

Міністерство освіти і науки України

Харківський національний університет радіоелектроніки

Кафедра комп'ютерно-інтегрованих технологій, автоматизації та мехатроніки

**II Міжнародна Конференція  
ВИРОБНИЦТВО  
&  
МЕХАТРОННІ СИСТЕМИ 2018**



**II International Conference  
MANUFACTURING  
&  
MECHATRONIC SYSTEMS 2018**

**M&MS**

**2018**

**II International Conference**

**25-26 October**

**Kharkiv**

**УДК: 005:004.896:62-65:338.3**

Виробництво & Мехатронні Системи 2018: матеріали II-й Міжнародної конференції, Харків, 25-26 жовтня 2018р.: тези доповідей / [редкол. І.Ш. Невлюдов (відповідальний редактор)].-Харків: [електронний друк], 2018. – 141с.

У збірник включені тези доповідей, які присвячені сучасним тенденціям розвитку технологій та засобів виробництва та мехатронних систем, передовому досвіду та впровадженню їх в галузях систем промислової автоматизації та керування виробництвом; системній інженерії; CAD/CAM/CAE системах; мехатроніці (електро-механічних системах, електронних інструментах систем керування, механічних CAD системах); робототехніці та засобам інтелектуалізації; MEMS (сучасних матеріалів та технологіям виготовлення MEMS) та компонентам і технологіям автоматизації видобутку, переробки та транспортування нафти та газу.

Редакційна колегія: І.Ш. Невлюдов, О.І. Филипенко, О.М. Цимбал, В.В. Євсєєв

Manufacturing & Mechatronic Systems 2018: Proceedings of IIst International Conference, Kharkiv, October 25-26, 2018: Theses of Reports / [Ed. I.Sh. Nevlyudov (chief editor).] .- Kharkiv .: [electronic version], 2018. - 141 p.

The collection includes the theses of reports on modern trends in the development of technologies and means of production and mechatronic systems, top experience and implementation of them in fields of: industrial automation and production management systems; systems engineering; CAD/CAM/CAE systems; mechatronics (electrical and mechanical systems, electronic control tools, mechanical CAD systems); robotics and intellectual tools; MEMS (modern materials and manufacturing technologies MEMS) and components and technologies for the automation of oil, gas and oil extraction, processing and transportation.

Editorial board: I.Sh. Nevlyudov, O.I. Filipenko, A.M. Tsymbal, V.V. Yevsieiev

© Кафедра комп'ютерно-інтегрованих технологій, автоматизації та мехатроніки (КІТАМ), ХНУРЕ, 2018

Міністерство освіти і науки України (МОНУ)  
Харківський національний університет радіоелектроніки (ХНУРЕ)  
Варшавський університет сільського господарства (WULS - SGGW)  
Азербайджанський державний університет нафти і промисловості  
Національний університет «Львівська політехніка»  
Festo Didactic Україна  
Jabil Circuit Ukraine Limited  
ТОВ «Науково-виробниче підприємство «УКРІНТЕХ»»  
Факультет автоматики і комп'ютеризованих технологій (АКТ)  
Кафедра комп'ютерно-інтегрованих технологій, автоматизації та мехатроніки (КІТАМ),  
Державне підприємство "Харківський науково - дослідний інститут технології  
машинобудування"  
Державне підприємство "Південний державний проектно-конструкторський та  
науково-дослідний інститут авіаційної промисловості"

## **МАТЕРІАЛИ**

**II-ої Міжнародної Конференції**

## **ВИРОБНИЦТВО & МЕХАТРОННІ СИСТЕМИ 2018**

**(25-26 жовтня 2018)  
Харків, Україна**

## ОРГАНІЗАТОРИ



Міністерство  
освіти і науки  
України

Міністерство освіти і науки України (МОНУ)  
The Ministry of Education and Science of Ukraine



**NURE**  
Kharkiv National University  
of Radioelectronics

Харківський національний університет  
радіоелектроніки (ХНУРЕ)  
Kharkiv National University of Radioelectronics



**WARSAW UNIVERSITY  
OF LIFE SCIENCES  
- SGGW**

Варшавський університет сільського  
господарства (WULS - SGGW)  
Warsaw University of Life Sciences WULS - SGGW



**AZONSU**  
AZƏRBAYCAN DÖVLƏT NEFT  
VƏ SƏNAYE UNIVERSITETİ

Азербайджанський державний університет  
нафти і промисловості

Azerbaijan State Oil and Industry University



Festo Didactic Україна  
Festo Didactic Ukraine



UKRAINIAN INNOVATIVE TECHNOLOGIES

ТОВ «Науково-виробниче підприємство  
«УКРІНТЕХ»»  
Research and Production Enterprise  
"UKRINTECH" Ltd



Національний університет «Львівська  
політехніка»

National University Lviv Polytechnic  
Державне підприємство "Харківський науково-  
дослідний інститут технології  
машинобудування, м. Харків, Україна



**ХНДІТМ**

State Enterprise "Kharkiv Scientific-Research  
Institute of Mechanical Engineering Technology",  
Kharkiv, Ukraine



ЮЖИПРОНИИАВИАПРОМ

Державне підприємство "Південний державний  
проектно-конструкторський та науково-  
дослідний інститут авіаційної промисловості",  
м. Харків, Україна

State Enterprise "National Design & Research  
Institute of Aerospace Industries", Kharkiv,  
Ukraine



Jabil Circuit Ukraine Limited



## КОМІТЕТ КОНФЕРЕНЦІЇ

### МІЖНАРОДНИЙ ПРОГРАМНИЙ КОМІТЕТ КОНФЕРЕНЦІЇ

- Ігор Шакирович Невлюдов** голова комітету конференції, доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри комп'ютерно-інтегрованих технологій, автоматизації та мехатроніки (КІТАМ), Харківського національного університету радіоелектроніки, Україна
- Олександр Іванович Филипенко** заступник голови комітету конференції, доктор технічних наук, професор, декан факультету Автоматики і комп'ютеризованих технологій (АКТ), Харківського національного університету радіоелектроніки, Україна.
- Мурад Анвер огли Омаров** доктор технічних наук, професор, проректор з міжнародного співробітництва, Харківський національний університет радіоелектроніки, Україна
- Владислав В'ячеславович Євсєєв** секретар, кандидат технічних наук, професор кафедри комп'ютерно-інтегрованих технологій, автоматизації та мехатроніки (КІТАМ), Харківського національного університету радіоелектроніки, Україна.
- Andrzej Chochowski** доктор технічних наук, професор Варшавського університету сільського господарства (WULS - SGGW), Польща
- Pawel Obstawski** доктор технічних наук, професор Варшавського університету сільського господарства (WULS - SGGW), Польща.
- Сергій Богомолів** лектор/доцент, доктор філософії (комп'ютерні науки), Дослідницька школа комп'ютерних наук, Коледж інженерії та комп'ютерних наук, Австралійський національний університет, Австралія.
- Микола Васильович Замірець** доктор технічних наук, професор, генеральний директор - головний конструктор Державного підприємства Науково-дослідного технологічного інституту приладобудування, Україна
- Михайло Васильович Лобур** доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри систем автоматизованого проектування Національного університету «Львівська політехніка», Україна.
- Євген Сергійович Риженко** керівник відділу дидактики ДП «Фесто», Україна
- Сергій Володимирович Демченко** директор ТОВ «Науково-виробничого підприємства «УКРІНТЕХ»», Україна.

- Самед Імамалі огли Юсіфов** кандидат технічних наук, доцент, декан факультету інформаційних технологій та управління, Азербайджанський державний університет нафти і промисловості, Азербайджан.
- Фарід Гаджі огли Агасв** кандидат технічних наук, доцент, завідувач кафедри управління та системної інженерії, Азербайджанський державний університет нафти і промисловості, Азербайджан.
- Віктор Васильович Косенко** доктор технічних наук, доцент, директор Державного підприємства «Харківського науково-дослідного інституту технології машинобудування», Україна.
- Володимир Вікторович Козирський** доктор технічних наук, професор, директор Навчально-наукового інституту енергетики, автоматики та енергозбереження, Національний університет біоресурсів і природокористування України, Україна.
- Віталій Пилипович Лисенко** доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри автоматики та робототехнічних систем ім. акад. І.І. Мартиненка, Національний університет біоресурсів і природокористування України, Україна.
- Юрій Францевич Зіньковський** доктор технічних наук, професор кафедри радіоконструювання і виробництва радіоапаратури, Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», Україна.
- Володимир Митрофанович Свищ** доктор технічних наук, професор, радник директора Державного науково-виробничого підприємства «Об'єднання Комунар», Україна.
- Віталій Євгенович Овчаренко** доктор технічних наук, професор, заступник директора з наукової роботи Державного підприємства «Науково-дослідний технологічний інститут приладобудування», Україна.
- Лариса Сергіївна Глоба** доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри інформаційно-комунікаційних мереж, Інститут телекомунікаційних систем Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», Україна.
- Анатолій Олександрович Андрусевич** доктор технічних наук, професор, начальник Криворізького коледжу Національного авіаційного університету, Україна.
- Роман Володимирович Артюх** кандидат технічних наук, директор Державного підприємства «Південний державний проектно-конструкторський інститут авіаційної промисловості», Україна.
- Glen Kurtwitz** генеральний менеджер Titan Machinery Limited, Шотландія.

- Liu Shan** генеральний менеджер Titan Machinery Limited, Китай.
- Володимир Андрійович Павлиш** кандидат технічних наук, професор, перший проректор Національного університету «Львівська політехніка», Україна
- Сергій Іванович Осадчий** доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри автоматизації виробничих процесів, Центральноукраїнський національний технічний університет, м.Кропивницький, Україна.
- Анатолій Афанасійович Єфіменко** доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри електронних засобів та інформаційно-комп'ютерних технологій, Одеський національний політехнічний університет, Україна
- Анатолій Петрович Ладанюк** доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри автоматизації та інтелектуальних систем, Національний університет харчових технологій, Україна.
- Володимир Михайлович Решетюк** кандидат технічних наук, доцент кафедри автоматики та робототехнічних систем ім. акад. І.І. Мартиненка, Національний університет біоресурсів і природокористування України, Україна.

## ОРГАНІЗАЦІЙНИЙ КОМІТЕТ КОНФЕРЕНЦІЇ

- Олександр Михайлович Цимбал** заступник голови конференції з організаційних питань, доктор технічних наук, професор кафедри комп'ютерно-інтегрованих технологій, автоматизації та мехатроніки (КІТАМ), Харківський національний університет радіоелектроніки, Україна.
- Віктор Андрійович Палагін** доктор технічних наук, професор кафедри автоматизації та мехатроніки (КІТАМ), Харківський національний університет радіоелектроніки, Україна.
- Сергій Павлович Новоселов** кандидат технічних наук, професор кафедри комп'ютерно-інтегрованих технологій, автоматизації та мехатроніки (КІТАМ), Харківський національний університет радіоелектроніки, Україна.
- Євген Анатолійович Разумов-Фризюк** кандидат технічних наук, доцент кафедри комп'ютерно-інтегрованих технологій, автоматизації та мехатроніки (КІТАМ), Харківський національний університет радіоелектроніки, Україна.
- Вікторія Олегівна Бортнікова** асистент кафедри комп'ютерно-інтегрованих технологій, автоматизації та мехатроніки (КІТАМ), Харківський національний університет радіоелектроніки, Україна.
- Олена Олександрівна Чала** асистент кафедри комп'ютерно-інтегрованих технологій, автоматизації та мехатроніки (КІТАМ), Харківський національний університет радіоелектроніки, Україна.

## ЗМІСТ

*Valentin Filatov, Valerii Semenets*

Autonomous Agent's Behavior Model Based on Automata Theory ..... 12

*M.B.Mammadova, S.F.Cafarov*

Features of Industrial Automation at Enterprises of Oil and Gas Complex of Azerbaijan ..... 15

*Бойко Регіна*

Комплексування методів керування організаційно-технічними (технологічними) системами з використанням інформаційних технологій ..... 17

*Владислав Лебедев, Владислав Нестеренко*

Фактори порушення траєкторії руху мобільного робота і механізми їх компенсації ..... 21

*Rasim Rahimov*

Room Scheduling System ..... 24

*Олександр Цимбал*

Нечітка модель у засобах прийняття рішень інтелектуального робота .. 27

*Олександр Карлангач*

Перспективні рішення побудови конструкцій радіоелектронних апаратів на основі стандартних несучих конструкцій ..... 31

*Мурад Омаров, Роман Цехмістро*

Автоматизована система відбору і тепловізійна діагностика нежиттєздатних ембріонів в період інкубації яєць сільськогосподарської птиці ..... 35

*Володимир Штепа, Світлана Вертай, Наталія Заєць*

Методичне забезпечення автоматизованих систем водоочистки ..... 38

*Эльчин Меликов*

Управление процессом первичной переработки нефти ..... 41

<i>Maksymenko Karyna, Zakharov Roman</i>	
Development of a Detailed 3D Model of Bioelectric Prosthesis for Proceedings .....	45
<i>Ігор Невлюдов, Владислав Євсєєв, Анастасія Демська</i>	
Розробка синтаксичної та семантичної моделі мови визначення і опису даних предметної області .....	48
<i>Вячеслав Роменський, Олексій Макаренко</i>	
Механізація виготовлення деталей приладобудування методом холодної листової штамповки .....	53
<i>Артем Благодарь, Володимир Никифоров, Дмитро Кухаренко</i>	
Дослідження впливу інфразвуку на біоту .....	57
<i>Олександр Горєлов, Дмитро Кухаренко</i>	
Створення тривимірної моделі шлунково-кишкового тракту людини ...	59
<i>Валерий Семенец, Анатолий Синотин, Татьяна Колесникова</i>	
Исследование температурных полей РЭА методом регулярного теплового режима .....	63
<i>Артем Бронніков, Дмитро Шендрик</i>	
Керування та навігація автоматизованими роботами-аватарами .....	66
<i>Іхтіяров Артем</i>	
Застосування лінійної апроксимації множини точок методом МНК у задачі побудови моделі оточуючого простору мобільним роботом .....	70
<i>Anatoliy Ladanyuk, Viacheslav Ivaschuk, Yaroslav Smityukh</i>	
Control Method for Multi-assortment Production Processes .....	74
<i>Володимир Тігарєв, Віра Салій, Павло Зайцев</i>	
Розробка технології створення тривимірної моделі в синхронному середовищі проектування сучасних САПР .....	77
<i>Роман Артюх, Аліна Єлізеєва, Наталія Косенко</i>	
Моделі процесів логістичного управління закупівлями виробничого підприємства .....	81

<i>Віктор Косенко, Ольга Малєєва, Олена Персіянова</i>	
Інформаційна технологія ризик-адаптивного управління параметрами мережі передачі даних програмно-технічного комплексу .....	84
<i>Almaz Mehdiyeva, Matanat Bayramova</i>	
Modeling and Optimization of the Refining Process .....	88
<i>Георгій Кулинченко, Алексей Дрозденко, Роман Петренко</i>	
Задачи визуализации данных теплового сканирования .....	91
<i>Олександр Малий, Сергій Гарачук</i>	
Сучасні технології та засоби вивчення рельєфу дна водойм .....	96
<i>Олександр Малий, Олександр Піроженко</i>	
Огляд алгоритмів, моделей та стратегій для розподілу поставлених задач групам роботів, що виконують загальну мету .....	99
<i>Дмитро Власенков</i>	
Застосування процедурних авіаційних тренажерів із автоматизованою системою контролю набутих компетентностей в процесі підготовки авіаційних спеціалістів як фактор поліпшення стану безпеки польотів .	102
<i>Євгеній Разумов-Фризюк, Олексій Гусак, Дмитро Нікітін, Ігор Баданюк, Андрій Олійник, Сергій Іорданов, Олексій Водоріз, Олександр Колодяжний.</i>	
Розробка конструкції та виготовлення лазерного гравера .....	106
<i>Олійник Андрій, Ігор Баданюк, Сергій Іорданов, Дмитро Нікітін, Олексій Гусак, Олексій Водоріз, Євгеній Разумов-Фризюк.</i>	
Розробка конструкції та виготовлення 3D принтеру з механікою Delta .	109
<i>Борис Малик , Олена Токарева, Світлана Малик-Заморій</i>	
Підвищення ефективності роботи оптоволоконних ліній зв'язку в умовах впливу зовнішніх факторів оточуючого середовища .....	111
<i>Віктор Письменецький, Олександр Профатіло, Владислав Райков</i>	
Оптимізація режимів нанесення фоторезисту .....	115

<i>Юрий Александров, Николай Стародубцев, Шахін Омаров</i>	
Исследование процесса формирования микросоединений методом ультразвуковой сварки при изготовлении ГПП .....	118
<i>Николай Стародубцев, Анатолий Андрусевич, Виктория Невлюдова</i>	
Анализ физико-химических процессов при формировании и разрушении сварных соединений ГПП .....	122
<i>Владислав Евсеев, Салиева Веляде</i>	
Разработка классификации конвейеров по основным признакам .....	127
<i>R.A.Mayilov, E.A. Khanmamedova</i>	
Determination of the working putting out for the correction of signals transmitted on the damaged communication lines .....	131
<i>Сергей Новоселов, Оксана Сычева</i>	
Автоматизация измерения теплового сопротивления для исследования свойств полупроводников .....	133
<i>В.М. Тігарєв, В.І. Салій, П.В. Зайцев</i>	
Розробка технології створення параметричної моделі торгового обладнання у САПР Autodesk Inventor .....	137

# Autonomous Agent's Behavior Model Based on Automata Theory

Valentin Filatov<sup>1</sup>, Valerii Semenets<sup>2</sup>

1. Artificial Intelligence Department, Kharkiv National University of Radio Electronics, UKRAINE,  
Kharkiv, Nauki Ave. 14, e-mail: valentin.filatov@nure.ua
2. Department of Metrology and Technical Expertise, Kharkiv National University of Radio Electronics, UKRAINE,  
Kharkiv, Nauki Ave. 14, e-mail: valery.semenets@nure.ua

**Abstract:** This paper is devoted to a problem of management the corporate system's information space. The management is carried out on the technology of the program agents. The approach to construction the program agent's model on a basis of frame structure is considered. The frame is fixed as universal extension system. For the decision of concrete tasks the functional modules - slots can be added in it. Base structure for model of behavior of the program agents in information environment is the model based on the finite-state machine. The offered models can be used for development the systems for administration of information resources in the allocated computing systems.

**Keywords:** information system, database, frame, program agent, autonomous agent, automata theory, multi-agent system.

## I. INTRODUCTION

The main trends in the development of information systems and distributed databases is, on the one hand, the decentralization and distribution of information management resources, and on the other hand, the heterogeneity of the data storage structures of information systems. Thus, distributed automated systems become the basis of the information structure of data storage, processing and management, and provide the society informatization - the creation of a single information space. Requirements for the performance of distributed automated systems increase with the expansion of regional, national and international integration processes in economy and business.

There is a significant number of works, studies, models, methods and software products, which solve various problems of creating integrated information systems with different efficiency and create opportunities for building intelligent systems based on the technology of software agents.

Research performed by S.J. Russell, P. Norvig, M.N. Huhns, N.R. Jennings, H.S. Nwana, A.R. Simon, P. Wegner, M. Wooldridge etc. is the most recognized in this area. Promising solutions include the development of intelligent systems for the integration and management of information resources based on the technology of software agents [1].

## II. PURPOSE OF RESEARCH

The idea of managing information systems and resources with the help of standalone dispatcher programs according to the scenario is not new. Later, real-time dispatcher programs supported distributed computing in mini-computer networks. Now this idea is the basis of the technology of program agents with mobile behavior scenarios implemented in one of the programming languages.

There are a lot of definitions of the concept "agent" depending on the view of distributed processing of knowledge. From the point of view of distributed computing, the agent is a separate process that runs in parallel; it has a certain state and is able to interact with other agents through the transmission of messages. In this sense, it can be considered as a natural development of the paradigm of object-oriented parallel programming. Essentially, program agents perform tasks delegated to them by users. Depending on the specific task, agents can be hosted on personal computers of different purposes up to Web servers. From the point of view of object-oriented programming, a program agent can be viewed as a technology for sharing distributed knowledge and functions. Each agent is a process possessing a certain part of knowledge about the object with the possibility to exchange this knowledge with other agents [2].

## III. CURRENT STATE OF AGENT TECHNOLOGIES

In the modern information space, there are intelligent agents that operate in isolation and perform tasks in accordance with specified scenarios. Currently, there are the following types of intelligent agent architectures:

- Simple Reflex Agents;
- Model-Based Reflex Agents;
- Goal-Based Agents;
- Utility-Based Agents.

Multi-agent systems are increasingly used in information technology. Agents are able to find each other in cybernetic space on the basis of technologies of interaction of program agents that function as coordinators or centers of information exchange,



accumulating data about other agents and their functions [3].

Multi-agent systems are characterized by local autonomy, social interaction, adaptability, robustness, and scalability. These are key properties of complex distributed systems: Game playing, Optimization logistics and production processes, Pattern recognition, Computer vision, Speech recognition, Intelligent control, Data mining.

The agent system is a paradigm that takes inspiration from several disciplines, mainly from distributed artificial intelligence. That is related to study and model systems possessing life, i.e. capable of reproducing, surviving and adapting in hostile environments.

Multi-agent systems are based on a society of distributed autonomous, cooperative entities, each one having a proper role, knowledge and skills, and a local view of the world, being its behavior regulated by simple rules. Agent-based solutions replace the centralized, rigid and monolithic control by a distributed functioning where the interactions among individuals lead to the emergence of intelligent global behavior [4].

There are a number of obstacles to the large-scale deployment of multi-agent systems in the information space. The task of harmonizing standards that ensure the joint work of agents created by different developers should be singled out among the priority problems.

#### IV. DEVELOPMENT OF THE PROGRAM AGENT BEHAVIOR MODEL

Let us consider one approach to constructing the behavior model of the program agent in accordance with the basic requirements imposed on the properties of program agents - autonomy of functioning and the ability to perform expedient actions. A model based on the theory of an automaton can be considered as a basic structure for constructing the model of behavior of program agents in the information environment, [5,6].

$$\varphi(t+1) = \Phi[\varphi(t), Q(t+1)] \quad (1)$$

$$f(t) = F[\varphi(t)] \quad (2)$$

Equation (1) describes the dependence of the change in the states of the automaton under the influence of the input variable  $Q(t)$ , and equation (2) describes the action of the automaton  $f(t)$  depending on its states. The input variable has only two values and specifies a pair of mappings of the automaton state sets into itself. One of these mappings is specified for  $Q = 0$ , the other is for  $Q = 1$ .

These mappings are stored in the form of a matrix of states  $\|\alpha_{ij}(Q_1)\|$ ,  $(i, j = 1, 2, \dots, n)$ . To determine the problem of the behavior of an

automaton, it is necessary to give a characteristic of the medium with which the automaton interacts.

