому, як правило, не чекаючи повного закінчення процесу, проводять часткове вивантаження та одночасне заповнення метантенку свіжим субстратом, перетворюючи процес на неперервний. Добову масу свіжого субстрату, що припадає на кубічний метр об'єму метантенка, називають «навантаженням» (одиниця вимірювання $\text{кг}/\text{м}^3 \cdot \text{добу}$).

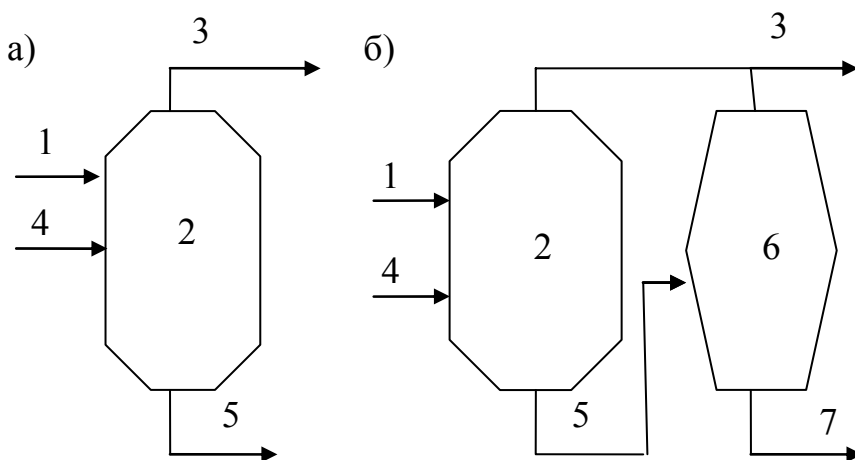


Рис. 1. Принципові схеми анаеробного збродження:

а – одноступеневе збродження; б – двоступеневе збродження; 1 – завантаження осаду; 2 – метантенк 1 ступеня; 3 – вхід біогазу; 4 – теплоносій; 5 – вивантаження осаду з метантенка 1 ступеня; 6 – метантенк 2-го ступеня; 7 – вивантаження зброженого осаду.

В одноступеневих метантенках не спостерігається розшарування осаду та відділення мулової води, тому в сучасних закордонних системах використовуються двоступеневі схеми (іноді – трьохступеневі). В основу цього процесу закладено розподіл його на стадію інтенсивного бродіння з бурхливим виділенням біогазу, що запобігає розшаруванню осаду (I ступінь), і стадію загасання процесу, на котрій припиняється газовиділення і розшарується осад з відділенням мулової води (II ступінь). Це зменшує об'єм осаду, що потрапляє до споруд зневоднення, що економічно вигідно. Окрім того, за рахунок випуску мулової води збільшується час перебування (доброджування) осаду в II ступені, що покращує санітарно-гігієнічні якості осаду.

Метанове бродіння – це складний процес розкладу органічних сполук до кінцевих продуктів, в основному метану та вуглекислого газу в анаеробних умовах. У кращому випадку кількість цих газів може складати до $90 \div 95\%$ від органіки, що біологічно розклалися. В останні роки виконано багато наукових досліджень, які значною мірою змінили раніше існуючі уявлення про цей процес. Це дозволяє більш обґрунтовано провести аналіз існуючих технологій анаеробного збродження та відповідність існуючих конструкцій метантенків сучасним вимогам до них, а також намітити шляхи їх подальшого розвитку.

У відповідності з сучасною теорією метанове бродіння складається з чотирьох взаємопов'язаних стадій: *ферментативний гідроліз* нерозчинених складних органічних сполук з утворенням більш простих речовин, розчинних у воді; *кислотогенез* – виділення легких жирних кислот (ЛЖК), амінокислот, спиртів, а також водню та вуглекислого газу; *ацетогенез* – перетворення ЛЖК, амінокислот і спиртів у оцтову кислоту; *метаногенез* – утворення метану з оцтової кислоти, а також внаслідок відновлення воднем вуглекислого газу.

До закінчення гідролізу речовин подальші стадії процесу бродіння розпочатися не можуть, тобто загальна швидкість бродіння значною мірою залежить від тривалості першої стадії. Друга стадія процесу окремо не лімітує наступні, але її інтенсивне протікання викликає гальмування четвертої стадії. Очевидно, практична організація процесу бродіння та конструкції метантенків повинні відповідати умовам сучасної теорії анаеробного бродіння, але, на жаль, існуючі метантенки та технології не враховують усіх тонкощів процесу.

Метою цієї роботи є формування вимог до конструкцій метантенків, які дозволили б організувати процес отримання біогазу та знезаражування рідких органічних відходів у відповідності з сучасною теорією анаеробного бродіння. Також метою є формування принципових структур метантенків, які дозволили б підвищити інтенсивність бродіння і суттєво скоротити термін повної стабілізації субстрату.

Прохідний богатосекційний метантенк

Очевидно, як одностадійні, так і двостадійні метантенки мають ряд суттєвих недоліків. Серед головних можна назвати те, що через пригнічуючий взаємний вплив різних груп бактерій, які працюють на різних стадіях бродіння, неможливо досягнути максимально високої інтенсивності цього процесу, а отже і скорочення термінів бродіння, якщо весь цикл бродіння проходить в одній загальній ємності. Доцільно розділяти у просторі групи бактерій, які виступають інгібіторами по відношенню до інших для виключення їх пригнічуючої дії. На швидкість та якість процесу анаеробного бродіння впливає також значна кількість інших факторів, а саме: температура середовища та її коливання; концентрація розчиненого у субстраті кисню та нітратів, сульфідів, сульфатів, аміаку, різноманітних мікроелементів тощо. Дослідження показують [3, 5], що

оптимальне кількісне співвідношення цих факторів є різним для різних стадій. Оскільки, за сучасними уявленнями, процес бродіння є чотиристадійним, можна було б запропонувати конструкцію метантенка, який складався б з чотирьох розділених у просторі секцій. Деякі автори досліджень об'єднують перші дві стадії в одну і розглядають процес бродіння як трьохстадійний [3, 6]. Таке уявлення допускає конструкцію метантенка, розділеного на три секції.

Окрім неможливості скорочення термінів бродіння існуючі конструкції метантенків не дозволяють отримувати максимально можливу кількість біогазу, так як робота метантенка з так званим «навантаженням» передбачає часткове недоброджування усїєї маси субстрату. З цієї ж причини якість таким чином збродженного субстрату, з точки зору його санітарно-гігієнічної безпеки для навколишнього середовища, не завжди достатня через існування так званих «проскоків», які призводять до наявності в ньому деякої кількості життєздатних яєць гелмінтів та інших патогенних включень.

На підставі вище викладеного можна сформулювати такі вимоги до нових конструкції метантенків: забезпечення можливості відокремлення різних стадій процесу бродіння один від одного в просторі; врахування кінетики кожної стадії; забезпечення неперервності процесу завантаження, збродження та вивантаження готового субстрату без наявності «навантаження» та відповідно без «проскоків»; забезпечення технічної можливості введення достатньої кількості необхідних ферментів, забезпечення їх контакту з органікою, дотримання оптимальних значень температури та *pH* окремо на кожній стадії; конструкція метантенка повинна забезпечувати можливість взяття проб субстрату в будь-який час на кожній стадії процесу та введення у субстрат необхідних речовин, які можуть поліпшити процес бродіння; матеріальні витрати на спорудження та експлуатацію метантенку повинні бути економічно прийнятними, а сам метантенок – надійним у роботі.

Таким вимогам може задовольняти конструкція прохідного багатосекційного метантенка, принципова структурна схема якого наведена на рис. 2.

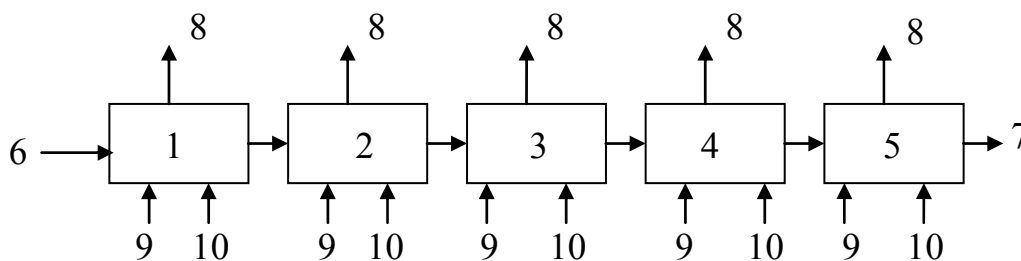


Рис. 2. Принципова структурна схема прохідного багатосекційного метантенка:

- 1 – секція ферментативного гідролізу; 2 – секція кислотогенезу; 3 – секція ацетогенезу; 4 – головна секція метаногенезу;
5 – додаткова секція метаногенезу (доброджування); 6 – завантаження свіжого субстрату; 7 – вивантаження збродженного осаду;
8 – відведення біогазу; 9 – теплоносії; 10 – додаткові реагенти

Конструктивно метантенок може являти собою горизонтально витягнуту ємність, усередині якої є перегородки, що поділяють її на окремі ізольовані секції. Ємність повинна мати механізм перемішування осаду для запобігання створенню корки. Завантажений з однієї сторони ємності осад має повільно переміщуватися до іншого кінця, послідовно рухаючись через усі секції, в яких здійснюються процеси збродження. Швидкість проходження субстрату регулюється таким чином, щоб час проходження через секцію відповідав необхідному часу для його повного збродження.

Перша та друга секції – для стадій ферментативного гідролізу та кислотогенезу. В роботах ряду авторів [3, 5] показано, що швидкість гідролізу залежить як від природи органічних сполук, так і умов його проходження (необхідно забезпечити достатню кількість ферментів, забезпечити їх контакт з органікою, дотримуватися оптимальних значень температури та *pH* середовища). Вуглець, що при цьому переходить у розчини, є джерелом живлення кислотогенних бактерій. В роботі [7] вказується, що при створенні оптимальних умов, загальна тривалість двох перших стадій може тривати до 7 годин. Проте за такої інтенсивності відбувається накопичення летких жирних кислот та знижується *pH* середовища. В традиційній конструкції метантенка це загальмувало б метаногенез. Відокремлення третьої та четвертої секції апарату (для ацетогенезу та метаногенезу) дає можливість після кислотогенезу вводити у субстрат додаткові ферменти, зокрема діоксид вуглецю, підвищена концентрація якого, за даними [1], підвищує активність ацетатрозкладаючих метаногенів, а також вводити лужні реагенти для зниження *pH* середовища, призводить до суттєвого збільшення швидкості росту метаногенів.

На нашу думку, доцільним є ведення у конструкцію ще однієї додаткової секції метаногенезу для доброджування та часткового відділення мулової води, що призведе до зменшення об'єму зброженого осаду та покращення його органолептичних характеристик. За даними [3], загальна тривалість процесу бродіння за оптимальних умов, створених для кожної стадії може бути скорочена до 7 діб. У кожен секцію доцільно підводити також теплоносії для створення оптимальних для кожної стадії температурних умов. В роботі [8] повідомляється про те, що комбінацією термофільних та мезофільних умов для різних стадій, в лабораторних умовах вдалося скоротити термін бродіння до 3 діб. Таке скорочення термінів бродіння дозволить у кілька разів зменшити об'єми метантенків і скоротити капітальні затрати на їх будівництво.

Висновки

Існуючі на сьогодні конструкції метантенків як одноступеневих, так і двоступеневих, мають багато недоліків. Безперервне чи періодичне завантаження свіжого та вивантаження зброженого осаду призводить до так званих «проскоків», тобто наявності у знезараженому осаді частини патогенних мікроорганізмів та незброжених органічних речовин. Такий осад не можна вважати абсолютно екологічно безпечним. Крім того через «просоки» недоотримується частина біогазу. Результати відомих на сьогодні досліджень різних стадій процесу бродіння дозволяють формувати відповідні вимоги до нових конструкцій метантенків, позбавлених згаданих недоліків. Це дозволить суттєво скоротити терміни бродіння при забезпеченні високих санітарно-гігієнічних характеристик отриманих добрив, а отже значно зменшити об'єми споруд для бродіння. Надана структурна схема прохідного багатосекційного метантенка, що значною мірою відповідає цим вимогам.

Література

1. Анаэробное сбраживание осадков городских сточных вод и утилизация образующегося биогаза // Тезисы докладов Всесоюзного научно-технического семинара. Москва, 14-16 октября 1986 г. / ЦП НТО КХиБО. – М., 1986.
2. Strauch D. Mikrobiologische Untersuchungen zur Hygienisierung von Klarschlamm // GWF – Wasser – Abwasser. 1980, № 3.
3. Гюнтер Л. И., Гольдфарб Л. Л. Метантенки. – М.: Стройиздат, 1991.
4. Ткаченко С. Й., Степанов Д. В., Резидент Н. В. Залежності для оцінки значень коефіцієнта тепловіддачі в системах термостабілізації біогазового реактора // Вісник ВПП. – 2004. – № 1. – С. 54-62.
5. Moller U. Entseuchung von Klarschlamm. Eine Standardbestimmung 1987 // Korrespondenz Fwasser. 1988. № 1.
6. Parkin G. F. Fundamentals of Anaerobic Digestion of Waste – Water Stages // Environ. Eng., 1986, № 5.
7. McCarty P. L. Anaerobic Waste Treatment Fundamentals // Public Works, 1964, № 9-12.
8. Chosh S. Improved Sludge Gasification By Two-Phase Anaerobic Digestion // Environ. Eng., 1987, № 6, P. 1265-1284.

Надійшла 24.5.2008 р.

УДК 628.1

Є.Ф. ЛІСЦИН, С.Й. ШАМАНСЬКИЙ, А.О. ІВАНОВ
Вінницький національний технічний університет

ШНЕКОВИЙ НАСОС З ВИСОКИМ ОБ'ЄМНИМ ККД

В статті запропоновано нову конструкцію шнекового насоса з високим об'ємним ККД. Розраховано повний ККД цього насоса та показано ефективність і перспективність його застосування для піднімання забруднених рідин на порівняно невелику висоту.

Вступ

Шнекові насоси використовують для піднімання забруднених рідин на невелику висоту. Такі насоси наряду з деякими недоліками мають багато переваг [1]. В європейських країнах вони широко використовуються для перекачування стічних вод на каналізаційних насосних станціях та очисних спорудах каналізації. Через досить значний прохідний переріз вони не засмічуються, тому на каналізаційних насосних не вимагають встановлення решіток для попереднього очищення стоків. Не вимагають влаштування приймальних резервуарів через те, що мають властивість саморегулювання – подача відповідає надходженню. В каналізаційному господарстві України ці насоси, на жаль, не знайшли широкого застосування. Використовуються переважно спеціальні каналізаційні відцентрові насоси. За даними [1], відповідно до ГОСТ 11379, промисловість випускає фекальні відцентрові насоси серії Ф на подачу $16 \div 9000 \text{ м}^3/\text{год}$ напором від 8 до 95 метрів водяного стовпа. Фекальні відцентрові насоси характеризуються тим, що вимагають попереднього очищення стічних вод. Крім того, з метою зменшення вірогідності їх засмічення відцентрові колеса виготовляють з меншою кількістю лопаток ніж насоси для чистої води (найчастіше 1÷3 лопатки). Менша кількість лопаток призводить до зниження коефіцієнта корисної дії. Наприклад, занурюваний відцентровий каналізаційний насос ЦМК-6,3-14 при подачі $6,3 \text{ м}^3/\text{год}$ та напорі 11 м в оптимальному режимі працює з повним ККД лише 0,33 [1]. Відхилення від оптимального режиму (зміна подачі) додатково знижують ККД. Необхідність підняти стічну воду на висоту до 5 метрів, яка часто виникає при експлуатації каналізаційних систем міста, призводить до того, що відцентрові фекальні насоси працюють з надлишковими напорами, для гасіння яких необхідно встановлювати пристрої дроселювання або споруджувати спеціальні камери гасіння. Шнекові насоси не створюють надлишкових напорів, крім того вони зберігають майже постійним ККД при зміні витрати рідини, що перекачується. Завдяки цьому, за даними [2, 3], питоме споживання енергії при використанні шнекових насосів замість традиційних відцентрових може бути знижено у 1,5 – 2 рази.

Аналіз ефективності роботи шнекового насоса традиційної конструкції

Шнекові насоси являють собою одно-, чи кілька-заходний гвинт, який обертається з невеликою частотою у відкритому лотку спеціальної конструкції або у закритій трубі. За рахунок витиснення порцій рідини, яка знаходиться між двома сусідніми лопатками шнека, здійснюється її піднімання на деяку висоту. Окрім згаданих переваг, така конструкція має ряд суттєвих недоліків. Літературні джерела, зокрема [1], інформують про те, що повний коефіцієнт корисної дії шнекових насосів є досить високим і досягає 0,7-0,8. З огляду на викладене нижче, такі значення ККД для насоса традиційної конструкції можуть бути досить сумнівними.

Проаналізуємо роботу шнекового насоса з точки зору використання енергії, яку він споживає. Ця енергія використовується на [2]:

- 1) піднімання рідини витратою Q на висоту H (корисна енергія);
- 2) механічні втрати у передачах, підшипниках тощо;
- 3) втрати на перетікання рідини через зазор між шнеком і лотком;
- 4) втрати на тертя рідини об стінки лотка;
- 5) втрати на тертя рідини об поверхню маточини шнека та його лопатки;
- 6) втрати на перемішування рідини у просторі між лопатками.

Втрати, зазначені у пункті 2, характеризуються механічним ККД, у пункті 3 – об'ємним, а у пунктах 4-6 – гідравлічним ККД. В роботах [2, 3] наводяться результати експериментальних досліджень роботи шнекових насосів з діаметрами шнека 390 та 500 мм на спеціальній дослідній установці. На підставі цих експериментальних результатів в роботі [4] розраховано гідравлічний та об'ємний ККД цих насосів. Показано, що гідравлічний ККД є досить високим (більш ніж 0,9) і суттєво знижується лише при частотах обертання шнека більше 95 хв⁻¹. Це можна пояснити тим, що суттєво зростають швидкості руху рідини у корпусі і, як результат, значно зростають втрати напора на тертя та перемішування. Об'ємний же ККД отримано у межах 0,5-0,7 залежно від діаметра та частоти обертання і є досить низьким. З цього можна зробити висновок, що одним з головних недоліків у роботі шнекового насоса є перетікання рідини між шнеком і лотком, що суттєво знижує його повний ККД. Для досліджуваної установки механічний ККД склав 0,85, тому повний ККД роботи насосів виявився навіть у лабораторних умовах у межах лише 0,43-0,55 (а не 0,7-0,8) залежно від діаметра для оптимальних частот обертання, тобто до 95 хв⁻¹.

Для того, щоб перетікання рідини були мінімальними, а повний ККД зберігався на належному рівні, дуже важливим є забезпечення під час роботи насоса необхідного зазору між лопатками шнека та корпусом. В реальних умовах це є важким завданням, оскільки вимагає дуже ретельного монтажу та постійного контролю під час експлуатації. Збільшення цього зазору призводить до збільшення витоків і, як наслідок, до зменшення об'ємного ККД, а зменшення зазору може призвести до тертя між шнеком та корпусом і в результаті до значного зниження механічного ККД. Існують також технологічні обмеження на довжину самого шнека, а отже і на висоту піднімання рідини. Сам шнек, який являє собою порівняно тонку маточину з лопатками, має невелику жорсткість. При збільшенні його довжини він провисає, що також викликає тертя об корпус. Для збільшення довжини шнека без його провисання і тертя було запропоновано окрім двох крайніх (нижньої та верхньої) опор додатково підтримувати шнек в кількох проміжних точках підшипниками, які з'єднати кронштейнами зі спеціально спорудженою над ним несучою рамою [5]. Але для монтажу підшипників на маточині шнека необхідно розривати суцільність його гвинтових лопатей. Це призводить до додаткових перетікань рідини в місцях розриву, а отже до зниження об'ємного ККД.

Для перекачування активного мулу на очисних спорудах каналізації міста Вінниці підприємством «Вінницяводоканал» деякий час назад було закуплено малогабаритний шнековий шламовий насос марки «УВА 280-720» виробництва чеської фірми «Sigma Hranice». Але саме через згадані недоліки використати його не вдалося. До цього часу перекачування мулу здійснюють за допомогою відцентрових насосів. Використання їх не є оптимальним, оскільки вони працюють з надлишковими напорами, крім того через значну швидкість виходу активного мулу (живі мікроорганізми) з робочого колеса і удар об стінки равликподібного корпусу погіршується його якість.

У цій статті пропонується нова конструкція шнекового насоса, яка повністю виключає можливість перетікання рідини між шнеком та корпусом, тим самим збільшує об'ємний ККД практично до 1 (розрахункове значення 0,98), і не вимагає ретельного монтажу та постійного контролю під час експлуатації. Крім того нова конструкція має більшу жорсткість, не провисає та завдяки новій системі опор не має теоретичних обмежень щодо довжини шнека та висоти піднімання рідини.

Нова конструкція шнекового насоса та розрахунок його повного ККД

Нова конструкція шнекового насоса (рис. 1), як і традиційні конструкції, містить електропривід 5 з редуктором для регулювання частоти обертання. Замість відкритого шнека на двох опорах пропонується інша конструкція. Шнек з центральним валом та гвинтовими гелікоїдальними лопатями 2, який приєднано до електропривода з редуктором за допомогою підшипникової опори 3 (радіальноупорний підшипник), розміщується в циліндричному корпусі 1. Замість нижньої опори корпус підтримується однією чи кількома парами опорних катків 4 (залежно від довжини). Лопаті шнека жорстко з'єднані з циліндричним корпусом без зазорів і утворюють з ним одне ціле. Разом з внутрішнім валом вони утворюють ротор-корпус з одним чи декількома (по числу заходів шнека) безперервними спіральними наскрізними отворами. Ротор-корпус разом з

приводом встановлено на рухомій частині рами 11, яка підтримується у вибраному положенні за допомогою пристрою для зміни кута нахилу 6.

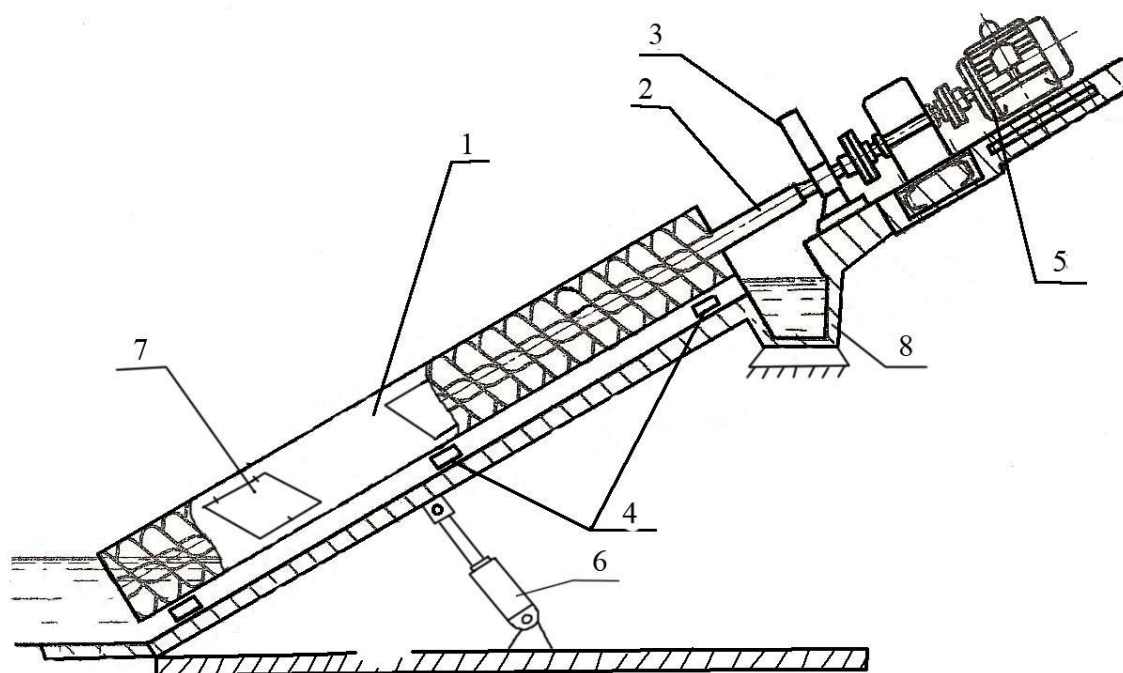


Рис. 1. Нова конструкція шнекового насоса з високим об'ємним ККД

Насос працює таким чином. Нижня частина ротора корпусу занурюється у резервуар з рідиною 10 так, щоб вона вільно входила у спіральний отвір і максимально заповнила першу секцію міжлопатевого простору. Після запуску привода ротор-корпус починає обертатися, а рідина, що заповнила першу секцію міжлопатевого простору, починає переміщуватися (рухаючись «як білка у колесі») спіральним каналом, одночасно зміщуючись вздовж вісі ротора-корпуса у бік піднімання доки не опиниться у верхньому резервуарі 8. Зазорів між лопатями шнека та циліндричним корпусом немає, тому перегікань так само немає. Оскільки ротор-корпус є закритим, для можливості прочищення необхідно забезпечити доступ до міжлопатевого простору. Для цього у циліндричному корпусі влаштовано герметичні люки 7, які при роботі насоса знаходяться в закритому стані.

При підніманні рідини таким насосом усе осьове навантаження і невелику частину радіального сприймає підшипникова опора 3, а основну частину радіального – опорні катки 4. Через наявність зовнішнього циліндричного корпусу шнек є набагато жорсткішим і прогинається значно менше, тому пар опорних катків може бути небагато. Їх кількість потрібно визначати додатковим розрахунком. При цьому відпадає необхідність у влаштуванні нижньої опори як у традиційної конструкції шнекового насоса. Це дає насосу значну перевагу, оскільки нижня опора має працювати, будучи постійно зануреною у рідину, через що її виконують у вигляді підшипника ковзання з примусовим змащенням прес-масляною. Це, у свою чергу, вимагає встановлення додаткового масляного насоса. Відсутність нижньої опори дає можливість зробити шнековий насос не стаціонарним, як традиційні конструкції, а пересувним. Для цього раму 11 можна розміщувати на шасі і переміщувати за допомогою тягача чи відразу монтувати насос на шасі автомобіля.

Покажемо як співвідноситься ККД традиційної та нової конструкції шнекового насоса, скориставшись методом запропонованим у [4]. Об'єм однієї секції насоса при максимальному її заповненні запишемо у вигляді

$$W_{\max} = \frac{c}{2}(F_1 + F_2 - f_1 - f_2), \quad (1)$$

де F_1, F_2, f_1, f_2 – відповідно площі змоченої поверхні нижньої та верхньої лопатки секції (включаючи площу зайняту внутрішнім валом – маточиною) та площі умовно змочених поверхонь нижньої та верхньої основ частини маточини, зануреної у рідину.

З врахуванням того, що при максимальному заповненні секції насоса матимемо співвідношення [2].

$$H_{\max} = \frac{D+d}{2}, \quad h_{\max} = d, \quad (2)$$

де H_{\max}, h_{\max} – максимальне заповнення секції по діаметру шнека та по діаметру маточини відповідно, D, d – діаметри шнека та маточини.

Записавши вирази з врахуванням (2)

$$\frac{2H_{\max}}{D} - 1 = \frac{2(D+d)}{2D} = \frac{d}{D}, \quad \frac{2h_{\max}}{d} - 1 = 1, \quad (3)$$

а також

$$\frac{2(H_1 - c \cdot \operatorname{tg} \alpha)}{D} - 1 = \frac{d - 2c \cdot \operatorname{tg} \alpha}{D}, \quad \frac{2(h_1 - c \cdot \operatorname{tg} \alpha)}{d} - 1 = 1 - \frac{2c \cdot \operatorname{tg} \alpha}{d}, \quad (4)$$

виразимо площі, що входять у формулу (1), отримані у [4], через діаметри шнека та маточини. Матимемо

$$F_1 = \frac{D^2}{8} \cdot \left[2\pi - 2 \arccos \frac{d}{D} + \sin 2 \arccos \frac{d}{D} \right],$$

$$F_2 = \frac{D^2}{8} \cdot \left[2\pi - 2 \arccos \left(\frac{d - 2c \cdot \operatorname{tg} \alpha}{D} \right) + \sin 2 \arccos \left(\frac{d - 2c \cdot \operatorname{tg} \alpha}{D} \right) \right], \quad (5)$$

$$f_1 = \frac{\pi \cdot d^2}{4},$$

$$f_2 = \frac{d^2}{8} \cdot \left[2\pi - 2 \arccos \left(1 - \frac{2c \cdot \operatorname{tg} \alpha}{d} \right) + \sin 2 \arccos \left(1 - \frac{2c \cdot \operatorname{tg} \alpha}{d} \right) \right].$$

Теоретичну подачу насоса визначимо за формулою

$$Q_{\text{теор.}} = W_{\text{max}} \cdot a \cdot n, \quad (6)$$

де a – число заходів шнека,
 n – частота обертання (c^{-1}).