The automaton  $U$  is in a random stationary environment  $C = C(a_1, a_2, \dots, a_x)$  if the actions of the automaton and the values of its input variable are related as follows: the action  $f_\alpha$ ,  $\alpha = 1, 2, \dots, x$  produced by the automaton at time  $t$  entails the loss  $Q = 0$  at the time  $t + 1$  with probability  $p_\alpha = (1 - a_\alpha) / 2$  or the gain  $Q = 1$  with probability  $p_\alpha = (1 + a_\alpha) / 2$ . An automaton with a sufficiently large set of states (memory capacity) possesses an appropriate behavior in the medium  $C$  [7,8].

The logical model of a program agent in the form of a frame allows one to apply effectively the theory of automata to construct and study a behavior model. In general, such a model can be written as follows:

$$FR\{\langle R_1, C_{11} \rangle, \dots, \langle R_2, C_{21} \rangle, \dots, \langle R_{kl}, C_{km} \rangle\} \quad (3)$$

The slot in the model (3) is a logical construction for the implementation of specific tasks to the frame-program agent. Slots from the frame can be deleted, added, and the functionality of the job slot can be changed. However, the classical representation of a slot in the form  $\langle \text{name} \rangle, \langle \text{value} \rangle$  cannot fully reflect the requirements of the logical model of the program agent in the form (3).

Let us modify the structure of the slot and bring it to the following form:

$$\text{Slot} = \langle Y, D, \text{dom}, r_i, \theta, \Sigma \rangle, \quad (4)$$

where  $Y$  – is the set of attribute names,  $D$  – is the set of domains,  $\text{dom}$  – is the mapping of  $Y \Rightarrow D$ ,  $r_i$  – is the model-tuple of the  $i$ -th task of the agent,  $\Sigma$  – is the set of operations on relations.  $r_i = \{\{R\}_i\}$ , where  $\{R\}_i$  – is the set of states of the tuple  $r_i$ ,  $\theta$  – is the set that determines the initial conditions and signs of performing actions in the structure of the job. The slot can be designed using a typical set of attributes:

$$Y = \{\langle \text{OBG} \rangle, \langle \text{ACT} \rangle, \langle \text{CON} \rangle, \langle \text{STA} \rangle\}.$$

Description of the possible basic types is given in Table 1.

In the proposed “frame-program agent” model, the  $n$ -slots form a finite number of internal states of the agent  $\varphi_i$  ( $i = 1, 2, \dots, n$ ). Each slot solves one task in the information environment and has one specific action  $f_i$  ( $i = 1, 2, \dots, n$ ), i.e. one action corresponds to one agent state. For each state, the environment responds with a response signal  $Q(t)$ .

Then the behavior of the program agent can be given by equations of the form (1) and (2).

Table 1  
Basic types of attributes

Entity	Entity name	Description
OBJECT	OBG	Database, file, folder, disk, PC
ACTION	ACT	Copy, monitor, protect
CONDITION	CON	IF- THEN, predicate
STATUS	STA	1 – the action on the object was successful, 0 – action failed, * – result of action is uncertainty

Equation (1) determines the change in the internal states of the program agent under the influence of the input variable  $Q(t)$ , and equation (2) is the dependence of the agent's output action on its internal state [9].

Let us assume that the input variable  $Q(t)$  in the general case can take three values of "0", "1" and "uncertainty". The value of  $Q = 1$  will correspond to the successful completion of the action of the program agent at the time  $t = t^*$  to the action of the agent  $f(t^*)$ . The value  $Q = 0$  – corresponds to the unsuccessful action, and the action in the maintenance or execution mode, will correspond to the state  $Q = \text{"uncertainty"}$ .

The variable  $\varphi(t)$  may take different values  $\varphi_1, \varphi_2, \dots, \varphi_n$ . These values will be called program agent states;  $n$  – is its information capacity. Values of a variable  $f(t)$  will be called actions of the program agent. Then we can state the following: at the time  $t$  the program agent  $A_g$  is in the  $j$ -th state  $j = 1, 2, \dots, n$ , if  $\varphi(t) = \varphi_j$ . The action  $f_j$  is called an action corresponding to the state  $\varphi_j$ ,  $F(\varphi_j) = f_j$ . Equation (2) describes the dependence of the actions of the program agent on its states, equation (1) – describes changes in its states under the influence of the input variable. The transfer function of the program agent can be specified by the matrix system. Matrix  $\|\alpha_{ij}(Q_1)\|$ , ( $i, j = 1, 2, \dots, n$ ) corresponds to each value  $Q_1$ , this matrix determines the change of the states of the program agent under the influence of the signal  $Q_1$ .

The advantage of the logical representation of the program agent model is that it can be combined with a state matrix and, thus, reflect the current state and the transfer function of the program agent,

depending on the values of the input variable  $Q(t)$ .

## V. CONCLUSION

The problem of constructing a model of autonomous behavior of a program agent for solving information management tasks in the computing system is considered. The formal approach to constructing the behavior model of program agents based on the theory of automata is substantiated. The proposed approach to constructing the behavior model of a program agent can be effectively used to develop multi-agent systems for solving the problems of managing and monitoring information resources of distributed computing systems.

## REFERENCES

- [1] M. Wooldridge, "An Introduction to MultiAgent Systems", John Wiley & Sons, 2009.
- [2] Stuart J. Russell, Peter Norvig, "Artificial Intelligence: A Modern Approach", 2nd ed., Upper Saddle River, New Jersey, Prentice Hall, 2003.
- [3] V. Filatov, "About one approach to the classification of program agents", *Proceedings of International Conference Modern Problems of Radio Engineering, Telecommunications and Computer Science (TCSET)*, 2006.
- [4] В.А. Филатов, Е.Е. Цыбульник, Л.Э. Чалая, "Модель мультиагентной системы автономного администрирования информационных систем и распределенных баз данных", *Новости искусственного интеллекта*, 2002, № 4, с. 620-627.
- [5] В.А. Филатов, В.А. Кривонос, О.Ф. Козырь, "Адаптивные автономные сценарии в задачах управления информационными ресурсами предприятия", *Инженерный вестник Дона*, 2013, № 3.
- [6] В.А. Филатов, "Модель поведения автономного агента на основе теории автоматов", *Вестник Херсонского государственного технического университета*, Херсон: ХГТУ, 2004, № 1 (19), с.108 - 111.
- [7] L. Dennis, M. Fisher, N. Lincoln, A. Lisitsa, S.Veress, "Practical verification of decision-making in agent-based autonomous systems", *Autom. Softw. Eng.*, 2014, pp. 1-55.
- [8] G. De Giacomo, and M. Vardi, "Automata-theoretic approach to planning for temporally extended goals", *Lecture notes in computer science*, 2000, pp. 226-238.
- [9] G. Martius, K. Fiedler, and J. M. Herrmann, "Structure from Behavior in Autonomous Agents", in *IEEE International Conference on Intelligent Robots and Systems*, 2008, pp. 858-862.

# Features of Industrial Automation at Enterprises of Oil and Gas Complex of Azerbaijan

M.B.Mammadova<sup>1</sup>, S.F.Cafarov<sup>1</sup>

1.Azerbaijan State oil and Industry University, AZERBAIJAN,  
Baku, AZ1010, Azadliq 20, e-mail: senan\_jaf@rambler.ru

**Abstract:** The issues of automatization at the enterprises of the oil and gas complex of Azerbaijan are being considered. The basic directions of industrial automation are determined and the determining factors are revealed. The concept of "industrial intelligence" is used, which increases the efficiency of automation and thereby increases the quality of products.

**Keywords:** automated control systems, programmable logic controllers, SCADA system, database, Human-Machine Interface, OPC

## I INTRODUCTION

Oil companies are giant, geographically distributed multifunctional production and commercial entities. They cover the whole chain of oil business: exploration and production, refining and petrochemistry, wholesale and retail sales. At the enterprises old systems constructed many years ago, and "homemade" of later time, etc. are used. All of them, as a rule, were built step by step and solved only private, current problems at that moment when they were developed and introduced. Often, when creating these systems, today's building principles such as scalability, flexibility, unification, reliability, and openness are not taken into account. This has led to the fact that the information on production processes is either unreliable, or insufficiently complete, or absent at all, or inaccessible to decision-makers, or available in a form that does not allow the use of modern methods of integrated analysis.

## II FORMULATION OF THE PROBLEM AND SOLUTION

Maintenance of existing systems in working order and their modernization require increasing financial costs. In most enterprises of the oil and gas complex, automation is spontaneous, projects are funded from different sources, development is conducted by unrelated development teams. And this again leads to the lack of compatibility of operating systems, communications, application tasks, storage formats and data management.

When installing a new system, you often need to accept or send data to a long-running system. When upgrading existing systems, it is often impossible (or technically inexpedient) to replace all obsolete equipment. There are also tasks of docking with the latest equipment in the automation of new, under construction objects. The information collected by the complex is often required to be transferred to the existing automated control system of the enterprise. At the same time there are following problems:

- Each dispatch program must have a driver for a particular ASU device.
- There are conflicts between the drivers of different developers, which leads to the fact that some modes or parameters of the hardware are not supported by all software developers.
- Hardware modifications may result in loss of driver functionality.
- Conflicts when accessing the device - different dispatch programs can not access one device at the same time due to the use of different drivers.

Some equipment manufacturers are trying to solve this problem by developing additional drivers. However, these attempts meet the strong resistance of the developers of dispatching systems, which should, in this case, complicate their client protocols. To effectively solve these problems, the concept of "industrial intelligence" is used. The basis for developing tools that allow building systems with "industrial intelligence" is a new one that enables you to quickly and efficiently create software products and achieve the coordinated functioning of all applications, production systems and automation subsystems at all levels.

The concept of "industrial intelligence" includes the following:

Application of programmable logic controllers

The main task of PLC (Programmable Logic Controller) is to provide efficient control of the technological process. In industrial automation, programmable logic control devices are programmed using special equipment. A certain number of input logical states is combined using the Boolean algebra to form a logical output state. If in the first generation of PLC systems for this purpose relay technology was used, then in modern hardware devices, of course, microprocessor technology is used. Despite this evolution, PLC programming is still carried out using assembler-like syntax, consisting essentially of logical and integer operations. It is extremely difficult to enter floating-point operations [1].

On the other hand, ergonomics and today's safety precautions require the use of graphical interfaces and network structures. Modern technologies can not be satisfied with classic PLCs. Traditionally, the cost of installing PLC-based systems is calculated as a set of PLC point installations. Therefore, the introduction of a new PLC concept is possible only if the cost per point does not come out of the range acceptable for the traditional PLC. The range of products offered today is extremely wide. All of them are built according to the trunk-module principle, they are

mounted on the panel, operate on +24 V voltage, support Fieldbus communication protocols, have a wide range of modules:

- digital input / output modules;
- communication modules;
- Analog I / O modules;
- modules of temperature controllers;
- positioning modules;
- PID modules;
- Motion control modules, etc.

#### Access to technical information in Real Time

At present, in technological processes there is a large number of heterogeneous and loosely coupled automated systems that perform their local tasks. This is due, first of all, to the considerable distance of technological objects from each other. As a result, a single technological process is controlled by several unrelated systems. By influencing some part of the technological process, we influence the whole process as a whole. To determine the full picture of the technological process, it is necessary to manually collect and process data from dozens of different automated systems [2]. There can be no real time and speech. This leads to errors in management, increased accident rate and increased costs. The way out of this situation is a purposeful and carefully planned construction of a single information space of the enterprise. A tool for solving this problem is a real-time database. Such, for example, as IndustrialSQL. This product is becoming more popular and has advanced capabilities for building client applications for processing, analyzing and displaying production information to dispatchers, technologists, geologists, and mechanics. The economic effect of the integration of heterogeneous automated systems is the reduction of losses due to the adoption of more correct and timely decisions. The timely receipt of information about accidents anywhere reduces the loss.

#### Application of efficient SCADA systems

Modern automated process control system (automated process control system) is a multi-level human-machine control system. The creation of automated control systems by complex technological processes is carried out using automatic information systems for data collection and computer systems, which are constantly being improved as the technology and software evolve [3].

Today almost any industrial enterprise operates the systems of automated process control systems and uses software of the HMI / SCADA class. There are a number of decent products on the market, and the end user, and the system developers have plenty to choose from. At the same time, the requirements imposed by customers for newly implemented management systems are constantly growing with the development of IT, i.e. fast. It is not enough simply to output to the local operator's workstation the data on the technological process - it is required to provide or provide for the future the use of a single resource of production information and interaction between the technological and business level of management via the Internet / Intranet. The situation when the

enterprise uses a large number of computers physically connected by a local network, but often unable to coordinate management tasks, only contributes to the customer's desire to seek new approaches in the field of automation. The concept of a single information field implies the presence of an end-to-end vertical data flow between the management systems of individual processes at the operator level to the system for ensuring management decision-making. Of course, the solution of such a wide range of tasks, especially at large enterprises, can not be provided only through the use of HMI / SCADA software in their traditional sense. But the basis of any information system of industrial enterprises was and will remain software products intended for the collection and primary processing of technological

#### Application of OPC technology

OPC (OLE for Process Control) is an industry standard created by a consortium of world-renowned hardware and software manufacturers with the participation of Microsoft. This standard describes the interface for exchanging data between process control devices. The main goal was to provide developers of dispatching systems some independence from a particular type of controllers [4]. OPC is based on OLE / COM / DCOM technology from Microsoft, Inc. OPC technology defines two classes of programs: an OPC server interacting with telemechanics equipment and an OPC client receiving data from the OPC server for further processing and transmitting control commands to the OPC server.

OPC conducts a clear demarcation line between the equipment manufacturers and the driver developers. This technology provides a mechanism for collecting data from various sources and transferring this data to any client program, regardless of the type of equipment used. This allows developers to focus on performance and optimizing the performance of the server part, which is responsible for data collection.

Using the OPC specification, the hardware manufacturer is able to develop a server program that provides access to these client programs by various software vendors. In turn, software producers have the ability to receive data for processing from several different systems using a standard interface.

Increasing the level of knowledge of personnel in the field of information technology

One of the reasons for the backlog in the field of information technology from developed countries is the lack of knowledge in this area among production personnel and enterprise managers. Often, information technologies are viewed as something fashionable, unessential in the face of investment scarcity, and creating unnecessary problems, which they seem to be working off as they seem to be. This is especially true for the services of mechanics and technologists. Instead of being initiators of the introduction of new information technologies, which can greatly facilitate their activities, they are at best passive. As a result, their problems remain on the sidelines and are not taken into account when

choosing automation priorities, setting the most relevant and cost-effective tasks.

To remedy the situation, it is very important to organize the training of these categories of specialists with new modern methods of work based on information technologies. In this respect, modern methods of distance learning can help, which allow to receive additional education without interruption of production.

The level of information technology production, developed by leaders in industrial automation, is now very high, but the potential inherent in software products is still used with low efficiency.

Increasing the level of automation of production should not be forgotten and about raising the level of knowledge of specialists and managers of all ranks of the oil and gas company in the field of information technology.

### III. CONCLUSION

1. At the stage of choosing information technologies and specific means of automation in the oil and gas industry it is important to be guided not only by the size of the required capital costs, but also to take into account the cost of ownership of these information technologies.

2. Using the OPC specification, the hardware manufacturer has the opportunity to develop a server program that provides access to these client programs by various software vendors

3. Increasing the level of literacy in the field of information technology for employees of all enterprise services is a prerequisite for understanding the capabilities of modern automation systems for increasing production efficiency.

### REFERENCES

- [1] Dzhfarov, S.F. Modern technical means and software of vibration dosing processes, Proceedings of Higher Technical Institutions of Azerbaijan, №2, 2007, pp.51-56.
- [2] BORIZONKOV, N.I. "Advantages and disadvantages of the integrated approach to the automation of production", journal "Automation in Industry", No. 3, 2005
- [3] Kuznetsov A. Genesis for Windows - graphic SCADA-system for the development of process control systems. // Modern technologies of automation .- 1997.-? 3.
- [4] About PC Data Access Automation Interface Specification, Version 2.02. Instead of version 2.01; released on 03.02.99.OPC Foundation, 2004.

# Комплексування методів керування організаційно-технічними (технологічними) системами з використанням інформаційних технологій

Бойко Регіна

Кафедра ІС, Національний університет харчових технологій, УКРАЇНА,  
Київ, вул. Володимирська 68, email: rela@ukr.net

**Анотація:** розглянута можливість використання інформаційних технологій для комплексування методів керування організаційно-технічними (технологічними) системами, а також викладені проблеми, що виникають при дослідженні комплексних механізмів їх керування.

**Ключові слова:** організаційно-технічні (технологічні) системи, комплексування, інформаційні технології, технологічні комплекси, керування.

## I. ВСТУП

При автоматизації виробництва різного призначення в харчовій промисловості, виділяються в окремий клас технологічні комплекси (ТК) як організаційно-технічні

(технологічні) системи (ОТС). Також розглянута можливість комплексного використання вже існуючих методів та принципів керування для отримання нових, більш досконалих систем.

## II. ОСНОВНІ РЕЗУЛЬТАТИ

При управлінні із різноманіття систем керування виділяють клас організаційно-технічних (технологічних) системи [1,2,3]. Важливість цих систем полягає в тому, що інформаційні системи входять в них як компоненти та, власне, будь-яке підприємство, фірма, корпорація являє собою таку систему. Іншими словами реальне управління – це

управління складними організаційно-технічними (технологічними) системами, які фактично є основним джерелом підвищення техніко-економічних показників підприємства в цілому.

Для можливостей комплексування різних методів і технологій та підвищення ефективності виробництва під організаційно-технічною (технологічною) системою (ОТС) доцільно розуміти штучну, самоорганізаційну, динамічну, організаційно-технічну сукупність взаємопов'язаних елементів, призначених для виробництва товарної продукції, надання послуг чи іншої діяльності, що виконується людиною [4].

Системам такого типу притаманні такі властивості та особливості:

- мінливість у часі власної структури та виконуваних функцій;
- неповна відповідність своєї структури цілям системи, що змінюється у часі, або вектору цілей (мети) системи, який змінюється;
- мінливість цілей функціонування, що обумовлено зміною середовища або діями конкурентів;
- неповна інформація про умови функціонування системи;
- неповнота формальних критеріїв для прийняття рішень з підтримки цілісності та розвитку системи;
- непослідовність рішень особи, що приймає рішення (ОПР), дії якої можуть не відповідати заздалегідь визначеним цілям, а прийняті рішення можуть надавати негативний вплив на систему;
- інтелектуальність – означає, що в міру накопичення досвіду функціонування ОТС, з'являється можливість поліпшення її дій;
- принцип “одноосібного керування” означає, що в кожній складній організаційно-технічній (технологічній) системі є тільки одна особа, яка приймає рішення.

При розробці систем керування з використанням інформаційних технологій, може бути використано підхід, викладений у [5]. Розглянемо базову модель ОТС, яка включає в себе один керований суб'єкт (агент) та один керівний орган (центр), які приймають рішення одноразово та в умовах повної інформативності (рис.1.) [6,7,8,9]. Маємо: на вході – керівний вплив, на виході – дію керованого суб'єкта (стан керованої системи).



Рис.1 Базова модель організаційної системи

Перелічимо розширення базової моделі ОТС [8].

1. Динамічні (учасники приймають рішення багаторазово – розширення по предмету керування “порядок функціонування”).
2. Багатоелементні (існує декілька агентів, які приймають рішення одночасно та незалежно – розширення по предмету керування “склад”).
3. Багаторівневі (мають трьох- та більше рівневу ієрархічну структуру – розширення по предмету керування “структура”).
4. З розподіленим контролем (існує декілька центрів, що керують одними й тими самими агентами - розширення по предмету керування “структура”).
5. З невизначеністю (учасники не повністю інформовані щодо існуючих параметрів - розширення по предмету керування “інформованість”).
6. З обмеженнями спільної діяльності (існують глобальні обмеження на спільний вибір агентами своїх дій – розширення по предмету керування “множина допустимих стратегій”).
7. З повідомленням інформації (одна з дій агентів полягає в повідомленні інформації один одному та/чи центру – розширення по предмету керування “множина допустимих стратегій”).

Таким чином, якщо в базовій моделі використовується деякий елементарний механізм, то перехід до того чи іншого з перших чотирьох розширень базової моделі (кожне з яких може розглядатись як сукупність взаємозв'язаних базових моделей) породжує проблему комплексування елементарних механізмів – побудова нового комплексного механізму, що представлений у вигляді сукупності взаємозв'язаних елементарних механізмів.

Також для комплексних механізмів потребують вирішення ряд загальних проблем:

- допустимість (задоволення системи обмежень);
- несуперечливість (достатня кількість інформації, “узгодженість” послідовних входів та виходів, ациклічність процедур прийняття рішень);
- повнота та оптимальність;
- операціональність (можливість рішення для комплексного механізму задачі синтезу, бажано – аналітичного);
- наслідування (стійкість) властивостей механізмів по відношенню до комплексування/декомпозиції.

Процедури комплексування різних технологій та методів доцільно розглядати в різних постановках. Наприклад, у [10] нами розглядалися задачі координації систем технологічного комплексу з урахуванням ситуацій. В основі проектування систем управління лежать такі положення:

- ТК як об'єкт управління має ієрархічну структуру, яку на концептуальному рівні можна описати так: технологічний оператор

(елементарний технологічний процес)  $\Rightarrow$  загальний технологічний процес (технологічний агрегат)  $\Rightarrow$  технологічна підсистема (відділення) виробництво (основне, допоміжне)  $\Rightarrow$  підприємство (завод);

- при оцінці станів підсистем та ТК у цілому використовуються когнітивні карти, нечіткі когнітивні карти, поради системи з нечіткою логікою в класі «ситуація-дія» або «ситуація-стратегія управління-дія». Тоді сама система управління явно не задається, а реалізується за допомогою нечіткої ситуаційної мережі у вигляді нечіткого зваженого графу переходів за еталонними ситуаціями в залежності від початкової та цільової ситуації;

- ситуації, в яких можуть знаходитись ТК та його підсистеми, визначаються множинами факторів, які зумовлені технологічними відхиленнями від розрахункових (оптимальних) технологічних режимів, станів технологічного обладнання (зношення, поломки), забезпечення енергоресурсами (пара, електроенергія – їх витратою та якістю), станом системи автоматизації (технічних засобів програмного та інформаційного забезпечення);

- визначальним чинником є не лише виявлення ситуації (її ідентифікація), а прогнозування розвитку та прийняття адекватних оперативних рішень управління;

- для кожного відділення (підсистеми ТК) можна виділити кілька десятків технологічних змінних та інших оцінок (обладнання, енергопостачання, автоматизація), які в сукупності визначають стан об'єкта.

Виходячи з цього, сучасне керування базується на системі автоматизації для стабілізації технологічних змінних та підсистемі підтримки прийняття рішень, що в комплексі дає можливість здійснювати ситуаційне управління [11].

Нечіткі ситуації визначаються на основі множини ознак  $y = \{y_1, y_2 \dots y_p\}$  значеннями яких описується ситуація (стан об'єкта, зовнішнього середовища, системи управління). Нечітка ситуація описується нечіткою множиною другого рівня:

$$S = \left\{ \left\langle \mu_S(y_i) / y_i \right\rangle, y_i \in Y \right\} \quad (1)$$

$$\mu_S(y_i) = \left\{ \left\langle \mu_{\mu_S}(T_j^i / T_j) \right\rangle, T_j^i \in T_i \right\}$$

де:  $\mu(y_i)$  – відповідні функції належності,  $T_i$  – терм-множина лінгвістичних змінних. Для опису терм-множин  $T_i = \{T_1^i, T_2^i \dots T_m^i\}$  формується  $D_i$  – базова множина ознак (предметна шкала). Таким чином, нечіткими ситуаціями задаються стани, в яких знаходяться об'єкти, зовнішнє середовище та система управління.

В свою чергу, комплексування методів автоматизації на основі інтелектуальних інформаційних технологій, розглядається як

аналіз процесу функціонування складного технологічного об'єкта [12]. При цьому враховується, що технологічний комплекс цукрового заводу має майже 400 точок контролю технологічних змінних та потребує реалізації майже 250 функцій керування, в тому числі автоматичного керування [13]. Технологічний комплекс має ієрархічну структуру, яка відповідає елементарним технологічним операторам, технологічним процесам, відділенням (підсистем) і ТК в цілому. Згідно цієї структури розробляється структура інтегрованої системи керування, яка реалізує ряд функцій контролю, управління, обробки поточної інформації, отримання рекомендацій щодо управління ТК і його підсистемами. Сучасна теорія управління визначає, крім традиційних завдань, такі важливі функції як визначення стану складного об'єкта, поточної виробничої ситуації і її розвитку.

Розглянемо технологічний комплекс цукрового виробництва, параметрична схема якого показана на рис. 2.

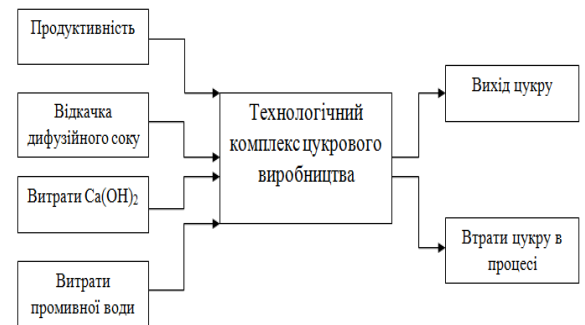


Рис. 2. Параметрична схема основних потоків

Вирішення цієї задачі здійснюється за допомогою інструментального середовища Matlab.

Апарат, який закладений в основу побудови цих мереж має такі основні переваги, а саме: можливість гнучкої інтерпретації причинно-наслідкових зв'язків які згенеровані на основі нейрон-нечіткої структури та можливість до навчання розроблюваної структури.

Для реалізації вирішення поставленої задачі пропонується використати внутрішню підсистему середовища Matlab – підсистему розробки нейро- нечітких структур ANFIS (Adaptive-Neuro-Based Fuzzy Inference System) – адаптивна мережа нечіткого висновку. Вона була запропонована Янгом (Jang) на початку дев'яностих [14]. ANFIS є одним з перших варіантів гібридних нейро-нечітких мереж – нейронної мережі прямого поширення сигналу особливого типу. Архітектура нейро-нечіткої мережі ізоморфна нечіткій базі знань. У нейро-нечітких мережах використовуються диференційовані реалізації трикутних норм (множення й імовірнісне АБО), а також гладкі функції належності. Це дозволяє застосовувати



для настроювання нейро-нечітких мереж швидкі алгоритми навчання нейронних мереж, засновані на методі зворотного поширення помилки.

### III. ВИСНОВКИ

Виділено та проаналізовано в класі організаційно-технічних (технологічних) систем технологічні комплекси неперервного типу, в результаті отримана можливість спільного використання сучасних методів керування складними об'єктами. Додаткове використання інформаційних технологій до традиційних систем автоматизації дає можливість отримати нові властивості системи, наприклад, розробка інтелектуальної підсистеми підтримки прийняття рішень на основі, зокрема, ситуаційного керування. Цей метод заслуговує особливої уваги при розробці інтелектуальних підсистем підтримки прийняття рішень різного рівня та призначення, а також комплексування методів формування керувальних впливів в складних автоматизованих системах.

### ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

- [1] Соловьёв И.В. Сложная организационно-техническая система как инструмент исследования искусственных антропогенных систем. //И. В. Соловьёв // Дистанционное и виртуальное обучение, 2014. – №1. – С. 5-23.
- [2] Тихонов А. Н. Концепция сетцентрического управления сложной организационно-технической системой. / А.Н. Тихонов, А.Д. Иванников И. В Соловьёв, В. Я. Цветков, С. А.Кудж // – М.: МаксПресс, 2010. – 136 с.
- [3]. Тихонов А. Н. Основы управления сложной организационно-технической системой. Информационный аспект. / А.Д. Иванников И. В Соловьёв, В. Я. Цветков// – М.: МаксПресс, 2010. – 228 с.
- [4]. Кудж С. А. Администрирование информационных систем: Учебное пособие по курсу. / С. А.Кудж // – М.: УПП „Репрография“ МИИГАиК, 2009. – 72 с.
- [5]. Бурков В.Н. Проблемы комплексирования и декомпозиции механизмов управления организационно-техническими системами / В.Н. Бурков, Н.А. Коргин, Д.А. Новиков // Проблемы управления, 2016, №5, с.14-23.
- [6]. Бурков В.Н. Основы математической теории активных систем/ В.Н. Бурков// – М.: Наука, 1977. – 255 с.
- [7]. Novikov D. Mechanism Design and Management: Mathematical Methods for Smart Organizations/ Ed. prof. D. Novikov// – N.-Y.: Nova Science Publishers, 2013. – 163p.
- [8]. Novikov D. Theory of Control in Organizations / D. Novikov// – N.-Y.: Nova Science Publishers, 2013. – 341p.
- [9] Ашимов А.А. Согласованное управление активными производственными системами/ А.А. Ашимов, В.Н. Бурков, Б.А. Джапаров, В.В. Кондратьев // – М.: Наука, 1986. – 248 с.
- [10] Ладанюк А.П. Ситуационное координирование подсистем технологических комплексов непрерывного типа/ А.П. Ладанюк, Д.А., Шумыгай, Р.О. Бойко// Международный научно-технический журнал «Проблемы управления и информатики», 2013 №4. с.117-122.
- [11]. Амбарцумян А.А. Управление технологическими процессами на основе событийных моделей / А.А. Амбарцумян, Д.А. Казанский // Автоматика и телемеханика, I – №10, 2001, с. 189-202, II – №11, 2001, с. 165-182.
- [12]. Ladanyuk, A. Situational Coordination of Continuous Technological Complexes Subsystems / A. Ladanyuk, D. Shumygai, R. Boiko // Journal of Automation and Information Sciences – USA.: Beggelhouse, vol. 45, 2013. – 68-74 p.
- [13] Ладанюк А.П. Идентификация процесса функционирования технологического комплекса / А.П. Ладанюк, Р.О. Бойко, Я.В. Смитюх, Е.В. Школьная // Научно-теоретический и практический журнал «Современный научный вестник», №19 (215) 2014, с. 143-149.
- [14]. Jang J.-S. R. ANFIS : Adaptive - Network - Based Fuzzy Inference System / / IEEE Trans. Systems & Cybernetics. – 1993. – Vol. 23. – P. 665-685.



# Фактори порушення траєкторії руху мобільного робота і механізми їх компенсації

Владислав Лебедєв<sup>1</sup>, Владислав Нестеренко<sup>2</sup>

1. Кафедра КІТАМ, Харківський національний університет радіоелектроніки, УКРАЇНА, Харків, пр. Науки. 14, email: vladyslav.lebediev@nure.ua

2. Кафедра КІТАМ, Харківський національний університет радіоелектроніки, УКРАЇНА, Харків, пр. Науки 14, email: vladyslav.nesterenko@nure.ua

**Анотація:** В даному матеріалі наведено аналіз відхилення мобільного робота від заданої траєкторії руху; розглянуто методи сегментації зображень, виявлено їх переваги та недоліки.

**Ключові слова:** мобільна платформа, одометрія, регулятори, кутова швидкість, сегментація зображення, порогів метод, розпізнавання, метод зростання регіонів.

## I. ВСТУП

Колісні роботи переміщуються по землі за допомогою моторизованих коліс, щоб просуватися вперед. Ця конструкція простіше, ніж використання протекторів або ніг, а за допомогою коліс їх легше проектувати, будувати і програмувати для руху в плоскій, не надто міцній місцевості. Вони також більш добре контролюються, ніж інші типи роботів.

## II АНАЛІЗ ВІДХИЛЕННЯ РУХУ ВІД НАПРЯМКУ

Недоліками колісних роботів є те, що вони не можуть добре переміщатися по перешкодах, таким як скеляста місцевість, різке зниження або райони з низьким тертям. Колісні роботи найбільш популярні серед споживчого ринку, їх диференціальне рульове управління забезпечує низьку вартість і простоту. У роботів може бути будь-яка кількість коліс, але трьох коліс досить для статичного і динамічного балансу. Додаткові колеса можуть додати до балансу, однак будуть потрібні додаткові механізми, щоб тримати все колеса на землі, коли місцевість не плоска.

Більшість колісних роботів використовують диференціальне рульове управління, яке використовує окремо керовані колеса для руху. Вони можуть змінювати напрямок обертання, повертаючи кожне колесо з іншою швидкістю. Можуть бути додаткові колеса, які не справляються з двигуном, ці додаткові колеса допомагають збалансувати його.

Основна проблема руху для наземного мобільного робота – це спланувати свій шлях через статичні і динамічні об'єкти і досягти мети. Користувач може запрограмувати робота для переміщення по різних шляхах, таким як шлях з найменшим часом або найменшими витратами енергії.

Велика частина алгоритмів переміщення зводиться до побудови декількох варіантів шляху:

- Від точки до точки;
- Рух за цільовою траєкторією;

У цих варіантах передбачається зчитування позиції робота, щоб зафіксувати відхилення в переміщенні через зміну швидкості мобільного робота. Існують варіанти реалізації в яких враховується кутова швидкість напрямку вектора.

Кутова швидкість це векторна величина, що характеризує швидкість обертання твердого тіла, яка визначається як приріст кута повороту тіла за проміжок часу. Вимірювання кутових швидкостей обертання валів двигунів, здійснюється за допомогою інкрементних тахометрів який зображено на рис. 1



Рис. 1. Інкрементний тахометр

Лінійні швидкості руху робота за трьома напрямками: вперед, в сторону і поворот навколо своєї осі перераховуються відповідним чином за вимірюваннями кутових швидкостей двигунів [1].

У разі пропорційного контролера керуючий сигнал розраховується пропорційно відхиленню системи[1]. Час відгуку пропорційного контролера в ідеальному стані точно такий, як від входньої змінної. Перевага полягає в тому, що втручання диспетчера відбувається дуже швидко і без затримок.

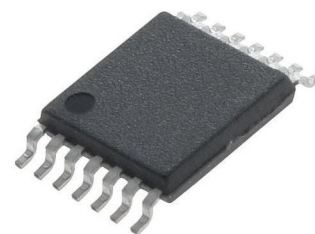


Рис. 2. Інтегральний контролер

Ефективність інтегрального контролера, представленого на рис.2, зростає з плином часу. Навіть невелике відхилення системи призводить до високого вихідного сигналу, якщо він існує протягом досить тривалого періоду. Цей контролер перетворює вхідні сигнали в сигнали вихідного сигналу лінійного типу за допомогою безперервного інтегрування. Це означає, що зміни в керованих змінних є безперервними і значно повільніше, ніж в разі контролера пропорційної дії.

Якщо постійний сигнал подається на вхід контролера інтегральної дії, вихід змінюється безперервно, поки не буде компенсовано системне відхилення. Керована змінна контролера інтегральної дії пропорційна квадрату часу відхилення системи. Чим більше відхилення системи в часі, тим крутіше збільшення керованої змінної. У разі І-контролера відхилення системи і швидкість маніпулювання керованої змінної пропорційні, тобто чим більше відхилення системи, тим швидше змінюється кінцевий елемент управління.

Чисті контролери інтегральної дії використовуються рідко, так як вони мають тенденцію до нестабільності і занадто повільно реагують на швидкі зміни. В деякій керованій системі можуть швидко проявлятися основні змінні обурення. Керована змінна протягом короткого часу сильно відхиляється від контрольної змінної. Відхилення, подібні цим, можуть бути компенсовані контролером D. Вихідна змінна контролера D пропорційна тимчасовій зміні відхилення системи. Раптова зміна відхилення системи створює нескінченно велику керовану змінну на виході контролера [2].

ПД-регулятор також включає в себе компонент похідної дії. Це враховує швидкість зміни відхилення системи. Якщо відхилення системи велике, D-компонент забезпечує миттєву надзвичайно високу зміну керуючої змінної. У той час як вплив D-компонента негайно падає, I-компонента повільно зростає. Якщо відхилення системи невелике, поведінка D-компонента незначна.

Така поведінка має перевагу в більш швидкому реагуванні в разі змін або змінних перешкод, і тому системні відхилення, тому компенсуються більш швидкими темпами.

Недоліком є те, що контур управління набагато більш схильний до коливань, і, тому, правильна настройка контролера є більш складним завданням.

### III. СЕГМЕНТАЦІЯ ЗОБРАЖЕННЯ ПОРОГОВИМ МЕТОДОМ ТА МЕТОДОМ ЗРОСТАННЯ РЕГІОНІВ

Системи, що передають мобільному роботу інформацію із зовнішнього середовища, є його невід'ємною частиною. Вони забезпечують його повноцінне функціонування. Довгий час для цих цілей використовувалися датчики різних класів,

проте, з розвитком потужності процесорів з кожним роком все доступніше для мобільних роботів стає комп'ютерний зір.

Зображення, що отримується з камери мобільного робота, містить багато корисної інформації. Обробка зображень та отримання з них даних для виконання подальших дій є важливою частиною технології комп'ютерного зору.

На практиці використовуються в повному обсязі не всі частини зображення, а тільки певні області, які мають задані характеристики. Тому одним з важливих кроків у обробці зображення є його сегментація [3].

Цей процес заснований на певних критеріях, які розподіляють вхідне зображення на частини, витягуючи області, необхідні для аналізу і подальшої обробки. Сегментація є основою для розпізнавання зображень і їх аналізу.

Існують різні алгоритми сегментації зображень. Найбільш часто використовуваним алгоритмом є порогова сегментація, розроблена на основі методу регіонів [4].

В даному методі ключовими є порогові значення, на основі яких зображення ділиться на кілька частин. Кожній частині відповідає певне значення порога. Даний метод має два різновиди: метод з локальним порогом і метод з глобальним порогом.

Використання глобального порога є найбільш простим методом сегментації зображення. Значення кожного елемента картинки порівнюється з обраним пороговим значенням, після чого він відноситься або до одного класу - об'єктів, або до іншого класу - фону. Таким чином, після обробки цим методом на виході отримується сукупність знайдених об'єктів одного кольору, які представляють одну область, і фон іншого кольору, який представляє собою іншу область.

Також, можливе використання декількох локальних порогів. Такий підхід дозволяє отримати більше двох класів об'єктів, представлених на зображенні з різною інтенсивністю.

Перевага порогового методу полягає в тому, що він простий у використанні і не вимагає значних обчислювальних потужностей, що дозволяє значно зменшити час роботи алгоритму.

Його особливістю є жорсткі вимоги до освітлення і наявності значних відмінностей в кольорах між фоном і об'єктом. Вони повинні добре контрастувати один з одним.

У зв'язку з цим, головним недоліком методів глобального і локального порогів вважається складність точної сегментації зображень, які не мають суттєвої різниці в інтенсивності кольору між об'єктом і фоном або мають перекриття об'єкту перешкодами схожого кольору. Також дані методи не здатні усувати шум і напівтонові нерівномірності, тому, вони найчастіше використовуються в комбінації з іншими методами і компенсують їхні недоліки.

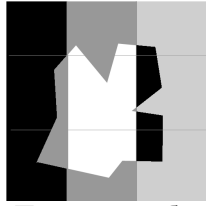


Рис.3. Початкове зображення

Оскільки робот в умовах мобільності отримує інформацію із зовнішнього середовища під неконтрольованим освітленням різної інтенсивності, яке розподілено нерівномірно, вищеописаний спосіб не може бути застосований для розпізнавання об'єктів без змін. Але його можна вдосконалити шляхом введення адаптивного порога. Для цього алгоритм повинен фіксувати кількість наявних найбільш інтенсивних зон і для кожної зі знайдених областей вводити і використовувати окреме порогове значення, яке визначається шляхом аналізу суміжних з даною галуззю пікселів. На рис. 3 показано початкове зображення деякої області.

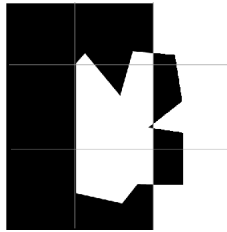


Рис.4. Використання глобального порога

На рис. 4 представлений результат використання глобального порога. Як видно, права частина області загубилася, так як значення пікселів фону і пікселів об'єкта злилися і були відсічені як фон.

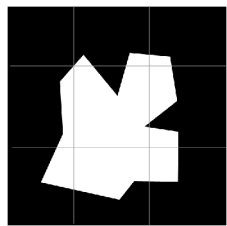


Рис.5. Використання адаптивного порога

На рис. 5 показаний результат використання адаптивного порога.

Альтернативою методу адаптивного порога є метод розростання регіонів. Його основна ідея полягає в об'єднанні пікселів, що мають схожі властивості. Спочатку вибираються центральні пікселі, так звані центри регіонів. Потім до них поступово приєднуються пікселі розташовані поряд з центральними. Об'єднання декількох елементів в один регіон відбувається на основі заданого критерію. Це може бути дальність від поточного елемента до центру, інтенсивність цього елемента і т.д. Процес збільшення кожного регіону закінчується, як тільки закінчуються

пікселі, які можна приєднати за наявним критерієм [5].

$$\begin{bmatrix} 1 & 6 & 5 \\ 1 & 2 & 7 \\ 0 & 1 & 6 \end{bmatrix}$$

Рис.6. Виділення центрів регіонів на зображенні

На рис. 6 показаний приклад розбиття зображення на регіони по вищеописаному алгоритму. Рисунок 1 показує два пікселі виділені сірим кольором, які обрані в якості центральних для приєднання до них інших. Використовуваний тут критерій полягає в тому, що якщо абсолютне значення різниці сірого кольору між обраним і центральним пікселями менше певного порогу  $T$ , піксель включається в область, де розташований цей центральний піксель.

$$\begin{bmatrix} 1 & 5 & 5 \\ 1 & 1 & 5 \\ 1 & 1 & 5 \end{bmatrix}$$

Рис.7. Розбиття зображення на два регіони

Рисунок 7 відображує результати зростання регіону при  $T = 3$ , де зображення розділене на два регіони. Рисунок 8 показує результати зростання області при  $T = 6$  і все зображення знаходиться в одній області. Таким чином, вибір порога дуже важливий.

$$\begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 \end{bmatrix}$$

Рис.8. Регіон при збільшеному порозі

Перевага регіонального зростання полягає в тому, що він дозволяє розділяти навіть пов'язані області, надавати інформацію про межі отриманих регіонів і результати сегментації.

Алгоритм методу розростання регіонів досить простий. При цьому він дозволяє задавати критерії, за якими слід відносити пікселі до того чи іншого регіону, вказувати необхідні значення цих критеріїв і задавати кілька критеріїв одночасно.

Такі переваги дають можливість отримувати повний аналіз зображення не вдаючись до використання допоміжних методів.

Головним недоліком методу розростання регіонів є його потреба в значних обчислювальних потужностях. Тому його використання на малопотужному обладнанні може значно уповільнити процес обробки. Також метод неідеальний в обробці зображень, на яких присутні шуми, тіні та інші нерівності. Вони можуть привести до появи порожніх і надмірного поділу на підсумковому зображенні.

Поєднання описаних вище методів дає змогу компенсувати відхилення від траєкторії мобільного робота у процесі руху.

#### IV. ВИСНОВКИ

В даному матеріалі розглянуті швидкості руху мобільного робота та їх вплив на переміщення платформи у площині по заданій траєкторії. Стало відомо, що під час руху без урахування кутової швидкості робот відхиляється від заданого напрямку.

Розглянуто методи для розпізнавання об'єктів, а саме порогові методи сегментації зображення та метод зростання регіонів, виявлені їх переваги та недоліки.

#### ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

[1] Borenstein, J. and Koren, Y., 1987, "Motion Control Analysis of a Mobile Robot. " Transactions of ASME, Journal of Dynamics, Measurement and Control, Vol. 109, No. 2, pp. 73-79.

[2] Matsumoto O., Kajita S., Saigo M., Tani K. Biped – type leg – wheeled robot // Advanced Robotics. – Vol. 13, № 3. – P. 235-236

[3] Haralick R M, Shapiro L G. Image segmentation techniques[J]. Computer vision, graphics, and image processing, 2015, 29(1): 100-132.

[4] Marr D, Hildreth E. Theory of edge detection[J]. Proceedings of the Royal Society of London B: Biological Sciences, 2014, 207(1167): 187-217.

[5] Демин А.Ю. Основы компьютерной графики: Учебное пособие – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2011. – 191 с.

# Room Scheduling System

Rasim Rahimov

Faculty of IT&M, Azerbaijan State Oil and Industry University, AZERBAIJAN  
Baku, 16/21 Azadliq Ave. e-mail: rasim.rahimov@gmail.com; r\_rahimov@atenau-ltd.com

**Abstract:** In every organization there is always need of meeting and conference rooms, to conduct various events. It is found that there is at least one conference hall in every organization, whether it is an educational institution or any company. Many different departments have to share this single conference hall for conducting its event. Hence there is always a possibility of the hall being booked by two or more departments on the same day. The clash in timing will be known to the departments only when the day of the event has reached, by that time it will be too late and very little time left for alternate arrangement. Hence an efficient and user friendly system is required to reserve the hall beforehand and make the information available to others to check the status of the hall before booking.

**Keywords:** Room Scheduling System, Room Booking System, Meeting Room Solution, Conference Room

## I. INTRODUCTION

Meetings are a critical part of everyday business, and you and your team spend a significant portion of the workweek in them. That's why it's critical that they be productive. When time and resources are wasted on tasks like trying to schedule meetings, booking rooms, dealing with equipment problems or scheduling last-minute catering, your productivity comes to a halt. Ensure that your meetings run smoother, maximize your space and reduce administration time

with fully-integrated room booking system solution.

## II. ROOM BOOKING SYSTEM DESCRIPTION

What exactly is a room booking system? How does such a system work and who is it that benefits from its implementation? For businesses and individuals who manage and operate event space, lodging space, or oversee a facility with any comparable function, these are important questions to ask, particularly with the ease in which these systems may be used today. The following provides a concise examination of these questions while providing a variety of tips and observations regarding the concept of the modern room booking system along the way.