Скориставшись дослідним значенням подач для традиційної конструкції насоса $Q_{\text{досл.}}$, отриманих у [2], об'ємний ККД можна визначити за формулою

$$\eta_{\text{об'ємн.}} = \frac{Q_{\text{досл.}}}{Q_{\text{теор.}}} \quad (7)$$

Повний ККД насоса знайдемо як добуток механічного, об'ємного та гідравлічного ККД:

$$\eta_{\text{повн}} = \eta_{\text{мех}} \cdot \eta_{\text{об'ємн}} \cdot \eta_{\text{гідр}} \quad (8)$$

Як уже зазначалося, зниження об'ємного ККД традиційної конструкції відбувається переважно через перетікання рідини через зазор між лопатками та корпусом. Якби це було єдиною причиною, то для нової конструкції насосу з повною відсутністю зазорів (а тому і переткань) можна було б прийняти $\eta_{\text{об'ємн}} = 1$. Проте існує ще одна причина зниження об'ємного ККД. Поняття теоретичної подачі для шнекового насоса передбачає піднімання рідини секцією з максимальним наповненням, тобто з максимально високим горизонтальним рівнем рідини в ній – зі статичним рівнем. Під час руху води секцією динамічний рівень відхиляється від статичного. Поверхня рідини набуває складної увігнутої форми, піднімаючись з одного боку секції і опускаючись з іншого. В результаті такої зміни форми ємність секції трохи знижується. Очевидно слід очікувати, що це зниження буде тим більшим, чим більша частота обертання шнека. При малих частотах вплив зниження динамічного рівня буде незначним.

Для розрахунку повного ККД нової конструкції шнекового насоса приймемо значення механічного та гідравлічного ККД на рівні значень для традиційної конструкції [4]. Об'ємний ККД для частот обертання, які розглянуті в цій роботі можна прийняти 0,98. Розрахуємо повний ККД традиційної та нової конструкції насоса діаметром шнека 390 і 500 мм використовуючи формули (5 – 8) та дані [2-4]. Результати розрахунків наведено на рисунках 2 та 3 у вигляді графічних залежностей від повного ККД від частоти обертання.

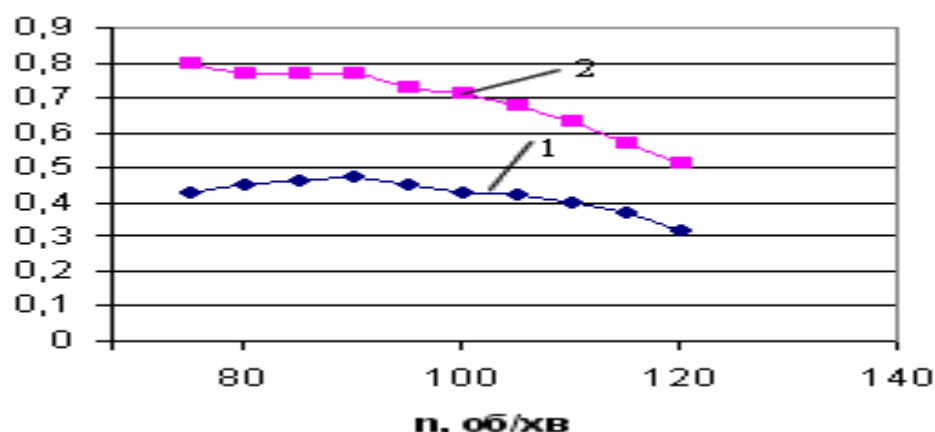


Рисунок 2 – Залежність ККД традиційної та нової конструкції шнекового насоса діаметром 390 мм від частоти обертання: 1 – ККД традиційної конструкції шнекового насоса; 2 – ККД нової конструкції шнекового насоса.

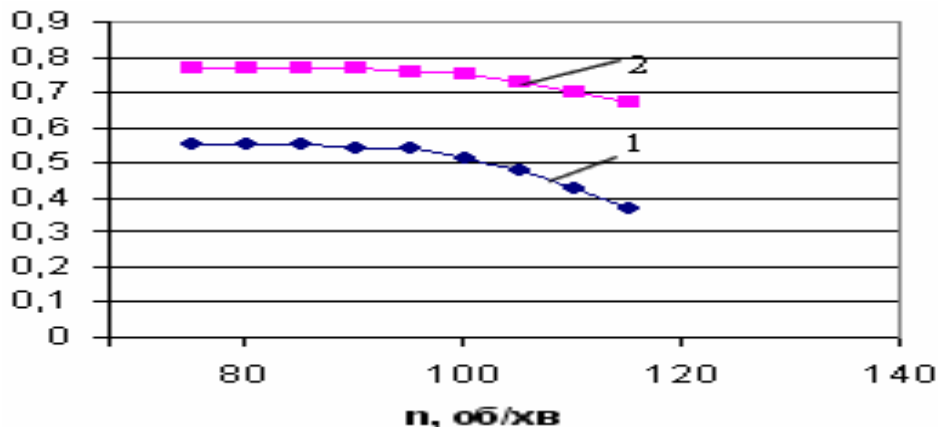


Рис. 3. Залежність ККД традиційної та нової конструкції шнекового насоса діаметром 500 мм від частоти обертання: 1 – ККД традиційної конструкції шнекового насоса; 2 – ККД нової конструкції шнекового насоса.

Аналізуючи ці залежності, можна зробити такі висновки. Для шнека діаметром 390 мм зі зростанням частоти обертання від 75 до 120 хв⁻¹ відношення $\frac{\eta_{повн.1}}{\eta_{повн.2}}$ зменшується з 1,86 до 1,59, тобто перевага нової конструкції над традиційною зменшується. Це може бути пояснено тим, що при збільшенні частоти обертання шнека традиційної конструкції збільшується подача насоса і відносна величина перетікань зменшується, тобто його об'ємний ККД зростає. Для шнека діаметром 500 мм під час експериментальних досліджень [2] спостерігалось зниження об'ємного ККД зі зростанням частоти обертання. Це можна пояснити тим, що при великих діаметрах шнека розвиваються значні швидкості на периферії, що призводить до збільшення впливу на об'ємний ККД зниження динамічного рівня рідини в секціях. З рисунка 3 видно, що при збільшенні частоти обертання з 75 до 115 хв⁻¹ відношення $\frac{\eta_{повн.1}}{\eta_{повн.2}}$ збільшується з 1,4 до 1,81. Це очевидно видається сумнівним з огляду на те, що у розрахунках не враховано додаткове зниження динамічного рівня в секціях викликане збільшенням швидкостей на периферії. Можна очікувати, що значення повного ККД нової конструкції насоса діаметром 500 мм, особливо при частотах обертання більше 95 хв⁻¹ будуть трохи меншими. Можна припустити, що визначення впливу динамічного рівня на ККД насосів великих діаметрів при значних частотах обертання потребує додаткових експериментальних та теоретичних досліджень.

Загалом оптимальними частотами обертання роторів-корпусів шнекових насосів нової конструкції можна вважати 75 ÷ 95 хв⁻¹. При цьому досягається максимальне значення повного ККД (для діаметра 390 мм $\eta_{повн. \max} = 0,8$; для діаметра 500 мм – $\eta_{повн. \max} = 0,77$), а перевага нової конструкції насоса над традиційною складає 1,4 ÷ 1,8 разів.

Для демонстрації роботи насоса нової конструкції зібрано його діючу модель, роботу якої продемонстровано на науковому семінарі кафедри теплогазопостачання ВНТУ 11.12.2007 року (рис. 4).



Рис. 4. Діюча модель шнекового насоса нової конструкції

Модель складається з рухомої та нерухомої частин рами 1, яка обладнана пристроєм зміни кута нахилу 2, електродвигуна з понижуючим редуктором 3 частотою обертання вала 96 хв^{-1} (живиться від джерела змінного струму напругою 220 В), ротора корпусу 4 (виконано з металевого однозаходного шнека та прозорої поліетиленової трубки, надітої на шнек з невеликим натягом) пари опорних катків 5 для підтримки ротора корпусу, а також нижнього 6 та верхнього 7 резервуарів, які з'єднано між собою зливною трубою 8. Для стабілізації роботи та запобігання розбризкування води на виході з насоса на роторі корпусу розміщено конічний відбійний козирок 9, вирізаний з тонкої гуми. Робота моделі демонструвалась для наочності за допомогою підфарбованої водопровідної води. Демонстрація показала стійку та безперебійну роботу моделі. Протягом демонстрації вода забиравалась з нижнього резервуара 6, подавалась у верхній резервуар 7 та самоплином стікала назад у нижній резервуар трубою 8. Розбризкувань та переривів у подачі води не спостерігалось.

Висновки

Шнекові насоси мають добрі перспективи використання у комунальному господарстві нашої країни. Проте повний ККД традиційної конструкції насосів є досить низьким і для насосів з середніми діаметрами шнеків його можна оцінити у $0,43 \div 0,55$. Нова конструкція шнекового насоса має багато переваг у порівнянні з традиційною. Новий насос може стійко працювати при частотах обертання ротора-корпусу $75 \div 95 \text{ хв}^{-1}$. Завдяки повній відсутності зазорів між шнеком та корпусом досягається високе значення об'ємного ККД (прийнято 0,98). При цьому повний ККД зростає у $1,4 \div 1,8$ разів і досягає 0,8. Це покращує перспективи використання цих насосів для потреб піднімання рідин на невелику висоту.

Література

1. Усаковский В. М. Водоснабжение в сельском хозяйстве. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Агропромиздат, 1989. – 280 с.
2. Научный отчет № 6171623 Тема: Применение шнековых насосов для канализационных сооружений. Раздел: Основные параметры шнековых насосов на основании испытаний экспериментального образца (стенда). – М.: Научно-исследовательский институт коммунального водоснабжения и очистки воды, Академия коммунального хозяйства им. К. Д. Памфилова Министерства коммунального хозяйства РСФСР, 1970. – 35 с.
3. Научный отчет № 6171623 Тема: Применение шнековых насосов для канализационных сооружений. Раздел: Техническое задание на проектирование промышленностью опытных образцов шнековых насосов в соответствии с выбранными типоразмерами и параметрами: его согласование с промышленностью. – М.: Научно-исследовательский институт коммунального водоснабжения и очистки воды, Академия коммунального хозяйства им. К. Д. Памфилова Министерства коммунального хозяйства РСФСР, 1970. – 16 с.
4. Лісідин С. Ф., Шаманський С. Й., Іванов А. О. Розрахунок складових ККД шнекових насосів // Вісник Хмельницького національного університету. – 2008. – № 3. – С. 50-56.
5. А. с. СССР № 1312251, Кл. F 04 D 3/02, 1986.

Надійшла 12.5.2008 р.

УДК 004.3.: 004.891.3

В.М. ЛОКАЗЮК, Д.М. МЕДЗАТИЙ
Хмельницький національний університет

ВИКОРИСТАННЯ АПРІОРНОЇ ДІАГНОСТИЧНОЇ ІНФОРМАЦІЇ В ПРОЦЕСІ ПРОГНОЗУВАННЯ ТЕХНІЧНОГО СТАНУ КОМП'ЮТЕРНИХ ПРИСТРОЇВ ТА СИСТЕМ

В роботі розглянуто прогнозування технічного стану комп'ютерних пристроїв та систем як засіб підвищення їх надійності та ефективності експлуатації. Доведено, що прогнозування є одним із найбільш доцільних засобів підвищення ефективності експлуатації та надійності комп'ютерних пристроїв і систем, працездатність яких є середньо- та малокритичною. Розглянуто питання можливості та доцільності використання апріорної діагностичної інформації в процесі прогнозування працездатності сучасних комп'ютерних пристроїв та систем. Визначено загальні принципи її використання на різних етапах нейромережного методу прогнозування працездатності комп'ютерних пристроїв та систем.

Вступ

Використання комп'ютерних пристроїв (КП) та систем (С) в більшості сфер діяльності сучасної людини вимагає підвищення їх надійності. Існуючі надійні методи забезпечення безвідмовної роботи комп'ютерних засобів базуються на резервуванні, як одному з підходів, що забезпечує побудову надійних систем із ненадійних складових [1]. В свою чергу, резервування вносить надлишковість. Незалежно від форми надлишковості (інформаційна, часова, структурна) вона вимагає додаткових витрат в процесі проектування та

виробництва КП та С. Тому при проектуванні складних технічних засобів необхідно віднаходити максимально ефективне співвідношення між матеріальними витратами, рівнем надійності, що забезпечується, та складністю, яка збільшується при внесенні додаткових резервних блоків. Конкретне співвідношення між цими показниками залежить від рівня критичності кінцевого пристрою чи системи. Використання резервування, як засобу підвищення надійності, у високо критичних галузях є доцільним та необхідним. Разом з тим, при використанні КП та С у галузях, де висока їх надійність не настільки критична, слід шукати більш прості та економічно обґрунтовані підходи забезпечення необхідного рівня безвідмовності. Одним з таких підходів є прогнозування технічного стану КП та С.

Внаслідок особливостей сучасних КП та С, а саме: збільшення ступеня інтеграції, відсутності інженерно-технічної документації, обмеження доступу до внутрішніх точок, ускладнення характеру взаємодії та взаємопливу компонентів, інтелектуалізації роботи та таке інше, – прогнозування їх технічного стану набуло ознак важкоформалізованої задачі. Таким чином, використання існуючих методів прогнозування стану складних технічних об'єктів щодо сучасних КП та С є неефективним та недоцільним. Тому розроблення нових та вдосконалення існуючих підходів та методів прогнозування технічного стану КП та С є актуальною задачею.

В роботах [2, 3, 4] запропоновано інтелектуалізувати процес прогнозування технічного стану КП та С засобами компонентів теорії штучного інтелекту. Такий підхід, на думку авторів, дозволяє виключити недоліки існуючих методів прогнозування стану складних технічних об'єктів щодо сучасних КП та С. Точність та достовірність прогнозування працездатності комп'ютерних компонентів у запропонованому та описаному в [2, 5] нейромережному методі залежить від повноти, якості, точності та типу діагностичної інформації про об'єкт прогнозування.

Постановка задачі. Для продовження досліджень щодо прогнозування технічного стану КП та С необхідно довести доцільність розгляду прогнозування як засобу підвищення надійності та ефективності експлуатації КП та С; окреслити інформаційне середовище прогнозування; визначити місце апріорної діагностичної інформації в загальному інформаційному середовищі та розглянути можливість використання апріорної діагностичної інформації на різних етапах прогнозування працездатності КП та С.

Прогнозування як засіб підвищення надійності та ефективності експлуатації КП та С.

З точки зору надійності прогнозування технічного стану КП та С дозволяє:

- 1) уникнути або зменшити імовірність неочікуваного виходу з ладу КП чи С;
- 2) на етапі серійного виробництва розділяти кінцеві пристрої за класами по рівню надійності;
- 3) забезпечити високій рівень безвідмовності у випадку вчасної заміни ненадійних, згідно з попередніми прогнозами, компонентами [2].

Перераховані можливості не здатні забезпечити настільки ж високий рівень безвідмовності, як при використанні резервування. Однак, на відміну від останнього, прогнозування не вимагає внесення додаткової надлишковості, а це дозволяє уникнути додаткових апаратних витрат та ускладнення структури кінцевих пристроїв.

З точки зору ефективності експлуатації прогнозування технічного стану КП та С дозволяє:

- 1) зменшити час простою КП та С за рахунок випереджаючої заміни нестабільних (ненадійних) компонентів;
- 2) у разі виходу з ладу пристрою, зменшити час пошуку несправного компонента (це обумовлено корегуванням процесу діагностування згідно з попередніми прогнозами);
- 3) проводити технічне обслуговування за станом КП та С на протигагу обслуговуванню за ресурсом.

Якщо загальний час експлуатації $Ч_3$ КП та С розглядати як:

$$Ч_3 = Ч_B + Ч_{П.}, \quad (1)$$

де $Ч_B = Ч_{B.C.} + Ч_{3.K.} + Ч_{П.Р.}$ – загальний час ефективного використання, що складається з: часу виконання системних додатків $Ч_{B.C.}$, часу виконання задач користувача $Ч_{3.K.}$ та часу проведення профілактичних робіт $Ч_{П.Р.}$;

$Ч_{П.} = Ч_{П.П.} + Ч_{Н.П.} + Ч_{П.Д.} + Ч_{Р.} + Ч_{Н.Т.}$ – час простою, що складається з: часу працездатного простою $Ч_{П.П.}$, часу непрацездатного простою $Ч_{Н.П.}$, часу проведення діагностування $Ч_{П.Д.}$, часу ремонту $Ч_{Р.}$ та часу налагодження і тестування $Ч_{Н.Т.}$.

Тоді ефективність експлуатації КП та С узагальнено можна представити як:

$$E_E = \frac{Ч_B}{Ч_3}. \quad (2)$$

Очевидно, що вище перераховані переваги використання прогнозування дозволяють скоротити: час проведення діагностування $Ч_{П.Д.}$ (за рахунок корегування послідовності перевірки працездатності компонентів об'єкта діагностування у відповідності із попередніми прогнозами), час ремонту $Ч_{Р.}$ (за рахунок завчасного накопичення малонадійних, згідно з прогнозом, компонентами для заміни). З врахуванням цього збільшується загальна ефективність експлуатації КП та С.

В цьому сенсі прогнозування доцільно розглядати та використовувати саме на етапі експлуатації.

Інформаційні аспекти прогнозування технічного стану КП та С.

Під час експлуатації на КП та С впливає множина внутрішніх та зовнішніх факторів. В цьому випадку зміна кожного конкретного параметру представляє собою структурно складну функцію, що містить ряд складових.

Слід зауважити, що прогнозування технічного стану КП та С на етапі експлуатації необхідно розглядати як третю задачу технічної діагностики [6]. Адже саме діагностична інформація є вихідною для побудови прогнозів.

Нехай об'єкт, що діагностується (рис. 1), представляється системою з $n + m$ входами та $k + 1$ виходом.

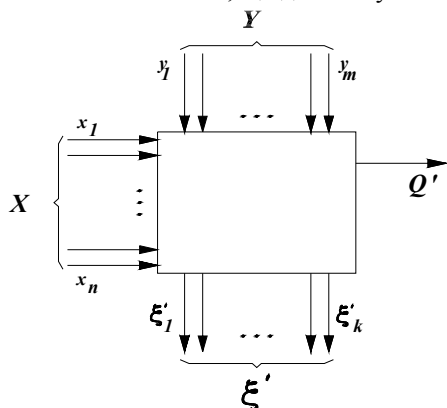


Рис. 1. Схематичне зображення впливу зовнішніх та внутрішніх факторів на стан об'єкта діагностування

Одна частина входів характеризується n – мірним вектором $X = (x_1, x_2, \dots, x_n)$ і в певній мірі є керованою та такою, що описує ту частину факторів впливу, яка викликає незворотні зміни в об'єкті, обумовлені процесами фізико-хімічних перетворень, старіння та зносу. Цей вектор назовемо незворотною зміною.

Інша частина входів характеризується m – мірним вектором $Y = (y_1, y_2, \dots, y_m)$, компоненти якого некеровані та не можуть бути прямо вимірними. Вектор Y характеризує вплив тих факторів (зовнішніх та внутрішніх), які вносять випадковість у зміну значень параметрів об'єкта та відображають зворотні зміни («завади»), що проходять в об'єкті. Найчастіше такі «завади» характеризуються відповідною стаціонарною щільністю розподілу $f(Y)$ та визначеними кореляційними властивостями [6].

Інформація Q' на виході системи характеризує її стан. В ряді випадків значення Q' може бути і невідомим, але обов'язково залежним від значень всіх входів, тобто $Q' = \varphi(X, Y)$, де φ – певна скалярна функція двох векторних аргументів. Ця функція визначає працездатність об'єкту.

Крім того об'єкт має k виходів $\xi'_1, \xi'_2, \dots, \xi'_k$, характеристики яких залежать від X та Y .

Величини Q' та ξ'_i , $i = 1, 2, \dots, k$ є такими, що вимірюються (визначаються). Відповідно на них впливає вектор $Z = (z_1, z_2, \dots, z_{k+1})$, який вносить похибки визначення.

Таким чином, якість інформації, що безпосередньо використовується для побудови алгоритму прогнозування залежить від трьох аргументів:

$$\xi = \varphi(X, Y, Z). \quad (3)$$

Значення ξ'_i повинні знаходитись у визначених межах:

$$\xi'_i(X, Y, Z) \leq \xi_i^*, \quad (4)$$

де ξ_i^* – допустима межа зміни для i -го параметру. Нерівність (4) виділяє у просторі, що характеризує працездатність об'єкта, область G , де може змінюватись вектор $\xi = (\xi_1, \xi_2, \dots, \xi_k)$.

Зміна ξ всередині області G безпосередньо залежить від характеру зміни X , Y , Z . Величина ξ характеризуватиме ступінь працездатності КП чи С. Однак вигляд залежності (3) найчастіше невідомий, що негативно впливає на результат прогнозування.

Існуючі математичні методи прогнозування стану складних технічних об'єктів, в тій чи іншій формі, вимагають побудови моделі, що описує відношення (3). Така задача по відношенню до сучасних КП та С є практично не вирішуваною. На сьогодні це важко реалізувати навіть при розгляді функції (3) окремо по кожному аргументу. В такому випадку, залежність $\xi = \varphi_X(X)$ буде характеризувати незворотні процеси, що проходять в об'єкті та закономірність зміни працездатності виробу що контролюється. Тоді як $\xi = \varphi_{YZ}(Y, Z)$ характеризуватиме випадкові зміни.

Одним з факторів, що значно ускладнює визначення функції (3) для КП та С є збільшення їх ступеня інтеграції. Це обумовлює значне зростання значущості взаємовпливу компонентів при визначенні та прогнозуванні технічного стану. В такому разі інтелектуальні методи прогнозування спрощують процес побудови моделей прогнозування. Визначення функції (3), врахування взаємовпливу компонентів та випадкового характеру впливів Y та Z цілком покладається на апарат теорії штучного інтелекту. Ефективність використання інтелектуальних компонентів при прогнозуванні та діагностуванні КП та С доведено рядом досліджень, висвітлених у [2-5, 7].

Використання апріорної діагностичної інформації в процесі прогнозування працездатності КП та С.

Точність та достовірність прогнозу у запропонованому в роботах [2, 5, 8] нейромережному методі прогнозування працездатності КП та С залежна від якості, повноти та точності вихідних даних. Оскільки в якості засобу прогнозування було обрано прямонапрямлений багатосаровий перцептрон, то весь процес прогнозування можна розділити на дві окремі частини. Перша частина – синтез штучної нейронної мережі (ШНМ) прогнозування працездатності КП та С, друга – використання синтезованої ШНМ для прогнозування працездатності конкретного об'єкта прогнозування. Для безпосереднього отримання прогнозу щодо конкретного об'єкта прогнозування достатньо провести визначення значень показників, що характеризують його місце у класі об'єктів прогнозування та поточний технічний стан. При цьому, які саме конкретні показники необхідні, визначається на етапі синтезу ШНМ прогнозування працездатності КП та С. Отже, з точки зору інформаційного середовища, більш цікавим є перша частина (синтез ШНМ), яку доцільно розглянути детальніше, на відміну від другої частини, що вимагає лише технічних дій (визначення поточних значень вказаних параметрів).

Синтез архітектури та визначення параметрів ШНМ відбувається одноразово для класу об'єктів прогнозування (ОП) і надалі мережа багаторазово використовується для прогнозування працездатності КП та С, що належать відповідному класу ОП.

Процес синтезу архітектури та визначення параметрів ШНМ складається з таких етапів (рис. 2):

E_1 – визначення класу об'єктів прогнозування, для яких буде розроблятися ШНМ прогнозування працездатності; E_2 – формування множини параметрів класу ОП за критеріями оптимальної інформативності та доступності; E_3 – синтез архітектури ШНМ прогнозування у відповідності з введеним класом та обраними параметрами; E_4 – формування навчальної вибірки необхідного об'єму для отриманої на попередньому кроці ШНМ; E_5 – навчання ШНМ; E_6 – верифікація процесу навчання; E_7 – завершення процесу синтезу ШНМ, визначення параметрів мережі та їх представлення для збереження і передачі на наступні етапи.

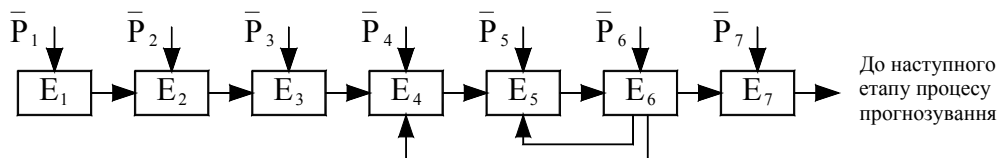


Рис. 2. Формалізована схема процесу синтезу архітектури та визначення параметрів ШНМ прогнозування працездатності КП та С

Для реалізації кожного етапу необхідні відповідні параметри, що представлені множиною векторів $P_{син} = \{\bar{P}_1, \bar{P}_2, \dots, \bar{P}_7\}$, де кожен вектор складається з множини параметрів відповідного етапу: $\bar{P}_i = \{p_1^i, p_2^i, \dots, p_{n_i}^i\}$, n_i – кількість параметрів i -го етапу, $i=1..7$. Такими параметрами можуть бути, наприклад, для етапу E_1 – множина параметрів КП та С, умови експлуатації, виконувані функції, компоненти; на етапі E_2 – формат представлення параметрів, інформативність та доступність параметрів і таке інше.

На етапі E_7 отримуємо ШНМ прогнозування, готову до визначення працездатності КП та С.

Розглянемо перераховані етапи з точки зору інформаційного середовища прогнозування. Як видно з формалізованого опису процесу синтезу, побудова нейромережної моделі проводиться на основі даних про функціонування об'єктів заданого класу на етапі експлуатації. Такому підходу властива простота: відсутня необхідність чітко визначати рівень впливу параметрів на ті чи інші характеристики технічного стану об'єктів, не проводиться аналіз категорії до якої належить параметр та таке інше. Разом з тим такий підхід не дозволяє посилити рівень значущості зміни критичних параметрів, збільшити кількість параметрів критичних категорій, проаналізувати справедливості розширення законів впливу зміни значень параметрів на технічний стан властивих одним об'єктам прогнозування на інші. Ці задачі цілком покладаються на апарат ШНМ.

Крім того обмеження життєвого циклу КП та С на якому проводиться прогнозування їх працездатності зменшує кількість інформації, яка використовується в процесі синтезу ШНМ. Тому, на нашу думку, розмежувавши процес прогнозування на дві частини, доцільно використовувати на етапі синтезу прогнозуючої ШНМ інформацію про ОП, накопичену не лише під час експлуатації, але й на інших етапах життєвого циклу. Це дозволить значно розширити інформаційне середовище, що повинно призвести до підвищення точності та достовірності прогнозування. Зокрема, розширення інформаційного середовища дозволить використати апріорну діагностичну інформацію, яка властива всім комп'ютерним пристроям та системам незалежно від їх типу, класу та особливостей. Найбільш яскравим прикладом такої інформації є надійнісні характеристики об'єктів прогнозування, як складних технічних систем. Якщо відомо, що до КП чи С, що розглядаються як ОП, можна застосовувати одну із функцій розподілу для визначення імовірності настання певної події на визначеному інтервалі часу, то таку інформацію доцільно врахувати при прогнозуванні їх працездатності.

Щодо місця апріорної діагностичної інформації у загальному інформаційному середовищі, то слід зазначити, що вона наявна як у векторі незворотних змін $X = (x_1, x_2, \dots, x_n)$, так і у векторі

$Y = (y_1, y_2, \dots, y_n)$, що характеризує випадкові процеси. Як зазначалося раніше, випадкові, зворотні процеси, що описуються вектором Y характеризуються певною стаціонарною щільністю розподілу $f(Y)$. Визначена для окремих типів обчислювальних засобів щільність розподілу $f(Y)$ в повній мірі є апіорною діагностичною інформацією, наявність якої на початку процесу синтезу ШНМ прогнозування дозволить підсилити здатність синтезованої ШНМ враховувати імовірнісні події у зміні технічного стану КП та С в процесі їх експлуатації. Хоча значне ускладнення структури та функційних особливостей сучасних мікропроцесорних засобів ускладнює задачу теоретичного визначення щільності розподілу $f(Y)$ близької до реальних показників, та все ж недоцільно нехтувати цією інформацією.

Натомість, закони розподілу, що описують надійнісні характеристики КП та С та базуються на аналізі незворотних хіміко-фізичних перетворень у елементах з яких будуються сучасні мікропроцесорні засоби є відомими та такими, що достатньо точно описують зміну технічного стану в реальних об'єктах діагностування. На сьогодні, теорією надійності КП та С визначені методи розрахунку параметрів законів розподілу, що дозволяє покращити їх відповідність кінцевим обчислювальним засобам. Саме врахування такої апіорної діагностичної інформації про достеменно відомі незворотні зміни у досліджуваних об'єктах дозволить заповнити „пропуски” у загальному інформаційному середовищі, які виникають внаслідок неповноти інформації про ОП на етапі експлуатації.

Щодо конкретного застосування апіорної діагностичної інформації на етапах синтезу штучної нейронної мережі прогнозування, то на даному етапі проведення досліджень можна дати лише узагальнені рекомендації. На етапі E_1 – визначення класу об'єктів прогнозування, для яких буде розроблятися ШНМ прогнозування працездатності, слід проводити узагальнення та об'єднання окремих об'єктів у один клас з врахуванням наявності апіорної діагностичної інформації про них. Оптимальним варіантом є утворення класу об'єктів із спільною апіорною діагностичною інформацією. Тобто якщо мова йде про щільність розподілу часу до відмови не варто об'єднувати в один клас наприклад системні плати та жорсткі диски, оскільки для останніх в більшій мірі підходить дифузійний немонотонний розподіл, який не доцільно застосовувати до системних плат, з точки зору відсутності на них механічних складових. На етапі E_2 – формування множини параметрів класу ОП за критеріями оптимальної інформативності та доступності вимагає врахування апіорної діагностичної інформації в процесі визначення інформативності параметрів. Це зокрема стосується частини визначення залежності прогностичних параметрів та їх взаємовпливу [9]. Етап E_3 – синтез архітектури ШНМ прогнозування у відповідності з введеним класом та обраними параметрами є етапом з найбільшими можливостями по врахуванню апіорної діагностичної інформації. На етапі E_3 при визначенні конкретних структурних та архітектурних особливостей ШНМ прогнозування технічного стану КП та С є можливість врахувати апіорну інформацію щодо впливу конкретних параметрів на ті чи інші компоненти (корегуючи зв'язки між нейронами), щодо функцій розподілу (корегування активаційних функцій) та таке інше. На етапі E_4 – формування навчальної вибірки необхідного об'єму для отриманої на попередньому кроці ШНМ слід користуватися діагностичною інформацією для покращення вибірки в процесі аналізу вихідної інформації. Навчання ШНМ – етап E_5 . На цьому етапі апіорна діагностична інформація про рівень впливу окремих параметрів на загальний технічний стан системи може бути використана для оптимізації процесу навчання, а саме корегування початкових значень вагових коефіцієнтів. Етапи E_6 та E_7 є менш дотичними до інформаційного середовища, то ж використання апіорної діагностичної інформації на цих етапах не відбувається.

Висновки.

Пошук та розроблення нових методів та підходів щодо прогнозування технічного стану КП та С є актуальним напрямом досліджень. Існуючі методи прогнозування стану складних технічних об'єктів не враховують особливостей сучасних комп'ютерних пристроїв та систем, а від так не можуть забезпечити необхідний рівень точності та достовірності прогнозування при адекватних витратах.

Проведені дослідження підтверджують, що прогнозування технічного стану КП та С, крім безпосереднього підвищення їх надійності, забезпечує підвищення ефективності їх експлуатації, обумовлене скороченням часу діагностування та ремонту.

Описані інформаційні аспекти і зокрема наявність впливів, що вносять випадковий характер у формування значень частини прогностичних параметрів дозволяють оцінити складність задачі прогнозування технічного стану КП та С та доводять необхідність пошуку нових підходів до її розв'язання. Однак використання компонентів теорії штучного інтелекту не знімає необхідності у якісній та повній діагностичній інформації про ОП. Тому важливим аспектом продовження досліджень у даному напрямі є розроблення методів та підходів до надбання та використання в процесі синтезу ШНМ апіорної діагностичної інформації.

Роботу виконано за підтримки Державного фонду фундаментальних досліджень (Міністерства освіти і науки України) в межах гранту Ф25.1/121 «Дослідження методів внесення апіорної діагностичної інформації в структуру штучних нейронних мереж для реалізації процесу діагностування комп'ютерних систем».

Література

1. Локазюк В.М., Савченко Ю.Г. Надійність, контроль, діагностика і модернізація ПК: посібник. – К.: Видавничий центр «Академія», 2004. – 376 с.
2. Медзатий Д.М. Прогнозування технічного стану мікропроцесорних пристроїв та систем // Вісник національного технічного університету «Львівська політехніка». – 2005. № 534. – С. 158-165.
3. Поморова О.В. Моніторинг та прогнозування станів комп'ютерних пристроїв з використанням карти Кохонена // Тези доповідей 8 науково-технічної конференції "КУСС-2005". – 2005. с.113.
4. Назаров А.В., Лоскутов А.И. Нейросетевые алгоритмы прогнозирования и оптимизации систем. – СПб.: Наука и Техника, 2003. – 384 с.
5. Локазюк В.М., Поморова О.В., Медзатий Д.М. Метод прогнозування технічного стану комп'ютерних систем // Вісник хмельницького національного університету. – 2005. – № 4. – Ч.1, Т.1 – С.81-86.
6. Гаскаров Д.В., Голинкевич Т.А., Мозгалевский А.В. Прогнозирование технического состояния и надежности радиоэлектронной аппаратуры. – М.: Сов. Радио, 1974. – 224 с.
7. Поморова О.В. Оцінка ефективності інтелектуального діагностування комп'ютерних пристроїв та систем // Вісник Хмельницького національного університету. – 2006. – № 6. – С. 58-64.
8. Victor Lokazyuk, Dmiro Medzatiy Neural Network Approach to Forecast Working Capacity of Microprocessor and Digital Devices. – Збірник праць за результатами роботи МНПК "ACSN-2007", 1, № 1, 2007. – С.94-99.
9. Медзатий Д.М. Визначення класу об'єктів та множини параметрів в нейромережному методі прогнозування роботоздатності мікропроцесорних засобів // Вісник Хмельницького національного університету. – 2007. – № 2. – Т.2 – С.126-129.

Надійшла 4.5.2008 р.

УДК 504.75

М.В. МАТІШИН, Н.М. МАРКУНЕЦЬ
Хмельницький національний університет

АНАЛІЗ НЕВИРОБНИЧОГО ТРАВМАТИЗМУ

Зроблено аналіз невинного травматизму зі смертельними наслідками в Автономній республіці Крим, всіх областях України, а також в місті Києві та Севастополі за останні 4 роки. Найвищий ризик загибелі людей має місце в Чернігівській, Кіровоградській та Донецькій областях. Від травматизму гинуть, як правило, люди репродуктивного віку та діти, що негативно впливає на демографічну ситуацію в державі. В наш час в Україні щоденно гине біля 200 чоловік, що майже в 200 раз більше, ніж під час Афганської війни, однак держава не приймає серйозних заходів до зменшення таких значних людських втрат.

Розвиток людської цивілізації, крім позитивних надбань, породив значні загрози життєво-важливим інтересам людини і суспільства. Значне місце серед цих загроз займає безпека техногенної сфери.

Потужний розвиток промисловості, характерний для ХХ століття, призвів до значних техногенних перевантажень на території України і, як наслідок, до зростання ризиків виникнення надзвичайних ситуацій різного характеру. В умовах економічної нестабільності загострюється проблема травматизму серед населення. Травматизм поділяється на виробничий, який відбувається на виробництві через причини, зв'язані з виробничим процесом та побутовий, який не зв'язаний з виробничим процесом.

Аналіз показує, що смертельний виробничий травматизм на Україні займає всього не більше 2 % від загальної кількості смертельних травм. Внаслідок різних травм, отруень та інших впливів невинного характеру на людину на Україні зазнають пошкодження біля 2,5 млн чоловік, а помирають понад 70 тис. чоловік в рік, або більше 200 щоденно. Смертність від невинного травматизму на Україні – один з найвищих показників в Європі і посідає третє місце після серцево-судинних захворювань та злоякісних пухлин. В результаті невинного травматизму на Україні щорічно гине майже стільки населення, скільки налічується в трьох середніх по населенню районах Хмельницької області [1].

Порівнюючи зі смертністю в період війни в Афганістані, де гинув в середньому один житель України в день маємо, що в мирний період в державі відбувається 200 "афганських війн". В період афганської війни населення було в деякій мірі інформовано засобами державної і зарубіжної (в основному західної) інформації і висловлювало своє відношення до цього. В період, коли держава несе в 200 більше людських втрат в один день, населення про це не знає і не проявляє свого відношення, а значить, не проводить відповідної профілактичної роботи. Від травматизму гинуть, як правило, люди репродуктивного віку, та діти, що негативно впливає на демографічну ситуацію в державі [2, 3].

Нами розроблений аналіз невинного травматизму за останні 4 роки.

За показник смертності прийнято ризик смертельних випадків на 10 тис. жителів – R, який визначається за формулою:

$$R = \frac{\sum_1^n A}{Bn} 10000,$$

де A – кількість загиблих за 4 роки в даному регіоні чи місті;

B – кількість населення даного регіону чи міста;

n – кількість років спостереження (4 роки).

Ризик R показує – скільки жителів даного регіону чи міста загине протягом року від невинного травматизму на кожних 10000 населення.

При аналізі враховуються травмуючі фактори, які включені в державну звітність – алкогольні та неалкогольні отруєння, випадки, пов'язані з транспортом, падіння, випадки зв'язані з пожежею, задушення, вбивства, самовбивства, електротравми, від вогнепальної зброї та інші нещасні випадки.

Аналіз зроблено для Автономної республіки Крим, всіх областей України та міст Києва та Севастополя.

Діаграма смертності від усіх причин показана на рис. 1. Найбільший ризик загибелі людей має місце в Чернігівській області – 18,45 чоловіка на 10 тис. населення, дещо менший в Кіровоградській та Донецькій областях – 18,36 та 18,19 людей на 10 тис. чоловік відповідно. Найменше помирає в Тернопільській – 7,69, Івано-Франківській – 8,43 та Львівській – 8,69 чоловік на 10 тис. жителів.

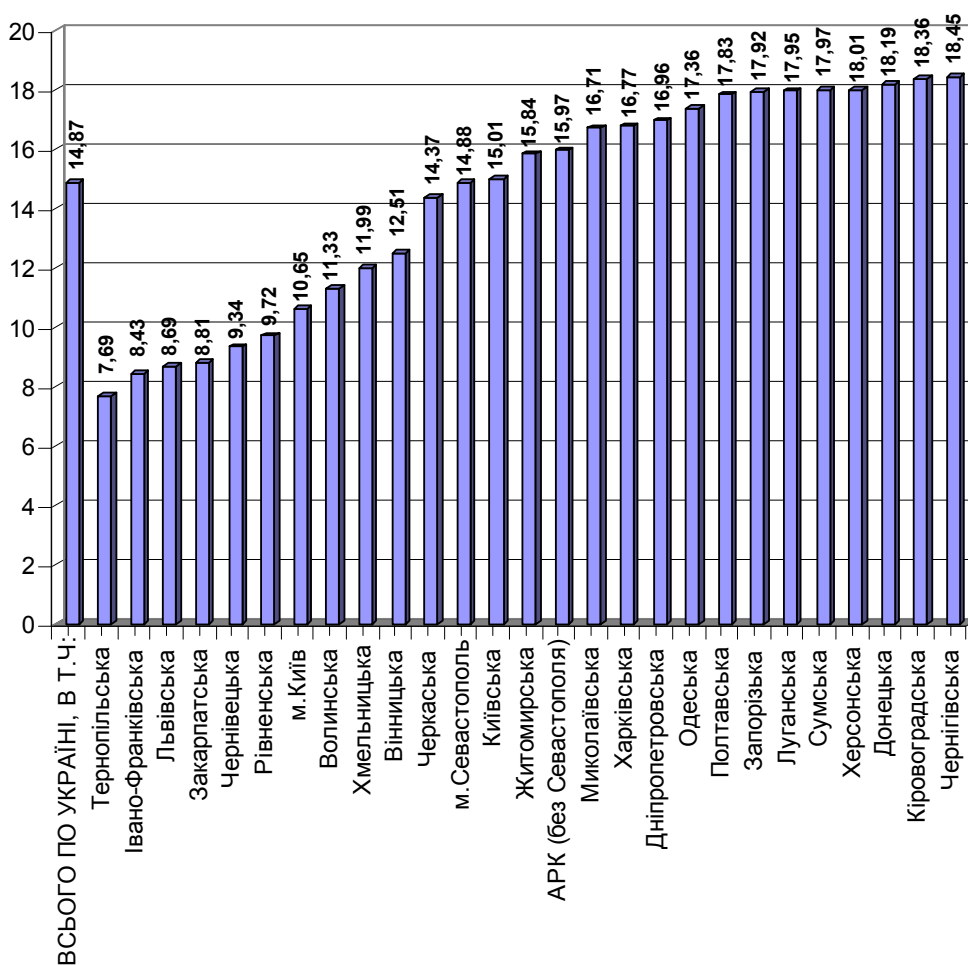


Рис. 1. Діаграма смертності з усіх причин на 10 000 чол.

Діаграма смертності від самогубств показана на рис. 2, з якого видно, що найбільше самогубств відбувається в східних та південних областях. При цьому виняток складає м. Київ, де ризик від самогубств на 10 тис. населення – 0,29 – є найменший на Україні. В середньому за 1 рік на Україні від самогубств гине 12839 чоловік або 35 чоловік кожного дня.

Низький рівень травматизму від самогубств спостерігається в Львівській – 0,89, Чернівецькій – 1,12 та Тернопільській – 1,14 областях. Найвищий – в сумській – 4,4, Чернігівській – 4,18 та Херсонській – 3,62 смерті на 10 тис. жителів в рік.

Щорічно на Україні гине біля 8300 тис. чоловік з причин, пов'язаних з транспортом (Рис. 3). На кожні 10 тис. населення гине 1,75 чоловіка.

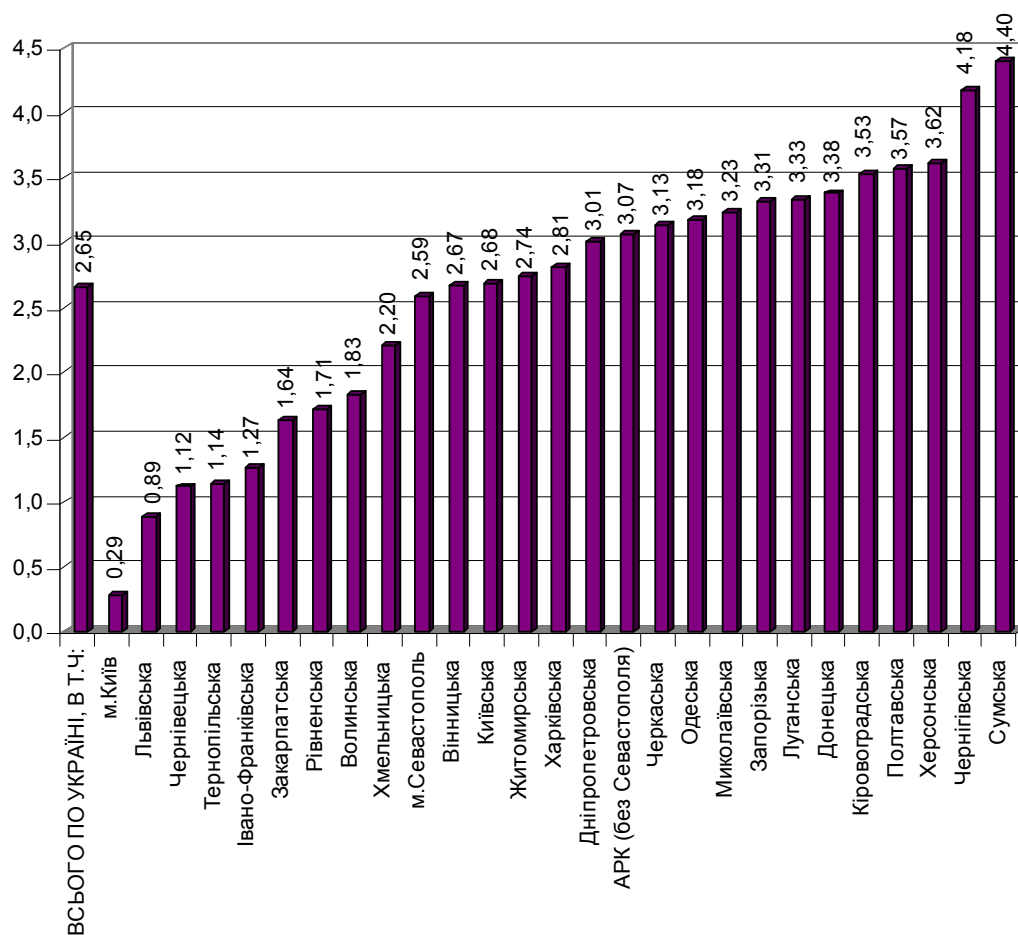


Рис. 2. Діаграма смертності населення у випадках самогубства на 10 000 чол.

Найбільш вагомий внесок для цього дає смертність на автомобільних дорогах.

Показники ризиків зв'язаних з транспортом, такі: Тернопільська область – 1,37, Харківська – 1,43, Чернівецька – 1,49, Сумська та Івано-Франківська – 1,51. Найбільші ризики в Запорізькій – 2,41, Житомирській – 2,21 та Одеській – 2,11 областях.

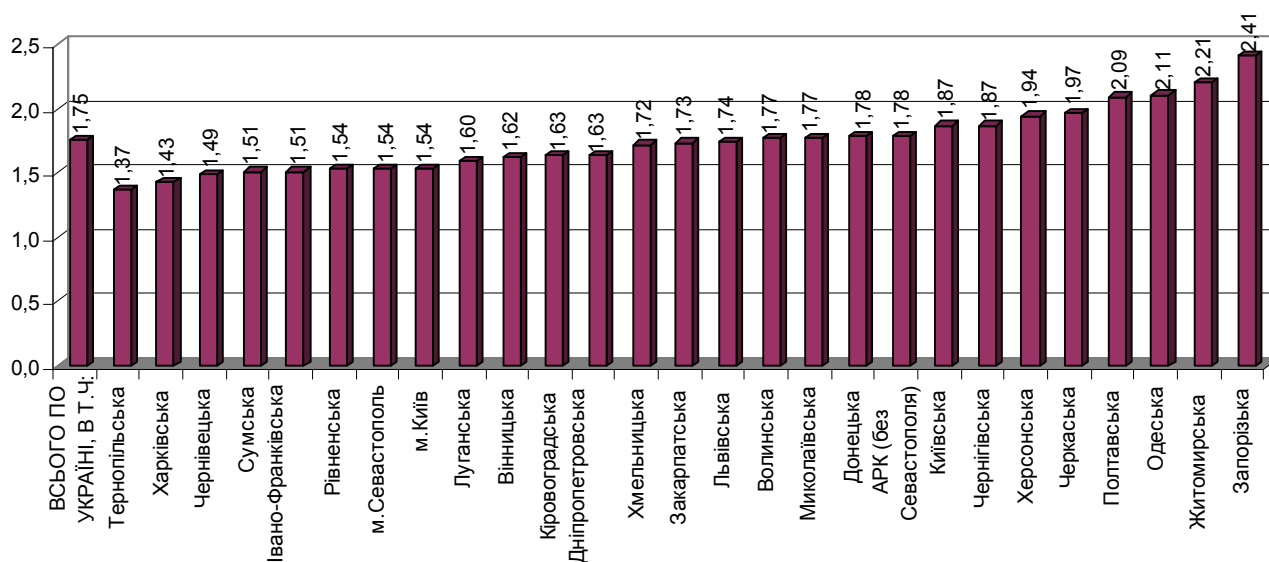


Рис. 3. Діаграма смертності від нещасних випадків, пов'язаних з транспортом на 10 000 чол.

Ризик смертності пов'язаний з надмірним вживанням алкоголю (Рис. 4) найвищий в Сумській області – 3,63 на 10 тис населення, в Полтавській – 3,61, в Чернігівській – 3,59, в Кіровоградській – 3,25, в Луганській – 3,1, а найнижчий в місті Києві – 0,03, Київській області – 0,22, в Закарпатті – 0,46 смертей на 10 тис. населення.

Від інших видів отруєння (крім алкогольних) на Україні помирає 4530 чоловік щорічно або біля 12 чоловік щоденно. Найбільше таких отруєнь в Запорізькій області – 1,97 на 10 тис. жителів, в Херсонській та

Донецькій – 1,66, Кіровоградській – 1,54, а найменше в Чернівецькій – 0,21, місті Києві – 0,24, Закарпатській – 0,31 смертельних отруень на 10 тис. жителів.

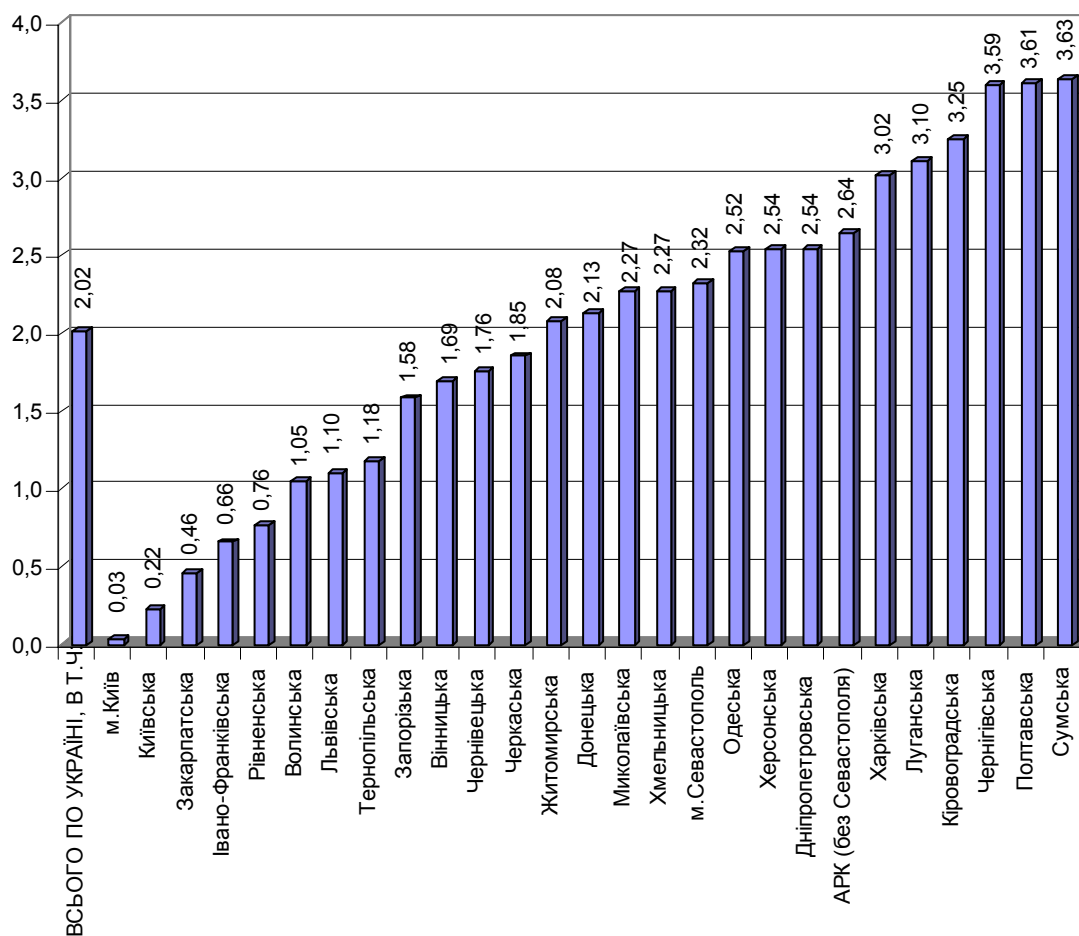


Рис. 4. Діаграма смертності населення з причини отруєння алкоголем на 10 000 чол.

Висока смертність на Україні від утоплень. Щорічно від утоплення помирає 4166 чоловік, тобто в середньому більше 11 чоловік щоденно. Найбільше помирають в Чернігівській області – 1,38 випадків на 10 тис. населення, в Полтавській – 1,23, в Миколаївській – 1,18, в Херсонській – 1,15, а найменше – в місті Києві – 0,6, в Львівській – 0,61 та Харківській – 0,64.

Від падіння з висоти на Україні гине 2764 людини кожного року, або більше 7 чоловік кожного дня. Найвища смертність в Запорізькій області – 1,22 та в місті Севастополі – 1,2, а найменша в місті Києві – 0,33, Дніпропетровській області – 0,34, Київській – 0,357 смертельних випадків на 10 тис. населення.

Від пожеж на Україні гине майже 2100 чоловік або більше 5 чоловік щоденно. В Луганській області від вогню гине 0,97 чоловік на 10 тис. населення, в Чернігівській – 0,83, в Одеській – 0,82, а найменше в Тернопільській – 0,14, на Волині – 0,18, в Київській області майже 0,2 чоловіка на 10 тис. населення.

Від механічних удусень на Україні гине 2752 чоловік щорічно. Висока смертність від цього виду травм в Сумській області – 1,17, Житомирській – 1,0 та Чернігівській – 0,92 чоловіка на 10 тис. мешканців, а найменша – в місті Києві – 0,16, Івано-Франківській області – 0,21 та Тернопільській – 0,24 чоловіка на 10 тис. мешканців.

Особливу стурбованість викликає смертність від нещасних випадків дітей до 14 років. В середньому за 1 рік по Україні гине 1894 дитини. Висока смертність в Херсонській – 0,59, Кіровоградській – 0,55 та Миколаївській – 0,54, а низька – в місті Києві – 0,17, місті Севастополі – 0,24 та в Тернопільській області – 0,28 чоловік на 10 тис. населення.

Від інших нещасних випадків, тобто таких, перелік яких не включений в державну звітність, або малозначущих щорічно гине біля 7040 чоловік.

Висока смертність від цих нещасних випадків в Кіровоградській – 2,43, Одеській – 2,32 та 2,17, а низька – в місті Києві – 0,57, Тернопільській – 0,66 та Чернівецькій – 0,75 чоловік на 10 тис. населення.

Від пошкоджень без уточнення, тобто таких, які не виявлені слідчими органами на Україні щорічно гине 10581 чоловік. Смертність по регіонах: м. Київ – 5,92, Київська область – 5,44, Харківська область – 3,99, Закарпатська – 0,12, Тернопільська – 0,49, Рівненська – 0,64 чоловіка на 10 тис. жителів.

Як видно із наведених даних, смертність населення на 10 тис. жителів в різних містах і регіонах України відрізняється в декілька разів. Це свідчить про відсутність будь-якої профілактичної роботи серед населення по зменшенню не виробничого травматизму.

Література

1. Матіішин М.В. Невиробничий травматизм у Хмельницькій області // Вісник Хмельницького національного університету. – 2002. – № 4. – С. – 211-214.
2. Матіішин М.В., Снозик О.В., Нестер А.А. Побутовий травматизм України в 1995-2000 роках // Вісник технологічного університету Поділля – 2002. – № 4. – С.124 – 126.
3. Національна доповідь про стан техногенної та природної безпеки в Україні у 2003 році. – К.: Агентство інформації, 2004. – 435 с.

Надійшла 8.5.2008 р.

УДК 004.272

А.О. МЕЛЬНИК

Національний університет „Львівська політехніка”

І.Д. ЯКОВЛЄВА

Чернівецький національний університет імені Юрія Федьковича

ПОДАННЯ ПОТОКОВОГО ГРАФА АЛГОРИТМУ СТРУКТУРНОЮ МАТРИЦЕЮ

Запропоновано спосіб подання ПГА структурною матрицею, кількість стовпців якої дорівнює кількості дуг в найширшому ярусі ПГА, а кількість рядків – загальній кількості ярусів ПГА. Елементами такої матриці є номери ФО, які присвоєні кожній дузі, по якій на ФО надходять операнди. Використання структурної матриці для подання ПГА дозволяє використовувати всі можливості розпаралелювання алгоритму і динамічно змінювати ступінь його розпаралелювання, спрощує процес проектування спеціалізованих процесорів, оскільки дана матриця містить інформацію про ПГА в зручній формі для обробки комп'ютером, що дозволяє використати її в складі САПР.