Scheduling is an age old problem. Whether it's a small hotel, a large conference facility, or simply a matter of maintaining a conflict-free meeting schedule, these precise problems have popped up time and time again, either by way of an important detail being missed, a change needing to be made, or complications arising. Scheduling of all types can quickly become a nightmarish exercise of too many moving parts, especially without dedicated staff tending to every need or development that may come

along. Minor problems can quickly spiral into expensive disasters.

In times past, this meant placing significant resources into scheduling, both in terms of time and manpower, particularly as organizations grew. After all, the more that is happening, the more likely something can change or go wrong. This situation was compounded by the fact that recording and communicating changes, cancellations, or alterations was a matter of pen to paper, a situation that quickly became complicated by the most minor factors.

One way in which the digital age has revolutionized the way that businesses work and operate is by way of streamlining logistics and, in turn, increasing productivity. The concept of the room booking system is an excellent example of how this is achieved.

With a room booking system, scheduling becomes very simple. Generally presented in the form of software, these systems share a common goal of effortlessly optimizing room scheduling. These approaches have a wide variety of applications, from juggling meeting times, to renting out hotel rooms, to keeping conferences and event scheduling moving at a productive pace.

Any organization with more than the most basic scheduling needs stands to benefit from employing this type of software. And as technology has continued to grow easier to implement, these systems continue to become more attractive and easier to use.

For example, it's commonplace now to find systems that are essentially self-servicing, allowing individuals to making their own bookings by way of an attractive, touch-based or browser-based Point of Sale (POS) system that both looks and functions as an extension of one's organization or venue. With the declining cost of touch-based software, this means that the bulky and expensive hardware and software of yore has been reduced down to a few, simple components.

### III. UNDERSTANDING THE ESSENTIAL COMPONENTS OF SCHEDULING SOLUTIONS

Room Scheduling systems increase the efficiency of meeting room and resource management. They are designed to increase the productivity of administration teams and teams related to catering, information systems, audio/video and facilities as well as the management and employees using the rooms and resources. By better understanding the key areas of a scheduling system and the varying ways it can help your organization, you will be better able to convey those benefits to your decision maker.

The following describes the core components of a solid scheduling solution:

#### Unified system

To eliminate double bookings, schedule conflicts and other related problems, organizations typically desire a unified system, where all scheduling information is consolidated into a single database. Conflicting reservation requests can be immediately detected. Double-booking can be avoided. And all the

constituent elements of a reservation — rooms, attendees and services — can be kept in synch.

#### Universal access

To accommodate all the constituent users, the scheduling system must accommodate employees accessing the central system, viewing the meeting rooms and resources and their availability, and then submitting requests to the people responsible for scheduling those resources. This means the system may need to be accessible to a wide range of users at numerous locations. Robust scheduling systems meet these needs by providing a range of interfaces — enabling access via PC desktop, Web and even room-based LCD panels and handheld PCs.

#### Powerful searches

To help increase the efficiency of staff, you will need to reduce the amount of time they spend in finding and processing the meeting room and resource requests. Effective search capabilities of a scheduling system will do this. For example, a scheduling solution should provide the ability for its users to search for a room based on its size and capacity, its location, the equipment needed, etc.

#### Rapid reservations

A robust scheduling system will provide the tools for users to quickly and easily:

- Pick the needed meeting room or resource and then choose the time and date.
- Choose desired attendees and send invitations through integrated email capabilities.
- Submit request for food and beverages, computer equipment, audio/video equipment, room set-up such as additional tables and chairs, etc.

For larger organizations with a centralized process, tools that allow general users to submit reservation requests to an administrator will be of benefit.

#### Automated notifications

Email notifications allow you to send meeting invitations, notifications of changes to meetings and cancellations. These tools speed up the processing of the requests. A robust scheduling solution gives you the tools to:

- Help improve staff productivity by improving the communication process.
- Quickly pick your desired attendees and send out invitations.
  - Automatically send email notifications to relevant teams responsible for providing supplies such as food and beverages, audio/ video, computer equipment, etc.
  - Easily alert staff of meeting changes or cancellation through integrated email capabilities.

#### Robust reporting

Reporting capabilities in a scheduling system enable you to better manage your resources. You want the tools to:

- Quickly identify what resources are being used most often or not at all, allowing you to take any necessary actions regarding equipment inventory and depreciation.
- Create reports that show the usage of equipment and rooms for client meetings to assist with client billing.

- Have the supporting data needed for additional resource purchase requests.

With today's advanced scheduling systems, you have the ability to choose from a number of different deployment options, from software that installs on a central server and desktops to Web-based systems to fully "hosted" solutions that are actually a service. You will need to define not only your scheduling system needs but also what financial resources you are prepared to spend. However, prior to this, you will need to answer a fundamental question related to having a system available to the organization: do you build it, buy it, or outsource the system?

#### IV. TOP FEATURES TO LOOK FOR IN A SCHEDULING SOLUTION

While each organization is unique, the following are almost always common to their room and resource scheduling needs:

- 1) Simple, easy-to-navigate user interface. A central interface where users can view, search, schedule or submit requests for meeting rooms and resources. This saves users' time in finding the rooms and resources they need.
- 2) Built-in customization tools to fully configure the interface, screens, workflows and processes. Tools that do not require deep technical knowledge to use. The benefit of this is so you can customize the different screens and features to adapt to your unique business processes.
- 3) Security levels. Allow an administrator to grant varying levels of user capability to different levels of staff. For example, certain people should be able to directly book available rooms while others would only be able to view availability and submit room requests. This improves the management of the rooms and resources.
- 4) Integrated automated email notification capabilities. Expedite meeting room and resource request processing. This saves time for users and eliminates the potential for errors.
- 5) Ability to scale to multiple locations. This is critical for organizations with meeting rooms and resources in many locations.
- 6) Ability to access from anywhere, anytime — a Web-based system. You do not want to be limited from requesting a meeting room or resource because you are out of the office or do not have a piece of software installed on your PC.
- 7) Flexible reporting. Have access to built-in reports as well as the capability to use third party report writing tools to create your own reports. This enables you to better track the usage of your resources.
- 8) Real-time data. The information goes into a central database, which provides data that is always current for all users. This means that what one user sees is consistent with another user's view, preventing errors and scheduling conflicts.
- 9) Resource inventory tracking. The ability to track and monitor the quantities of the meeting room-related equipment. This feature ensures staff always has the equipment they need in their meetings.

- 10) Speed and ease of installation. A short, simple implementation will reduce your costs, allow your organization to start experiencing the benefits almost immediately and minimize the impact on your business operations.

And when evaluating a hosted solution

- 11) Secure infrastructure. Evaluate the vendor's hosting infrastructure to ensure it provides adequate security and availability guarantees at the physical, network, server, application and data levels. Look for a professionally managed data center with 24/7 monitoring and a proven track record of providing secure, high-availability service.

- 12) Core functionality remains intact. A hosted solution offers many benefits. However, one of the few drawbacks can be limitations in functionality of the software. Make sure the SaaS product you are considering has a reporting alternative, typically a collection of built-in reports.

#### V. SELECT A SYSTEM THAT'S RIGHT FOR YOU

Choose systems that you believe best suit your needs, then ask vendor to provide the following information:

- Estimated up-front and recurring license and maintenance costs for your implementation
- Estimated build-out costs to adapt the system to your requirements
- Recommended hardware and prerequisite software (for in-house deployments) from which you can estimate acquisition costs
- Requirements and estimated effort for in-house IT deployment support
- Timeframe for implementation
- Training methodology and training costs

If an organization or venue is considering implementing a room scheduling system, they are wise to consult an experienced audio-visual Vendor to explore the possibilities.

As the Example, we can describe Room Schedule Solution by Crestron that provide completely solution including hardware and software for scheduling platform that not only keeps up with you, but makes everyone more efficient, connected, and collaborative across all spaces while meeting your booking requirements.

Crestron control platforms integrate various systems and technologies that typically operate in silos so they work together as a single system. Audio, video, voice and data, lighting, security, digital signage, Building Management Systems (BMS), shades, and heating & cooling systems can be managed remotely and globally. Crestron software adds a layer of intelligence to turn an integrated building into a "smart" building, enabling complete Enterprise Building Management

Crestron FUSION is a software platform that "integrates systems and technologies that typically operate in silos, so they work together as a single system"<sup>1</sup>. This description overly simplifies what FUSION is and what it does. At its' core, FUSION is a blank slate that does what the description above says – it allows systems and technologies that normally do not interact, to become cohesive. For

example, rather than scheduling a resource in Outlook (conference room, huddle space, etc.), using a remote or local control to turn the AV on in the scheduled space, and then having to find a help desk or support number to call if something doesn't work, FUSION can integrate all of these things in to a single, automated function. All of the information associated with this usage will be aggregated and made available for future reporting.

The example above is just one of literally thousands of ways FUSION can be used to streamline technology usage. However, streamlining usage does nothing to reassure the owner or end-user in the event of technology failure or (literal) asset loss. Because of FUSION's data collection and reporting functions, you are not left in the dark about the health or status of your AV equipment. FUSION can be setup to provide email alerts when and how often you want them: If a projector lamp reaches X hours, if a projector or display is unplugged, if a room is used during a specific time period, etc. (the list can go on). FUSION is only limited by what you want to know.

System control, helpdesk integration, data collection, and reporting – are all part of FUSION. Additionally, FUSION will integrate with a host of scheduling / calendar software including Microsoft Exchange, Office 365, Google Calendar, CollegeNet R25 to 25Live, and many others. Fusion also allows you to “connect your BI software of choice... to generate powerful analytics and data visualizations. In addition, FUSION coupled with Pin-Point provides greater data about room and equipment use which aides in forecasting technology refurbishment/expansion and can also aid in forecasting / scheduling physical building maintenance.

Every asset is precious – whether tangible or intangible. Crestron FUSION allows you to maximize your tangible technology assets in a way that provides greater confidence and piece of mind. Additionally, FUSION provides what may be the greatest asset of all – information. Although no solution is perfect, FUSION's control, scheduling, reporting, and monitoring functions will keep you

from that helpless feeling of watching your technology assets become lost.

## VI. CONCLUSION

Bottlenecks while commuting to work are bad enough.

Bottlenecks while at work pile on even more frustration and wasted time. In fact, statistically, there is an average 10-minute delay between the scheduled start time of the meetings and the actual start time. In a large organization, multiply that wasted time by the hundreds or even thousands of meetings held in a typical day. Add in all the unused, underused, and misused meeting rooms and you can see why lost productivity and wasted resources cost organizations millions of dollars every year.

Enabling employees to be as productive as possible is a constant struggle, but the solution is actually simple: remove all obstacles and friction in their way. Modern Room Scheduling System delivers a solution that does exactly that.

## REFERENCES

- [1] "A Smart Meeting Room Scheduling and Management System with Utilization Control and Ad-hoc Support Based on Real-Time Occupancy Detection", 2016 IEEE
- [2] Z. Yu and Y. Nakamura, "Smart meeting systems: A survey of state-of-the-art and open issues," ACM Computing Surveys (CSUR), vol. 42, p. 9, 2010
- [3] V Mueller, J. "Why individuals in larger teams perform worse." Organizational Behavior and Human Decision Processes, Vol.117 No. 1, January 2012.
- [4] Center for Active Design. Building Design Checklist. Accessed, 4.25.2016 <https://centerforactivedesign.org/ourapproach>

# Нечітка модель у засобах прийняття рішень інтелектуального робота

Олександр Цимбал

Кафедра КІТАМ, Харківський національний університет радіоелектроніки, УКРАЇНА  
Харків, пр. Науки. 14, , e-mail: oleksandr.tymbal@nure.ua

**Анотація:** Наведено основні положення нечіткого подання моделі прийняття рішень інтелектуального робота. Наведено результати дослідження залежності максимального перегреву радіоелектронного апарату от его размеров.

**Ключові слова:** нечіткість, інтелектуальний робот, стратегія прийняття рішень, система планування.

## I. ВСТУП

Класичний підхід до розробки планів функціонування інтелектуального технологічного

обладнання планування стратегій автоматизованих систем керування (АСК) розглядає визначеність усіх подій на бінарному рівні: подія або відбувається, або ні. Необхідність врахування ризиків, пов'язаних з виконанням дій та станом робота, обумовлює використання інших підходів до моделювання процесу планування стратегій, зокрема на основі теорії ймовірностей та теорії нечітких множин. Використання нечітких множин для планування стратегій, у своїй більшості, полягає у нечіткій оцінці (фазифікації) класичних теорій прийняття рішень [1]. Відповідно до одних критеріїв, завдання планування стратегій класифікуються за наявністю одного або декількох суб'єктів, що забезпечують планування стратегій. Такі завдання належать до одноосібного або багатоосібного (колективного) планування стратегій. Відповідно інших критеріїв, вирізняють завдання, що потребують простої оптимізації функції корисності, оптимізації за певних умов обмежень, за умов декількох цілей. Більш того, планування стратегій може проводитися за один крок або проводитися ітеративно – у послідовності кроків (стадій).

## II. ФОРМУВАННЯ НЕЧІТКОЇ МОДЕЛІ ПРИЙНЯТТЯ РІШЕНЬ

Завдання планування стратегій з точки зору нечіткого динамічного програмування розглядається як завдання нечіткого скінченного автомата [1, 2]. Проте, обмеженням теорії є проблема опису перехідної функції, що характеризується аналогом з теорії класичних автоматів. Іншим обмеженням є відсутність вихідних значень, тобто наступний внутрішній стан використовується як вихідне значення і, відповідно, необхідно розрізняти два стани.

Зазначені обмеження визначають постановку завдання: автомат  $A$ , що використовується у нечіткому динамічному програмуванні, визначається трійкою:

$$A = \langle X, Z, f \rangle, \quad (1)$$

де  $X$  і  $Z$  – множини вхідних та вихідних станів, відповідно, також:

$$f : Z \times X \rightarrow Z \quad (2)$$

є функцією переходу, значення якої полягає у визначенні для кожного дискретного моменту часу  $t \in N$  наступного внутрішнього стану  $z^{t+1}$  автомата у термінах поточного внутрішнього  $z^t$  і поточного вхідного  $x^t$  станів, тобто:

$$z^{t+1} = f(z^t, x^t). \quad (3)$$

Такий тип автомата використається у класичному динамічному програмуванні. Для

випадку нечіткого динамічного програмування дані мають бути фазифіковані із використанням принципу розширення. У схемі нечіткої версії автомата  $A^t$  і  $C^t$  відповідають нечіткому вхідному стану і нечіткому внутрішньому стану у момент  $t$ ,  $C^{t+1}$  – нечіткий внутрішній стан у момент  $t+1$ .  $A^t$  є нечіткої множини на  $X$ ,  $C^t$  і  $C^{t+1}$  – нечіткі множини на  $Z$ .

Використовуючи нечіткий автомат, можна забезпечити опис нечіткого динамічного програмування. Під час розгляду концепції необхідна ціль виражається у термінах нечіткої множини  $C^N$  (нечіткий внутрішній стан  $A$  у момент часу  $N$ ), де  $N$  – час завершення процесу планування стратегій. Значення  $N$  також позначає кількість етапів процесу планування стратегій. Передбачається, що вхідне значення  $A$  виражається у кожен момент часу  $t$  нечітким станом  $A^t$ , також заданим є початковий чіткий стан  $z^0$ .

Розглядаючи нечіткі вхідні стани  $A^0, A^1, \dots, A^{N-1}$  як обмеження і нечіткий внутрішній стан  $C^N$  як нечітку ціль планування стратегій, тепер можливо започаткувати нечітке рішення як нечітку множину  $X^N$ , яка визначається так:

$$D = \tilde{A}^0 \cap \tilde{A}^1 \cap \dots \cap \tilde{A}^{N-1} \cap \tilde{C}^N, \quad (4)$$

де  $\tilde{A}^t$  - циліндричне розширення  $A^t$  з  $X$  в  $X^N$

для кожного  $t=0, 1, \dots, N-1$  і  $\tilde{C}^N$  – нечітка множина на  $X^N$ , що забезпечує  $C^N$  на  $Z$ . Тобто, для кожної послідовності  $x^0, x^1, \dots, x^{N-1}$ , розглядуваної як послідовність рішень, ступінь приналежності до  $D$  визначається виразом:

$$D(x^0, x^1, \dots, x^{N-1}) = \min[A^0(x^0), A^1(x^1), \dots, A^{N-1}(x^{N-1}), C^N(z^N)], \quad (5)$$

де  $z^N$  унікально визначається на основі інформації про  $x^0, x^1, \dots, x^{N-1}$  і  $z^0$ . Таке визначення передбачає наявність стандартного оператора перегину. Планування стратегій полягатиме у знаходженні послідовності  $\tilde{x}^0, \tilde{x}^1, \dots, \tilde{x}^{N-1}$  початкових станів, таких, що:

$$D(\tilde{x}^0, \tilde{x}^1, \dots, \tilde{x}^{N-1}) = \max_{x^0, \dots, x^{N-1}} D(x^0, x^1, \dots, x^{N-1}) \quad (6)$$

Для розв'язання такого завдання засобами нечіткого динамічного програмування необхідно застосувати принцип, відомий як принцип оптимальності Белмана: оптимальна послідовність рішень має таку властивість, що для будь-яких початкових станів і початкових рішень решта рішень має відповідати оптимальній стратегії відповідно до стану, отриманому з першого рішення [3-4].



Використовуючи принцип оптимальності і підставляючи вираз для  $D$ , можемо записати:

$$D(\tilde{x}^0, \tilde{x}^1, \dots, \tilde{x}^{N-1}) = \max_{x^0, \dots, x^{N-2}} \{ \max_{x^{N-1}} \min [A^0(x^0), A^1(x^1), \dots, A^{N-1}(x^{N-1}), C^N(f(z^{N-1}, x^{N-1}))] \}. \quad (7)$$

Цей вираз можна переписати:

$$\begin{aligned} D(\tilde{x}^0, \tilde{x}^1, \dots, \tilde{x}^{N-1}) &= \max_{x^0, \dots, x^{N-2}} \{ \min [A^0(x^0), A^1(x^1), \dots, A^{N-2}(x^{N-2}), \\ &\max_{x^{N-1}} \min [A^{N-1}(x^{N-1}), C^N(f(z^{N-1}, x^{N-1}))] \} = \\ &\max_{x^0, \dots, x^{N-2}} \{ \min [A^0(x^0), A^1(x^1), \dots, A^{N-2}(x^{N-2}), \\ &\max_{x^{N-1}} \min [A^{N-1}(x^{N-1}), C^N(z^{N-1})] \} = \\ &\max_{x^0, \dots, x^{N-2}} \{ \min [A^0(x^0), A^1(x^1), \dots, A^{N-2}(x^{N-2}), C^{N-1}(z^{N-1})] \} \end{aligned}$$

$$\text{де} \quad C^{N-1}(z^{N-1}) = \max_{x^{N-1}} \min [A^{N-1}(x^{N-1}), C^N(z^N)]$$

Повторюючи зворотню ітерацію, отримуємо множину рекурентних рівнянь

$$C^{N-k}(z^{N-k}) = \max_{x^{N-k}} \min [A^{N-k}(x^{N-k}), C^{N-k+1}(z^{N-k+1})] \quad (8)$$

для  $k=1, 2, \dots, N$ , де

$$z^{N-k+1} = f(z^{N-k}, x^{N-k}). \quad (9)$$

Оптимальна послідовність  $\tilde{x}^0, \tilde{x}^1, \dots, \tilde{x}^{N-1}$  рішень може бути отримана максимізацією значень  $x^{N-k}$ , для  $k=1, 2, \dots, N$ , що призводить до результатів  $\tilde{x}^{N-1}, \tilde{x}^{N-2}, \dots, \tilde{x}^0$ .

Розгляд нечіткої моделі планування стратегій функціонування РТС потребує введення нечітких множини  $\tilde{X}, \tilde{D}, \tilde{S}$ , що описують стани РТС, її рішення, стани РП, відповідно, при цьому:

$$\begin{aligned} \tilde{x}_i &\in \tilde{X}, \quad \tilde{X} = \{ \mu_0 / x_0, \mu_1 / x_1, \dots, \mu_{n-1} / x_{n-1} \}, \\ \tilde{d}_i &\in \tilde{D}, \quad \tilde{D} = \{ \mu_0 / d_0, \mu_1 / d_1, \dots, \mu_{n-1} / d_{n-1} \}, \\ \tilde{s}_i &\in \tilde{S}, \quad \tilde{S} = \{ \mu_0 / s_0, \mu_1 / s_1, \dots, \mu_{n-1} / s_{n-1} \} \end{aligned}$$

Нечіткість (або чіткість) визначається непевністю інформації про стан РТС (важко визначити придатність схвата робота до

захоплення деталі, зчепленням коліс з поверхнею та їх станом, станом батарей тощо). Нечіткість простору визначається неповною інформацією про його спостереження (похибки сенсорів та системи технічного зору), непевністю змін простору.

Дискретний стан простору визначатиме простір у вигляді матриці

$$S = \begin{bmatrix} \mu_0^0 / S_0^0 & \mu_0^1 / S_0^1 & \dots & \mu_0^{m-1} / S_0^{m-1} \\ \mu_1^0 / S_1^0 & \mu_1^1 / S_1^1 & \dots & \mu_1^{m-1} / S_1^{m-1} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ \mu_{n-1}^0 / S_{n-1}^0 & \mu_{n-1}^1 / S_{n-1}^1 & \dots & \mu_{n-1}^{m-1} / S_{n-1}^{m-1} \end{bmatrix}$$

У роботах з систем комп'ютерного зору широко використовується метод подання траєкторій ланцюговим кодом кодом Фрімена [2], приклад подання кривої показаний на рисунку 1. В даному випадку крива кодуватиметься як 34445670007654443.