Вступ. При розв'язанні задач паралельного програмування та проектування спеціалізованих комп'ютерних систем з метою пошуку шляхів паралельного виконання алгоритмів та оцінки підходів до їх апаратної реалізації використовують потокові графи алгоритмів (ПГА). Однак із ростом складності ПГА ускладнюється їх обробка та зростають об'єми пам'яті для їх зберігання. Тому актуальним є питання пошуку способу подання ПГА, який би дозволяв його ефективне опрацювання та зберігання в комп'ютері. В роботі запропоновано варіант розв'язання цієї задачі шляхом занесення інформації про ПГА в матрицю, названу структурною, розмірність якої відповідає кількості дуг в найширшому ярусі ПГА та загальній кількості ярусів в ПГА. Елементами такої матриці є номери функціональних операторів (ФО), які присвоєні кожній дузі, по якій на ФО надходять операнди.

Огляд літературних джерел. Як відомо, для подання алгоритму можуть застосовуватися наступні способи: вербально-дедуктивні, аналітичні та графічні [1, 2].

Вербально-дедуктивний спосіб [2] не є наочним і не придатний для проведення певних формальних перетворень алгоритмів.

До аналітичних способів подання алгоритмів можна віднести зокрема логічні схеми алгоритмів [3]. Основна перевага аналітичного способу – компактність запису алгоритму у вигляді системи формул. Однак труднощі опрацювання, а також низька наочність роблять їх недоцільними для застосування з метою пошуку шляхів паралельного виконання алгоритмів та оцінки підходів до їх апаратної реалізації.

Завдяки своїй наочності найбільше розповсюдження отримав графічний спосіб подання алгоритмів. До графічних способів відносяться блок-схеми [2], графи [3, 4], мережі Петрі [5] та граф-схеми алгоритмів, перевагою яких є висока наочність відображення структури алгоритму та зв'язків між його ФО. Щоб оцінити обчислювальні і структурні характеристики алгоритму, його подають у вигляді потокового графа алгоритму [7]. Побудова ПГА означає розподіл всіх його вершин по ярусах таким чином, що в i -му ярусі розміщені тільки ФО, які залежать від ФО попередніх ярусів і не залежать від ФО наступних ярусів. В межах одного ярусу між вершинами потокового графу немає зв'язків. Така форма подання алгоритму визначає ступінь паралелізму графа (максимальна кількість вершин на одному ярусі), а також мінімально можливий час обчислення даного алгоритму (кількість ярусів).

Проте, при потребі опрацювання ПГА, виникають певні проблеми, пов'язані з ускладненням графів зі збільшенням кількості операцій, а також необхідністю виділення великих об'ємів пам'яті для зберігання ПГА. Логічним виглядає подання ПГА матрицями, як це зроблено в [1, 4, 5], що дозволяє задати множину вершин і дуг ПГА. Однак, при цьому виникають наступні труднощі: 1) використання цикломатичних матриць для подання ПГА, що не мають контурів, не є доцільним, оскільки вони будуть містити лише нулі; 2) використання матриць суміжності та інциденцій для визначення розподілу вершин по ярусах вимагає додаткових операцій над ними. Крім того, матриці суміжності та інциденцій не містять інформації про вершини графа, а відповідно і про ФО ПГА.

1. **Постановка задачі.** Оскільки подання графа алгоритму матрицею спрощує його опрацювання та зберігання, постала задача запропонувати спосіб заповнення матриці, яка б зберігала обчислювальні і структурні характеристики ПГА такі як набір ФО, організацію з'єднань між ними, розподіл ФО по ярусах та інші. Ці характеристики можна об'єднати в множину $S(C, L, K, W)$, де $C = \{n_j\}$ – множина вхідних дуг ПГА, $j = \overline{1, n}$ – номер вхідної дуги ПГА, по яких поступають дані, n – кількість вхідних дуг ПГА; $L = \{l_i\}$, $i = \overline{1, l}$ – номер ярусу ПГА, l – кількість ярусів ПГА; $K = \{f_{ij}\} = \{0..k\}$ – множина функціональних операторів ПГА, $k \in N$, $i = \overline{1, l}$, $j = \overline{1, n}$ – номер функціонального оператора ПГА, $W = \{w_i, w\}$ – множина, яка визначає кількість ФО на кожному i -му ярусі і ширину ПГА – w . При цьому необхідно передбачити взаємо однозначну відповідність між графом та матрицею, яка описує ПГА, для забезпечення наочності графічного подання графа алгоритму та їх верифікації.

2. **Структурна матриця.** Щоб зберегти множину $S(C, L, K, W)$, на відміну від способу описаного в [8], запропоновано заносити інформацію про ПГА не в матрицю суміжності, а в матрицю, кількість стовпців якої рівна кількості дуг, по яких надходять операнди в найширшому ярусі, кількість рядків – загальна кількість ярусів. Дуги в найширшому ярусі нумеруються від 1 до n , їх кількість на кожному ярусі є незмінною та дорівнює кількості вхідних та вихідних вершин, з яких (на які) поступають дані. Елементами такої матриці є номери ФО, які присвоєні кожній дузі, по якій на ФО надходять операнди.

Зважаючи на те, що більшість операцій є двомісними, а результат виконання операції часто необхідний для виконання більше як однієї наступної операції, пропонується використовувати ФО, які мають дві вхідні і дві вихідні дуги. Застосування таких ФО надає наступні переваги: 1) спрощує запис ПГА, оскільки позбавляє від необхідності підписувати дуги між ФО, так як кожен ФО повертає результат виконання на ті ж самі номери дуг, з яких ці дані були отримані; 2) при використанні ФО з двома входами і виходами вирішується питання розгалужень, оскільки на одну вихідну дугу ФО подає результат, коли виконання ФО – *true*, а на другу – коли виконання ФО – *false*, і на наступному ярусі, після виконання операції над даним, на одну вихідну дугу ФО результат не поступить. Відповідно, один із ФО наступного ярусу не отримає вхідний операнд і не виконає свою операцію. Таким чином, весь ланцюжок, який відповідає одній з двох віток розгалуження, не буде виконувати операції, закладені алгоритмом. 3) вирішується питання розмноження результату у випадку, коли один і той самий результат виступає вхідним операндом для двох ФО. Крім того, в багатьох алгоритмах, зокрема сортування, ШПФ та ін., операції „порівняти-й-переставити”, базова операція „метелик”, передбачають наявність двох входів та двох виходів.

ФО виконує операцію над даними за принципом готовності даних [9], тобто операція оголошується готовою до виконання, як тільки для неї надійшли операнди. Це дає змогу виконувати операції асинхронно незалежно від спрацювання інших ФО.

Матрицю F розмірністю $l \times n$, елементами якої є номери ФО, які присвоєні кожній дузі, по якій на ФО надходять операнди, назовемо структурною. Вона має наступний вигляд:

$$F = \begin{pmatrix} f_{11} & f_{12} & \dots & f_{1n} \\ f_{21} & f_{22} & \dots & f_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ \dots & \dots & f_{ij} & \dots \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ f_{l1} & f_{l2} & \dots & f_{ln} \end{pmatrix}, \quad (1)$$

де $\forall f_{ij} \in N$, $i = \overline{1, l}$, $j = \overline{1, n}$, l – кількість ярусів (рядків), n – загальна кількість дуг найширшого ярусу, по яких надходять операнди (стовпців).

Заповнюється структурна матриця F за правилом: на перетині i -го рядку і j -го стовпця ставиться номер відповідного ФО i -го ярусу, який виконує операцію над операндом, який поступає j -ю дугою ПГА $f_{ij} = k$, де k – належить множині натуральних чисел $k \in N$. Нумерація починається від 1 і призначається всім наступним ФО підряд в порядку зростання. Решта елементів такої матриці заповнюються нулями. Може бути два типи ФО: операційні, які передбачають виконання операцій, і перепускні, які передбачають передачу інформації з входу на вихід. Операційні ФО позначаються k , а перепускні – 0 . Оскільки один ФО виконується над двома даними, які поступають різними дугами, то два елементи структурної матриці F i -го рядка приймають одне й те саме значення k . Якщо $f_{ij} = 0$, то в i -му ярусі над даними, які надходять j -тою дугою, не виконується жоден операційний ФО, а дані просто передаються на наступний ярус.

Під значущими елементами довільного рядка структурної матриці F будемо розуміти сукупність усіх ненульових відмінних елементів цього рядка, взятих по одному разу. Наприклад, якщо i -й рядок структурної матриці F складається з елементів $(1, 2, 0, 2, 1)$, то під значущими елементами цього рядка розуміємо сукупність $(1, 2)$.

3. Основні властивості структурної матриці.

1. Кількість стовпців n структурної матриці F дорівнює кількості дуг найширшого ярусу ПГА, кількості вхідних та вихідних вершин, з яких/ (на які) поступають дані.
2. Кількість рядків l структурної матриці F дорівнює кількості ярусів ПГА.
3. Елементами f_{ij} структурної матриці F є вершини ПГА.
4. Значення, які приймають елементи f_{ij} структурної матриці F , дорівнюють номеру k ФО ПГА.
5. Сума значущих елементів i -го рядка дорівнює ширині i -го ярусу ПГА – тобто кількості ФО в i -му ярусі: w_i .
6. Перелік значущих елементів i -го рядка є множиною ФО i -го ярусу.
7. Сума значущих елементів в найширшому ярусі дорівнює ширині ПГА: $w = \max_{1 \leq i \leq l} w_i$.
8. Сума значущих елементів всіх ярусів дорівнює загальній кількості ФО ПГА: $N_f = \sum_{i=1}^l w_i$.
9. Перелік значущих елементів матриці є множиною ФО ПГА.
10. Відношення ширини i -го ярусу до ширини ПГА дорівнює поярусній густині i -го ярусу: $d_i = \frac{w_i}{w}$.
11. Номери вхідних і вихідних дуг даних для k -го ФО ПГА дорівнюють значенню другого індексу елементів структурної матриці, які задовольняють наступній умові: $f_{ij} = f_{iz} = k$.

4. Модифікація структурної матриці. Існують ситуації, коли кількість операторів в одному ярусі повинна бути обмежена і менша за ширину ПГА. В таких випадках, за рахунок того, що на одних ярусах ПГА ФО розміщено більше, а на інших – менше, можна переміщувати ФО з ярусу на ярус, зменшуючи ширину ПГА і досягаючи при цьому максимального завантаження процесорів, на яких виконується алгоритм.

Алгоритм модифікації ширини ПГА на основі структурної матриці.

w_i – ширина i -го ярусу, w_p – кількість процесорів, на яких виконується алгоритм.

1. Встановити $i=0$.
2. Якщо $i < l$ (не останній рядок матриці), то i збільшити на одиницю: $i=i+1$, інакше перейти до кроку 6.
3. Якщо $w_i > w_p$ додати в матрицю F $(i+1)$ -й рядок, заповнений нульовими елементами, l збільшити на одиницю: $l=l+1$. Залишити в i -му рядку w_p значущих елементів, а решту елементів матриці перенести в створений рядок за правилом: кожен елемент f_{ij} перемістити на місце елемента f_{i+1j} і перейти до кроку 2.
4. Якщо $w_i < w_p$, то елементи матриці, які задовольняють умові $f_{i+1j} = f_{i+1z} = k$ перемістити на місце елементів f_{ij} та f_{iz} відповідно, якщо $f_{ij} = f_{iz} = 0$ і перейти до кроку 2.

5. Якщо $w_i = w_p$ перейти до кроку 2.

6. Якщо структурна матриця F містить нульові рядки – знищити їх.

7. Закінчити виконання алгоритму.

Подання ПГА структурною матрицею дозволяє використовувати всі можливості розпаралелювання алгоритму і, за описаним вище алгоритмом, змінювати динамічно ступінь розпаралелювання від максимальної до повної відсутності розпаралелювання.

Інформацію про виконувану операцію кожним ФО запропоновано зберігати в таблиці відповідності номерів ФО виконуваним операціям (рис. 1, б), в якій кожному номеру ФО k ставиться у відповідність операція, яка виконується даним ФО.

5. Програмна реалізація відображення ПГА на основі структурної матриці. Даний спосіб подання ПГА структурною матрицею виконаний як програмний модуль та реалізований мовою C++. Програмний модуль надає можливість зображення ПГА, запис його структурною матрицею, а також дозволяє здійснити обернену процедуру відображення ПГА на основі структурної матриці.

Відображення ПГА здійснюється на основі однократного аналізу структурної матриці. При зображенні ПГА передбачено відображення вершин, з яких поступають вхідні дані на ФО та на які надходить результат виконання всіх операцій. Кількість вхідних, вихідних вершин і дуг в одному ярусі однакова і дорівнює кількості стовпців структурної матриці – n . Кількість вершин, які відповідають ФО, дорівнює загальній кількості значущих елементів ПГА. Кожна k -та вершина, яка відповідає ФО, відображається в i -му ярусі, якщо між елементами i -го рядка структурної матриці виконується умова $f_{ij} = f_{iz} = k$. Одна вхідна дуга, яка надходить до k -го ФО зображується від j -ї дуги попереднього ярусу (або j -ї вхідної вершини, якщо це перший ярус) до k -го ФО, друга дуга – від z -ї дуги попереднього ярусу (або z -ї вхідної вершини) до k -го ФО. Оскільки кожен ФО повертає результат виконання на ті самі номери дуг, по яких були отримані операнди, то вихідні

дуги для k -го ФО будуть тими самими, як і вхідні, і визначаються по другому індексу елементів матриці, які задовольняють умові $f_{ij} = f_{iz} = k$. Якщо елемент структурної матриці приймає нульове значення $f_{ij} = 0$, то j -та дуга не з'єднується з жодною вершиною i -го ярусу, а просто продовжується до j -ї дуги наступного ярусу. Така процедура повторюється до тих пір поки не будуть перебрані всі елементи f_{ij} структурної матриці F . Дуги ФО останнього ярусу з'єднуються за тими ж правилами з вихідними вершинами.

6. Подання алгоритму швидкого перетворення Фур'є за допомогою структурної матриці. Швидке перетворення Фур'є (ШПФ) [1, 10] є основою сучасних систем цифрової обробки сигналів і часто зустрічається на практиці там, де швидкість роботи досить важлива (при побудові аналізу та розпізнавання образів, кодування сигналів і зображень, ідентифікації систем).

Характерною рисою ДПФ є багатократне повторення простих базових операцій. Це дає можливість виконувати даний алгоритм паралельно.

Наприклад, для базової операції ШПФ „метелик”, відповідно до фрагменту Сі-програми [1] (рис. 1, а), структурна матриця зображена на рис. 1, в. ПГА для базової операції ШПФ (рис. 1, г), побудований за готовністю даних і виконує над вхідними даними десять операцій за три кроки: чотири операції множення – ФО₁, ФО₂, ФО₄, ФО₅, чотири операції віднімання – ФО₃, ФО₆, ФО₇, ФО₈ та дві операції додавання – ФО₉, ФО₁₀. Виходячи із значень поярусної густини d_i та загальної кількості операцій N_f (рис. 1, д), оптимальним буде використання двох ФО на кожному ярусі. Модифікований ПГА базової операції ШПФ (рис. 1, ж) з використанням двох ФО на кожному ярусі та структурна матриця (рис. 1, е) зображені на рис. 1.

$$tr = wr \times xrj - wi \times xij;$$

$$ti = wr \times xij - wi \times xrj;$$

$$qr = xri;$$

$$qi = xii;$$

$$xrj = qr - tr;$$

$$xij = qi - ti;$$

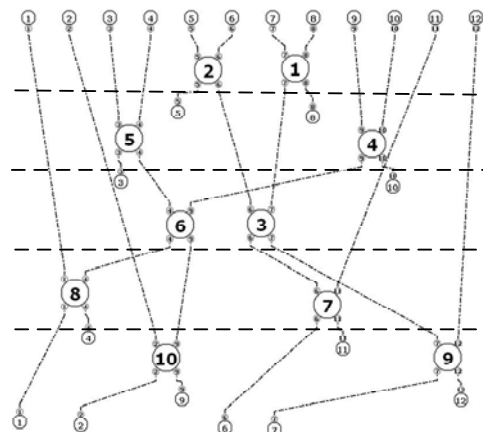
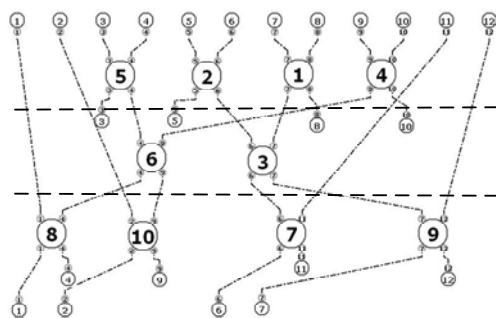
$$xri = qr + tr;$$

$$xii = qi + ti;$$

$$F_o = \begin{pmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 & 2 & 2 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 5 & 5 & 0 & 0 & 0 & 0 & 4 & 4 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 6 & 0 & 3 & 3 & 0 & 6 & 0 & 0 & 0 \\ 8 & 0 & 0 & 8 & 0 & 7 & 0 & 0 & 0 & 0 & 7 & 0 \\ 0 & 10 & 0 & 0 & 0 & 0 & 9 & 0 & 10 & 0 & 0 & 9 \end{pmatrix}$$

$$F = \begin{pmatrix} 0 & 0 & 5 & 5 & 2 & 2 & 1 & 1 & 4 & 4 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 6 & 0 & 3 & 3 & 0 & 6 & 0 & 0 & 0 \\ 8 & 10 & 0 & 8 & 0 & 7 & 9 & 0 & 10 & 0 & 7 & 9 \end{pmatrix}$$

$l = 3$ $N_f = 10$
 $n = 12$ $w = 4$
 $w_1 = 4$ $d_1 = 1$
 $w_2 = 2$ $d_2 = 0,5$
 $w_3 = 4$ $d_3 = 1$



Таблиця відповідності номерів ФО виконуваним операціям

Рис. 1. Базова операція ШПФ: а – фрагмент Сі-програми; б – таблиця відповідності номерів ФО виконуваним операціям; в – структурна матриця ПГА; г – ПГА; д – характеристики ПГА; е – структурна матриця оптимізована для $W_p = 2$; ж – оптимізований граф алгоритму для $W_p = 2$

ФО можна об'єднувати в більш складні, або розбивати на простіші операції, досягаючи тим самим потрібного ступеню деталізації. Розглянемо ПГА ШПФ для $n=8$ входів [1], зображений на рис. 2,а. На вхід поступає вектор даних $\bar{X} = \{x_0, x_4, x_2, x_6, x_1, x_5, x_3, x_7\}$ в інверсному двійковому порядку. В результаті передачі вхідних даних між ФО за три кроки отримаємо результатний вектор даних $\bar{Y} = \{y_0, y_1, y_2, y_3, y_4, y_5, y_6, y_7\}$. На всіх ярусах ФО виконують базову операцію „метелик” (рис. 2, б). Об'єднавши всі ФО базової операції ШПФ „метелик” в один ФО ШПФ, отримаємо структурну матрицю ШПФ, яка відповідає ПГА ШПФ (рис. 2, в). Структурна матриця F (рис. 2, в) має розмір 3×8 , оскільки ПГА має вісім

дуг, по яких надходять дані і три яруси. Структурна матриця F містить (рис. 2, д) кількість дуг $n=8$ по яких надходять дані на обробку; загальну кількість ФО алгоритму – $N_f=12$; загальну кількість ярусів – $l=3$; кількість операторів в кожному ярусі: $w_1 = w_2 = w_3 = w = 4$; розподіл операторів по ярусах: на першому ярусі – $\Phi O_1, \Phi O_2, \Phi O_3, \Phi O_4$, на другому – $\Phi O_5, \Phi O_6, \Phi O_7, \Phi O_8$, на третьому – $\Phi O_9, \Phi O_{10}, \Phi O_{11}, \Phi O_{12}$. Номера вхідних і вихідних дуг по яких надходять дані для кожного ФО: для ΦO_1 – 1-й і 2-й, для ΦO_2 – 3-й і 4-й, для ΦO_3 – 5-й і 6-й, для ΦO_4 – 7-й і 8-й і т.д.

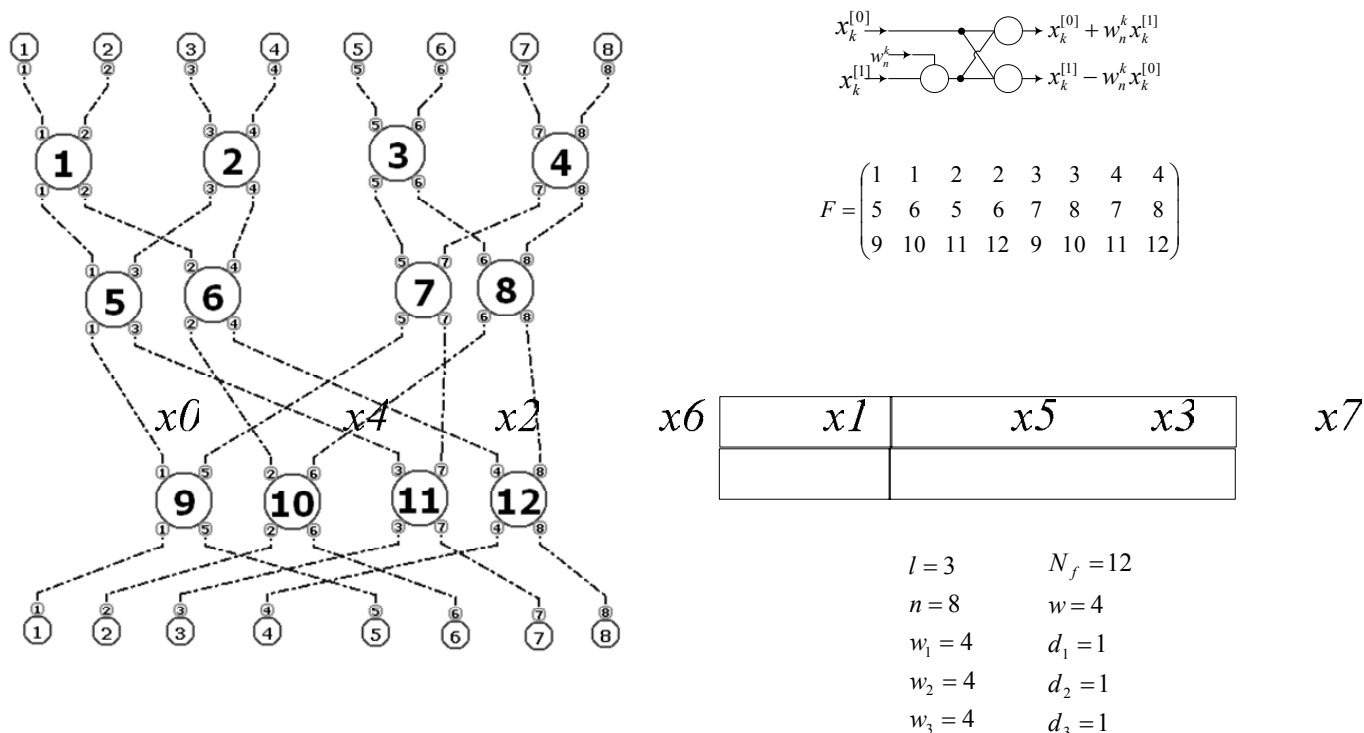


Рис. 2. Поточковий граф ШПФ для $n=8$: а – ПГА; б – базова операція ШПФ „метелик”; в- структурна матриця ПГА ШПФ; г- таблиця відповідності номерів ФО виконуваним операціям; д- характеристики ПГА ШПФ

Час виконання алгоритму ШПФ рівний $\Theta(\log_2 n)$, оскільки ПГА ШПФ для n вхідних даних містить $\log_2 n$ ярусів [1], в кожному з яких паралельно виконується $n/2$ перетворень „метелик”. Отриманої інформації достатньо для проектування спеціалізованого комп’ютерного пристрою (СКП) ШПФ. Проектування можна виконувати автоматичним способом, оскільки інформація подана у зручному для машинного опрацювання матричному виді.

Висновки.

Проведено аналіз способів подання алгоритмів і визначено, що завдяки своїй наочності найбільше розповсюдження отримав графічний спосіб запису алгоритмів, але для зберігання в комп’ютерах та його опрацювання кращим способом подання алгоритму є матричний.

Запропоновано спосіб подання ПГА структурною матрицею. Кількість стовпців структурної матриці дорівнює кількості дуг в найширшому ярусі ПГА, а кількість рядків – загальній кількості ярусів ПГА. Елементами такої матриці є номери ФО, які присвоєні кожній дузі, по якій на ФО надходять операнди.

Використання структурної матриці для подання ПГА дозволяє використовувати всі можливості розпаралелювання алгоритму і динамічно змінювати ступінь його розпаралелювання.

Використання структурної матриці спрощує процес проектування спеціалізованих процесорів, оскільки дана матриця містить інформацію про ПГА в зручній формі для обробки комп’ютером, що дозволяє використати її в складі САПР.

Подання ПГА на основі структурної матриці виконане як програмний модуль і реалізоване мовою C++.

Література

1. Кормен Т., Лейзерсон Ч., Ривест Р. Алгоритмы: построение и анализ: Пер. с англ. Под ред. А. Шеня. – М.: МЦНМО: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2004. – 960 с.
2. Ковалюк Т.В. Основи програмування. – К.: Видавнича група ВНУ, 2005. – 384 с.
3. Лазарев В.Г., Маркин Н.П., Лазарев Ю.В. Проектирование дискретных устройств автоматики. – М.: Радио и связь, 1985. – 168с.

4. Седжвик Р. Фундаментальные алгоритмы на С. Анализ / Структуры данных / Сортировка / Поиск / Алгоритмы на графах: Пер. с англ. – СПб.: ДиаСофтЮП, 2003. – 1136 с.
5. Оре О. Теория графов. – М.: Наука. Гл. ред. физ. – мат. Лит., 1980. – 336 с.
6. Бройнль Т. Паралельне програмування: Пер. з нім. – К.: Вища шк., 1997. – 358 с.
7. Мельник А.О. Спеціалізовані комп'ютерні системи реального часу. – Львів: НУ „Львівська політехніка”, 2002. – 60 с.
8. Мельник А.О., Сало А.М. Методика проектування паралельного процесора на основі пам'яті з детермінованою вибіркою // Вісник НУ „Львівська політехніка” ”Комп'ютерні системи та мережі”. – 2005. № 546. – С. 162-165.
9. Jurij Silc, Borut Robic, Theo Ungerer, Asynchrony in parallel computing: from dataflow to multithreading // Parallel and Distributed Computing. – 1998, Vol.1. – No.1. March
10. Рабинер Л., Гоулд Б. Теория и применение цифровой обработки сигналов. – М.: «Мир», 1978. – 848 с.

Надійшла 11.5.2008 р.

УДК 004.78: 025.4.036

С.В. МЕЛЬНИЧУК, В.Я. ЛЯШКЕВИЧ, Є.В. РАТУШ
Чернівецький національний університет імені Юрія Федьковича

ЗАСТОСУВАННЯ СЕМАНТИЧНИХ МЕРЕЖ ДЛЯ ДОСЛІДЖЕННЯ ШЛЯХІВ УДОСКОНАЛЕННЯ ТЕКСТОЛОГІЧНИХ МЕТОДІВ ПОШУКУ ІНФОРМАЦІЇ

В статті розглянуті питання семантичного пошуку для тестування комп'ютерних систем. Запропоновано пошукову систему, принцип функціонування якої полягає у забезпеченні можливості користувачу візуально здійснювати пошук діагностичної інформації та використання онтології тематичної області, що забезпечує формування графів семантичної мережі.

Вступ. Розвиток мережі Інтернет призвів до накопичення великої кількості електронних документів різного змісту. Їх кількість складає порядок мільярда й продовжує щоденно зростати. Залежно від заданого запиту, користувач може отримати від 0 до сотні мільйонів документів, але серед них відшукати необхідний дуже складно, тому з цього приводу розроблено цілий ряд моделей, методів та засобів пошуку інформації. Серед них найефективнішими можна вважати текстологічні методи [1].