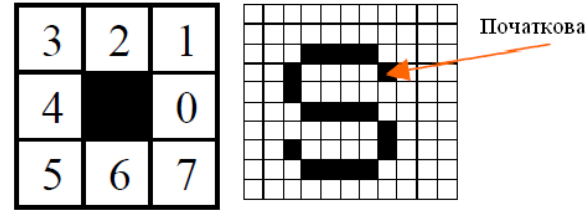


Рис. 1 – Код Фрімена та подання кривої у системі подання візуальної інформації [4]

Аналогічно стан ділянок простору, що безпосередньо оточують поточне положення робота описується вектором розмірності 9:

$$\tilde{S} = \{ \mu_0 / s_0, \mu_1 / s_1, \dots, \mu_8 / s_8 \},$$

Аналогічно визначаються рухи робота:

$$\tilde{M}v = \{ \mu_0 / mv_0, \mu_1 / mv_1, \dots, \mu_8 / mv_8 \},$$

Маніпуляції з об'єктами:

$$\tilde{M}p = \{ \mu_0 / mp_0, \mu_1 / mp_1, \dots, \mu_{n-1} / mp_{n-1} \}.$$

Метою функціонування РТС є досягнення цільових станів  $\tilde{Y}$  або  $\tilde{S}^g$ , що можуть бути отримані в результаті покрокової еволюції станів РТС або РП:

$$\begin{aligned} \tilde{X}_0 &\rightarrow \tilde{X}_1 \rightarrow \dots \rightarrow \tilde{X}_{n-1} \equiv \tilde{Y} \\ &\text{або} \\ \tilde{S}_0 &\rightarrow \tilde{S}_1 \rightarrow \dots \rightarrow \tilde{S}_{n-1} \equiv \tilde{S}^g \end{aligned}$$

Еволюція станів РТС і РП відбувається як результат застосування РТС певної стратегії рішення:

$$\begin{aligned} \tilde{D}_0 &\rightarrow \tilde{D}_1 \rightarrow \dots \rightarrow \tilde{D}_{n-1} \equiv \tilde{D} \\ \text{або} \\ \tilde{D} &= \bigwedge_{i=0}^n \tilde{D}_i \end{aligned}$$

і виражається у діях або маніпуляціях:

$$\begin{aligned} \tilde{A}_i &= f(x_{i-1}, s_{i-1}, d_{i-1}), \\ \tilde{A}_i &= \tilde{M}v_i \vee \tilde{M}p_i, \end{aligned}$$

Обмеження:

$$\|\tilde{A}_i - \tilde{A}_{i-1}\| = \mu_i(A_i) - \mu_{i-1}(A_{i-1}) \leq \varepsilon_{ai},$$

$$\|\tilde{x}_i - \tilde{x}_{i-1}\| = \mu_i(x_i) - \mu_{i-1}(x_{i-1}) \leq \varepsilon_{xi},$$

$$\|\tilde{s}_i - \tilde{s}_{i-1}\| = \mu_i(s_i) - \mu_{i-1}(s_{i-1}) \leq \varepsilon_{si}.$$

Невиконання обмежень внаслідок динамічного стану РП, недостатніх властивостей РТС вимагатиме переформулювання початкового плану рішень  $\tilde{D}^0$ , який має компенсувати невиконання обмежень.

Кінцевий план складатиметься з елементів попередніх планів:

$$\tilde{D}^{final} = \tilde{D}^0 \cup \tilde{D}^1 \cup \dots \cup \tilde{D}^{k-1}$$

Теорія нечітких множин надає змогу описувати непевність станів робототехнічної системи і непевність у виборі дій на кожному кроці дискретного процесу планування стратегій [136, 137]. Процес прийняття рішень для нечіткої системи складатиметься з послідовності виконання дій в умовах нечітких властивостей системи.

$$\tilde{X}_0 * \tilde{D}_0 \Rightarrow \tilde{X}_1 * \tilde{D}_1 \Rightarrow \dots \Rightarrow \tilde{X}_{n-1} * \tilde{D}_{n-1} \Rightarrow \tilde{Y}_n$$

цьому кожна дія оцінюватиметься як нечітка змінна.

### III. ВИСНОВКИ

Використання методів нечітких множин показує більш гнучкий і точний характер опису станів процесу планування стратегій, можливість детальної числової оцінки кожного кроку інтелектуальної роботизованої системи.

Розроблена модель планування стратегій на основі теорії нечітких множин, яка забезпечує опис планування стратегій в умовах непевності інформації про стан робототехнічної системи, непевності вибору дій на кожному кроці планування стратегій і на їх основі забезпечує оцінку альтернативних шляхів розв'язання завдань, що постають перед роботом.

Функціонування інтелектуальної системи керування роботом також перспективно розглядати з точки зору імовірності змін стану як робочого простору, так і самого стану робота. З точки зору багатостадійності завдань інтелектуальних систем керування роботами перспективним є підхід моделювання за допомогою марківських ланцюгів.

### ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

- [1] Liu, Zhi. A Probabilistic Fuzzy Logic System for Modeling and Control [Текст] / Zhi Liu, Han-Xiong Li // IEEE Transactions on fuzzy systems. – 2005. – Vol. 13, No. 6. – P. 848-858.
- [2] Wolfer, James. Fuzzy logic control for robot maze traversal: An undergraduate case study [Текст] / James Wolfer, Chad A. George // World Congress on Computer Science, Engineering and Technology Education. – March 19 - 22, 2006, São Paulo, BRAZIL. – P. 46-50.
- [3] Бабич, Л.О. Использование методов нечеткой логики в процессе достижения противоречивых целей интеллектуальным мобильным роботом [Текст] / Л.О. Бабич. // Вимірювальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах. – 2008. – № 2. – С. 216 – 221.
- [4] Цимбал, О.М. Обчислення визначеності подій у деревах прийняття рішень [Текст] / О.М. Цимбал // Восточно-Европейский журнал передовых технологий, Харьков. – 2009. – № 2/2 (38). – С. 28-31.

# Перспективні рішення побудови конструкцій радіоелектронних апаратів на основі стандартних несучих конструкцій

Олександр Карлангач

Кафедра ЕЗІКТ, Одеський національний політехнічний університет, УКРАЇНА,  
Одеса, пр. Шевченко 1, email: alexander.karlangach@opu.ua

**Анотація:** Представлено нові рішення побудови несучих конструкцій у частині вставних блоків і блочних каркасів, що дозволяють підвищувати компонувальні характеристики електронних модулів, касет і настільних приладів, що також дозволяє підвищити їх функціональну сміть без зміни структури побудови стандартних несучих конструкцій. Надано опис принципу побудови нових конструкцій. Показана ефективність розроблених рішень.

**Ключові слова:** проектування електронної апаратури, несучі конструкції, блочні каркаси, вставні блоки, електронні модулі.

## I. ВСТУП

Загальновизнано, що ефективність конструкторської реалізації електронної апаратури суттєво залежить від технічного рівня і якості несучих конструкцій. Прогресивна тенденція створення радіоелектронних апаратів (РЕА) на основі несучих конструкцій (НК) зумовила необхідність системного підходу до вирішення цілого ряду технічних і організаційних питань з їх розробки та впровадження. Ці рішення повинні задовольняти комплексу суперечливих вимог, пропонованих на всіх етапах життєвого циклу апаратури різного функціонального призначення, що працює в широкому діапазоні умов експлуатації.

Аналіз трудомісткості проектування і виробництва РЕА показує, що витрати, пов'язані із створенням НК, становлять незначну частину загальних трудовитрат (близько 10 - 15%), і їх удосконалення, на перший погляд, не може значно підвищити ефективність РЕА. Однак досвід розробки і впровадження НК дозволяє стверджувати, що їх головні переваги закладаються ще при проектуванні. До таких можливостей відносяться використання автоматичних спеціалізованих методів проектування і виробництва, підвищення щільності і гнучкості компонування, раціональне матеріально-технічне забезпечення, організація кооперованого та спеціалізованого виготовлення НК, ефективний захист РЕА від зовнішніх дестабілізуючих впливів і ін. Таким чином, вибір НК прямо або побічно впливає на терміни, вартість і якість створення та експлуатації апаратури.

## II. ОГЛЯД СТАНУ ПРОЕКТУВАННЯ РЕА З ВИКОРИТАННЯМ НК

Існує тісний взаємозв'язок між створюваною НК та РЕА, проєктованих на її основі, тому на етапі розробки НК повинні бути вирішені не тільки традиційні питання, що визначають зовнішнє оформлення апаратури і забезпечують її комплексний захист від зовнішніх впливаючих факторів (ЗВФ), але і питання, що стосуються самої апаратури і виникають на етапі її проектування: вибір видів електричних з'єднань, заземлення, маркування, зовнішнього підключення; забезпечення електромагнітної сумісності (ЕМС), тепловідводу, можливості регулювання і ремонту, транспортування, установки на місці експлуатації тощо.

Практика показує, що ігнорування цих питань в процесі проектування РЕА призводить до того, що доводиться допрацьовувати НК, порушуючи, як правило, її композиційну цілісність. Так, в НК можливе використання декількох видів електричних з'єднань: друкованого, джгутового, накруткою, комбінованого та ін., тому якщо при розробці НК не розглядати питання виконання та вибору оптимальних видів електричних з'єднань, різні підприємства, приступаючи до проектування конкретної апаратури, будуть вирішувати цю задачу по-своєму, в багатьох випадках далеко не кращими засобами, в результаті чого виріб дорожчає. Таким чином, виникає необхідність оптимізації конструктивних параметрів апаратури на ранніх стадіях створення НК. При розробці НК необхідно враховувати, що проєктована на її базі апаратура повинна відповідати вимогам комплексної автоматизації виробництва.

Скорочення циклів проектування і підготовки виробництва має дуже важливе значення у зв'язку з тенденцією до скорочення терміну життя апаратури і ризиком випускати морально застарілі вироби. Створення оптимальних НК неможливо без застосування автоматизованих методів синтезу та додержання принципу зворотного зв'язку між проєктованими НК та РЕА з урахуванням всіх факторів, що визначають якісне функціонування РЕА і виникають у процесі проектування, виготовлення й експлуатації.

Очевидно, що НК не можна розглядати і проектувати відокремлено від створюваної на її базі апаратури. Тільки системний підхід з урахуванням особливостей проектування, виготовлення й експлуатації РЕА може наблизити розроблювану конструкцію до оптимального варіанту.

Особливу увагу слід приділяти досягненню високих якісних і кількісних показників НК, що визначають нормальне функціонування РЕА, вартість їх проектування та виготовлення. Число деталей, складальних одиниць, типорозмірів модулів 1, 2 і 3-го рівнів надалі визначають кількісні показники виробництва апаратури. Відомо, що чим менше типорозмірів деталей і складальних одиниць знаходиться у виробництві і чим вище їх масовість, тим ефективніше виробництво. Іншими словами, показники масовості і зменшення числа типорозмірів є одними з головних критеріїв вибору оптимального варіанту НК.

Вибір оптимального ряду модулів 1, 2 і 3-го рівнів повинен виключати можливість збільшення числа типорозмірів деталей і складальних одиниць НК при збільшенні номенклатури спроектованої на її базі апаратури. Типорозміри модулів одного рівня вибираються таким чином, щоб для їх побудови могли застосовуватися уніфіковані деталі та кожний наступний типорозмір модуля виходив нарощуванням попередніх без порушення кратності основних розмірів. Наприклад, для модулів 1-го рівня нарощування можна виробляти з певним кроком по ширині, але по висоті повинна бути дотримана кратність, тому що в іншому випадку виникне велике число типорозмірів модулів 2-го і 3-го рівнів. Недотримання такого принципу призводить в подальшому при проектуванні РЕА до великого різноманіття деталей і складальних одиниць НК вищих рівнів ієрархії і неможливості отримання всіх переваг від їх впровадження.

Слід зазначити, що розробка і впровадження НК часто не виключає всі недоліки власних НК підприємств. До таких недоліків відносяться: неповне виконання всіх вимог до побудови РЕА різного призначення; необхідність самостійного виготовлення великої кількості оснащення з-за складності урахування особливостей виробництва конкретних підприємств-виготовлювачів РЕА; відсутність оптимальних співвідношень між окремими показниками якості НК. Ці фактори ускладнюють широке впровадження НК. Отже, створення уніфікованих НК має спиратися на рішення технічних питань, пов'язаних з пошуком і впровадженням нових методів проектування, які використовують засоби обчислювальної техніки, і організаційних питань щодо спільної підготовки виробництва, кооперованому і централізованому виготовлення оснастки, деталей і складальних одиниць НК. Успішне рішення цих завдань значно підвищить економічну ефективність від впровадження НК.

Існує достатня кількість конструктивних рішень з проектування РЕА на основі НК. Але з часом вони стають недостатніми в зв'язку з інтенсивним розвитком радіоелектронних засобів. Виникає необхідність вирішення цих питань.

Отже, пошук нових рішень і принципів побудови НК та РЕА на їх основі достатньо актуальна задача.

У зв'язку з цим у запропоновано нові ідеї і конструктивні рішення для проектування РЕА на основі НК.

### III. ПІДВИЩЕННЯ ХАРАКТЕРИСТИК РЕА, ЯКА КОМПОНУЄТЬСЯ В НАСТІЛЬНИХ КОРПУСАХ І СУББЛОКАХ

Запропонована конструкція блочного каркасу з використанням для міжблочних з'єднань кросплати електричних з'єднувачів для поверхневого монтажу [1].

Кросплата з використанням електричних з'єднувачів для поверхневого монтажу дозволяє збільшити кількість незалежних електронних модулів в залежності від їх ширини і, відповідно, збільшити функціональну ємність проектного настільного приладу або секції.

Конструкція секції на основі такого блочного каркаса представлена на рис. 1. Вона складається з власне блочного каркасу, вставних блоків і кросплати, яка виконує роль елемента міжблочних електричних з'єднань.

Особливістю запропонованої конструкції є те, що використовуються електричні з'єднувачі 10 для поверхневого монтажу на кросплаті, що реалізує абсолютно незалежну установку вставних блоків з обох сторін кросплати. Їх розташування визначається схемою електричною принциповою, елементною базою і компонованням РЕА.

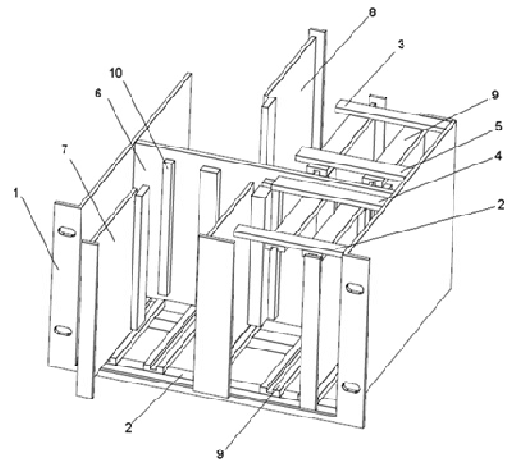


Рис. 1. Конструкція секції на основі блочного каркасу

1 – бокова стінка; 2, 3, 4, 5 – поперечні рейки; 6 – кросплата; 7, 8 – вставні блоки (електронні модулі); 9 – направляючі; 10 – електричні з'єднувачі.

Для кількісної оцінки компоновання секції проведено порівняльні розрахунки щодо

стандартного блокового каркасу. Як показник компоновання використовуємо коефіцієнт який характеризує виграш у вигляді відносної кількості розташованих вставних блоків,

$$K = n_1/n_2, \quad (1)$$

де  $n_1$  – максимально можлива кількість вставних блоків, які встановлюються в запропонованій конструкції касети;

$n_2$  – максимально можлива кількість вставних блоків, які встановлюються в стандартному блоковому каркасі.

#### IV. ПОКРАЩЕННЯ КОМПУНОВАЛЬНИХ ХАРАКТЕРИСТИК ВСТАВНИХ БЛОКІВ

Коефіцієнт заповнення друкованих вузлів з розвитком елементної бази об'єктивно зменшується і пов'язано це, в першу чергу, зі зменшенням розмірів ЕК і збільшенням рівня інтеграції мікросхем.

З цієї причини при тривалому використанні стандартних НК мінімальний розмір друкованої плати (ДП) перестає задовольняти вимогам розробників і виробників РЕА з ефективного використання площі ДП при застосуванні функціонально-вузлового методу конструювання.

В якості компенсації цього результату можна на одній ДП розташовувати два і більш функціонально-закінчених вузлів, але це не завжди можливо і зручно, в першу чергу, з позицій уніфікації друкованих вузлів (модулів). Вводити нові типорозміри ДП в стандартну НК без її суттєвого доопрацювання неможливо. При цьому виникає побічний негативний ефект - значне збільшення кількості типорозмірів деталей і складальних одиниць негативно позначається на показниках технологічності.

У зв'язку з цим пропонується конструкція вставного блоку - електронного модуля першого рівня (з використанням принципів побудови радіоелектронного модуля [4]), в якому можливо використовувати замість однієї - дві і більше ДП зменшених розмірів без зміни структури побудови НК (рис. 2).

Електронний модуль призначений для розміщення електронних компонентів і з'єднання друкованих вузлів між собою. Його доцільно використовувати для РЕА, яка розміщується в стандартних НК, без збільшення типорозмірів модулів всіх рівнів при одночасному поліпшенні компоновальних характеристик апаратури.

Застосування такої конструкції електронного модуля, коли замість однієї ДП можна використовувати дві і більше ДП меншого розміру з сумарною площею, яка дорівнює площі вихідної ДП, дозволяє підвищити щільність компоновання і функціональну ємність електронного модуля

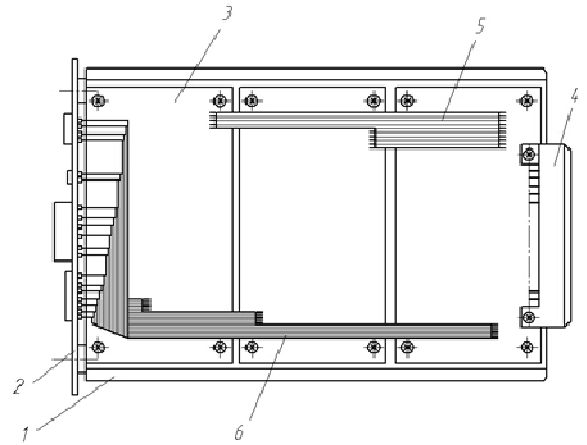


Рис. 2. Конструкція електронного модуля з трьома ДП, взаємозамінного зі стандартними вставними блоками

1 – несуча рамка; 2 – передня панель; 3 – друкована плата; 4 – електричні з'єднувачі; 5 – гнучкий друкований кабель; 6 – стрічковий провід.

Проведемо кількісну оцінку виграшу, який можна отримати за рахунок використання запропонованої конструкції електронного модуля. Для цього представимо зміну коефіцієнта заповнення  $K_3$  друкованих плат в часі регресійної моделлю у вигляді полінома  $n$ -го ступеня

$$y(t) = a + b_1 t + b_2 t^2 + b_3 t^3 + \dots + b_n t^n, \quad (2)$$

де  $y(t)$  виражає залежність коефіцієнта заповнення ДП  $K_3$  в часі  $t$ .

Прийmemo наступні допущення:

1. Виходимо з того, що на ДП кожного типорозміру розміщується один функціональний вузол.

2. З точки зору уніфікації та зручності компоновання електронних модулів доцільно використовувати кратні розміри  $i$ , відповідно, площі ДП, а саме  $S / n$ , де  $S$  - площа вихідної ДП;  $n$  - ціле число.

Тоді ряд площ ДП можна представити:  $S, S / 2, S / 3, S / 4$  і т.д. за необхідності.

3. У початковому стані приймає допустимий коефіцієнт заповнення ДП рівним  $K_3 = 0,8$ . Перехід на ДП  $S / 2$  можливий, коли  $K_3$  знизиться до 0,4, тобто коли сумарна установча площа електронних компонентів зменшиться в 2 рази і можливе застосування двох плат.

4. Перехід на типорозмір  $S / 3$ , тобто на три ДП можливий, коли коефіцієнт заповнення первинної плати знизиться до  $K_3 = 0,8 / 3 = 0,27$ . По відношенню до новоствореної конструкції з двох ДП коефіцієнт заповнення падає на третину на кожній платі

$$K_3 = (0,8 \cdot 2) / 3 = 0,53.$$

5. Перехід на типорозмір  $S / 4$  (на чотири ДП) можливий при коефіцієнті заповнення вихідної плати  $K_3 = 0,8 / 4 = 0,2$ . По відношенню до новоствореної конструкції з трьох ДП коефіцієнт заповнення падає на чверть на кожній платі  $K_3 = (0,8 \cdot 3) / 4 = 0,6$ .

Аналогічно можна представити умови переходу на інші типорозміри ДП.

Якщо згідно з поданими умовами змінювати конструкцію електронного модуля в частині зміни кількості ДП, відповідно зменшуючи їх площу, то залежність коефіцієнта заповнення від часу, прийме такий вигляд (рис. 3).

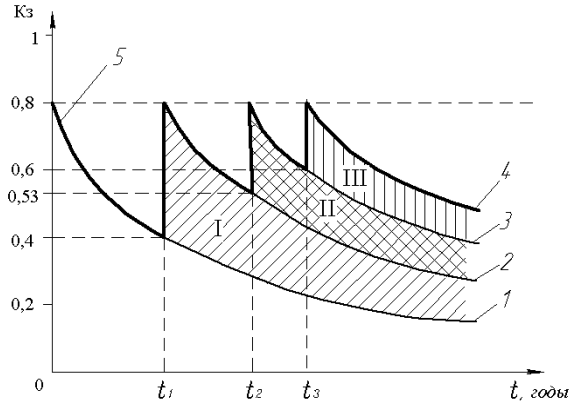


Рис. 3. Зміна коефіцієнта заповнення у часі при використанні конструкції електронного модуля з однієї 1, двох 2, трьох 3 і чотирьох 4 ДП  
1, 2, 3, 4 – статистичні криві зниження коефіцієнта заповнення друкованих плат;  $t_1$ ,  $t_2$ ,  $t_3$  – моменти переходу відповідно на дві, три і чотири ДП; 5 – крива, що ілюструє залежність коефіцієнта заповнення друкованих плат при своєчасному переході на менші розміри ДП

При використанні конструкції вставного блоку - електронного модуля, з двома, трьома, чотирма і великою кількістю ДП виграш в порівнянні з конструкцією, що містить одну друковану плату незмінного розміру, носить ступінчастий характер.

Для розглянутого випадку виграш у вигляді збільшення коефіцієнта заповнення вихідної ДП становить відповідно 2, 3 і 4 рази по відношенню до того випадку, коли розмір ДП незмінний. Виграш також можна уявити збільшенням функціональної ємності електронного модуля відповідно в 2, 3 і 4 рази.

Це максимальний виграш, характерний для прийнятих припущень, а саме: має бути досягнутий максимальний  $K_3 = 0,8$  і необхідно

забезпечити своєчасний перехід на відповідну кількість ДП в електронному модулі.

На рис. 3 величина виграшу визначається заштрихованими зонами I, II, III і пропорційна їх площі.

## V. ВИСНОВКИ

В результаті дослідження несучих конструкцій вставних блоків і блокових каркасів з метою підвищення їх компоувальних характеристик розроблено наступні рішення:

1. Конструкція блочного каркаса з двостороннім розташуванням вставних блоків і організацією електричних з'єднань за допомогою кросплати, в якій використовуються електричні з'єднувачі для поверхневого монтажу, що дозволяє виконати незалежну установку вставних блоків по обидва боки кросплати і створити умови для збільшення кількості вставних блоків.

2. Конструкція вставних блоків, в яких замість однієї може бути дві, три і більше друкованих плат менших розмірів, що дозволяє компенсувати зменшення коефіцієнта заповнення плат в часі і підвищити функціональну ємність електронних модулів.

Запропоновані рішення не призводять до зміни структури побудови стандартних несучих конструкцій і погіршення інших її показників.

## ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

- [1]. Патент 110872 UA. МПК H05K 5/02 (2006.01) Радіоелектронний блок / Єфіменко А.А., Карлангач О. П., Лазарев С.М. ; заявник Одеський національний політехнічний університет. — а 2014 07357; заявл. 01.07.2014; опубл. 25.02.2016, бюл. № 4. 2016 р.
- [2] Патент 115262 UA. МПК H05K 5/02 (2006.01) Радіоелектронний модуль / Єфіменко А.А., Карлангач О. П.; заявник Одеський національний політехнічний університет. — а201509450 ; заявл. 01.10.2015 ; опубл. 10.10.2017, бюл. № 19. 2017 р.

# Автоматизована система відбору і тепловізійна діагностики нежиттєздатних ембріонів в період інкубації яєць сільськогосподарської птиці

Мурад Омаров<sup>1</sup>, Роман Цехмістро<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Факультет підготовки іноземних громадян, Харківський національний університет радіоелектроніки, УКРАЇНА, Харків, пр. Науки. 14, e-mail: tsekhmistroroman@gmail.com

**Abstract:** Тези дослідження присвячені опису пристрою автоматичного розпізнавання і вилучення померлих зародків птиці в період інкубації яєць, який забезпечує значне підвищення ефективності праці, рівня виробництва і його якості, зменшення ручної праці, поліпшення екологічного стану як в середині так і навколо інкубаторів. У тезах також розглядається питання тепловізійної діагностики розвитку курячого ембріона на всіх стадіях інкубації.

**Keywords:** тепловізор, інкубація, розподіл температури, термометрія, ембріон.

## I. ВСТУП

Розробка та впровадження у виробництво пристроїв (установок) автоматичного визначення та вилучення загиблих зародків птиці, в період інкубації яєць сприятимуть значному підвищенню ефективності праці, рівня виробництва та його якості, зменшенню ручної праці, покращенню екологічного стану середовища як всередині, так і навколо інкубаторів, зменшенню епізоотологічної напруженості у регіоні. Це дасть змогу внести вагомий внесок у забезпечення продовольчої безпеки і експортних можливостей України. Основний спосіб, який зараз використовується у птахівництві при оцінці якості яєць і ступеня ембріонального розвитку зародків, є просвічування їх овоскопом. За допомогою нього проводять декілька переглядів яєць з метою вилучення незапліднених та яєць із загиблими зародками. Однак, особливо під час третього перегляду, за допомогою овоскопа дуже важко розрізнити яйця з живими та загиблими зародками, оскільки усі вони при просвічуванні мають темний колір. Тому дуже часто у вивідну шафу переносять яйця із загиблими зародками, заражені патогенами (тумаки). З метою усунення похибок в оцінці актуальною є необхідність створити прилад, який би міг автоматично визначати місцезнаходження яйця із загиблим зародком. Це значно скоротить витрати ручної праці на проведення переглядів (міражів) з метою вилучення таких яєць, зменшить мікробіологічну забрудненість інкубаційних і, особливо, вивідних шаф і виведеного молодняка.

Результати проведених авторами досліджень свідчать, що принцип визначення живих і неживих зародків у період проведення перевірки їх на ступінь ембріонального розвитку методом термометрії є надійним для створення приладу по відбору яєць з живими та мертвими зародками. Однак для гарантованого вилучення неживих зародків необхідно додатково випробувати інші методи (тепловізорний, імпульсного опромінення, фонетричний і т.п.).

## II. ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСУ ІНКУБАЦІЇ КУРЯЧИХ ЕМБРІОНІВ (1-21 ДЕНЬ) ЗА ДОПОМОГОЮ ІНФРАЧЕРВОНОЇ ТЕРМОГРАФІЇ

В експерименті розглядалися промислові яйця курячі, місце інкубації Дергачівська птахофабрика, Україна, Харківська область. Інкубація проводилася відповідно до рекомендації до інкубації яєць сільськогосподарських птахів, використався інкубатор шафового типу, ІЧ камера (виробник Fluke Thermography). Ключовим параметром оптимального розвитку ембріона є температура [1,2]. У різні періоди інкубації один і той же рівень температури робить неоднаковий вплив на ріст і розвиток ембріону. У таблиці 1 наведено результати досліджень в часі вимірювання температури шкарлупи на 4, 11, 14, 18 день інкубації яєць курей. Для вимірів було вибрано декілька яєць, точка вимірювання - на екваторі яйця або близько до нього; із середньої зони шафа, тобто за умов, які можна вважати середніми для усього інкубатора. Результати вимірів підтверджують наявність двох термічних періодів інкубації [1]. У перший період (4 днів), температура шкарлупи яйця була нижче за температуру зовнішнього середовища у 70% яєць, а вище – лише у 30%. Вищі температури міг дати більш розвинутий зародок. На другому періоді інкубації температура шкарлупи на яйці має тенденцію до підвищення, тому на 11 день інкубації, різниця між температурою шкарлупи і температурою зовнішнього середовища збільшується на 0,9<sup>0</sup> С. На 14 день загальна середня температура шкарлупи вже складала 40<sup>0</sup>



С і перевищує температуру у шафі на  $2,5^{\circ}\text{C}$  і більше. На 18 день інкубації загальна середня температура яєць складає  $40,5^{\circ}\text{C}$ . і перевищує температуру у шафі на  $3^{\circ}\text{C}$  і більше. Невелика різниця середньої температури між 14 і 18 днем інкубації побічно підтверджує зменшення обмінних процесів в яйці.

Таблиця 1

Результати досліджень в часі вимірювання температури шкарлупи на 4,11,14,18

	Кількість яєць	Розклад температур	Середня температура шкарлупи	Температура шафа	різниця
4 день	5	37- $38^{\circ}\text{C}$	$37,4^{\circ}\text{C}$	$37,6^{\circ}\text{C}$	
11 день	4	39- $40^{\circ}\text{C}$	$38,5^{\circ}\text{C}$	$37,6^{\circ}\text{C}$	$>0,9$
14 день	3	40- $41^{\circ}\text{C}$	$40^{\circ}\text{C}$	$37,5^{\circ}\text{C}$	$>2,5$
18 день	21	39- $40^{\circ}\text{C}$	$40,5^{\circ}\text{C}$	$37,5^{\circ}\text{C}$	$>3$

Рисунки 1 та 2 демонструють використання тепловізійної камери для фіксації поверхневого розподілу температури з наведеними основними технічними параметрами камери. Райдужна кольорна смужка по контуру яйця представляє візуалізацію ефекту Ламбера. На рис. 1 чітко видно розподіл температури по повітряній камері яйця

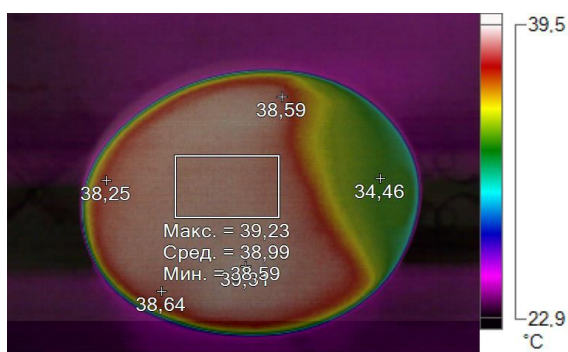


Рис. 1 Термографическое зображення яйця показано на 14 день інкубації з параметрами тепловізора



Рис. 2 Зображення у видимому світлі яйця показано на рисунку 1.

Термографичне зображення яйця показано на рис. 3-4 наведено на 14 день з детальною таблицею характеристик зображення, що показує температуру кожного яйця. Відмінності в кольорі (поверхневої температури) говорять про те, що в даному лотку знаходяться яйця різної орієнтації (зверху повітряна камера). Також чітко простежується взаємний вплив теплового випромінювання на досліджувані яйця

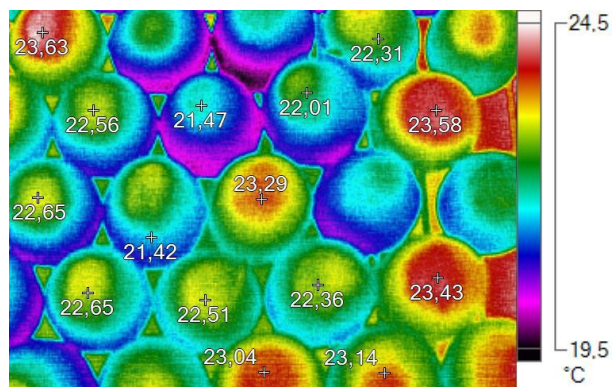


Рис. 3 Термографическое зображення лотка яєць з інкубатора на 14 день інкубації з таблицею про інформації про зображенні. (Травень 2015 рік Дергачівська птахофабрика)



Рис. 4 Зображення лотка яєць у видимому світлі (той самий лоток що і на рис. 3) з інкубатора на 14 день інкубації з таблицею з характеристиками тепловізора. (Травень 2015 рік Дергачівська птахофабрика)



Останнє підтверджує факт, що поділ живих-мертвих ембріонів в яйці по температурному розподілу технологічно є невиправданим, тобто тепловізійну камеру (рис.5) доцільно використати тільки з метою діагностики етапів інкубації..

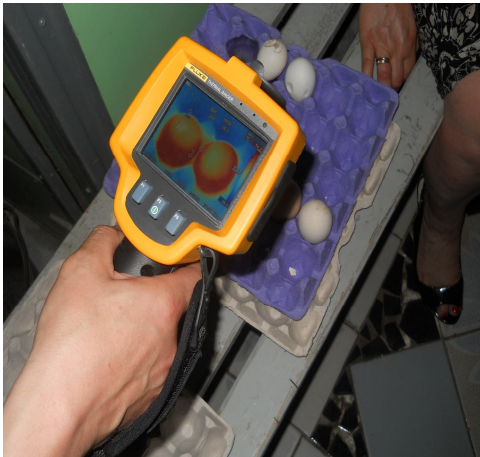


Рис. 5 Демонстрація використання тепловізору

Висновки досліджень :

- різниця у 3<sup>0</sup>C і більше дає можливість диференціювати стан розвитку ембріону на 18 день;
- диференціювати стан розвитку краще проводити на межі теплової камери;

Метод з використанням ІЧ термографії дозволить перейти до впровадження автоматичного комплексного контролю ступеню розвитку ембріону.

### III. ТЕХНОЛОГІЇ АВТОМАТИЗОВАНОГО ВИЛУЧЕННЯ “МЕРТВИХ”ЕМБРІОНІВ

Основний спосіб, який зараз використовується у птахівництві при оцінці якості яєць і ступеня ембріонального розвитку зародків, є просвічування їх овоскопом. За допомогою нього проводять декілька переглядів яєць з метою вилучення незапліднених та яєць із загиблими зародками. Однак, особливо під час третього перегляду, за допомогою овоскопа дуже важко розрізнити яйця з живими та загиблими зародками, так як усі вони при просвічуванні мають темний колір. Отже дуже часто у вивідну шафу переносять яйця із загиблими зародками та заражені патогенами (тумаки). З метою усунення похибок в оцінці нагальною є необхідність створити прилад, який би міг автоматично визначати місцезнаходження яйця із загиблим зародком. Це значно підніме рівень якості виробництва, скоротить витрати ручної праці на проведення переглядів (міражів) з метою вилучення таких яєць, зменшить мікробіологічну забрудненість інкубаційних і, особливо, вивідних шафів і виведеного молодняка і в подальшому переходити до *in ovo* вакцинації. Системи вилучення яєць із загиблими зародками повністю сумісна з системою Inovoject (рис. 6) [3,4].



Рис. 6 Фрагмент установки Inovoject (автоматичного вилучення яєць з мертвими ембріонами)

Її компактний пристрій дозволяє працювати з тими ж самими витратами робочої сили і за той же самий час, і в тому ж місці, як і система Inovoject. Запатентована компанією «Embrex» система відбору яєць з загиблими зародками дозволяє досліджувати кожне яйце декілька разів. Це гарантує високий рівень точності того, що яйця із живими зародками не будуть втраченими. Санітарні аспекти: система захищає санітарну цілісність яєць, тому що вона вступає в контакт тільки з яйцями, які мають бути видалені. Автоматизований механізм вилучення яєць з мертвими зародками підтримує функціонування устаткування в належному санітарному стані. Промислові системи ідентифікують життєздатність зародка в яйці з швидкістю до 60 тис. яєць за годину.

Фірма Петерсайм уже випускає обладнання з автоматичним відбором перед закладанням на інкубацію яєць брудних та з пошкодженою шкаралупою (див. паспорт до інкубатора). Апаратуру щодо відбору яєць з мертвими зародками має тільки компанія «Embrex» (США), яка випускає прилади і для *in ovo* вакцинації. У цьому напрямку ведуться роботи також і фірмами «PasreForm», «Петерсайм», «Джемсвей» та іншими. У зв'язку з вищенаведеним вважаємо, що розробка технології *in ovo* вакцинації, пристосованої до умов промислових, фермерських і приватних птахогосподарств є для України своєчасним і актуальним вирішенням проблеми.

### IV. ВИСНОВКИ

Роботи з приводу розробки приладів щодо автоматизації процесів вилучення яєць із загиблими зародками та *in ovo* вакцинації за кордоном ведуться в закритому режимі та публікацій не існує. Так, компанія «Embrex» (США) здає систему *in ovo* вакцинації в аренду в більш, ніж у 30 країнах Європи, Латинської та Північної Америки, Австралії, Азії. Самі апарати і ліцензії на їх виробництво компанія Embrex не продає. На підставі проведених експериментальних і конструкторських робіт в Україні цілком можливо створити промислові

апарати автоматичного вилучення яєць із неживими зародками та проведення в подальшому *in ovo* вакцинації живих зародків, якими будуть укомплектовані вітчизняні птахопідприємства. У світі існує аналог, який створений фірмою «Embrex» (США), яка свою продукцію віддає тільки в аренду по 220 тис.доларів на рік за один апарат. Вітчизняні автоматичні прилади щодо вилучення неживих зародків та в подальшому інекції живих будуть дешевші в 3-4 рази за аналогів США. Найбільш доцільно в вітчизняних випускати установки разделюючі яйця з живими і мертвими зародками окремо від блоку *OVO* вакцинації.

#### ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

- [1] Рольник В.В. Биология эмбрионального развития птиц.Ланинград, Изд-во “Наука”425с.
- [2] Вивчення ефективності *in ovo* вакцинації проти ньюкаслської хвороби та інфекційного бронхіту курей. Б. Т. Стегній, В. О. Бреславец, С. С. Драгуць, А. Б. Стегній

Національний науковий центр «Інститут експериментальної і клінічної ветеринарної медицини» Ж. Біологія тварин. – Львів, 2010. – Т.12, № 2, С. 426-430.

- [3] Щодо розробки та автоматизації методів біоконтролю в інкубації. Бреславец В.О., Стегній О.О., Ситнов В.І., ННЦ «ЛЕКВМ. Ветеринарна медицина: міжвід. темат. наук. зб., 2014.- Вып. 99.- С. 186-189.
- [4] Дослідження ступеню ембріонального розвитку курячих зародків за допомогою інфрачервоної термографії. Р Цехмістро, К. Гавриленко, В. Ликах. “Аграрная наука та освіта в умовах євроінтеграції”Збірник наукових праць міжнародної науково-практичної конференції ч.1. Подільський Державний аграрно-технічний університет,2018. –ч.1–208-211с.

## Методичне забезпечення автоматизованих систем ВОДООЧИСТКИ

Володимир Штепа<sup>1</sup>, Світлана Вертай<sup>2</sup>, Наталія Заєць<sup>3</sup>

1. Керівник НДІ «Екоінженерія і інформаційні технології», Поліський державний університет, РЕСПУБЛІКА БІЛОРУСЬ, м. Пінськ, вул. Дніпровської флотилії 23, e-mail: shns1981@gmail.com
2. Заступник директора, ТОВ «ПАК-управління», РЕСПУБЛІКА БІЛОРУСЬ, м. Пінськ, пров. Калиновського 2, e-mail: vertai@tut.by
3. Доцент кафедри автоматики та робототехнічних систем ім. акад. І. І. Мартиненка, Національний університет біоресурсів і природокористування України, УКРАЇНА, м. Київ, вул. Героїв Оборони 15, e-mail: z-n@ukr.net

**Анотація:** Розроблено сучасні методи проектування автоматизованих систем комбінованої очистки стічних вод різногалузевих об'єктів із забезпеченням умов енергоефективності їх функціонування, включаючи умови дії нештатних ситуацій (НС).

**Ключові слова:** Водоочистка, енергоефективність, автоматизація, проектування, нештатна ситуація.

### I. ВСТУП

Вартість якісної очистки 1 м<sup>3</sup> стічних вод коливається в широких межах і залежить від параметрів води, яка подається на установки, функціоналу обладнання водоочистки та вимог щодо показників води після обладнання (повторне використання, скидання в природні водойми або каналізацію). Існують фактори, які в процесі роботи на виробництвах викликають негативні результати: можливість дії нештатних ситуацій; відсутність повноти техніко-економічної інформації щодо конкретних комбінованих процесів водоочистки (кожен об'єкт має свої особливості та параметри налаштування обладнання для ефективного

функціонування); багатофакторність процесів водоочистки; відсутність або низька точність і швидкодія засобів вимірювань якості стічних вод (існує не більше 20% від технологічних потреб вимірювальних комплексів здатних ефективно працювати в у режимі реального часу).

### II. МЕТОД ПЕРЕХРЕСНИХ ВПЛИВІВ

Аналіз роботи промислових систем [1], при комбінації різних способів, яка є обов'язковою при очистці стоків промислових об'єктів, показав, що відбувається накладання дії різного обладнання на одні і ті самі забруднювачі: перехресна дія різних засобів на один вид забруднювачів коливається у межах 5-50% [2].

Шляхом імітаційного моделювання та вирішення оптимізаційної задачі (генетичний алгоритм) встановлено потенційне розширення ефективності використання обладнання в умовах дії нештатних ситуацій (рис. 1). У якості забруднювачів прийняли: завислі у воді частинки (містяться у більшості стоків); азот амонійний

(стоки легкої, переробної, хімічної промисловостей); фосфор (стоки переробної промисловості); шестивалентний хром та цинк (легка промисловість, машинобудування). При виборі способів та технологічних режимів водоочистки типово використано СНіП 2.04.03-85.

На основі отриманих результатів обґрунтовано послідовність проектування систем водоочистки із розширенням функціональних можливостей та здатності ефективніше протидіяти НС – метод перехресних впливів способів видалення забруднювачів із стоків. Ключовим завданням при практичній реалізації методу перехресних впливів є: встановлення обмежуючого критерію, який би враховував затратні механізми процесів водоочистки (енергоефективність).

Для оцінки меж інтеграції різних способів видалення забруднювачів на основі критеріїв технічної та екологічної ефективностей обґрунтовано і створено вираз оцінки енергозатратності та якості промислової електротехнологічної водоочистки [2]:

$$EF_y = \frac{\left[ \left( \frac{L1_{вих} - L1_{зад}}{L1_{зад}} \cdot 100\% \right) + \dots + \left( \frac{LN_{вих} - LN_{зад}}{LN_{зад}} \cdot 100\% \right) \right] \cdot Q}{W},$$

%/кВт (1)

$L_{вих}$  – фактичне значення відповідного параметра оцінки якості водоочистки;  $L_{зад}$  – задане (нормативне) значення відповідного параметра оцінки якості водоочистки;  $Q$  – час роботи обладнання, год;  $W$  – електроенергія, що затрачена на водоочистку, кВт·год;  $N$  – кількість параметрів оцінки якості водоочистки.

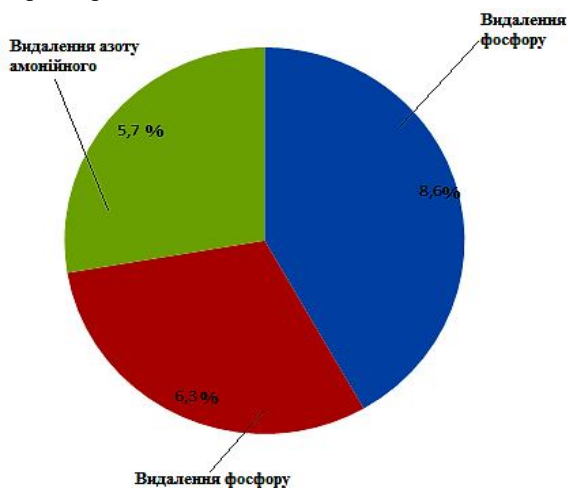


Рис. 1. Потенційне розширення меж використання обладнання комбінованих систем водоочистки шляхом перехресного впливу різних способів на однотипові забруднювачі

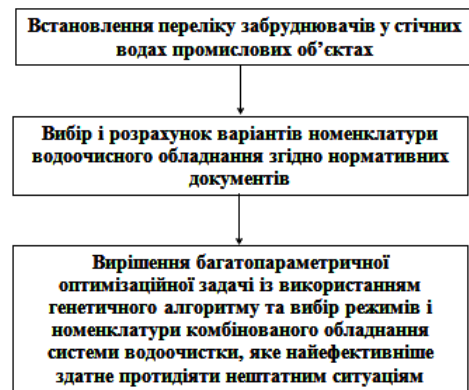


Рис. 2. Послідовність вибору режимів і номенклатури обладнання комбінованих системи водоочистки із врахуванням перехресних впливів різних способів видалення забруднювачів та підвищенням ефективності протидії НС

### III. МЕТОД ДОМІНУЮЧОГО ДИНАМІЧНОГО ЗАБРУДНЮВАЧА

На етапі аналізу якості очистки стоків реальних підприємств і модельних розчинів [1] виникла гіпотеза стосовно того, що для видалення одних забруднювачів необхідно спочатку усунути інші забруднювачі, які критично зменшують ефект видалення перших. З огляду на результати досліджень (рис. 3) робимо висновок, що для теоретичного обґрунтування побудови ефективного обладнання водоочистки раціонально запропонувати використання методу домінуючого динамічного забруднювача (ДДЗ).

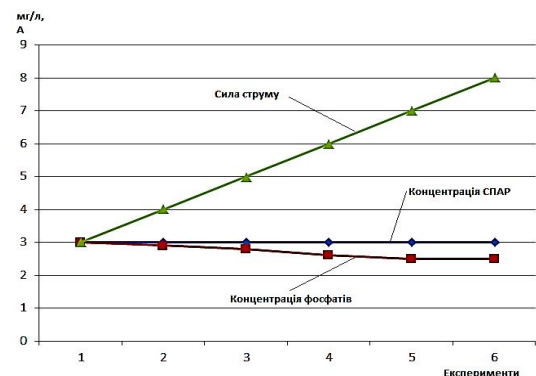


Рис. 3. Експериментальна оцінка впливу концентрацій синтетичних поверхнево-активних речовин (СПАР) на якість електрокоагуляційної очистки води від фосфатів (сила струму на електродах та концентрація фосфатів постійна, концентрація СПАР збільшувалась з метою оцінки її пасивуючого впливу)

Тобто, ДДЗ – забруднювач багатокомпонентних стічних вод, який в даний момент часу при фактичному складі стоків необхідно першочергово видалити: встановивши найменування ДДЗ, визначивши, із використанням методу перехресних впливів номенклатуру обладнання та техніко-економічні режими його усунення, ітераційно повторюються такі кроки до моменту забезпечення нормативних вимог щодо якості стоків.