Задачу пошуку інформації, із використанням текстологічних методів, можна розглядати як задачу розуміння і виділення смислу тексту, де сам текст є лише провідником. Головними моментами процесу розуміння тексту є формування смислової структури виділення ключових слів чи “смислових віх” та прикінцеве зв'язування “смислових віх” в єдину семантичну структуру [2]. При аналізі тексту важливо виявити внутрішні зв'язки між окремими частинами тексту і поняттями. Як правило, в тексті виділяють два типи зв'язків: а) явні (експліцитні) зв'язки, що виражені у зовнішньому дробленні тексту, та приховані (імпліцитні) зв'язки. Основою для процесу пошуку інформації є процедура розбиття тексту на частини (“смислові групи”), а потім стискання вмісту кожної смислової частини у “смислову віху”. Це, по суті, відшукування набору ключових слів, що передають основний зміст тексту. У якості ключового слова може бути будь-яка частина мови чи їх поєднання. Під набором ключових слів розумітимемо набір опорних точок, за якими розгортається текст при кодуванні і усвідомлюється при декодуванні [1].

Постановка задачі. В другій половині 90-х років представлені версії агентних пошукових систем Autonomy (1998) і Webcompass (1999), що були покликані забезпечити користувачу тематичні автоматизовані засоби пошуку релевантної інформації. Впровадження даних систем супроводжувалося деякими недоліками, які були пов'язані з труднощами навчання агентів у зв'язку з проблематикою штучного інтелекту, зокрема проблемами представлення знань, механізмом виводу нових знань та ін [3].

На сьогодні, одним із перспективним рішень щодо усунення згаданих недоліків є побудова онтологій та можливість візуалізації графів семантичних мереж. Тому, застосувати та дослідити можливості сучасних засобів автоматизації пошуку інформації і є головною метою даної роботи.

Основна частина. Діяльність людини визначає границі тематичних областей (ТО), які можуть бути охарактеризовані відомостями про об'єкти, події та їх взаємодію. Знання ж конкретної ТО дає нам можливість правильно розставляти взаємозв'язки між її об'єктами, використовуючи певне мовне середовище й термінологію, що їй характерна.

У якості досліджуваної ТО вибрано тестування комп'ютерних систем, оскільки в цьому напрямку вже формалізовано сутність діагностичної інформації (ДІ) для тестування комп'ютерних систем (КС) та розроблено й апробовано текстологічно-нейромережний метод пошуку ДІ [4].

Процес пошуку ДІ з тексту ґрунтується на описі об'єкта діагностування (ОД), що відповідає діагностичному забезпеченню, та взаємозв'язках інтерпретованих інженером зі знань складових тексту із складовими опису ОД. Суть текстологічно-нейромережного методу пошуку ДІ полягає у визначенні тих

складових тексту, котрі мають одночасно зв'язки між описом ОД та ознаками ДІ.

Під ознакою ДІ вважаємо наявність у відомостях про КС повідомлень, що дають можливість визначити їх технічний стан або сприяють його визначенню. До ознак діагностичної інформації відносимо алгоритми, моделі, правила, методи і способи діагностування, діагностичні програми, описи апаратних засобів тестування КС, технічну документацію на КС як ОД й таке ін.

Для розроблення бази знань ключових слів [5, 6] складено таблиці ключових слів (рис. 1), які послужили для розроблення онтології з даної тематичної області.

0809101415	Причини прояву несправності
0809101415	Проблеми пошуку інформації
0809101415	Проведення діагностування
08101415	Програми
08101415	Програму
060708111315	Протязі життєвого циклу
0611131415	Процес
0611131415	Процес зміни
0611131415	Процес моделювання
0607131416	Процесі аналізу
0607131416	Процесом зміни
060711141516	Процесу діагностування
060711141516	Процесу пошуку
050711141516	Процесу тестування комп'ютерних пристроїв
0102030405	Прямонаправленого перцептрона
02051015	Різноманітні функції
0516	Різноманітна інформація
060708091014	Реалізації процесу тестування
060708091014	Реалізації тестування
060708091014	Реалізації процесу
0607111314	Резервуванням
0506071316	Результат
0506071316	Результату
03041215	Рис
0506071316	Роботоздатність
030408121415	Сигналі
030408121415	Сигнали
030408121415	Синапсах

Рис. 1. Таблиця ключових слів із вказаними відношеннями до ДІ

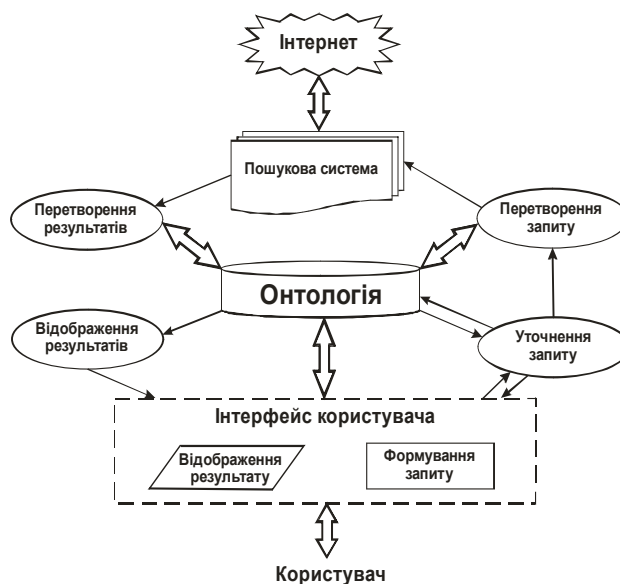


Рис. 2. Використання онтології для організації пошуку ДІ

В першому стовпчику таблиці (рис. 1) зображено відношення ключового слова до ознаки ДІ, які описують формально взаємозв'язок ДІ з її джерелами. Ознака кодується двома символами. Для прикладу: "03" – схема ОД; "06" – процес діагностування; "07" – процес контролю; "13" – алгоритм діагностування і т.д. Таким чином, ми ключовим словам ставимо у відповідність множину ознак ДІ, при описі яких вони можуть використовуватися.

Розроблене програмне забезпечення використовує онтологію (рис. 2) для формування запитів до пошукової системи (Google, Yahoo, Yandex або ін.). Пошукова система здійснює пошук та видає результати у вигляді html-сторінки. Далі програма здійснює парсинг (parsing) контексту html-сторінки для вибору посилань на знайдені веб-документи та інформацію про них. Отримані дані розміщуються у вікні програми в зручному для користувача вигляді.

Вхідними даними для програмного забезпечення (рис. 3) є запит користувача у текстовому вигляді, а також база знань, у якій містяться ключові слова та їх коди. Після введення запити, він проходить текстологічну обробку (видалення зайвих пробілів та ін.). Після цього текст запити розбивається на масив слів, які несуть смислове навантаження тексту.

На наступному етапі відбувається пошук кожного елемента вищезгаданого масиву у базі знань. Якщо ключове слово знайдено в базі, то одразу ж визначається його код та записується у новий масив кодів. Таким чином, по мірі обробки кожного елемента масиву слів, заповнюється масив кодів ключових слів. Математично кожен елемент масиву кодів ключових слів являє собою множину ознак. На основі семантично пов'язаних ознак будується семантична мережа, що представляється у вигляді графу (рис. 4). Візуалізація семантичної мережі для реалізації пошуку ДІ дає можливість користувачу швидко орієнтуватися у відшуканих документах.

Здійснювати пошук можна двома способами: розширенням запити та натисканням лівою клавішею мишки на відповідну вершину графу семантичної мережі.

Якщо натиснути на червоний кружечок, який підписаний, ми отримаємо уточнений список відшуканий документів, адже підпис біля кружечка уточнює, за якою саме діагностичною ознакою буде здійснено подальший пошук. Для цього, під час візуалізації семантичної мережі, формуються набори ключових слів для кожної вітки мережі окремо. В іншому випадку, можна користуватися уже відшуканою добіркою документів за заданим запитом. Відповідно до рис. 4, 1) на запит – „мережі” сформовано граф, який має 7 вершин. Вершини червоного кольору відповідають безпосередньо ознакам, присутнім у множині ключового слова запити, а зелені переліку документів за всіма 16-ма ознаками.

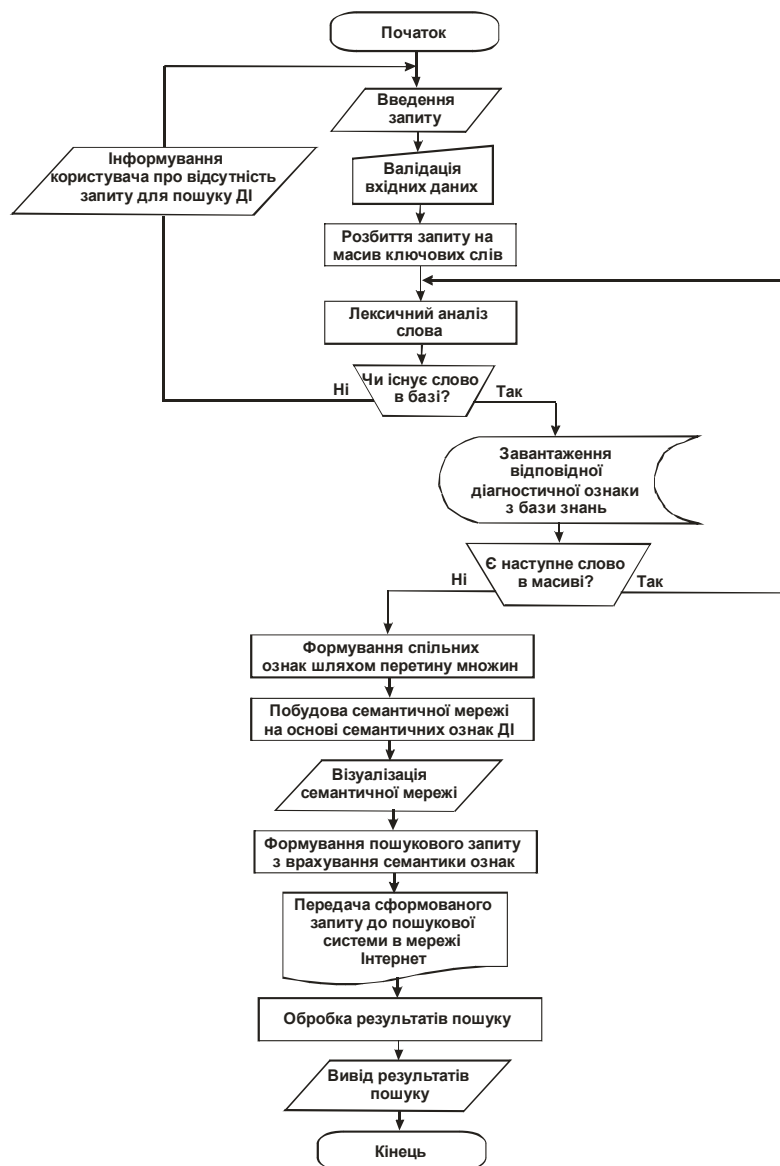


Рис. 3. Алгоритм функціонування програмного забезпечення

Щоб уникнути надлишкової інформації у результатах пошуку, необхідно вибрати з множини лише ті ознаки, які є спільними для всіх ключових слів. Це робиться шляхом перетину множин ознак, в результаті якого ми отримуємо кінцеву множину семантично пов'язаних ознак. На рис. 4, 2) зображено результат розширення запиту – „несправність мережі”. На відміну від попереднього запиту, даний сильно звужує множину відшуканих документів, що є ефективним, коли необхідно відшукати інформацію тільки за кількома ознаками.

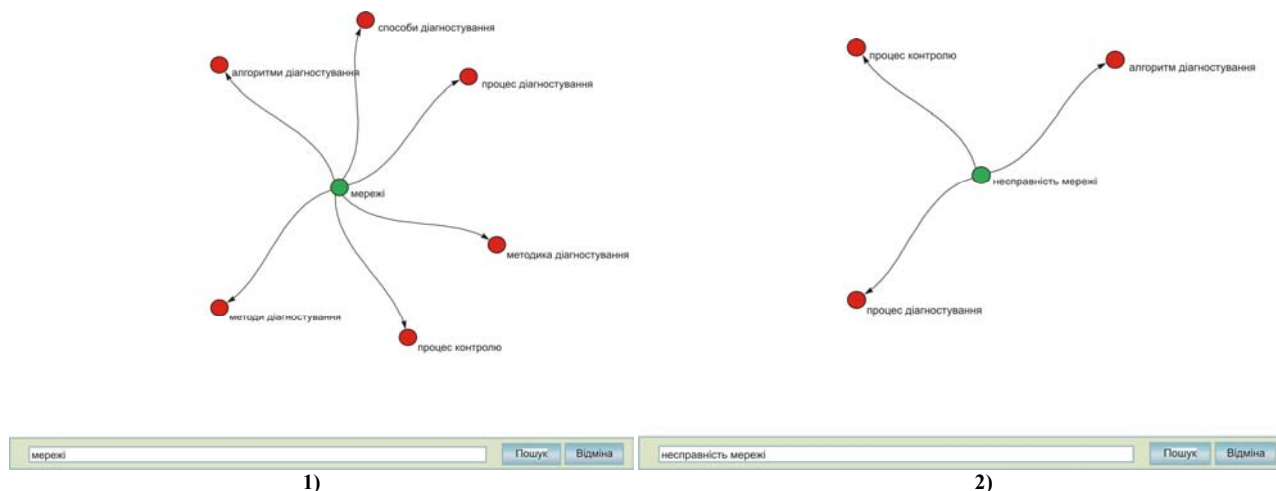


Рис. 4. Візуалізація графу семантичної мережі у відповідності до запиту „мережі”:
1 – запит „мережі”, 2 – запит „несправність мережі”

Висновки. Використання семантичної мережі сприяє створенню нових сервісів, що технічно неможливі при нинішніх принципах організації й роботи мережі Інтернет. Ланцюжок логічних висновків дозволяє одержувати інформацію, представлену в Інтернеті, у розрізненому вигляді, тобто з різних інформаційних джерел. На додаток до пошукових механізмів (search engine) пошукові системи отримують спеціальні логічні механізми (logical engine), які призначені для пошуку й обробки інформації в семантичних мережах. Комбінація цих двох пошукових механізмів дозволить покращити ефективність застосування текстологічних методів пошуку інформації.

Література

1. Локазюк В. М., Ляшкевич В. Я. Текстологічні методи пошуку діагностичної інформації для тестування комп'ютерних пристроїв // Збірник матеріалів 13 міжнародної науково-технічної конференції "Автоматика-2006". – Вінниця: УНІВЕРСУМ. – 2007. – С. 397-405.
2. Шуклин Д. Е. Применение семантической нейронной сети в экспертной системе, преобразующей смысл текста на естественном языке // Радиоэлектроника и информатика. – Х.: Изд-во ХТУРЭ, 2001. – № 2. – С. 61-65
3. Гаврилова Т. А., Хорошевский В. Ф. Базы знаний интеллектуальных систем. – СПб.: Питер, 2000. – 384 с.
4. Локазюк В.М., Ляшкевич В.Я. Оцінка ефективності використання текстологічно-нейромережного методу та засобів пошуку діагностичної інформації // Вісник Хмельницького національного університету. Технічні науки. – 2007. – № 2. – Т.1. – С. 160-166.
5. Локазюк В.М., Ляшкевич В.Я., Олар О.Я. Розроблення програмного забезпечення для опрацювання текстів з діагностичною інформацією // Науково-технічний журнал "Радіоелектронні і комп'ютерні системи". – Харків: Національний аерокосмічний університет ім. М.С. Жуковського "Харківський авіаційний інститут". – 2007. – № 6 (25). – С. 123-129.
6. Lawrence S., Giles C. L., Context and Page Analysis for Improved Web Search, IEEE Internet Computing, vol. 2, 4 pp. 38 – 46, July/August 1998.

Надійшла 24.5.2008 р.

УДК 621.37: 681.33

І.І. МІТАСОВ

Хмельницький національний університет

СХЕМОТЕХНІЧНА РЕАЛІЗАЦІЯ КОМІРКИ ДАТЧИКА В *TIMING*-СИСТЕМІ ЗБОРУ ІНФОРМАЦІЇ З ВИКОРИСТАННЯМ МІКРОКОНТРОЛЕРА PIC10F204

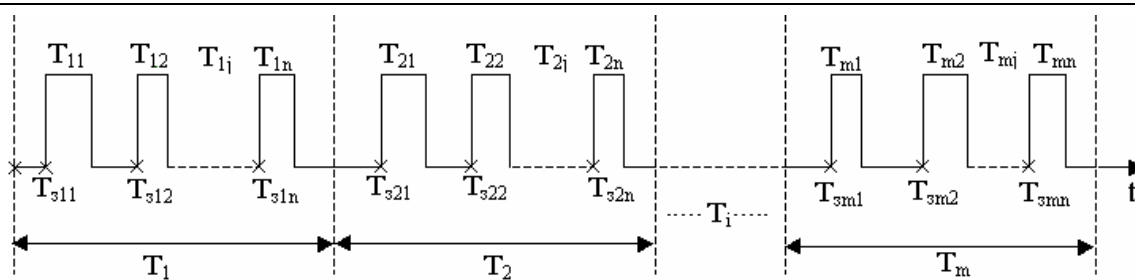
Представлена схема і параметри комірки датчика з аналоговим вузлом формування часу затримки. Запропоновано використання мікроконтролера PIC10F204 в якості схемної основи для побудови комірки датчика в системі збору інформації з датчиків. Дякуючи мінімальним габаритам (корпус з шістьма выводами) та багатофункціональності, ця мікросхема повністю перебирає на себе функції майже всіх елементів комірки датчика.

Timing-система збору інформації. Принципи функціонування

В роботах [1, 2] запропонована система багаточасового контролю (СБТК) параметрів датчиків з електричним поєднанням комірок датчика (КД) двопровідними лініями зв'язку і розподілом часу для передачі даних кожною коміркою. В цій системі використано "вкладений" часовий розподіл, тобто в заздалегідь визначену зону очікування кожна КД вбудовує свої дані у вигляді ШІМ-модульованого імпульсу. В лінії зв'язку (ЛЗ) суперпозиція сигналів-відкликів з кожної комірки являє собою точковий процес, квантування якого ефективно вирішується програмними засобами [3]. Таке моделювання систем з розподілом часу одержало назву таймерного, або *timing*-моделювання [4].

В *timing*-системі кожному параметру s_{ij} датчика ставиться у відповідність еквівалентний часовий параметр таймерного сигналу, а саме: для широтно-імпульсних (ШІМ) сигналів – тривалість імпульсу T_{ij} , амплітуда якого не несе інформаційного навантаження (рис. 1). Величина часу затримки T_{zij} визначається порядковим номером відповідної КД. Часові інтервали T_i слугують зонами очікування сигналів з i -ї дільниці.

Топологія СБТК побудована таким чином, що кожен імпульс T_{ij} з затримкою T_{zij} виробляється комірками датчика КД $_{ij}$, розташованими на відповідних дільницях в зонах контролю відповідних параметрів. Якщо вихідний ланцюг кожної КД виконати трьохстабільним або з відкритим колектором, то з'являється можливість колективізації КД, тобто об'єднання виходів усіх КД в одну спільну ЛЗ. Лінія може стати "1-Wire", якщо поєднати подання напруги живлення та відбір струмових відкликів.

Рис. 1. Моделювання параметрів s_{ij} ШІМ-сигналами T_{ij}

Функціонування СБТК базується на наступних принципах.

- Централізована подача напруги живлення групі віддалених від “центру” КД_{*i*} (*i*-а дільниця) та підключених до однієї *i*-ї лінії зв’язку (ЛЗ_{*i*}).
- Використання однієї і тієї ж двопровідної ЛЗ_{*i*} для подачі напруги живлення в напрямку “центр” → КД_{*i*} і передачі струмових ШІМ сигналів в зворотньому напрямку.
- Виконання переднім фронтом імпульсу напруги живлення в ЛЗ_{*i*} функцій тактового сигналу, або сигналу запиту, t_k .
- Черговість відкликів КД_{*j*}, починаючи від меншого номеру до більшого, у відповідь на сигнал запиту.
- Сумарний час відкликів всіх КД_{*j*} однієї ЛЗ_{*i*}, менший ніж час існування напруги живлення в лінії.
- Перетворення різномірної (виробничо-технологічної, біологічної, екологічної та ін.) інформації в уніфікований параметр таймерного сигналу (найбільш зручна форма – тривалість імпульсу) і масштабування цієї інформації в кожній КД_{*j*}.
- Програмне оцифрування інтервалів T_{ij} таймерного сигналу з подальшою логіко-арифметичною обробкою зібраної інформації в “центрі”.

Отже, багатоточковий контроль множини параметрів s_{ij} ефективно реалізується *timing*-системою з перетворенням s_{ij} в параметри T_{ij} таймерного сигналу. Цей спосіб є гібридним за формою представлення інформації і за елементною базою: аналогова частина СБТК розподілена по периферії між усіма КД, а цифрові функції повністю перекадані на програму, виконувану в “центрі” мікроконтролером.

Такі принципи і підходи дозволяють побудувати таймінгову СБТК параметрів датчиків з мінімальним числом проводів в ЛЗ та ще й з найвищою системною швидкістю.

Опис існуючої схеми комірки датчика

Експериментально відпрацьована і досліджена КД за наступним схемним рішенням (рис. 2).

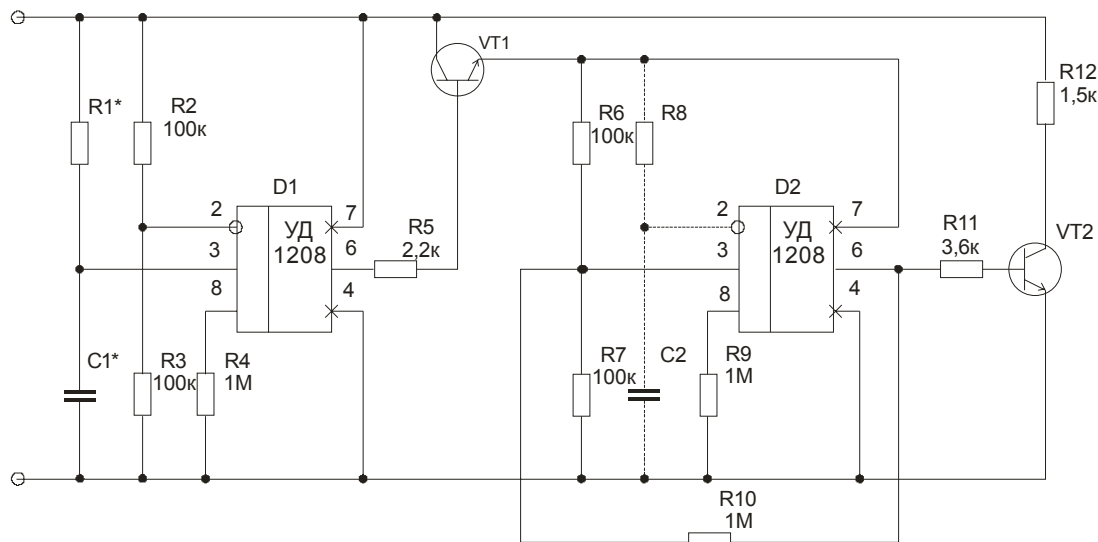


Рис. 2. Принципова схема комірки датчика

Ця схема суто аналогова і побудована на операційних підсилювачах (ОП) КР140УД1208 з малим струмом споживання. На цих ОП реалізовані два каскади затримки (аналогові таймери): перший відпрацьовує час затримки T_{zj} , визначений порядковим номером відповідної КД, а другий виконує перетворення «первинний параметр – ШІМ». Для спрощення пояснень пунктирними лініями на схемі показані елементи R8 і C2, що замінюють резистивні або ємнісні датчики. При перетворенні напруги або струму цей ланцюг дещо ускладнюється, але основна схема комірки датчика не змінюється. Транзистор VT1 є перемикачем для подання напруги живлення на мікросхему D2, а транзистор VT2 слугує струмовим ключем для подання в лінію зв’язку підвищеного струму на час існування ШІМ-сигналу в лінії.

Випробування представленої схеми КД проводилися з наступними експлуатаційними параметрами:

- напруга в лінії – 12В, кількість КД в лінії – 32;
- часові параметри: інтервали T_j ШІМ-сигналів в діапазоні 0,1...10 мс (конденсатор С2 К73-5 0,1 мкФ, датчик – R8 в діапазоні 1...100 кОм); розподіл затримок T_{zj} в мс відображений в табл. 1.

Таблиця 1

Часові інтервали затримок для 32-х КД в i -й лінії зв'язку

№ КД	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
T_{zj}	1,0	13	26	39	52	66	81	96	111	127	144	161	178	196	215	234
№ ДК	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32
T_{zj}	253	273	294	315	336	358	381	404	427	451	476	501	526	552	579	606

Слабким місцем цієї схеми є аналоговий вузол формування затримки T_{zj} , котра встановлюється ланцюжком $R1 \cdot C1^*$. Зі збільшенням номера КД нестабільність переднього фронту ШІМ-сигнала зростає, загрозовано стає можливість виходу імпульсів за межі відповідних зон очікування.

Отже, визначимо метою подальшого дослідження підвищення стабільності позиціонування ШІМ-сигналу за рахунок переходу до цифрового (лічильникового) методу формування затримки T_{zj} .

Мікроконтролери PIC10F20X

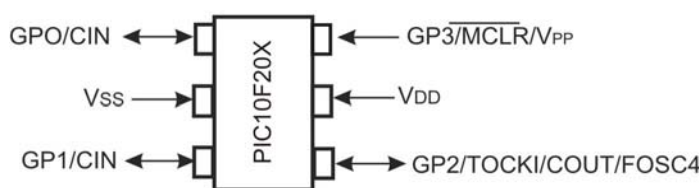


Рис. 3. PIC10F20X – найменший з серії PIC

Основне призначення найменшого з серії PIC мікроконтролера PIC10F20X (рис. 3) – заміна декількох логічних елементів, тому цей тип мікроконтролерів оснащений пам'яттю малого об'єму. Крім того, завдяки вбудованому компаратору, можна замінити і аналогові компоненти. Сигнал з виходу цього компаратора може внутрішньо прочитуватися або подаватися на вхід таймера Timer0. Проте, скромні характеристики PIC10F нітрохи не говорять про його слабкість. За допомогою 512 програмних слів вже реалізовано ряд серйозних багатозадачних програм.

Таблиця 2

Об'єми пам'яті і наявність компаратора у представників PIC10F

Тип	Пам'ять програм, в словах	Пам'ять даних, байт	Модуль компаратора
PIC10F200	256	16	-
PIC10F202	512	24	-
PIC10F204	256	16	Є
PIC10F206	512	24	Є

Перелічимо основні характеристики PIC10F [5]:

- пам'ять програм на 256/512 слова, пам'ять даних на 16/24 байт;
- ядро 5X; команди SLEEP, TRIS і OPTION;
- внутрішній осцилятор частоти 4 МГц; можливість отримати $F_{osc}/4$;
- діапазон робочої напруги – 2,0...5,5 В;
- чотири виводи портів: три – входи/виходи; один – тільки вхід;
- тип входів – TTL; тип виходів – КМОП; входи TOCKI і MCLR – з тригером Шмітта;
- три виводи з внутрішніми підтягуючими резисторами;
- компаратор з опорною напругою;
- таймер TMR0 і сторожовий таймер;
- корпус на 6/8 виводів.

Об'єми пам'яті і наявність модуля компаратора вказані в табл. 2.

Мікроконтролер PIC10F може працювати виключно на своєму внутрішньому осциляторі з частотою 4 МГц. При цьому діапазон напруги живлення складає 2,0...5,5 В. Точність внутрішнього осцилятора цілком прийнятна. Як і у разі будь-якого іншого мікроконтролера з внутрішнім RC-осцилятором, в серії PIC10F використовується регістр OSCCAL, вже запрограмований Microchip. Значення коректування розміщується в команді MOVLW в останньому елементі пам'яті програм. При стиранні кристала і новому програмуванні ця інформація втрачається, якщо, звичайно, заздалегідь не поклопотатися про її збереження. Оскільки в даному випадку мова йде про флеш-пам'ять, ми дістаємо можливість самостійно встановлювати і коректувати значення регістра OSCCAL.

Внутрішні стани і ядро 5X

5X – це просте процесорне ядро, відоме по мікроконтролеру PIC16C54 і ін. Воно підтримує тільки 33 команди і не обробляє переривання. Завантаження регістрів TRIS і OPTION знову таки виконується за допомогою команд OPTION і TRIS. Безпосередній доступ неможливий.

Для програмування важливим є розподіл розрядів в регістрі OPTION (табл. 3).

Таблиця 3

Структура регістра OPTION у разі ядра 5X

Розряд	7	6	5	4	3	2	1	0
Позначення	/GPWU	/GPPU	T0CS	T0SE	PSA	PS2	PS1	PS0
Стан після скидання	1	1	1	1	1	1	1	1

Також у разі ядра 5X використовуються внутрішні підтягуючі резистори і "пробудження" по зміні рівня сигналу на деякому виводі. Хоча подібні мікроконтролери PIC і не підтримують переривання, існує можливість переводити їх в енергозберіжний "сплячий" режим з "пробудженням" по різних діях. Серед таких дій, що "будять", можна назвати:

- зміна рівня сигналу на деякому виводі;
- перемикання виводу компаратора;
- переповнення сторожового таймера.

Переповнення таймера Timer0 до цього списку, природно, не відноситься. Для того, щоб Timer0 міг формувати переповнення, він повинен постійно працювати, проте, за визначенням, головний осцилятор в "сплячому" режимі відключений. Таким чином, таймер мав би бути забезпечений зовнішнім тактовим сигналом, але властивості ядра 5X такі, що зовнішній такт для Timer0 теж не помічник. Іншими словами, переповнення Timer0 ніяк не може привести до виводу зі "сплячого" режиму.

Виводи подинці

GP0. Якщо цей вивід включений як звичайний вхід, то він TTL-сумісний. Для живлячої напруги в діапазоні 4,5...5,5 В це означає, що напруга нижче 0,8 В розпізнається як низький рівень, а напруга вище 2 В – як високий, вихідний каскад – типу КМОП.

При використанні GP0 в якості виходу може виникнути фальсифікація вихідного рівня в результаті перевантаження. Навантаження більше 10 мА призводить до підвищення вихідної напруги, відповідної низькому рівню, до значення вище 0,8 В. Оскільки такий рівень лежить в "забороненому" діапазоні, низький рівень на виводі, перемкнутому в стан входу, більш не може вважатися достовірним. У гіршому разі вихідний рівень підвищується до значення понад 2,0 В, що приводить до помилкового розпізнавання високого рівня. Отже, існує проблематика команд типу "читання-модифікація-запис", якщо маються на увазі логічні або арифметичні операції, що реалізуються за допомогою таких команд як ADDWF, IORWF, BCF, BSF та ін. У всіх таких командах прочитується байт або порт, значення змінюється і потім знову записується.

Нарешті, для виводу GP0 допускається програмування підтягуючого резистора, а також подача сигналу для виведення мікроконтролера зі "сплячого" стану.

Якщо у разі внутрішньосхемного послідовного програмування вивід GP0 використовується як лінія ICSPDAT, то він приймає характеристики вхідного каскаду з тригером Шмітта. Якщо ж він використовується як вхід компаратора CIN+, тоді стає аналоговим входом.

GP1. Для цього виводу справедливо все, що було сказано вище для виводу GP0, за тим виключенням, що у разі внутрішньосхемного послідовного програмування він виконує функції лінії ICSPCLK. Вхід компаратора, відповідний виводу GP1, називається CIN-.

GP2. Вивід GP2 може працювати як звичайний вхід/вихід, проте без підтягуючого резистора і можливості "пробудження" мікроконтролера. Альтернативно цей вивід може служити як вхід для таймера TIMER0 (T0CKI). В цьому випадку він приймає характеристики вхідного каскаду з тригером Шмітта. Ще один варіант конфігурації виводу GP2 – вихід компаратора COUT (див. розряд COUTEN в регістрі CMCON0).

І останній варіант використання – для видачі імпульсів з частотою, рівною однієї четвертої частоти системної синхронізації (Fosc/4). Див. розряд FOSC4 в регістрі OSCCAL.

GP3. Вивід GP3 не має вихідного каскаду і може працювати як звичайний вхід TTL. Подібно до виводів GP0 і GP1, GP3 оснащений підтягуючим резистором і допускає "пробудження" мікроконтролера зі "сплячого" стану по зміні рівня сигналу (див. розряди /GPWU і /GPPU в регістрі OPTION). Вибіркове включення підтягуючих резисторів неможливе: або всі (GP0, GP1 і GP3), або жоден. Це ж відноситься і до характеристик "пробудження".

Другий спосіб використання виводу GP3 – як вхід /MCLR, за допомогою якого можна подати сигнал скидання, активний у разі низького рівня. У такій конфігурації вхід набуває характеристик тригера Шмітта, а підтягуючий резистор підключається автоматично.

Вивід GP3 функціонує повністю незалежно від інших виводів, вхідна напруга на ньому не може перевищувати напругу живлення, інакше відбудеться перехід в режим програмування. Таким чином, ми підійшли до третього способу використання виводу GP3: якщо вивід GP3 використовується як вхід при програмуванні, на нього подається напруга програмування 13 В.

Треба мати на увазі, що вхідна напруга не повинна перевищувати рівня напруги живлення. Це, звичайно ж, відноситься до всіх виводів, а не тільки до GP3. Якщо і не відбудеться перемикання в режим програмування, то у будь-якому випадку почне протікати струм через захисні діоди, що у гіршому разі може привести до знаменитого тиристорного ефекту (latch-up effect), а це означає смерть мікроконтролера.

Модуль компаратора

Модуль компаратора містить аналоговий компаратор і внутрішнє джерело опорної напруги. Аналогові входи мультиплексовані з виводами GP0 і GP1, а вихід компаратора може бути підключений на вивід GP2. Втім, це не обов'язкова умова, оскільки результат роботи компаратора можна опитувати внутрішньо або подавати безпосередньо на вхід таймера TIMER0.

Регістр CMCON0 (табл. 4), окрім розрядів настроювання різних опцій, містить також розряд, що має відношення до виходу компаратора.

Розряд 7 (CMPOUT) відповідає виходу компаратора. Його можна опитати у будь-який момент.

За допомогою розряду 6 (/COUTEN) вихід компаратора можна додатково з'єднати з виводом GP2, щоб видавати результат порівняння напруги в зовнішні модулі.

Таблиця 4

Структура регістра CMCON0

Розряд	7	6	5	4	3	2	1	0
Позначення	CMPOUT	/COUTEN	POL	/CMPT0CS	CMPON	CNREF	CPREF	/CWU
Стан після скидання	1	1	1	1	1	1	1	1

Полярність виходу компаратора перемикається за допомогою розряду 5 (POL).

Щодо розряду 4 (/CMPT0CS), мова йде про джерело тактового сигналу для таймера TIMER0. Якщо цей розряд містить 0, то вихід компаратора використовується безпосередньо як тактова лінія для TIMER0, якщо ж він містить 1, то джерело тактування таймера визначається за станом розряду T0CS в регістрі OPTION.

Під номером 3 (CMPON) ховається "головний рубильник" компаратора. Якщо цей розряд містить 0, то модуль компаратора вимкнений.

За допомогою розряду 2 (CNREF) входу від'ємної напруги компаратора призначається опорна напруга або сигнал на виводі CIN-.

За допомогою розряду 1 (CPREF) входу додатної напруги компаратора призначається сигнал на виводі CIN+ або CIN-.

Якщо розряд 0 (/CWU) містить 0, то компаратор може виводити мікроконтролер PIC зі "сплячого" стану. Інакше він такої можливості не має.

Використання PIC10F204 в комірці датчика

Виходячи з табл. 2, можна запропонувати використання в КД як PIC10F204, так і PIC10F206, оскільки обидва містять в собі компаратор. Решта контролерів PIC10F20X з цієї причини не придатні для використання. Розуміючи з логіки роботи КД, що витрати пам'яті очікуються мінімальними, з точки зору дешевизни доцільніше впроваджувати саме МК PIC10F204.

Отже, пропонується наступний алгоритм роботи PIC10F204 в КД:

- Сторожовий таймер ініціалізувати числом, пропорційним номеру комірки датчика в лінії.
- Перевести МК в «сплячий» режим по передньому фронті напруги живлення в лінії (можна задіяти команди CLRWDT або SLEEP, котрі обнуляють лічильник сторожового таймера і лічильник переддільника). Оскільки сторожовий таймер включений, то він обнуляється і починає відлік затримки. У регістрі STATUS скидається біт PD і встановлюється біт TE. Тактовий генератор відключається. Виводи портів зберігають стан, який був безпосередньо перед виконанням команди SLEEP.

- Вивести МК зі «сплячого» стану по переповненню сторожового таймера (виконується автоматично).

- Встановити високий рівень напруги на виводі GP2 (для перемикання зовнішнього ключа і видачі початку відклику КД в лінію). Запускається перехідний процес в датчиковому ланцюжку і на вході компаратора.

- Встановити в регістрі CMCON0 розряд 6 (/COUTEN), щоб з'єднати вихід компаратора з виводом GP2, видаючи результат порівняння напруги в зовнішні кола, і встановити розряд 5 (POL) для правильного формування кінця відклику КД в лінію (перехід від високого рівня напруги в низький).

У такий спосіб на на виводі GP2 сформується ШІМ-сигнал прямої полярності і через зовнішній ключ буде виданий струмовий відклик комірки датчика в лінію.

Висновки. Аналогова схема комірки датчика, відпрацьована експериментально, має обмеження по кількості комірок в одній лінії до 32-х, за рахунок зростання нестабільності часу затримки. Запропонований алгоритм використання мікроконтролера PIC10F204 (або PIC10F206) передбачає формування затримки цифровим методом і значно спрощує конструкцію КД.

Література

1. А.с. № 1180950 СССР. Устройство для сбора информации /Митасов И.И. – Оpubл. 23.09.85, Бюл.

№ 35.

2. Мітасов І.І. Діагностичні можливості таймерної моделі багатоточкового контролю виробничо-технологічних параметрів // Вісник Технологічного університету Поділля. – 2004. – № 2. – Ч.1. – Т.1. – С. 62-68.

3. Мітасов І.І. Квантовані марківські точкові процеси у біометрії та медичній діагностиці. Вісник Хмельницького національного університету. – 2005. – № 4. – Ч.1. – Т.2. – С. 181-187.

4. Мітасов І.І. *Timing*–моделирование в системах многоточечного контроля // Труды 8-й международной научно-практ. конф. «Современные информационные и электронные технологии», 21-25 мая 2007. – Одесса. – С. 84.

5. PIC10F200/202/204/206 Data Sheet. 6-Pin, 8-Bit Flash Microcontrollers // www.microchip.com

Надійшла 14.5.2008 р.

УДК 685.34

О.А. МИХАЙЛОВСЬКА
Хмельницький національний університет

ХАРАКТЕРИСТИКА ПОКАЗНИКІВ ЯКОСТІ СПЕЦІАЛЬНОГО ДИТЯЧОГО ВЗУТТЯ ДЛЯ ЗАНЯТЬ СПОРТИВНИМИ БАЛЬНИМИ ТАНЦЯМИ

Визначено напрямки розробки конструкцій спеціального дитячого взуття для спортивних бальних танців, що відповідають комплексу вимог спортсменів.

Постановка проблеми

З кожним роком збільшується кількість людей, які свій вільний час віддають активному відпочинку, заняттям фізичною культурою та спортом. Заняття спортом починаються ще в ранньому дитинстві. Зокрема, заняття спортивними танцями розпочинаються у 6-7-річному віці. Конструкція спеціального дитячого взуття для спортивних бальних танців далека від досконалості з багатьох позицій. А тому, необхідно визначити напрямки розробки конструкцій спеціального дитячого взуття для спортивних бальних танців, що відповідають цілому комплексу вимог спортсменів-танцюристів до даного виду спортивного взуття.

Аналіз останніх досліджень і публікацій

Проектуванню спортивного взуття на основі вихідних даних, що зумовлюють раціональність майбутньої конструкції, присвячені роботи І.І. Половнікова [1, 2]. Навчальні посібники „Біомеханічні особливості проектування спортивного взуття” та „Проектування низу спортивного взуття” висвітлюють особливості проектування і конструювання спортивного взуття, спеціальних колодок для його виробництва. Водночас в даних посібниках визначені функціональні вимоги до різних конструкцій спортивного взуття, призначеного для занять відповідними видами спорту; вимоги до конструктивного рішення форми спортивного взуття; особливості анатомії, фізіології, антропометрії і біомеханіки стоп спортсменів відповідної групи та вимоги до взуття, що звідси випливають; гігієнічні вимоги до спортивного взуття.

Формулювання цілі статті

З метою створення раціональної конструкції дитячого спеціального взуття для занять спортивними танцями необхідно визначити напрямки його розробки, що відповідають комплексу вимог спортсменів-танцюристів.

Виклад основного матеріалу

Масове виробництво спортивного взуття вимагає безперервного вдосконалення способів його конструювання у відповідності зі зростанням вимог до якості і формуванням нових факторів експлуатаційних вимог, що характерні для конкретних видів спорту.

Специфіка роботи стопи при заняттях різними видами спорту викликає необхідність створення конструкцій взуття різноманітного цільового призначення. Розробка конструкцій спортивного взуття, що відповідають комплексу вимог спортсменів, є найбільш складною задачею. Приступаючи до проектування, необхідно визначити основні напрямки роботи. Пошук естетично виразної форми і функціонально доцільної конструкції реалізується в ескізних проектах і схемах загального виду взуття, що створюється, з яких вибирають найкращі.

Пошук ведеться в двох аспектах: функціональному і конструктивному. Метою функціонального пошуку є забезпечення відповідності властивостей взуття його призначенню в даному виді спорту.

При конструктивному аналізі необхідно знайти конструктивні рішення як форми окремих деталей взуття, так і загальної форми, що враховують особливі вимоги, які визначаються умовами експлуатації взуття при заняттях конкретним видом спорту.

При проектуванні спортивного взуття повинні задовольнятися основні вимоги: забезпечення комфортності стопи і відповідність фізико-механічних властивостей взуття умовам спортивної діяльності [1, 2].

Усе вище викладене свідчить про те, що найпершим етапом проектування спортивного дитячого взуття для занять спортивними танцями є визначення вихідних даних, що зумовлюють раціональність майбутньої конструкції, до числа яких відносяться наступні: функціональні вимоги до конструкції даного виду; вимоги до

конструктивного рішення форми даного виду спортивного взуття; особливості анатомії, фізіології, антропометрії і біомеханіки стоп спортсменів-танцюристів та вимоги до спортивного дитячого взуття для занять спортивними танцями, що звідси впливають; гігієнічні вимоги до даного виду спортивного взуття; попередня техніко-економічна характеристика конструкцій взуття.

Функціональність спортивного дитячого взуття для занять спортивними бальними танцями (СБТ) можна розглядати як комплекс властивостей з визначеними взаємозв'язками і взаємопідлеглістю, що залежать від цільового призначення взуття.

Для того, щоб правильно встановити вагомість окремих властивостей спортивного взуття для занять спортивними танцями, а також їх оптимальні показники, необхідно мати об'єктивні дані біомеханічних досліджень про взаємодію елементів системи стопа– взуття– опора при заняттях СБТ.

Спортивні танці характеризуються великим різновидом рухів спортсменів-танцюристів, причому як з точки зору техніки, тобто безпосередньо рухових дій, так і з точки зору наявності рухів, що не супроводжуються зміною позиції тіла, або навіть окремих його частин в просторі.

Велика частина конкретних рухів танцюристів мають складну структуру. Всі технічні дії можуть бути поділені на прості і складні. В процесі виконання танцювальних рухів паралельно або послідовно з'єднуються повороти або обертання корпусу, підйоми-спуски, нахили, окремі рухи ніг і рук, рухи окремих частин корпусу.

Для сучасного спортивного взуття можна виділити дві функції: основну, тобто забезпечення можливості досягнення високих спортивних результатів, і допоміжну, до якої можна віднести захист від впливу зовнішнього середовища, травм, а також профілактику захворювань стоп спортсменів. Відповідність спортивного взуття вимогам, що забезпечують виконання основної функції, визначається поєднанням оптимальної внутрішньої форми, наявністю відповідних властивостей верху і низу взуття, відповідністю взуття та спортивного інвентарю [1].

Показники якості спортивного взуття діляться на такі групи: функціональні, ергономічні, гігієнічні і естетичні [1].

До групи функціональних показників відносяться показники властивостей, що забезпечують надійність взуття при експлуатації протягом певного часу, що гарантується стандартом на даний вид спортивного взуття, а також оптимальні умови функціонування стопи у взутті, а саме показники: надійності, міцності кріплення деталей верху і низу, загальної та залишкової деформації підноска і задника, забезпечення функції руху (міцність після стомлення в'язково-геленкового вузла взуття, опір підошви стиранню).

Інтенсивність експлуатації спортивного взуття для занять спортивними бальними танцями значно більша, ніж побутового. При виконанні спортивних бальних танців частота стикання з опорою збільшується в два-три рази при одночасному зростанні динамічного навантаження в чотири-п'ять разів. Змінюється також і характер згину взуття, що застосовується для СБТ: в момент стикання з опорою кут нахилу геленкової частини по відношенню до пучкової на 20-25° більше аналогічного кута побутового взуття.

Зносостійкість спортивного взуття для СБТ визначається міцністю матеріалів і надійністю їх з'єднання. Отже, вимоги до міцності матеріалів і надійності їх з'єднання практично для усіх видів спортивного взуття для СБТ повинні бути більшими, ніж для побутового взуття.

Формостійкість спортивного взуття для СБТ – одну із складових надійності – можна визначити як здатність спортивного взуття в умовах експлуатації і зберігання тривалий час залишати незмінними свої розміри і форму. Формостійкість спортивного взуття для СБТ, яке в значній степені підлягає активному впливу стопи, є його важливою специфічною властивістю, і тільки при достатньо високих значеннях цього показника взуття для СБТ сприяє досягненню найкращих спортивних результатів.

Одночасно з традиційними функціональними властивостями спортивного взуття для СБТ, що забезпечують його надійність протягом всього терміну експлуатації, важливими є фрикційні властивості низу взуття. Зчеплення підошви з опорною поверхнею характеризується коефіцієнтом тертя опорної поверхні підошви по поверхні паркетної підлоги. Коефіцієнт тертя залежить від властивостей матеріалу підошви взуття для СБТ, а також поверхні покриття площадки для виконання СБТ.

Оскільки, виконання спортивних рухів при виконанні СБТ пов'язане з підвищеними навантаженнями на плесно-фалангову ділянку стопи, то до специфічних властивостей спортивного взуття для СБТ необхідно віднести також амортизаційні властивості, тобто властивість розосередження опорного навантаження, сконцентрованого на локальних ділянках. Ця властивість тісно пов'язана з опорною жорсткістю спортивного взуття для СБТ, показники якої до цих пір ще недостатньо досліджені.

Ергономічні показники якості взуття, що характеризують систему стопа-взуття, враховують комплекс антропометричних та фізіологічних властивостей, що проявляються в процесі експлуатації взуття. До фізіологічних показників (ті, що впливають на енерговитрати спортсмена в процесі експлуатації взуття) відносять масу та гнучкість взуття. Антропометричні показники характеризують відповідність внутрішньої форми взуття розмірам і формі стопи спортсмена (упорність взуття та т.ін.).

Маса взуття для спортивних бальних танців завжди менша, ніж маса звичайного взуття. Матеріал верху танцювального взуття, матеріал каблука (найчастіше дерево, пластик) такі, щоб вага взуття була мінімальною, оскільки навантаження в спортивних танцях високі і надлишкова вага взуття перетворюється в додаткове навантаження на стопу.

У взутті для спортивних танців стопа повинна працювати зі значними амплітудами, підніматися, опускатися, згинатися, розгинатися, повертатися. А тому, спортивне взуття, призначене для виконання

спортивних танців латиноамериканської програми, повинно згинатися так, щоб носок міг торкатись каблука, причому як через підошву, так і в іншу сторону. Спортивне взуття, призначене для виконання спортивних танців європейської програми, повинно сприяти відпрацюванню перекаату стопи по паркетній підлозі.

Внутрішня форма взуття для занять спортивними бальними танцями не відповідає антропометричним особливостям стоп спортсменів-танцюристів, оскільки спортивне взуття для СБТ виготовляється на колодках для масового виробництва дитячого взуття.

Гігієнічні показники використовують при визначенні відповідності взуття гігієнічним вимогам функції стопи в складних умовах експлуатації спортивного взуття. До них відносяться: показники, що визначають захист стопи від вологи (водопромоклість в динамічних та статичних умовах, вологопоглинання та вологовіддача пакету деталей верху), дія статичної електрики (питомий об'ємний електричний опір системи матеріалів верху і низу взуття, поверхнева щільність електричних зарядів системи матеріалів верху і низу взуття); показники, що забезпечують оптимальний повітро- та паро-обмін стопи з довколишнім середовищем (повітро- та паропрониклість пакету деталей верху); показники, що забезпечують теплозахисні властивості взуття (сумарний тепловий опір взуття). Для спортивного взуття, що використовується для занять спортивними бальними танцями, важливі показники вологопоглинання та вологовіддачі пакету матеріалів деталей верху і низу взуття, показники дії статичної електрики та показники повітропрониклості пакету деталей верху взуття.

Естетичні показники характеризують зовнішній вигляд взуття – інформаційну виразність, цілісність композиції і ступінь досконалості його промислового виробництва. Для спортивного взуття визначають в балах відповідність силуету взуття сучасним естетичним вимогам з врахуванням напрямків моди, зовнішній та внутрішній вигляд взуття. У латиноамериканській програмі найчастіше взуття зливається з костюмом, акцент припадає на каблук, лінія взуття плавно переходить у лінію штанів, носкова частина взуття повинна бути дещо завужена. Саме тому у взутті для занять спортивними бальними танцями латиноамериканської програми дуже важливо підкреслити лінію підйому стопи. Це можна зробити за допомогою збільшення висоти каблука (для жіночого взуття висота каблука сягає 80-110 мм) і за допомогою використання лакової шкіри (для чоловічого взуття). Взуття для виконання спортивних бальних танців європейської програми повинно створювати враження стійкості, подовговатості, момент підкреслення лінії підйому стопи менш важливий – носок відтягається в меншій кількості рухів. Тут більш важливий плавний перекаат стопи, тому висота каблука складає 50-70 мм.

Висновки

З метою створення досконалої конструкції дитячого спеціального взуття для занять спортивними бальними танцями було визначено основні показники якості цього взуття, а саме:

- функціональні;
- ергономічні;
- гігієнічні;
- естетичні.

З точки зору функціональності для спеціального дитячого взуття для спортивних бальних танців важливими показниками якості є зносостійкість та формостійкість.

Значна інтенсивність експлуатації взуття для СБТ вимагає підвищеної зносостійкості, яка визначається міцністю матеріалів і надійністю їх з'єднання.

Формостійкість є важливою специфічною властивістю, що сприяє досягненню найкращих спортивних результатів при достатньо високих значеннях її показників.

Одночасно з вище зазначеними функціональними властивостями важливими для даного взуття є фрикційні властивості низу. Матеріал підошви повинен, з одного боку, забезпечувати ковзання спортсмена-танцюриста по паркету, а, з другого боку – дозволяти контролювати паркет стопою у взутті.

Однією з найважливіших властивостей функціональності спеціального дитячого взуття для спортивних бальних танців визначено амортизаційну властивість низу взуття, оскільки динамічність СБТ спричиняє виникнення значних опорних навантажень.

Ергономічні показники якості взуття для СБТ такі як маса і гнучкість в значній мірі впливають на енерговитрати дітей-танцюристів, а тому їх величини мають бути оптимальними: маса – якомога меншою, а гнучкість – максимальною. Для забезпечення упорності необхідно розробити колодку, що відповідала б антропометричним особливостям стоп дітей-танцюристів.

З точки зору гігієнічності взуття для СБТ повинно мати високі показники вологопоглинання та вологовіддачі пакету матеріалів деталей верху і низу взуття, показники повітропрониклості пакету деталей верху взуття, та оптимальні показники дії статичної електрики.

Не менш важливими для спеціального дитячого взуття для СБТ є естетичні показники, що характеризують зовнішній вигляд взуття: інформаційна виразність, цілісність композиції і ступінь досконалості його промислового виробництва.

Література

1. Половников И.И. Биомеханические особенности проектирования спортивной обуви. Учебное пособие – К.: Знання, 2000.
2. Половников И.И. Проектирование низа спортивной обуви. – К.: Знання, 2001.

3. Біомеханіка спорту / Під ред. А.М. Лапугіна. – К.: Олімпійська література, 2001.

4. Фукин В.А., Костылева В.В., Лыба В.П. Проектирование обувных колодок. – М.: Легпромбытиздат, 1987.

Надійшла 23.5.2008 р.

УДК 681.513

Д.Н. МОАМАР, Т.Ю. УТКИНА, Л.А. ШУВАЛОВА
Черкасский государственный технологический университет

МЕТОД МОДЕЛИРОВАНИЯ АЛГОРИТМОВ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО УПРАВЛЕНИЯ ФАСОВОЧНО-УПАКОВОЧНЫМИ МАШИНАМИ

Пропонується метод моделювання алгоритмів автоматизованого управління фасувально-пакувальними машинами, який дозволяє розробляти програмні комплекси автоматизованого управління фасувально-пакувальним обладнанням. Метод моделювання алгоритмів автоматизованого управління фасувально-пакувальними машинами полягає в застосуванні інформаційної технології проектування структурно-функціональних моделей кінцевих автоматів для синтезу алгоритмів автоматизованого управління технологічними процесами. У статті детально висвітлені методи та засоби лінгвістичної компіляції, описані типи використовуваних ними даних. Дано опис режимів, в яких може застосовуватися запропонований метод для проектування або модифікації програмних комплексів автоматизованого управління технологічними операціями, що забезпечує розширення їх функцій.

Введение

С развитием микроэлектроники к технологиям проектирования цифровых изделий предъявляются все новые и новые требования. Основным параметром любой разработки является сокращение периода time-to-market, что предполагает активное участие ведущих фирм мира в поиске новых методов и средств моделирования, верификации и тестирования проектируемых устройств систем автоматизированного управления.

Управляющие автоматы, которые представляют устройства с конечным числом состояний, используются во многих автоматизированных комплексах. Разработка графов состояний цифровых автоматов для автоматизированного управления сложными технологическими процессами является трудоемкой задачей, поскольку в синтезируемых алгоритмах необходимо строго соблюдать последовательность активизации исполнительных механизмов, которая определяется технологом и задается в виде циклограммы.

Различают два типа автоматов: автомат Мура и автомат Мили, вопросы формального описания которых подробно рассмотрены в работах [1, 2]. Однако принципы построения цифровых автоматов по заданным циклограммам состояний исполнительных механизмов автоматизированных систем раскрыты недостаточно подробно.

Цель данной статьи заключается в разработке метода моделирования алгоритмов автоматизированного управления исполнительными механизмами фасовочно-упаковочными машинами (ФУМ) в среде Active-HDL и выборе оптимальных сценариев управления, обеспечивающих повышение производительности расфасовки и упаковки продукции, улучшающих качество продукции и уменьшающих технологические потери фасуемых компонентов.

Решение данной задачи осуществляется в условиях, когда объектом управления является сложная техническая система, состоящая из заданного количества N исполнительных механизмов, состояния которых контролируются датчиками. Поскольку обычно все механизмы имеют два конечных положения, то число датчиков равно $2N$.

Для каждого исполнительного механизма необходимо обеспечить строгое соблюдение последовательности выполнения следующих операций:

- активизация механизма в заданный момент времени;
- контроль достижения механизмом первого конечного положения;
- задание продолжительности включенного состояния механизма и его выключение;
- контроль достижения механизмом второго конечного положения.

К поломке механизмов или выпуску некачественной продукции может привести выполнение хотя бы одной из данных операций не в заданные промежутки времени. Для соблюдения требований технологического процесса цифровой автомат, управляющий N механизмами, в худшем случае, не считая начального, конечного и состояния для обработки неисправностей, должен иметь $4N$ состояний. В лучшем случае, когда все механизмы работают синхронно, потребуется всего 4 состояния для формирования цифровым автоматом управляющих сигналов. Однако вероятность такого совпадения событий очень мала.

Необходимым условием корректности модели цифрового автомата должно быть наличие двух сигналов управления для каждого исполнительного механизма: включения $Z_i \leq '1'$ и выключения $Z_i \leq '0'$. Модель цифрового автомата, удовлетворяющая данным условиям, позволит наглядно отобразить все причинно-

следственные связи технологического процесса, что сократит ошибки при дальнейшем синтезе проекта автомата с помощью наиболее распространенных инструментальных средств.

На этапе синтеза проекта важным является исследование способов построения сложных автоматов. На этом этапе создают модель иерархического конечного автомата HFSM (Hierarchical Finite State Machine). Иерархическое представление, удобно, когда нужно получить представление об общих принципах работы системы, а затем перейти к детальному анализу конкретных аспектов.