Наприклад, використанні комбінованих систем водоочистки стоків мясопереробних підприємств (ДДЗ – жири), експериментально встановлено, що у результаті електротехнологічного видалення такого ДДЗ, зменшуються мінімум на 50% - 1 – 95% концентрації інших забруднювачів.

На основі створених методів проектування і застосування індексу рентабельності та коефіцієнта використання природних ресурсів статистично оцінено інвестиційно-фінансові передумови (перспективи) монтажу засобів водоочистки (під час імітаційного моделювання схеми оборотного водопостачання індекс рентабельності підвищився на 5-11%) та удосконалено класичні критерії оцінки економічних показників [3], де, із врахуванням виробничих випробувань та теоретичних напрацювань, у фінансові викладки додано критерій енергоефективності обладнання:

$$\begin{cases} EF_y \rightarrow 0 \\ \text{ІндексРент абельності} \rightarrow \max \end{cases} \quad (2)$$

#### IV. МЕТОДОЛОГІЯ ВИРОБНИЧОГО ЗАСТОСУВАННЯ МЕТОДІВ ПРОЕКТУВАННЯ АВТОМАТИЗОВАНИХ СИСТЕМ ВОДОЧИСТКИ

На основі результатів моделювання [1-3] синтезовано метод побудови промислової електротехнологічної водоочистки на основі ефективного отримання, опрацювання та використання техніко-економічної інформації, які включають інтелектуальну інформаційно-вимірювальну систему за рахунок чого забезпечується енергоефективне функціонування обладнання із врахуванням впливу нештатних ситуацій (рис. 4).

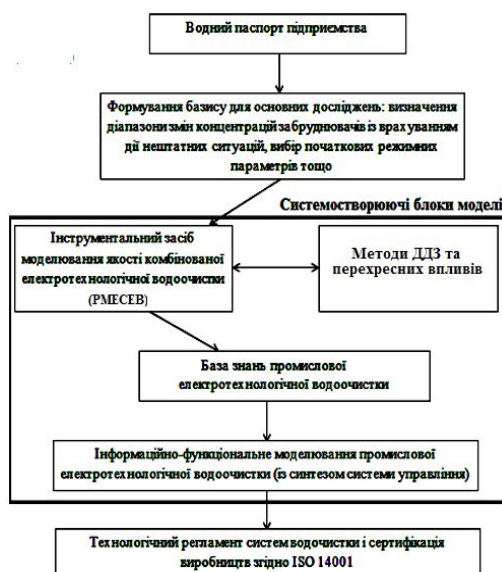


Рис. 4. Логічна модель адаптації нормативної документації (технологічних регламентів) промислової електротехнологічної водоочистки до дії НС

Відповідна система управління водоочисним обладнанням (рис. 5) із опрацюванням техніко-економічної інформації складається із: підсистеми прийняття рішень 1, яка включає блок фільтрації вхідного сигналу 2 (в тому числі і від пристроїв попередження щодо можливої дії НС: вимірювання гідродинамічного та температурного режимів потоку стічних вод та частотного сканування наявності суспензій заданих розмірів), блоку нейромережевого прогнозування 3; блоку прийняття рішень 4, блоку адаптивного формування у режимі реального часу стратегій управління 5, блоку управління 6; локальної системи управління 7, що складається з локального автоматичного управляючого пристрою 8, виконавчих елементів 9 (фільтри, аеротенки, електролізери, насоси, нагрівачі, компресори тощо), об'єкта управління 10.

Апробація розроблених систем очистки стічних вод різногалузевих промислових об'єктах на основі ефективного отримання та опрацювання техніко-економічної інформації відбулася на ВАТ «Пінський мяскокомбінат», що дозволило підприємству виконати екологічні вимоги стосовно якості водоскиду, реалізувавши схему ресурсозберігального водозабезпечення – очищена вода повторно використовувалась у технологічних процесах. Критерій енергоефективності (1) був у технологічно прийнятних межах: його відхилення від нуля становило ± 9,6%.

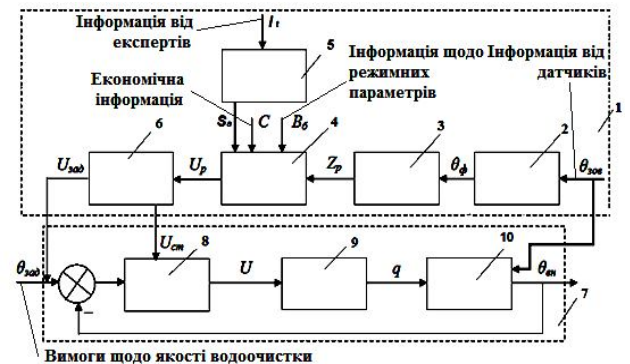


Рис. 5. Архітектура адаптивної системи управління комбінованою електротехнологічною водоочисткою на основі ефективного отримання, опрацювання та використання техніко-економічної інформації (патент № 95200 UA)

Виходячи із результатів тесту Манна-Уїтні для пар вибірок результатів виробничого впровадження та інформаційно-функціонального моделювання зроблено висновки, що гіпотеза  $H_0$  приймається (найменші значення  $U = 46$ , а  $p = 0,923$ ): набори даних оцінки енергоефективності електротехнологічної водоочистки однорідні – концепція синтезу систем промислової електротехнологічної водоочистки на основі її енергоефективності із використанням розроблених методів прийнятна (підтверджується виробничими результатами) і може

використовуватись на підприємствах реального сектору економіки (базуючись на патентах України: № 98867 UA, МПК А 01 С 3/00 (2012.01); № 95201 UA, МПК Е 03 В 7/00 (2014.01), № 98867 UA, МПК А 01 С 3/00 (2012.01), № 120530 UA, МПК С02F 9/06 (2006.01), F04D 15/00, F04D 13/06 (2006.01); патенту Республіки Білорусь № 10981.

Відповідно, створені методи проектування автоматизованих засобів водоочистки являються ефективним управлінським механізмом для реалізації міжнародних систем менеджменту якості.

## V. ВИСНОВКИ

Комплексне використання створених ресурсоефективних методів дозволить реалізувати замкнуті цикли водопостачання різногалузевих об'єктів із використанням продуктів очистки, гарантуючи: підвищення екологічної безпеки навколишнього природного середовища; покращення інвестиційно-фінансових характеристик виробництв, що підтверджено на основі використання методики комплексної оцінки індексу рентабельності та критерію енергоефективності; виробниче використання енергоефективних методів обґрунтування та впровадження комбінованих електротехнологічних установок видалення із водних розчинів забруднювачів; виконання діючих нормативних документів щодо якості водовідведення (Закону України "Про охорону навколишнього природного середовища" та "Правилами прийняття стічних вод у комунальні та відомчі системи каналізації міст та селищ України"), створюючи передумови для отримання підприємствами сертифікатів ISO 9001:2015 та ISO 14001 і відповідно [4]: зниження виробничих витрат за рахунок зменшення штрафних санкцій;

зростання прибутку, завдяки реалізації повторного використання водних ресурсів.

## ПОСИЛАННЯ

- [1] Штепа В.М. Метод побудови систем енергоефективного управління комбінованою електротехнологічною очисткою стічних вод різногалузевих промислових об'єктів / В. М. Штепа, В. В. Каплун // Вісник Київського національного університету технологій та дизайну. – К.: КНУТД, 2017. – № 2 (108). – С. 27-37.
- [2] Штепа В. М. Обґрунтування та розробка критерію енергоефективності функціонування електротехнологічних систем водопідготовки / В. М. Штепа, Ф. І. Гончаров, М. А. Сироватка // Науковий вісник Національного університету біоресурсів і природокористування України. – Київ: НУБіПУ, 2011.– Вип. 161. – С. 187–193.
- [3] Вертай С. П. Обоснование структуры и заданной системы поддержки принятия решений обобщенной оценки перспективности инновационных технологий / С. П. Вертай, В. Н. Штепа // Науковий вісник Національного університету біоресурсів і природокористування України. – Київ : Видавничий центр НУБіП України, 2016. – Вип. 240. – С. 86-93.
- [4] Вертай С. П. Механизм формирования инновационного предпринимательства / С. П. Вертай, В. Н. Штепа, Е. И. Сасевич // Экономика и управление: научный и производственно-практический журнал.– Минск, Экономический университет, 2016.– № 4 (48).– С. 10-14.

# Управление процессом первичной переработки нефти

Эльчин Меликов

Кафедра "Управление и инженерия систем", Азербайджанский Государственный Университет Нефти и Промышленности, АЗЕРБАЙДЖАН, Баку, пр. Азадлыг 20, , e-mail: elchin03@mail.ru

**Аннотация.** В статье построены детерминированные и стохастические модели и алгоритм управления процессом первичной переработки нефти, а также решена задача оптимального управления в форме стохастического программирования. Разработан декомпозиционный алгоритм и предложен метод преобразования исходной задачи по принципу детерминированного аналога.

Предложены принципы построения оптимальной системы управления на основе разработанных моделей и алгоритма оптимизации функционирования установки.

**Ключевые слова:** детерминированные и вероятностные модели, стохастическое программирование, декомпозиционный алгоритм, метод множителей Лагранжа, задача оптимизации.

## I. ВВЕДЕНИЕ

Известно, что важнейшими факторами повышения эффективности экономики является прежде всего улучшение глубины переработки нефти, а также улучшение качественных показателей получаемых нефтепродуктов. На установках типа ЭЛОУ-АВТ из сырой нефти ректификацией в колоннах получают светлые нефтяные фракции (бензин, керосин, дизельное топливо и т.д.), характеризующиеся различными показателями качества (температурой начала кипения, температурой 5%-го кипения, температурой 10%-го кипения, температурой 50%-го кипения и температурой конца кипения).

Всесторонние исследования по эксплуатации установки первичной переработки нефти даже после ее модернизации показывают, что на данных установках количественные и качественные показатели сырой нефти, поступающей на переработку меняются в широком диапазоне по случайным законам [1]. Поэтому существующие локальные системы контроля и стабилизации режимных параметров, построенных по одноконтурному принципу не могут обеспечить получения требуемых по регламенту технико-экономических показателей рассматриваемого производства.

В связи с этим разработка моделей, осуществление математической формализации задачи оптимизации с учетом стохастических особенностей координат состояния, разработка алгоритма управления и синтез регулятора режимных координат для системы управления комплексом первичной переработки нефти, исходные координаты состояния и управления которого меняются по случайным законам, являются актуальными задачами.

За последние 20-25 лет опубликованы весомые научные статьи и монографии, связанные с разработкой систем оптимального управления нефтеперерабатывающими технологическими процессами [2-4].

С учетом вышеуказанных специфических особенностей функционирования первичных процессов в данной статье предлагается комплекс математических моделей и оригинальный метод оптимизации стохастических режимов на уровне оперативного управления, а также синтез оптимального регулятора для автоматической стабилизации параметров системы управления установкой первичной переработки нефти типа ЭЛОУ-АВТ.

Для математической формализации задачи оптимизации атмосферного блока технологической установки типа ЭЛОУ-АВТ модели, характеризующие выход фракции и его качественные показатели представляют в виде:

$$y_k = \bar{y}_k(x_s, \rho, \bar{u}) + \xi_k, \quad (1)$$

$$v_i = \bar{v}_i(x_s, \rho, \bar{u}) + \xi_i^i \quad (2)$$

Здесь,  $y_k$  и  $v_i$  характеризуют соответственно расходы и качественные показатели светлых

нефтяных фракций,  $x_s$  - расход сырой нефти, поступающей на установку для переработки,  $\rho$  - удельный вес сырой нефти,  $\bar{u}$  - вектор управлений в ректификационных колоннах,  $\xi_k$  и  $\xi_i^i$  - величины, характеризующие погрешности.

Качественные показатели каждой нефтяной фракции должны соответствовать определенным техническим условиям, которые можно представить в виде:

Апробация разработанных систем очистки сточных вод разноотраслевых промышленных объектов на основе эффективного получения и обработки технико-экономической информации состоялась на ОАО «Пинский мясокомбинат», что позволило предприятию выполнить экологические требования относительно качества водосброса, реализовав схему ресурсосберегающих водоснабжения - очищенная вода повторно использовалась в технологических процессах. Критерий энергоэффективности (1) был в технологически приемлемых пределах: его отклонения от нуля составило  $\pm 9,6\%$ .

$$\underline{b}_i \leq v_i = \bar{v}_i(x_s, \rho, \bar{u}) + \xi_i^i \leq \bar{b}_i, \quad i = \overline{1, m} \quad (3)$$

Количество каждой нефтяной фракции в составе нефти не должно быть меньше минимального значения, т.е.:

$$y_k = \bar{y}_k(x_s, \rho, \bar{u}) + \xi_k \geq Q_k, \quad k = \overline{1, l} \quad (4)$$

Из-за наличия случайных величин  $\xi_k$  и  $\xi_i^i$  в выражениях (1) и (2), изменения  $x_s$  и  $\rho$  также являются случайными величинами. Все это обуславливает вероятностный характер функциональных ограничений.

Таким образом, при любых значениях  $x_s$  и  $\rho$ , характеризующих каждый из режимов установки требуется в пределах установленного регламента определить такие значения управлений  $\bar{u}$ , при которых в этих условиях качественные показатели нефтепродуктов обеспечиваются заданной вероятностью  $P_0$ , а их количественные показатели были бы близки к потенциальной возможности содержания данной фракции в составе сырой нефти, т.е.:

$$P(\bar{y}_k(x_s, \rho, \bar{u}) \geq Q_k, v_i \in B_i, i = \overline{1, m}, \underline{b}_i, \bar{b}_i \in B_i; k = \overline{1, l}) \geq P_0 \quad (5)$$

При этом значения ограничений на количество и качество целевых светлых нефтепродуктов и вероятность их выполнения задаются технологом-оператором в соответствии с регламентом данного процесса. Участие в моделях (3) и (4) случайных параметров  $\xi_k$  и  $\xi_i^i$ , а также изменение параметров  $x$  и  $\rho$  по случайному закону показывает, что все вышеприведенные ограничения могут выполняться лишь с определенной степенью вероятности.

В задаче оптимизации в качестве критерия выбран максимум математического ожидания прибыли от реализации целевых нефтяных фракций:

$$\Phi = \max_{v_i \in U} E \left\{ \sum_{i=1}^N \sum_{k \in B_i} c_k^i y_k^i - d(x) \right\} \quad (6)$$

где  $E(\cdot)$  - математическое ожидание,  $d(x)$  - характеризует затраты на энергию, сырье и другие ресурсы,  $c_k^i$  - стоимость единицы  $k$ -ого вида светлого нефтепродукта в  $i$ -ом блоке.

## II. АЛГОРИТМ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧИ

Как видно из (1)-(6) задача оптимизации первичной переработки нефти является нелинейной задачей стохастического программирования

Установлено, что в данном случае с практической точки зрения эффективным является применение метода построения детерминированного аналога. В процессе моделирования получены условные функции распределения  $F(v_i / x)$ . Тогда рассматриваемую стохастическую задачу приведем к эквивалентной детерминированной задаче. Для этого (5) представим в виде:

$$F(v_i / x) \geq P_{0i},$$

Для численного решения задачи предлагается модифицированный метод Лагранжа, учитывающий требование выпуклости математических моделей. Модифицированная функция Лагранжа для данной задачи:

$$L_{\text{mod}}(\lambda, p, x, u) = L(\lambda, x, u) + C \cdot B(p, x, u) \quad (7)$$

где

$$L(\lambda, x, u) = - \sum_{i=2}^5 f_i(x^i, u^i, \xi^i) - f_1^{\text{III}}(x^{\text{III}}, u^{\text{III}}, \xi^{\text{III}}) - \lambda_1 [x_1^{\text{II}} - f_2^{\text{I}}(x^{\text{I}}, u^{\text{I}}, \xi^{\text{I}})] - \lambda_2 \{ [x_1^{\text{III}} - f_1^{\text{I}}(x^{\text{I}}, u^{\text{I}}, \xi^{\text{I}})] - f_1^{\text{II}}(x^{\text{II}}, u^{\text{II}}, \xi^{\text{II}}) \}$$

является классической функцией Лагранжа для данной задачи,  $\lambda_1, \lambda_2$  - множители Лагранжа,  $C \cdot B(p, x, u)$  - неотрицательная декомпозирующая функция. При этом,

$$B^{\text{I}}(p^{\text{I}}, x^{\text{I}}, u^{\text{I}}) = \sum_{k=1}^2 (u_k^{\text{I}} - p_k^{\text{I}})^2 + (x^{\text{I}} - p^{\text{I}})^2 \quad (8)$$

$$B^{\text{II}}(p^{\text{II}}, x^{\text{II}}, u^{\text{II}}) = \sum_{k=1}^5 (u_k^{\text{II}} - p_k^{\text{II}})^2 + (x^{\text{II}} - p^{\text{II}})^2 \quad (9)$$

$$B^{\text{III}}(p^{\text{III}}, x^{\text{III}}, u^{\text{III}}) = \sum_{k=1}^2 (u_k^{\text{III}} - p_k^{\text{III}})^2 + (x^{\text{III}} - p^{\text{III}})^2 \quad (10)$$

где

$$p = (p^{\text{I}}, p^{\text{II}}, p^{\text{III}}) \equiv (p_1^{\text{I}}, p_2^{\text{I}}; p_1^{\text{II}}, \dots, p_5^{\text{II}}, p_1^{\text{III}}, p_2^{\text{III}})$$

выбраны как координирующие параметры.

Декомпозирующие функции (8) - (10) обладают следующими особенностями:

- 1)  $B(p, x, u)$  - сепарабельная функция;
- 2)  $B(p^0, x^0, u^0) = 0, \forall (x^0, u^0), g(x^0, u^0) = 0,$   
где

$$p^0 = ((u_1^{\text{I}})^0, (u_2^{\text{I}})^0, (x^{\text{I}})^0, (u_1^{\text{II}})^0, \dots, (u_5^{\text{II}})^0, (x^{\text{II}})^0, (u_1^{\text{III}})^0, (u_2^{\text{III}})^0, (x^{\text{III}})^0)$$

3) все миноры  $\nabla^2 B(p^0, x^0, u^0)$  функции Гессе являются положительными.

Сущность декомпозиционного алгоритма состоит в том, что он включает в себя и 3-ий уровень, осуществляющий координацию и соединяющий в себе два других уровня. Здесь для локальных уровней формируются такие критерии, для которых, определив множители Лагранжа  $\lambda$  они обеспечили бы решение задачи оптимизации и уравнения межблоковой связи на нижнем уровне.

В зависимости от результатов подзадач, решаемых на локальных уровнях, координирующий уровень формирует такие сигналы  $p^*$ , при которых решение подзадач обеспечило бы решение основной задачи оптимизации функционирования установки. Тогда модифицированная функция Лагранжа запишется в виде:

$$L_{\text{mod}}(\lambda, x, u, p) = - \sum_{i=2}^5 f_i(u^i, x^i, \xi^i) - f_1^{\text{III}}(x^{\text{III}}, u^{\text{III}}, \xi^{\text{III}}) - \lambda_1 (x_1^{\text{II}} - f_2^{\text{I}}(x^{\text{I}}, u^{\text{I}}, \xi^{\text{I}})) - \lambda_2 (x_1^{\text{III}} - f_1^{\text{I}}(x^{\text{I}}, u^{\text{I}}, \xi^{\text{I}})) - f_1^{\text{II}}(x^{\text{II}}, u^{\text{II}}, \xi^{\text{II}}) + C \left\{ \sum_{k=1}^2 (u_k^{\text{I}} - p_k^{\text{I}})^2 + (x^{\text{I}} - p^{\text{I}})^2 + \sum_{k=1}^5 (u_k^{\text{II}} - p_k^{\text{II}})^2 + (x^{\text{II}} - p^{\text{II}})^2 + \sum_{k=1}^2 (u_k^{\text{III}} - p_k^{\text{III}})^2 + (x^{\text{III}} - p^{\text{III}})^2 \right\} \quad (11)$$

В выражении (11), в связи с тем, что функция Лагранжа является аддитивной функцией, а декомпозирующая функция  $B(p, x, u)$  - сепарабельной, при любых значениях  $\lambda$  и  $p$  задача декомпозируется на локальные подзадачи оптимизации отдельных аппаратов [5,6].