1. Представление алгоритма функционирования ФУМ в виде модели конечного автомата

Рассмотрим функционирование автомата, управляющего механизмами ФУМ, согласно циклограмме, разработанной технологом и приведенной на рис. 1. ФУМ обеспечивает отделение стаканчиков, заполняет их продуктом с помощью дозатора, закрывает фольговой крышкой, которую маркирует и приваривает к стаканчику, а затем укупоривает полимерной крышкой [3].

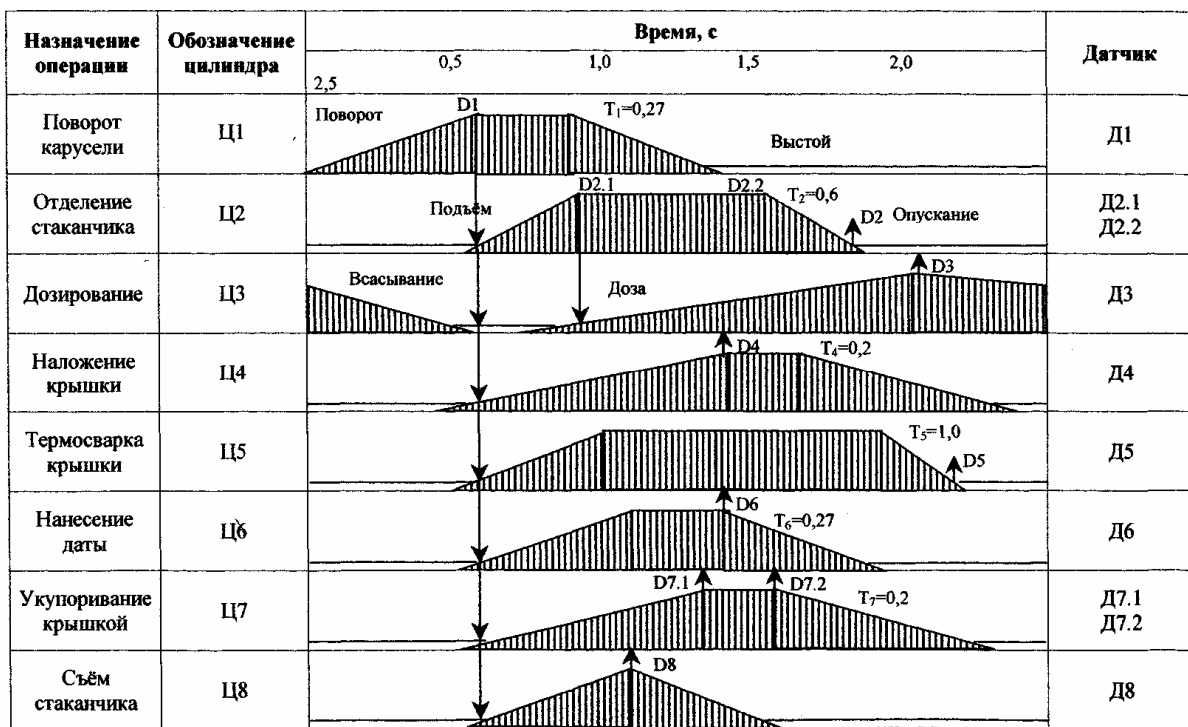


Рис. 1. Циклограмма работы исполнительных механизмов

Технологические процессы выполняются параллельно, но при этом механизмы должны согласовывать свои действия для достижения общей цели. Если не достигнуто одно из заданных на циклограмме положений каким-либо исполнительным механизмом в установленный момент времени, о чём свидетельствуют сигналы, полученные от соответствующих датчиков, то происходит аварийный останов машины.

Представим структурно-функциональную модель цифрового автомата в виде совокупности, состоящей из восьми компонентов:

$$МСФ = (S_w, S_c, U, T_d, T_w, T_m, T_s, W),$$

- где S_w – состояния, в которых выполняются операции управления технологическим процессом;
- S_c – состояния, в которых выполняются контролирующие операции;
- U – условия переходов;
- T_d – моменты фиксирования конечных состояний исполнительных механизмов;
- T_w – продолжительности активных состояний исполнительных механизмов;
- T_m – модельное время;
- T_s – суммарная продолжительность операций;
- W – операции управления технологическим процессом.

Представленная модель ФУМ позволяет разработать сценарии оптимального управления технологическим процессом, обеспечивая достижения минимума целевой функции:

$$f(x_1, \dots, x_m) = \sum_{i=1}^m \alpha_i x_i \rightarrow \min, \text{ причём } \sum_{i=1}^m \alpha_i = 1,$$

где α_i – i -ый коэффициент регрессии для x_i -го параметра оптимизации.

Требования, которые предъявляются к построению оптимального сценария управления, определяются с помощью заданных параметров оптимизации. При этом учитывается до m параметров оптимизации, основными из них являются:

x_1 – технологические потери фасуемого продукта;

- x_2 – потери тары;
- x_3 – затраты труда на ремонт механизма;
- x_4 – затраты времени на локализацию неисправности;
- x_5 – затраты времени на восстановление работоспособного состояния;
- x_6 – потери прибыли из-за некачественной продукции или неэстетического вида;
- x_7 – затраты на штрафные санкции при отгрузке некачественной продукции.

Поскольку единицы измерения параметров оптимизации различны, то для расчета общего критерия оптимальности сценария управления исполнительными механизмами предлагается использовать нормированные значения x_i^H :

$$x_i^H = \frac{x_i}{x_{i \max} - x_{i \min}},$$

где x_i^H – нормированный i -ый параметр оптимизации.

Данную модель удобно представить в виде иерархического графа в среде Active-HDL. Разработка графа автомата в среде Active-HDL осуществляется инструментальными средствами FSM-редактора [4, 5]. Однако продолжительность включенного состояния некоторых исполнительных механизмов не зависит от сигналов, поступающих от датчиков, а устанавливается согласно требованиям технологического процесса.

Для синтеза графа автомата ФУМ, формирующего управляющие сигналы заданной длительности, предлагается ввести вспомогательные переменные:

$$Z_j_setj: TIME: = 0 \text{ sec}; Z_j_res: TIME: = 0 \text{ sec}; Z_j_delta: TIME: = \delta j,$$

- где Z_j_setj – переменная, фиксирующая момент включения j -го механизма;
- Z_j_res – переменная, фиксирующая момент выключения j -го механизма;
- Z_j_delta – переменная, фиксирующая продолжительность включенного состояния j -го механизма;
- δj – временной интервал, заданный технологом.

В момент включения j -го механизма выполняется следующие действия: $Z_j_set = \text{now}$; $Z_j_res = \text{now}$, при этом данным переменным присваивается текущее значение модельного времени. Затем в текущем состоянии автомата проверяется неравенство $(Z_j_res - Z_j_set) < Z_j_delta$. Если оно выполняется, то к переменной Z_j_res добавляется значение периода синхросигналов: $Z_j_res = Z_j_res + tCLK$. Если выполняется условия выражения: $(Z_j_res - Z_j_set) \geq Z_j_delta$, то j -ый механизм выключается и автомат переходит в новое состояние.

Использование иерархического описания сложной системы облегчает ее восприятие. При этом понимание работы системы будет происходить сверху вниз по иерархии описания. Сначала пользователь знакомится с основными компонентами описываемой части модели и принципами их взаимодействия, и далее переходит к углубленному и более детальному описанию интересующего его компонента.

Иерархические графы нижнего и верхнего уровня автомата, управляющего первым циклом возрастающего фронта технологических операций, приведены на рис. 2. В состояниях контроля S1, S3 и S5 сравнивается текущее модельное время T_m с заданными значениями времени, в которые исполнительные механизмы должны перейти в конечное положение. Множество датчиков $D = \{d_1, d_2, \dots, d_k\}$ фиксирует положения механизмов. Если при $T_m = T_{d_i}$ i -ый механизм не достиг конечного положения, то формируется флаг ошибки, например, $Error = 'A'$. Каждому исполнительному механизму ставится в соответствие специально установленное значение флага ошибки, например, взятое из символов латинского алфавита.

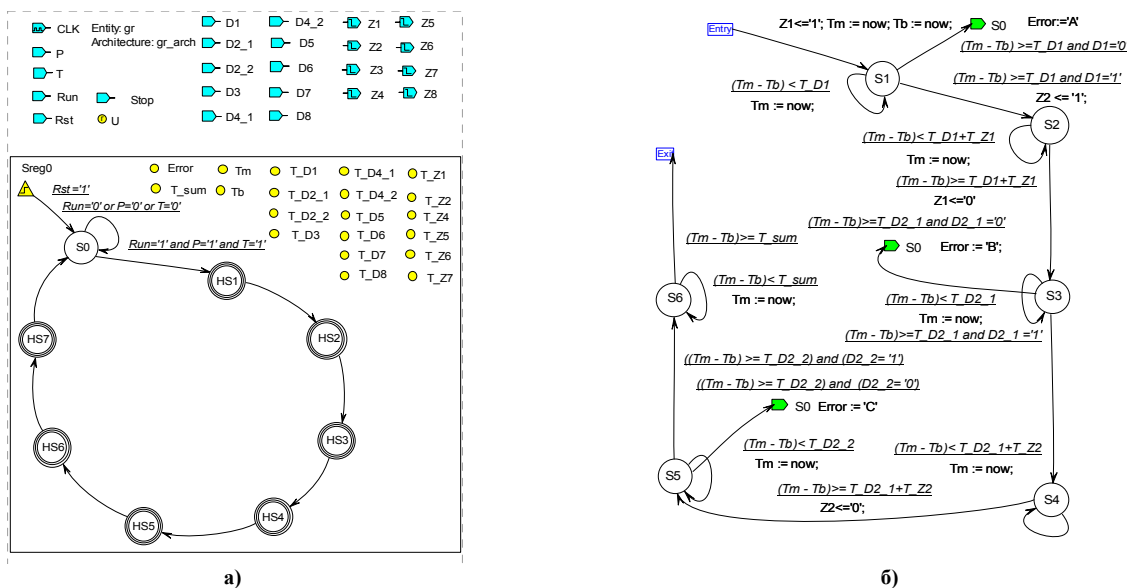


Рис. 2. Иерархические графы цифрового автомата: а – верхнего уровня; б – нижнего уровня

При фиксации любой неисправности цифровой автомат переходит в состояние анализа отказов, это позволяет легко идентифицировать отказавший механизм по значению флага ошибки и уменьшает трудоемкость работ по восстановлению исполнительных механизмов.

Графы автоматов нижнего уровня объединяются в общий иерархический граф верхнего уровня и отображают весь процесс управления технологическими операциями для выбранного сценария.

2. Результаты моделирования алгоритмов автоматизированного управления ФУМ

Для автоматизированного синтеза алгоритмов и программ автоматизированного управления исполнительными механизмами ФУМ в среде Active-HDL с помощью данного метода разработан программный комплекс, который может использоваться для выбора оптимальных алгоритмов и программ, обеспечивающих повышение производительности расфасовки и упаковки продукции, улучшающих качество продукции и уменьшающих технологические потери фасуемых компонентов. Результаты моделирования алгоритмов автоматизированного управления ФУМ приведены на рис. 3.

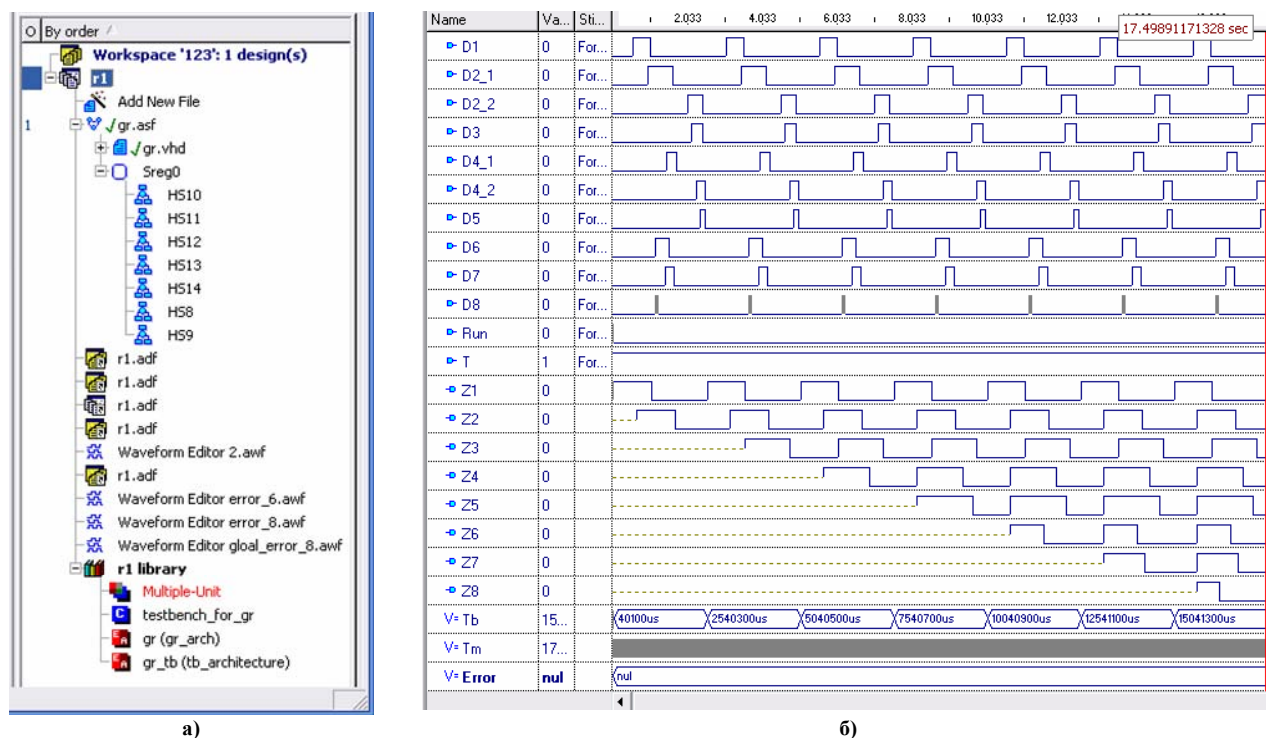


Рис. 3. Результаты моделирования: а – структура файлов программного комплекса; б – временная диаграмма моделирования выполнения технологических операций

Разработанный метод служит для проектирования и модификации программных комплексов автоматизированного управления ФУМ и их функций, и применяется в следующих режимах:

1) синтеза алгоритмов управления исполнительными механизмами ФУМ, представленных в виде графов состояний цифровых автоматов с конечным числом состояний, данный режим является основным, в нем пользователь может разработать необходимый граф состояний цифрового автомата, обеспечивающий строгое соблюдение последовательности выполнения следующих операций: активизации механизмов в заданные моменты времени; контроля достижения механизмами конечных положений; задания продолжительности включенных состояний механизмов и последовательности их выключения;

2) объединения отдельных алгоритмов в сценарии управления восходящим и нисходящим фронтами технологических операций путем применения иерархического представления проекта;

3) компиляции алгоритмов в программы автоматизированного управления исполнительными механизмами на языке программирования VHDL, в этом режиме пользователю доступны средства компиляции фирменного пакета Active-HDL, с помощью последнего можно обнаруживать и устранять ошибки в алгоритмах, создаваемые пользователем;

4) разработки стимулирующих воздействий (TestBench), определяющих параметры управляющих сигналов и имитирующих срабатывание датчиков, фиксирующих достижение исполнительными механизмами конечных положений;

5) верификации скомпилированных программ управления исполнительными механизмами, данный режим необходим для контроля соответствия причинно-следственных связей между исполнительными механизмами данным, указанным в циклограммах ФУМ с перестраиваемой структурой, изменяя параметры управляющих сигналов и моменты срабатывания датчиков, пользователь получает возможность объективно оценивать возникающую ситуацию;

6) оптимизации алгоритмов, в этом режиме происходит обработка файлов с алгоритмами, реализующими многосценарное управление, и осуществляется выбор наиболее оптимального сценария

управления исполнительными механизмами;

7) имитации отказов механизмов или датчиков, контролирующих их положения, что обеспечивает прогнозирование последствий неисправностей технологического оборудования и исключает аварийные ситуации уже на этапе отладки алгоритмов, а также снижает трудоемкость поиска и устранения неисправностей во время эксплуатации ФУМ.

Выходными данными разработанного с помощью метода моделирования алгоритмов автоматизированного управления ФУМ программного комплекса являются откомпилированные программы управления исполнительными механизмами, тексты стимулирующих воздействий (TestBench) на языке программирования VHDL, а также временные диаграммы, отображающие состояние процесса управления и ошибки, возникающие при появлении неисправностей компонентов ФУМ.

Временные характеристики программного комплекса зависят от сложности синтезируемых алгоритмов и быстродействия ПЭВМ, на которой они синтезируются, компилируются и верифицируются. В среднем, процесс синтеза алгоритма продолжается несколько десятков минут, хотя в некоторых случаях может потребоваться более продолжительный отрезок времени. На выполнение процесса компиляции и генерации VHDL кода необходимо затратить несколько секунд для любого синтезируемого алгоритма. В отличие же от длительности синтеза, компиляции алгоритма и генерации VHDL кода, процесс разработки стимулирующих воздействий может потребовать значительное время на свое осуществление. Длительность выполнения, прежде всего, зависит от сложности синтезируемого алгоритма, от количества механизмов и датчиков, контролирующих их положения.

Сформированный программный комплекс является Windows-приложением и для своего нормального функционирования требует как минимум такой конфигурации аппаратных средств, которая обеспечивает функционирование дисковой операционной системы Windows XP. Рекомендуемый объем оперативной памяти 256 Мбайт, графическая подсистема, поддерживающая VGA-режимы. Минимальный размер свободного пространства на жестком диске, необходимый для запуска системы – 2 Гбайт. Объем дискового пространства, необходимый для нормального функционирования программного комплекса, зависит от размера, синтезируемого алгоритма, откомпилированных файлов программ на языке VHDL. Обязательными условиями нормального функционирования комплекса является наличие среды автоматизированного проектирования цифровых систем Active-HDL версии 7.1 и выше, которая может занимать до 1.4 Гбайт дискового пространства.

Выводы

Предлагаемый метод моделирования алгоритмов автоматизированного управления ФУМ обеспечивает создание программных комплексов для автоматизации синтеза структурно-функциональных моделей цифровых автоматов и учитывает реальные динамические характеристики исполнительных механизмов, что увеличивает точность задания временных параметров управляющих сигналов.

Используя стимуляторы, можно быстро устанавливать образцы сигналов, которые необходимы для быстрой проверки моделей. Они позволяют в интерактивном режиме изменять значение любого порта или сигнала, чтобы создать желательные условия для синтезируемой модели.

Литература

1. Антик М.И. Синхронные цифровые автоматы. Учебное пособие – М.: МИРЭА, 2004. – 100 с.
2. Шувалова Л.А. Применение модели конечного автомата для синтеза систем управления технологическими процессами // Питання прикладної математики і математичного моделювання. Збірник наукових праць. Дніпропетровськ: ДНУ, 2006. – С. 261-267.
3. Дубинец Л.А. Принципы проектирования адаптивных фасовочно-укупорочных машин для молочной и плодомолочной промышленности // Вимірювальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах. – 2002. № 2. – С. 132-136.
4. Бибило П.Н. Основы языка VHDL. М.: “Солон-Р”, 2000. – 200 с.
5. Семенец В.В., Хаханова И.В., Хаханов В.И. Проектирование цифровых систем с использованием языка VHDL. – Харків: ХНТУРЕ, 2003. – 492 с.

Надійшла 6.5.2008 р.

ПРЕДСТАВЛЕННЯ ВХІДНИХ ДАНИХ ДЛЯ СИСТЕМИ ПРОГНОЗУВАННЯ СТАНУ ПРОЦЕСІВ В ПЕРСОНАЛЬНОМУ КОМП'ЮТЕРІ

У роботі виділено недоліки відомих методів та алгоритмів розв'язання задачі взаємоблокування процесів. Наведено структуру системи прогнозування стану процесів, яка використовує модель прогнозування стану процесів, що базується на сигнатурах процесів. Показано приведення вхідних параметрів системи до спільного показника для їх подальшого використання в нечіткій експертній системі.

Вступ

Останнім часом зі стрімким зростанням обчислювальних потужностей персональних комп'ютерів (ПК) спостерігається їх широке застосування для розв'язання масштабних задач. Але під час розв'язання таких задач досить часто виникає проблема взаємоблокування процесів, яка призводить до втрати важливих даних та часу.

Для розв'язання задачі взаємоблокування існують різноманітні методи і алгоритми [1]. Проте вони мають ряд недоліків і є складними для включення їх до складу операційних систем (ОС). Тому більшість сучасних ОС для ПК не містять засобів для розв'язання проблеми взаємоблокування процесів [2, 3]. Розглянемо недоліки основних відомих методів.

Недоліком методу "заборона на переривання" є ймовірність настання ситуації, коли процес у результаті деякого збою у роботі не відновлює дозвіл на переривання при виході із критичної ділянки. Це призводить до блокування роботи усіх процесів операційної системи.

Метод уникнення взаємоблокувань "змінні блокування" допускає ситуацію, коли, перш ніж один процес змінить значення змінної на "1", інший процес може отримати керування, виконати перевірку цієї змінної і увійти у критичну ділянку. Таким чином, два процеси можуть одночасно опинитись у критичній ділянці.

Недолік методу уникнення взаємоблокувань "строге чередування" полягає в тому, що він не враховує швидкість виконання процесів і при наявності повільних процесів настає ситуація, коли більш швидкі процеси змушені довго очікувати їхнього завершення.

Алгоритм Деккера для уникнення взаємоблокувань є складним для реалізації у випадку наявності більше, ніж двох процесів. Також, він вимагає входження процесів у критичну ділянку в заданому порядку, що не враховує швидкість виконання процесів.

При використанні алгоритму Петерсона для уникнення взаємоблокувань виникає проблема його реалізації у випадку наявності більше, ніж двох процесів.

Недоліком методу уникнення взаємоблокувань "семафори" є неможливість передбачити, якими розділюваними ресурсами буде володіти ОС і скільки потрібно буде використати семафорів. Також є ймовірність виникнення ситуації взаємоблокування із-за неправильного використання семафорів.

Метод уникнення взаємоблокувань "м'ютекси" вимагає використання спеціалізованої команди процесора TSL.

Недолік методу розв'язання уникнення взаємоблокувань "монітори" полягає в тому, що монітори є структурними компонентами компілятора, а сучасні компілятори не містять таких компонент.

Аналіз відомих методів та засобів розв'язання проблеми взаємоблокування процесів в комп'ютерній системі (КС) [1] показав, що перераховані методи не орієнтовані на реалізацію в сучасних операційних системах для ПК. Також вони не дозволяють передбачати виникнення ситуацій взаємоблокування для трьох і більше процесів.

Тому для недопущення взаємоблокування процесів необхідно, базуючись на моделі прогнозування стану процесів, розробити систему прогнозування стану процесів в КС.

Основна частина

Для розв'язання задачі прогнозування стану процесів в КС будемо представляти процеси за допомогою їх сигнатур [4]. Таке представлення дає можливість визначити поведінку процесу в КС, що є необхідним для прогнозування стану процесів.

Модель прогнозування стану процесів в КС

Подамо процес прогнозування стану процесів в КС наступною моделлю (1):

$$M = \langle A, S, D, P, R \rangle, \quad (1)$$

де A – множина сигнатур процесів, що виконуються в КС у даний момент;

S – впорядкована послідовність характеристик комп'ютерної системи (загальний обсяг оперативної пам'яті, зовнішньої пам'яті, обсяг вільної в даний момент пам'яті, кількість периферійних пристроїв, кількість активних процесів користувача та ядра системи);

D – підмножина сигнатур процесів, що знаходяться у стані, наближеному до стану взаємоблокування;

P – множина правил, на основі яких проводиться розбиття множини сигнатур працюючих процесів на

дві підмножини: підмножину сигнатур процесів, що знаходяться у стані, наближеному до стану взаємоблокування, та підмножину сигнатур процесів, які не досягли цього стану;

R – вектор ймовірностей переходу у стан блокування процесів із підмножини D .

Для забезпечення процесу прогнозування стану процесів в КС включимо до моделі наступні структурні частини (рис. 1):

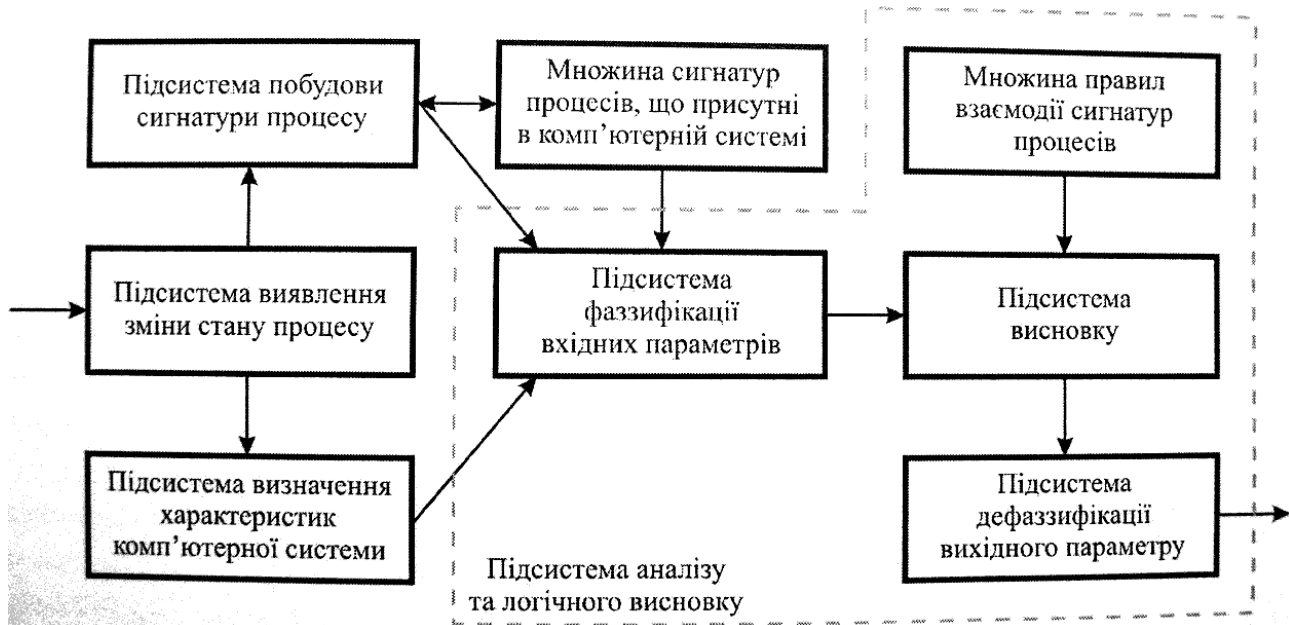


Рис. 1. Модель прогнозування стану процесів в комп'ютерній системі

- підсистема виявлення зміни стану процесу – призначена для контролю за поточними параметрами процесів, що вже присутні в КС, та запуском нових процесів;
- підсистема визначення характеристик КС, призначена для контролю за зміною основних характеристик КС, що суттєво впливають на наближення процесів до стану взаємоблокування;
- підсистема побудови сигнатури процесу – призначена для побудови сигнатури процесу, що виконує перехід у стан готовності і ще не має сигнатури, та модифікації сигнатури процесів, що змінили значення своїх параметрів та мають відповідні їм сигнатури;
- множина сигнатур процесів, що присутні у КС, призначена для зберігання сигнатур процесів, які в даний момент виконуються на КС;
- підсистема аналізу та логічного висновку – за допомогою множини правил взаємодії сигнатур процесів виділяє із множини сигнатур всіх процесів підмножину сигнатур процесів, що наближаються до стану взаємоблокування, і робить висновок про можливість продовження роботи цих процесів.

Для здійснення аналізу та логічного висновку використаємо нечітку експертну систему. Згідно з [5, 6] включимо до складу підсистеми аналізу та логічного висновку наступні компоненти:

- підсистема фазифікації вхідних параметрів – визначає ступені впевненості в тому, що вихідні лінгвістичні змінні отримають конкретні значення;
- множина правил взаємодії сигнатур процесів – містить правила, що визначають поведінку процесів за їх сигнатурами;
- підсистема висновку – на основі множини правил взаємодії сигнатур процесів та набору вхідних лінгвістичних змінних проводиться оцінка істинності для кожного правила та формується єдина нечітка множина;
- підсистема дефазифікації вихідного параметру – перетворює нечіткий набір значень вихідної лінгвістичної змінної до точного значення.

Підсистема аналізу та логічного висновку

Позначимо через U множину всіх можливих сигнатур процесів (універсум). Виділимо множину сигнатур процесів, що є активними в даний момент в КС і позначимо її через A ($A \subset U$). Процеси, що є активними в даний момент, можна розділити на 2 підмножини: процеси, запущені користувачем, та процеси, запущені ядром системи. Отже множину A можна розбити на 2 підмножини: K та S ($K \subset U, S \subset U, K \cup S = A$). Всі перераховані множини належать до чітких. Їх характеристична функція приймає 1, якщо елемент належить множині, і 0 в протилежному випадку.

При наближенні стану блокування процесів в КС із множини A можна виділити підмножину A^* сигнатур процесів, які найімовірніше приведуть до цього стану. Відповідно множину A^* також можна розділити на 2 підмножини: K^* – множина процесів, запущених користувачем, які ймовірно призведуть до

стану блокування, та S^* – множина процесів, запущених ядром системи, які ймовірно призведуть до блокування ($A^* \subset U, K^* \subset U, S^* \subset U, K^* \cup S^* = A^*$). Множини A^*, K^*, S^* є нечіткими, оскільки сигнатури процесів входять у них з певними ймовірностями. Отже, для реалізації висновку про наближення до стану взаємоблокування процесів необхідно скористатись апаратом нечіткого висновку.

Оскільки взаємоблокування настає по причині конкуренції процесів за системні ресурси, необхідно включити їх кількісні характеристики до бази знань експертної системи. Врахуємо наступні системні ресурси:

- кількість процесів користувача, присутніх в КС;
- кількість процесів ядра системи, присутніх в КС;
- обсяг ОП в КС (загальний та вільної в даний момент);
- обсяг ЗП в КС (загальний та вільної в даний момент);
- кількість пристроїв вводу-виводу інформації (загальна та вільних у даний момент);
- загальна кількість файлів у КС.

Подамо процес прогнозування стану процесів у КС за результатами експертних оцінок у вигляді множини $S = \{s_1, s_2, \dots, s_i, \dots, s_n\}$, де s_i - ймовірність настання блокування даного процесу.

Для множини S побудуємо множину функцій належності $M = \{\mu_{s_1}, \mu_{s_2}, \dots, \mu_{s_i}, \dots, \mu_{s_n}\}$, яка відобразить ступінь впевненості експерта у істинності твердження стосовно ймовірності блокування даного процесу.

В якості функції належності для μ_{s_i} оберемо трапецевидну функцію із класу кусочно-лінійних, оскільки вона використовується для задання властивостей множин, які характеризують невизначеність типу "приблизно рівно", "середнє значення", "схожий до об'єкту", "подібний об'єкту" [7]. Трапецевидну функцію належності задамо як в [6].

Виберемо для показників наступну терм-множину: {мало, середнє значення, багато}. Відповідно до такого представлення їх функції належності будуть мати наступний вигляд (рис. 2):

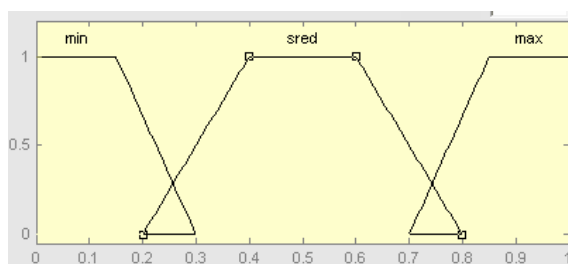


Рис. 2. Функції належності вхідних параметрів

Подамо ступені впевненості експерта в ймовірності блокування процесу наступним чином:

- дуже низька ймовірність – 0,1;
- низька ймовірність – 0,3;
- середня ймовірність – 0,5;
- висока ймовірність – 0,7;
- дуже висока ймовірність – 0,9.

Така система оцінок при використанні алгоритму Мамдані дозволить здійснити визначення ймовірності блокування процесів в КС шляхом здійснення нечіткого логічного висновку [8].

Задамо вхідні змінні у вигляді лінгвістичних та визначимо їх функції належності.

У якості вхідних змінних використаємо показники системних ресурсів та сигнатур активних процесів.

Задамо межі значень для кожного виду ресурсів. Для ресурсів 1 та 2 значення будуть знаходитись в діапазоні від 0 до К (К – максимальна кількість процесів в конкретній КС); для ресурсів 3-4 – в межах від 0 до n (n – загальний обсяг ОП та ЗП в конкретній КС); для ресурсу 5 – в межах від 0 до m (m – загальна кількість пристроїв вводу-виводу в конкретній КС); для ресурсу 6 – в межах від 0 до k.

Оскільки всі вхідні характеристики знаходяться у різних числових межах, що є незручним для опрацювання результатів, то проведемо нормування даних величин. Зведемо усі показники до меж [0; 1]. Для цього необхідно виконати ділення показника на максимально допустиме значення цього показника в конкретній КС. Наприклад, загальний об'єм ОП складає 256 Мб, а вільної в даний момент пам'яті – 60 Мб. Тоді показник вільної в даний момент пам'яті складе $60 / 256 = 0,234$.

Проте такий підхід до нормування показників не буде враховувати ступінь впливу даного показника на результат системи прогнозування стану процесів, оскільки для показників із однаковим нормованим значенням, але з різними поточними та максимально допустимими значеннями, буде різний вплив на КС. Наприклад, при нормованому значенні показника вільної пам'яті 0,1 для КС із загальним об'ємом ОП 2 Гб та КС із загальним об'ємом ОП 128 Мб кількісні показники значно відрізняються і є більш критичними для КС із меншим об'ємом ОП. Тому необхідно при нормуванні враховувати максимально допустиме значення показника. Для цього нормування показників проведемо за наступною формулою:

$$P_n = 1 - \frac{P_d + P_m}{P_d \cdot P_m}, \quad P_d \neq 0, \quad P_m \neq 0, \quad (2)$$

де P_n – черговий нормований показник;
 P_d – поточне значення показника в конкретній КС;
 P_m – максимальне значення показника в конкретній КС.

Такий підхід до нормування показників дозволяє врахувати ступінь впливу даного показника на результат системи прогнозування стану процесів.

Висновок

У роботі вказано недоліки відомих методів та алгоритмів розв'язання задачі взаємоблокування процесів. Приведено структуру системи прогнозування стану процесів, яка використовує модель прогнозування стану процесів, що базується на сигнатурах процесів. Обґрунтовано необхідність використання нечіткої експертної системи для прогнозування стану процесів. Показано приведення вхідних параметрів системи до спільного показника. В подальшому це дасть можливість, використовуючи алгоритм Мамдані, побудувати нечітку експертну систему для прогнозування стану процесів в ПК.

Література

1. Савенко О.С., Кльоц Ю.П., Мостовий С.В. Дослідження та аналіз блокування процесів в комп'ютерній системі // Вісник ХНУ – Хмельницький: ХНУ, 2007. – № 3. – Т.1. – С.248-251
2. Таненбаум Э. Современные операционные системы: Перевод с английского. – СПб: Питер, 2002. – 1040 с.
3. Таненбаум Э, Вудхалл А. Операционные системы: разработка и реализация. Класика CS. – СПб: Питер, 2006. – 576 с.
4. Мостовий С.В. Модель сигнатури процесу в операційній системі // Вимірвальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах – Хмельницький, 2007. – № 1. – С.66-68
5. Рутковская Д., Пилинский М., Рутковский Л. Нейронные сети, генетические алгоритмы и нечеткие системы. Перевод с польского И.Д. Рудинского. – М/: Горячая линия – Телеком, 2006. – 452с.
6. Круглов В.В., Дли М.И., Голунов Р.Ю. Нечеткая логика и искусственные нейронные сети. – М/: Физматлит, 2001. – 224с.
7. Леоненков А.В. Нечеткое моделирование в среде MATLAB и fuzzyTECH. – СПб/: БХВ-Петербург, 2005. – 736 с.
8. Штовба С.Д. Проектирование нечетких систем средствами MATLAB. – М/: Горячая линия – Телеком, 2007. – 288 с.

Надійшла 26.5.2008 р.

УДК 004: 004.65: 004.82

І.В. МУЛЯР

Хмельницький національний університет

ОПТИМІЗАЦІЯ ПРОЦЕСУ ПОШУКУ ІНФОРМАЦІЇ В СЕРЕДОВИЩІ ІНФОРМАЦІЙНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ПРОЦЕСУ ДІАГНОСТУВАННЯ

В статті розглянуто процес інформаційного забезпечення діагностування мікропроцесорних пристроїв та систем. Для забезпечення ефективного доступу до інформації в середовищі інформаційного забезпечення необхідно оптимізувати її пошук. Для розв'язання цієї задачі в статті запропоновано модель стратегії пошуку та генерації навігаційних маршрутів.

Вступ

Система інформаційного забезпечення (ІЗ) процесу діагностування – це динамічна система одержання, оцінки, зберігання та переробки даних, створена з метою вироблення рішень по діагностуванню пристроїв мікропроцесорних систем. ІЗ діагностування можна розглядати і як процес забезпечення інформацією про об'єкти діагностування та їх функціонування, і як сукупність форм документів, нормативної бази та реалізованих рішень щодо обсягів, розміщення та форм існування інформації, яка використовується в інформаційній системі (ІС) діагностування в процесі її функціонування.

Предметною областю (ПО) є область діагностування цифрових та мікропроцесорних пристроїв та знання про цю область. Надійне збереження даних і зручний доступ до необхідної інформації завжди були актуальною задачею, особливо через інтенсивне використання сучасних комп'ютерних інформаційних технологій. З кількісним і якісним ростом потужності обчислювальної техніки комп'ютери забезпечують збереження усе більш об'ємної, складної інформації. На сьогодні є достатня кількість інформації про обчислювальні пристрої, їх складові. Ця інформація знаходиться в різноманітному вигляді: текстові і

креслярсько-графічні документи, наукові публікації, довідники, каталоги, нормативні матеріали, різноманітні набори тестових векторів і відповідних реакцій для різних об'єктів діагностування, неформалізовані знання спеціалістів різних галузей. З бурхливим розвитком мультимедіа та глобальної мережі Internet збільшився об'єм інформації у вигляді аудио- і відео файлів, гіпертекстових документів. Але на сьогодні відсутні ефективні, розраховані на широке коло користувачів, методи та засоби інформаційного забезпечення процесу тестового діагностування.

Постановка задачі

Дослідження відомих підходів до інформаційного забезпечення процесу діагностування мікропроцесорних пристроїв (МПП) дозволяє зробити висновок, що до теперішнього часу відсутні ефективні, розраховані на широке коло користувачів методи інформаційного забезпечення [1]. Це в значній мірі знижує ефективність процесу діагностування та його достовірність. Тому одним з питань, що потребують вирішення є розробка комплексу математичної та алгоритмічної підтримки інформаційного забезпечення процесу діагностування МПП [4].

У попередніх публікаціях було розглянуто типологію задач та проведено аналіз інформаційних процесів і моделей їх представлення при тестовому комбінованому діагностуванні [3]. Задача створення і актуалізації інформаційної бази зводиться до створення і актуалізації бази опису об'єктів, повнотекстової бази даних та навігації у ній. Для розв'язку цієї задачі необхідно створення моделі даних для представлення діагностичної інформації [4, 5].

Задача навігації виникає у випадках, коли сукупність опису об'єктів діагностування представлена у вигляді гіпертексту, що зумовлено необхідністю впорядкування описів і встановлення зв'язків між ними [4]. Для забезпечення ефективного доступу до інформації в середовищі інформаційного забезпечення необхідно оптимізувати її пошук.

Модель представлення інформації

Задача створення і актуалізації інформаційної бази діагностичних даних зводиться до створення і актуалізації двохконтурної бази даних, в першому контурі якої буде знаходитись опис об'єктів діагностування, а в другому – діагностична інформація. Для рішення цих задач і ефективного обміну інформацією між контурами необхідно розробити відповідний математичний апарат у вигляді гіпертекстової моделі даних.

Під гіпертекстом розуміють спосіб організації тексту, що зберігається, за яким використовуються асоціативні зв'язки між його фрагментами. Інтелектуальна система, що ґрунтується на використанні гіпертексту, називається гіпертекстовою системою. В гіпертекстових інтелектуальних системах, що отримали назву мультимедіа, тексти трактуються більш широко. Кожен вузол такої мережі може містити текст, графіку а також аудіо- і відеоінформацію. Поєднання в межах однієї інтелектуальної системи гіпертексту і мультимедіа будемо називати гіпермедіа.

В загальному випадку структура створення гіпертексту може бути представлена як кінцева множина вершин (інформації про об'єкти діагностування), для яких визначається порядок проходження [2]. Запропонована модель дозволяє описати процес створення гіпертексту. Формальна математична модель процесу може бути представлена схемою структури, обумовленої як шестірка:

$$M = \langle S, SO, T, RT, F, Z \rangle,$$

де S – словник, який складається з алфавіту мови;

$SO = \{s_1, s_2, \dots, s_l\}$ – множина усіх ключових слів, що можуть зустрічатися у запитах;

$Z = \{z_1, z_2, \dots, z_l\}$ – множина запитів;

$T = \{p_1, p_2, \dots, p_{il}\}$, множина повідомлення у словнику S

$RT = \{rt_1, rt_2, \dots, kt_i\}$ – множина тематичних розділів гіпертексту;

$F = \{f_1, f_2, \dots, f_n\}$ – множина функція переходів;

$F: RT \times SO \rightarrow RT$ – множина функцій переходів, що реалізує відображення SO у RT ; функція f_i деяким парам тематичний розділ – вхідне ключове слово $(rt_i, s\theta_i)$ ставить у відповідність деякий клас $rt_{i+1} = f_i(rt_i, s\theta_i)$, $rt_i \in S$; $SO \in S$.

Якщо $SO \cap RT = \emptyset$ або $Z \cap SO = \emptyset$, то інформація в тематичних розділах по даному запиту відсутня.

Гіпертекст можна представити у вигляді орграфа, у вершинах якого розміщені тексти (об'єкти діагностування, тестові послідовності, діаграми, графіки, рисунки, таблиці), а дуги вказують на семантичні зв'язки між ними. Серед множини зв'язків при розв'язанні задачі навігації нас будуть цікавити тільки ті, що визначають порядок проходження текстів. Тому будемо вважати, що на множині всіх текстів визначений строгий порядок.

Процес створення гіпертексту включає два етапи: сегментацію тексту, тобто виділення в ньому фрагментів як елементів гіпертексту та їх впорядкування. При експлуатації гіпертексту додатково виникає задача його актуалізації, тобто включення нових текстів і виключення непотрібних.

Зв'язки між текстами гіпертексту, що відповідають відношенню α , можуть зберігатися в явному вигляді, тобто у вигляді пар (a, b) , де текст a безпосередньо передує тексту b щодо α , а також у вигляді сукупності правил продукції.

Множина правил продукції в гіпертекстовій базі діагностичних даних може будуватися як програмно на основі строгого порядку α , так і “вручну” розробником бази. В обох випадках варто врахувати дві обставини:

- а) продукційне відношення повинно бути показним, коректним і несуперечливим;
 б) воно повинно будуватися таким чином, щоб існувала можливість відновлення зв'язків між текстами гіпертексту, встановлюваних відношенням α .

Остання умова особливо актуальна в другому випадку, коли такі зв'язки в гіпертексті явно не подані. Сформулюємо вимоги до продукційного відношення, що, з одного боку, забезпечують виконання обох умов, а з іншого – є рекомендаціями розробнику бази діагностичних даних при створенні правил продукції, а також основою для побудови відповідного алгоритму.

1. Початкові тексти в двох не збіжних тематичних розділах гіпертексту повинні бути різними. Це можливо при наявності в ньому спеціальних нетермінальних елементів, що використовуються для позначення початкового і кінцевого текстів кожного тематичного розділу.

2. Для будь-якого тексту b , крім початкового, із будь-якого тематичного розділу гіпертексту повинно існувати правило продукції, права частина якого містила би текст b , а ліва – усі тексти цього розділу, що безпосередньо передують b щодо α .

3. Для будь-якого тексту b , крім початкового, і будь-якого тематичного розділу RT , такого, що $b \in RT$, повинне існувати правило продукції, у правій частині якого містився би текст b , а в лівій – безпосередньо передуючий йому щодо α текст, що не є текстом із RT .

4. Кожний відмінний від початкового текст лівої частини будь-якого правила продукції повинний безпосередньо передувати відносно α кожному з текстів правої частини цього правила.

5. Ліва і права частини будь-якого правила продукції повинні бути підмножинами деякого того самого тематичного розділу.

Сформульовані вимоги забезпечують відновлення строгого порядку α [4].

Для забезпечення ефективного доступу до інформації в середовищі інформаційного забезпечення необхідно оптимізувати її пошук [2]. Для вирішення даної задачі розробимо модель стратегії пошуку та генерації навігаційних маршрутів. Формальна модель може бути представлена як

$$MSP = \langle LD, T, Z, \Psi, I, \delta, \vartheta, \theta, P_{o\psi}, T_{o\psi}, P'_{o\psi}, T'_{o\psi} \rangle$$

де LD – вхідна мова, яка складається з непустих множин $T, Z, LD = \langle T, Z \rangle$ (словник);

$T = \{t_1, t_2, \dots, t_k\}$ – множина текстів (повідомлень) в діагностичній БД;

$Z = \{z_1, z_2, \dots, z_l\}$ – множина запитів;

$\Psi = \{\psi_1, \psi_2, \dots, \psi_3\}$ – множина пошукових функцій;

I – інформаційна потреба;

θ – функція відображення;

$P_{o\psi}$ – повнота пошуку по запиту Z ;

$T_{o\psi}$ – точність пошуку по запиту Z ;

$P'_{o\psi}$ – повнота обслуговування по запиту Z ;

$T'_{o\psi}$ – точність обслуговування по запиту Z ;

δ – функція відображення релевантного тексту запиту;

ϑ – функція відображення пертинентного запиту.

Один крок пошуку тексту можна промоделювати у вигляді часткового відображення множини запиту в множину текстів [3]. Тоді будь-яке часткове відображення $\Psi : T \rightarrow Z$ є пошуковою функцією. Під стратегією пошуку будемо розуміти послідовність кроків, кожен з яких відрізняється від попереднього – запитом та/чи пошуковою функцією. При цьому запит та функцію можна коригувати як в режимі діалогу, так і автоматично з використанням даних про об'єм вибірки знайдених текстів.

Якщо $Z_l \in Z$ – деякі запити, Ψ_i – пошукові функції ($i = 1, l, l \geq 1$). Тоді під записом $\{\psi_1(z_1), \psi_2(z_2), \dots, \psi_l(z_l)\}$ – будемо розуміти стратегію пошуку.

Розрахунок ефективності стратегій пошуку часто проводиться на основі критеріїв, що принципово відрізняються. В одних випадках використовують оцінки релевантності, тобто степені відповідності тексту запиту, а в інших – пертинентності, яка вказує на семантичну близькість тексту і інформаційної потреби користувача [2].

Довільний текст $t \in T$ релевантний запиту $z \in Z$, якщо відображення δ :

$$T * Z \rightarrow \{0, 1\}, \text{ таке що } \delta(t, z) = 1.$$

Довільний текст $t \in T$ пертинентний інформаційній потребі $\theta(z)$, де $z \in Z$ – довільний запит, якщо знайдено відображення $\vartheta : T * \theta(Z) \rightarrow \{0, 1\}$, для якого справедливо $\vartheta(t, \theta(z)) = 1$.

Основними критеріями оптимальності стратегій пошуку в інформатиці є повнота і точність. Якщо значення повноти і точності визначається на основі релевантності, то будемо називати їх повнотою і точністю

пошуку, а відповідні критерії, які використовують оцінки пертинентності – повнотою і точністю обслуговування.

Тоді повнота пошуку визначиться за наступною формулою:

$$P_{o\psi(z)} = \sum_{t \in \psi(z)} \delta(t, z) / \sum_{t \in TLD} \delta(t, z).$$

Точність пошуку визначимо за наступною формулою:

$$T_{o\psi(z)} = \sum_{t \in \psi(z)} \delta(t, z) / |\psi(z)|.$$

Повноту і точність обслуговування визначимо наступним чином. Якщо $z \in Z$ - довільний запит, а $\theta(z)$ - відповідна йому потреба, то точність обслуговування по запиту z визначимо наступним чином:

$$T'_{o\psi(z)} = \sum \mathcal{G}(t, \theta(z)) / |\psi(z)|.$$

Оптимізація стратегій пошуку зводиться до знаходження максимуму $P_{o\psi(z)}$ і $T_{o\psi(z)}$.

Інформаційний пошук в множині текстів рівнозначний розбиттю текстів T на 2 класи: релевантний клас і не релевантний. Тоді умови розподілення ймовірностей релевантності текстів класу $T_1 = \Psi_{(z)}$ визначаються за наступною формулою:

$$P(t | z) = P(\delta(t, z) = 0 | t \in TLV \setminus \psi(z)).$$

Вираз для середньої повноти і точності пошуку можна записати у вигляді:

$$M[P_{o\psi(z)}] = \sum_{t \in \psi(z)} P(t | 1) / \sum_{t \in TLD} \delta(t, z),$$

$$M[T_{o\psi(z)}] = \sum P(t | 1) / |\delta(z)|,$$

де M – умовне математичне очікування.

Критерії $M[T_{o\psi(z)}]$ і $M[P_{o\psi(z)}]$ характеризують якість пошуку при їх одночасному використанні.

Можна визначити критерій, який поєднує в собі риси середньої повноти і середньої точності. Позначимо через P_j вірогідність появи текстів j -го класу ($j = 1, 2$). Нехай $\| \psi m n l \|$ - матриця втрат, де Ψ_{mn} - втрати, які виникають, якщо віднести текст m -го класу до n -го. Тоді математичне очікування втрат при попаданні текстів, об'єктивно належних класу T_m в клас T_n , буде дорівнювати $\Psi_m = \sum_{n=1}^z \Psi_{mn} P_m * \sum_{t \in T_n LD} P(t \setminus m)$, тоді

$$\text{сумарне математичне очікування втрат } \Psi = \sum_{m=1}^2 \sum_{n=1}^2 \Psi_{mn} P_m * \sum_{t \in T_n LD} P(t | m).$$

Пошук буде оптимальним по релевантності, коли середні сумарні втрати мінімальні в якості критерію оптимальності стратегії пошуку по запиту z можна використати $K_{\psi(z)} = \Psi$, який будемо називати середніми втратами пошуку.

Як і повнота, і точність пошуку, так і критерії $P'_{o\psi(z)}$ і $T'_{o\psi(z)}$ є функціями ймовірної величини

$\sum \mathcal{G}(t, \theta(z))$, тому в якості критеріїв оптимальності обслуговування будемо використовувати умовні математичні очікування повноти і точності [2].

Висновки

Дослідження відомих підходів до інформаційного забезпечення процесу діагностування мікропроцесорних пристроїв дозволяє зробити висновок, що до теперішнього часу відсутні ефективні, розраховані на широке коло користувачів методи інформаційного забезпечення. Це в значній мірі знижує ефективність процесу діагностування та його достовірність. Гіпертекстова модель даних дозволяє звести основні форми представлення інформації до єдиної внутрішньої форми представлення даних у вигляді гіпертексту. Її використання дозволить збільшити об'єми обробленої інформації, зменшити час пошуку необхідної інформації і підвищити достовірність та ефективність процесу діагностування.

Для забезпечення ефективного доступу до інформації в середовищі інформаційного забезпечення необхідно оптимізувати її пошук. Для розв'язку даної задачі розроблено модель стратегії пошуку та генерації навігаційних маршрутів. Це дасть можливість розробки алгоритму генерації навігаційних маршрутів в гіпертекстових базах даних з забезпеченням контролю оптимальності цих маршрутів і їх адаптації до інформаційних потреб інженера-діагноста.

Література

1. Локазюк В. М., Поморова О. В., Домінов А. О. Інтелектуальне діагностування мікропроцесорних

пристроїв та систем: Навч. посібник для вузів. – К.: Такі справи, 2001. – 286 с.

2. Муляр І.В. Модель стратегії пошуку та генерації навігаційних маршрутів у середовищі інформаційного забезпечення процесу діагностування // Збірник наукових праць Національної академії Державної прикордонної служби України ім. Б. Хмельницького. – Ч. 2. – № 35. – 2006 – С. 237-240.

3. Муляр І.В. Джулій В.М. Інформаційні процеси та моделі їх представлення при тестовому комбінованому діагностуванні // Вимірювальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах. – 1999. – № 4.

4. Муляр І.В., Джулій В.М. Гіпертекстова модель представлення інформації в базах діагностичних даних. // Вісник ТУП. – 2001. – № 1. – С.189-191.

5. Локажук В. М, Муляр І. В., Джулій В. М. Архітектура автоматизованої системи інтелектуалізації баз даних процесу тестового комбінованого діагностування // Вісник ТУП. – 2002. – № 3. – С.97-100.

Надійшла 4.5.2008 р.

УДК 681.322

Ю.В. НАГОРНЯК, Ю.В. ДЕМЕНТЬЄВ
Вінницький національний технічний університет

МЕТОДИ ОЦІНКИ ТЕХНІЧНИХ АСПЕКТІВ ЕФЕКТИВНОСТІ СИСТЕМ ЕЛЕКТРОННИХ ПЛАТЕЖІВ

В даній статті запропоновано універсальний метод комплексної оцінки технічних аспектів ефективності електронних платіжних систем, який базується на визначенні відносних коефіцієнтів ефективності за основними критеріями, що висуваються до таких систем. Особливу увагу приділено критеріям інформаційної безпеки та показано способи їх оптимізації.

В наш час обслуговування готівкової грошової маси вимагає значних фінансових затрат, тому все більшого поширення набувають електронні засоби здійснення фінансових транзакцій (мережі банківських безготівкових платежів, грошових переказів, пластикові платіжні картки, цифрові гроші). Більшість відомих систем електронних платежів (СЕП) характеризуються як своїми перевагами, так і недоліками. Існуючі методи оцінки ефективності СЕП, наприклад [1], не дають комплексного результату ефективності, мають фіксований перелік критеріїв та обмежену сферу застосування. Тому, досить актуальною є задача розробки універсальної системи оцінки ефективності систем електронних платежів. Проведення такої оцінки дозволить обрати найкращий варіант СЕП відповідно до поставленого технічного завдання, а також оптимізувати використані методи, протоколи та криптографічні алгоритми при проектуванні систем електронних платежів.

Для проведення аналізу технічних аспектів ефективності (далі ефективності) системи електронних платежів представимо у вигляді абстрактної моделі та формалізуємо процеси, що у ній відбуваються. Отже, модель СЕП складається з банківської установи „В” (суб’єкт, на якого покладено обов’язки підтримки працездатності системи, розв’язання спірних питань, емісію і розподіл електронної грошової вартості, відкриття та управління клієнтськими рахунками) та абонентів системи „А”, що володіють платіжними інструментами (платіжні інструменти ініціюють проведення операцій в СЕП, можуть зберігати грошову вартість, або лише виконувати функцію ключів доступу до рахунків). Головною операцією СЕП є платіж, тобто передача грошової вартості від одного абонента системи до іншого або між абонентом і банківською установою. Взаємодія між суб’єктами „А” та „В” реалізується шляхом виконання платіжних протоколів, що гарантують безпечну передачу грошової вартості. Модель діє в умовах вимог та обмежень, що накладаються технічним завданням на платіжну систему.

Ефективність СЕП будемо визначати як середнє геометричне всіх відносних коефіцієнтів k_i , що характеризують систему за одним з критеріїв:

$$E = \sqrt[n]{\prod_{i=1}^n k_i}. \quad (1)$$

Представлення загальної ефективності СЕП у вигляді середнього геометричного відносних коефіцієнтів дає можливість використовувати будь-яку кількість таких коефіцієнтів у відповідності до технічного завдання на систему, при цьому внесення у систему нових відносних коефіцієнтів не спотворює значення ефективності, а лише уточнює його.

Такі коефіцієнти k_i є безрозмірними та визначаються як відношення дійсного значення параметра p_i системи до еталонного значення цього ж параметру p_{ie} , що встановлюється технічним завданням, чи рівнем розвитку техніки, відповідних засобів та методів на сьогоднішній день:

$$k_i = \frac{p_i}{p_{ie}}. \quad (2)$$

Відносні коефіцієнти можуть приймати значення в діапазоні від 0 до 1 (0 – вказаний критерій взагалі не