I.

$$\min_{x^{\text{I}}, u^{\text{I}} \in D} L_{\text{mod}_1} = \min_{x^{\text{I}}, u^{\text{I}}} \left[ \lambda_1 f_2^{\text{I}}(x_0^{\text{I}}, u^{\text{I}}, \xi^{\text{I}}) + \lambda_2 f_1^{\text{I}}(x_0^{\text{I}}, u^{\text{I}}, \xi^{\text{I}}) + C \left\{ \sum_{k=1}^2 (u_k^{\text{I}} - p_k^{\text{I}})^2 + (x^{\text{I}} - p^{\text{I}})^2 \right\} \right] \quad (12)$$

$$140 \leq u_1^{\text{I}} \leq 160 \quad \text{}^0 C ;$$

$$180 \leq u_2^{\text{I}} \leq 260 \quad \text{}^0 C ;$$

$$660 \leq x^{\text{I}} \leq 1200 \quad \text{м}^3 / \text{час} .$$

$$p \left\{ 40 = \underline{\theta}_1^{\text{I}} \leq x_{1 \text{H.K}}^{\text{I}} \leq \bar{\theta}_1^{\text{I}} = 50 \right\} \geq 0.94$$

$$p \left\{ 100 = \underline{\theta}_2^{\text{I}} \leq x_{2 \text{50\%}}^{\text{I}} \leq \bar{\theta}_2^{\text{I}} = 110 \right\} \geq 0.94$$

$$p \left\{ 70 = \underline{\theta}_3^{\text{I}} \leq x_{3 \text{K.K}}^{\text{I}} \leq \bar{\theta}_3^{\text{I}} = 180 \right\} \geq 0.94$$

II.

$$\min_{x^{\text{II}}, u^{\text{II}} \in D} L_{\text{mod}_2} = \min_{x^{\text{II}}, u^{\text{II}}} \left[ \sum_{i=1}^5 f_i(u^{\text{II}}, x^{\text{II}}, \xi^{\text{II}}) - \lambda_1 x^{\text{II}} + \right] \quad (13)$$

$$+ \lambda_2 f_1^{\text{II}}(x^{\text{II}}, u^{\text{II}}, \xi^{\text{II}}) + C \left\{ \sum_{k=1}^2 (u_k^{\text{II}} - p_k^{\text{II}})^2 + (x^{\text{II}} - p^{\text{II}})^2 \right\}$$

$$105 \leq u_1^{\text{II}} \leq 110 \quad \text{}^0 C ;$$

$$330 \leq u_2^{\text{II}} \leq 345 \quad \text{}^0 C ;$$

$$120 \leq u_3^{\text{II}} \leq 165 \quad \text{}^0 C ;$$

$$\begin{aligned}
 &160 \leq u_4^{II} \leq 220 \text{ } ^\circ\text{C} ; \\
 &230 \leq u_5^{II} \leq 265 \text{ } ^\circ\text{C} ; \\
 &800 \leq x^{II} \leq 1200 \text{ м}^3 / \text{час} . \\
 &p \left\{ 40 = \underline{\theta}_1^{II} \leq x_{1H.K}^{II} \leq \overline{\theta}_1^{II} = 70 \right\} \geq 0.94 \\
 &p \left\{ 100 = \underline{\theta}_2^{II} \leq x_{150\%}^{II} \leq \overline{\theta}_2^{II} = 115 \right\} \geq 0.94 \\
 &p \left\{ 197 = \underline{\theta}_2^{II} \leq x_{2I.E}^{II} \leq \overline{\theta}_2^{II} = 235 \right\} \geq 0.94 \\
 &p \left\{ 255 = \underline{\theta}_2^{II} \leq x_{250\%}^{II} \leq \overline{\theta}_2^{II} = 310 \right\} \geq 0.94 \\
 &p \left\{ 305 = \underline{\theta}_2^{II} \leq x_{2K.K}^{II} \leq \overline{\theta}_2^{II} = 360 \right\} \\
 &\geq 0.94
 \end{aligned}$$

III.

$$\min_{x^{III}, u^{III} \in D} L_{\text{mod3}} = \min_{x^{III}, u^{III}} \left[ -f_i^{III}(u^{III}, x^{III}, \xi^{III}) - \lambda_2 x_1^{III} + C \left\{ \sum_{k=1}^2 (u_k^{III} - p_k^{III})^2 + (x^{III} - p^{III})^2 \right\} \right] \quad (14)$$

$$\begin{aligned}
 &55 \leq u_1^{III} \leq 90 \text{ } ^\circ\text{C} ; \text{ яя} \\
 &130 \leq u_2^{III} \leq 205 \text{ } ^\circ\text{C} ; \\
 &130 \leq u_3^{III} \leq 305 \text{ } ^\circ\text{C} \\
 &p \left\{ 33 = \underline{\theta}_1^{III} \leq x_{1H.K}^{III} \leq \overline{\theta}_1^{III} = 48 \right\} \geq 0.94 \\
 &p \left\{ 68 = \underline{\theta}_2^{III} \leq x_{250\%}^{III} \leq \overline{\theta}_2^{III} = 78 \right\} \geq 0.94 \\
 &p \left\{ 115 = \underline{\theta}_3^{III} \leq x_{3K.K}^{III} \leq \overline{\theta}_3^{III} = 172 \right\} \geq 0.94
 \end{aligned}$$

где  $\lambda_1, \lambda_2$  - неизвестные множители Лагранжа, характеризующие связи между подзадачами.

Решение задачи оптимизации продолжается до тех пор, пока не выполнится ниже следующее условие:

$$\sum_{j=1}^3 \left[ (u_k^j)^{k+1} - (u_k^j)^k \right] + \sum_{j=1}^3 \left[ (x_k^j)^{k+1} - (x_k^j)^k \right] \leq \varepsilon$$

где  $\varepsilon$  - точность решения задачи оптимизации.

Т. е., декомпозиционный алгоритм состоит из этапов:

1) с помощью градиентного метода решаются подзадачи (12) ÷ (14);

2) проверяется выполнение условий ограничений для вероятностной характеристики температур начала, 50%-го и конца кипения нефтепродуктов.

С этой целью:

а) вычисляются

$$x_j \left\{ H.K ; 50\% ; K.K \right\} \left( u_q^i, x_s^i, \xi_\gamma^i \right);$$

б) вычисляются  $g_j^i = \frac{\theta_j^i - x_j^i}{\sigma_j}$  ;

в) определяется  $F(g_j^i) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^{g_j^i} e^{-\frac{t^2}{2}} dt$  ;

г) проверяется выполнение условия ограничений  $F(g_j^i) \geq \alpha_j^i$  ;

3) определяются  $\lambda_j$ , обеспечивающие

выполнение материального баланса между К-1, К-2, К-8 и К-9;

4) после проверки выполнения всех условий ограничений в каждой колонне рассчитываются оптимальные значения входов и параметров управления.

В таблице 1 даны результаты решения задачи нахождения оптимальных стохастических режимов колонн К-1 и К-2 при расходе 490 м<sup>3</sup>/час и удельном весе 0.861 г/см<sup>3</sup> сырья, поступающего на рассматриваемую установку.

Таблица 1.

Качественные показатели бензина	Расход бензина м <sup>3</sup> /ч		$\sigma_2^I$	$\overline{\theta}_2^I$	$\overline{y}_2^I$	$F(y_2^I/x)$	$\alpha_i$	$u_1^I, ^\circ\text{C}$	$u_1^{II}, ^\circ\text{C}$
	Текущий	Оптимальный							
Температура начала кипения	38	47	3.33	44	40.25	1.1	0.94	133	120
Температура 50%-го кипения			5	116	107	1.8	0.94		
Температура конца кипения			10.34	195	181	1.4	0.94		

где  $\sigma_2^I$  - среднеквадратическое отклонение;  $\overline{\theta}_2^I$  - граничное значение качественного показателя;  $\overline{y}_2^I$  - среднее значение качественного показателя;  $\alpha_i$  - минимальное значение вероятности;  $u_1^I$  и  $u_1^{II}$  - соответственно температура верха колонн К-1 и К-2.

На основе разработанных вероятностных моделей и декомпозиционного алгоритма оптимизации предложены принципы построения АСУ установкой ЭЛОУ-АВТ, представляющая собой систему с двухуровневой иерархической структурой, функционирующей в диалоговом режиме. На верхнем уровне системы управления при любых значениях количественных и качественных показателей сырой нефти определяются оптимальные режимы, обеспечивающие получение нефтяных фракций в ректификационных колоннах К-1 и К-2, отвечающих стандартным требованиям показателей глубины переработки и качества нефтяных фракций.

На нижнем уровне системы управления установкой с целью стабилизации оптимальных режимных параметров процесса предложено построение самонастраивающейся адаптивной системы регулирования температуры колонн. Здесь с целью компенсации малых изменений, воздействующих на качественные показатели получаемых нефтяных фракций определяется корректирующая величина, которая в зависимости от возмущений, поступающих на вход колонн, позволяет рассчитать новое задание,



обеспечивающее оперативную реакцию даже на небольшие изменения возмущений и оперативный выход на оптимальные заданные режимы работы технологической установки с минимальными затратами.

### III. ВЫВОДЫ

Отличие и преимущество предложенной автоматической системы управления от других существующих систем [7,8] заключается в обеспечении получения стабильного качества нефтяных фракций, что обеспечивается компенсацией воздействия различного рода возмущающих факторов на качество получаемых нефтепродуктов. Это осуществляется на каждом из уровней, причём на нижнем уровне малые изменения компенсируются с помощью самонастраивающихся циклов регулирования, большие же возмущения на верхнем уровне - с помощью алгоритма оптимизации стохастических режимов установки. А это в свою очередь, по сравнению с существующими традиционными системами управления обеспечивает получение требуемого качества нефтяных фракций с минимальными энергетическими затратами.

Результаты разработанного комплекса моделей, декомпозиционного алгоритма для решения задачи оптимизации и на их базе АСУ показали, что по сравнению с текущими режимами функционирования установки предложенный подход и принципы автоматического регулирования режимов установки обеспечивают управление комплексом первичной переработки нефти в оптимальном режиме.

### ПЕРЕЧЕНЬ ССЫЛОК

- [1] Т.М.Алиев, Р.А. Алиев, И. Р.Эфендиев. Одна задача оптимизации нестационарных реакторов//АН СССР, Автоматика и телемеханика, 1975.№2, С. 112 – 120.
- [2] И. Р. Эфендиев, В.Т. Копысицкий. Метод оптимального управления не стационарным реактором в нечетких условиях//Доклады АН СССР. 1991.Том318.№3, С. 663-667.
- [3] И.Р.Эфендиев, В.Т. Копысицкий.Управление режимами реакторного блока производства этилена в нечетко определенных ситуациях //Иzv. «Российская Академия наук. Теоретические основы химической технологии».1993.№5, С. 525 – 532.
- [4] Ю.М. Ермолев. Методы стохастического программирования.М.: Наука,1976.340 с.
- [5] A. Khelassi. Analysis and Assessment of Interaction in Process Control Systems//PhD. University of Nottingham. England, 1991.20 pp.
- [6] I. D. Landau.System identification and control design. Englewood Cliffs. –N.J.:Prentice-Hall, 1990.20 с.
- [7] V.Solo, X. Kong. Adaptive signal processing algorithms. Stability andPerformance. Englewood Cliffs.N.J.:Prentice- Hall, 1995.377 с.
- [8] И. А. Ибрагимов,И. Р. Эфендиев, В. Т. Копысицкий, Э.А.Меликов. Принципы построения самообучающихся систем автоматического управления сложными технологическими процессами в условиях дефицита информации //ДокладыАН СССР.1991.Том 320.№6, с. 1424 – 1427.

## Development of Detailed 3D Model of Bioelectric Prosthesis for Proceedings

Maksymenko Karyna<sup>1</sup>, Zakharov Roman.<sup>2</sup>

1. CITAM Department, Kharkiv National University of Radio Electronics, UKRAINE, Kharkiv, Nauki Ave. 14, e-mail: maksymenko.krn@gmail.com

2. CITAM Department, Kharkiv National University of Radio Electronics, UKRAINE, Kharkiv, Nauki Ave. 14, e-mail: roman.zakharov@nure.ua

**Abstract:** The goal of the work is to develop a detailed 3D model of bioelectric prosthesis for people with disabilities. On the basis of which it is possible to create a bioelectric prosthesis that differs from similar solutions with minimal labor inputs and will ensure maximum comfort for people deprived of their limbs.

**Key words:** 3D model, bioelectric prosthesis, Solidworks,

### I. INTRODUCTION

The purpose of prosthetics is the return of the invalid to the possibility of self-service and to work. Since it is difficult to artificially reproduce the entire functional of a healthy human hand at the present stage of technical development, the main task is to create a prosthetic device capable of filling as much as possible the lost functions.

## II. DEVELOPMENT OF A 3D MODEL OF HAND

Each finger, depicted in Fig. 1, in the developed model of the prosthesis consists of three separate printed components connected together by means of polypropylene pins. The hinges around the fingertips are needed to create a tendon blocking point. These tendons pass through the channels inside the finger, these channels are depicted in Fig. 2, forming a closed loop. When the tendons are stretched, the rotational force is applied to all joints, and the finger is twisted.

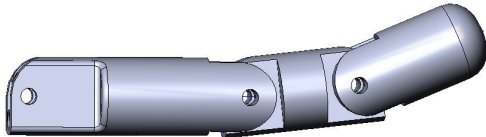


Fig. 1 Model index finger in assembly

The tendon fixation point is necessary, so when the tendons are tensed, it pulls the fingertip and causes all joints to rotate. If the tendons did not have the ability to be blocked, it would simply slip in tension and the finger did not move. To open the finger from the closed position, the voltage to the other end of the tendon is applied.

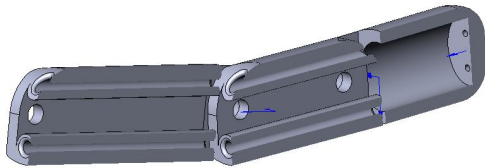


Fig. 2 Model index finger at the intersection

It is recommended to use high-quality wood, as it provides a minimum stretch for tension. The nylon line will stretch over time, which will lead to loss of voltage, which will negatively affect the movement of the fingers. The tendons in the biological human hand work in the same way, but there are many more biological tendons attached to different bones, which allows you to more precisely control your fingers.

The thumb, depicted in Fig. 3, was designed in a similar way. Most commercial and research prosthetic hands are aimed at ensuring at least two degrees of freedom of the thumb. However, this finger provides only one degree of freedom - it can open. The tendon fixing point is necessary, so when the tendons are tensed, it pulls the tip of the finger and causes all joints to rotate. If the tendons did not have the ability to be blocked, it would simply slip in tension and the finger did not move. To open the finger from the closed position, the voltage to the other end of the tendon is applied.

It is recommended to use high-quality wood, as it provides a minimum stretch for tension. The nylon line will stretch over time, which will lead to loss of voltage, which will negatively affect the movement of the fingers. The tendons in the biological human

hand work in the same way, but there are many more biological tendons attached to different bones, which allows you to more precisely control your fingers.

The thumb, depicted in Fig. 3, was designed in a similar way. Most commercial and research prosthetic hands are aimed at ensuring at least two degrees of freedom of the thumb. However, this finger provides only one degree of freedom - it can only open / close in one way.

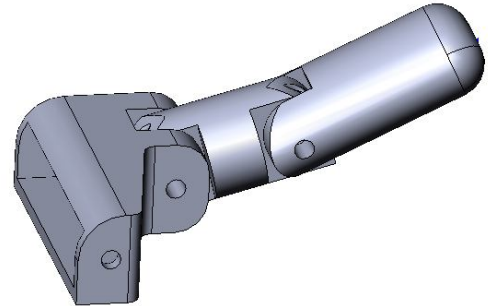


Fig. 3 Thumb model in assembly

The guide holes have been included in the finger design to optimize the tendon orientation and prevent the tendon lines from reaching the acute edge.

Each finger is connected to the palm, which is depicted in Fig. 4, with polypropylene pins. The lower part of the palm includes a part of the mechanism of rotation of the wrist.

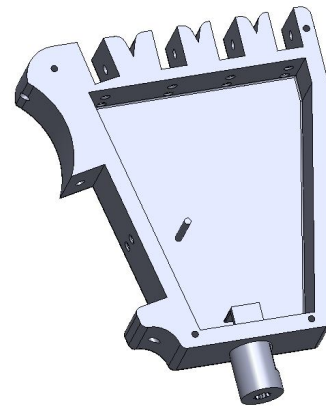


Fig. 4 Model palm prosthesis without lid

To ensure the maximum possible turn of the hand  $\pm 90$  degrees, it was decided that the noodle will be put directly on the shaft of the servomotor, as shown in Fig. 5. This is required to ensure the rotation of the brush in both directions in accordance with the specified parameters.

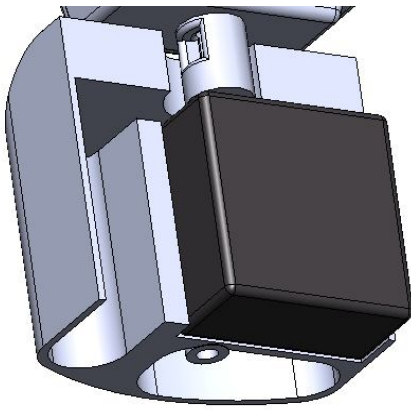


Fig. 5 Wrist model without lid

### III. DEVELOPMENT OF 3D REPLACEMENT WITH INTERNAL COMBINATION

The forearm section, depicted in Fig. 6, does not contain moving components, it requires placing five servomotors and assembling them. The forearm is divided into separate components, which can be connected by means of special fasteners.

The gearbox, depicted in Fig. 7, is part of the elbow rotation mechanism and is glued to the forearm with a high-strength glue.

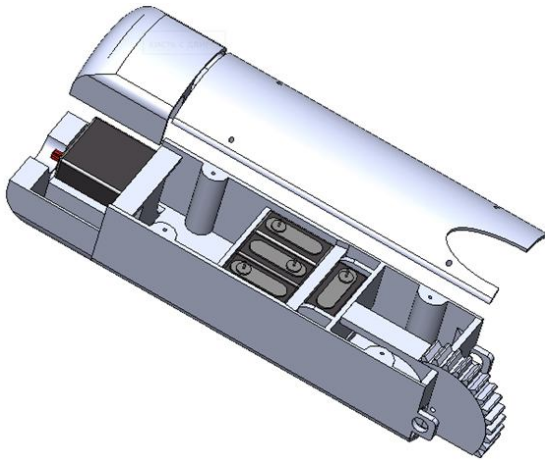


Fig. 6 Detailed model of the forearm of the prosthesis

The tendons wrap special three-dimensional printing chips, creating a closed loop. When the servomotor rotates in one direction, it pulls the tendons and closes the finger. To open the finger, the engine rotates in the opposite direction.

Large, index and middle fingers are connected to individual servo motors. Since the inner space of the hand is limited, the nameless and the little finger were tied to a single servomotor, therefore, they open and close in the tandem.

The TowerPro servomotor provides a torque of 10 kg / cm. To raise a hand with one servomotor, a transmission must be implemented. The mechanism allows us to generate more torque (turning force) at the expense of speed. The small gear, pressed against the servo motors of the biceps, leads to the movement

of a large section of the transmission associated with the forearm. The toothed gear is developed, which increases the torque from the servomotor 2 times.

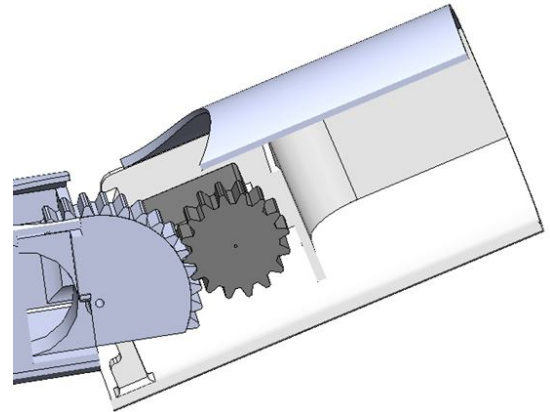


Fig. 7 Type of crossing of the site of the elbow

The servomotor of the elbow must be modified, and mechanical blocking must be removed from it. A potentiometer that provides feedback to the internal chip, which controls the rotation of the engine, has been removed from the inside and installed in the groove on the large gear.

By installing the potentiometer in the forearm, we changed the feedback angle of the servo motors. The potentiometer is now rotated 2.1 times slower than before, which leads to an increase in the servo range of 380 degrees - more than enough to move the elbow.

### CONCLUSION

A detailed 3D model of bioelectric prosthesis was developed, which was divided into the following stages:

- the development of a 3D model of the brush, which consists of 17 elements of the model, namely, 3 elements per finger, a bow and cover to it;
- 3D model of forearm, which consists of 5 elements of the model and 5 internal components;
- Development of 3D model of the shoulder, which consists of 7 elements of the model and 1 internal component.

### REFERENCES

- [1] Протезы верхних конечностей [Электронный ресурс] / Режим доступа: [www/ URL: http://ortopedica-kaluga.ru/protezyi-verhni-konechnostey](http://www.ortopedica-kaluga.ru/protezyi-verhni-konechnostey) – 15.04.2018р. – Загл. с экрана.
- [2] Greenway D. Meet Handie, the affordable 3D printed bionic hand [Электронный ресурс] / Режим доступа: [www/ URL: http://www.htxt.co.za/2013/11/04/meet-handie-the-affordable-3d-printed-bionichand/](http://www.htxt.co.za/2013/11/04/meet-handie-the-affordable-3d-printed-bionichand/) – 19.04.2018р. – Загл. с экрана.

# Розробка синтаксичної та семантичної моделі мови визначення і опису даних предметної області

Ігор Невлюдов<sup>1</sup>, Владислав Євсєєв<sup>1</sup>, Анастасія Демська<sup>2</sup>

1. Кафедра КІТАМ, Харківський національний університет радіоелектроніки, УКРАЇНА, Харків, пр. Науки. 14, email: vladyslav.yevsieiv@nure.ua

2. Кафедра МСТ, Харківський національний університет радіоелектроніки, УКРАЇНА, Харків, пр. Науки 14, email: anastasiia.demska@nure.ua

**Анотація:** У роботі запропонована синтаксична та семантична моделі нової формальної мови програмного продукту для КІС ТПВ «Jump». Визначені та описані термінології, в основу яких покладено запропоновані поняття моделі «Jump» і відносини між метаданими та даними предметної області і способів їх перетворення, приведена синтаксична діаграма мовної моделі, що розробляється.

**Ключові слова:** програмний продукт, предметна область, мовна модель, специфікація, синтаксична діаграма.

## I. ВСТУП

Основою розвитку сучасного приладобудування у світі є комп'ютеризація та інтеграція всіх виробничих процесів та управління виробництвом від початку розробки до поставки готової продукції споживачеві, відповідно концепції міжнародних стандартів ISO серії 9000.

Якщо спиратися на ідеологію, відповідну зазначеним міжнародним стандартам [1], то слід в першу чергу говорити про інтеграцію з метою вдосконалення діяльності щодо забезпечення всіх етапів життєвого циклу (ЖЦВ) програмного продукту [2]. Існуючі аспекти та рекомендації, які представлені в [1] не дозволяють використовувати їх в рамках комплексного підходу для вирішення завдання розробки єдиної методології в області автоматизації проектування програмних продуктів (ПП) та програмних модулів (ПМ) для комп'ютерно-інтегрованих систем технологічної підготовки виробництва (КІС ТПВ). Всі існуючі стандарти мають часткові пропозиції і рекомендації щодо систематизації розробки програмних продуктів загального призначення.

Для розробки автоматизованої системи проектування ПП та ПМ КІС ТПВ необхідна розробка формальної мови опису структури і параметрів розроблюваного ПП і ПМ, що буде максимально зрозумілою і простою в описі предметної області (ПрО) і в застосуванні. З одного боку було виявлено що розробники ПП і ПМ для КІС ТПВ використовують прив'язку до

елементів інтерфейсу користувача і мінімізують використання програмного коду, який в більшості випадків служить оброблювачем тієї чи іншої події, яка ініціалізується користувачем шляхом взаємодії з необхідним елементом для вирішення того чи іншого завдання. З іншого боку – користувачі, що є фахівцями ПрО, можуть сформулювати семантично правильну структуру і внутрішню ієрархію всіх елементів інтерфейсу користувача з необхідними значеннями параметрів і подій, які необхідно реалізувати для вирішення поставлених завдань в тій чи іншій КІС ТПВ, що розробляється.

**Основною метою даного дослідження** є розробка синтаксичної та семантичної моделі нової формальної мови, близької до деякої підмножини природної мови, яка б об'єднала в собі конструкцію побудови зрозумілої і простої як для фахівців ІТ, так і для звичайного користувача, ґрунтуючись на вимогах, що висуваються до моделі ЖЦ проектування ПП і ПМ для КІС ТПВ «Jump», її основних концепцій і математичній формалізації.

## II. РОЗРОБКА СИНТАКСИЧНОЇ ТА СЕМАНТИЧНОЇ МОВНОЇ МОДЕЛІ

Модель предметної області – це модель домену GDM (Generative Domain Model), яка може включати в себе декілька моделей для окремих підгалузей ПрО, відповідних окремим членам сімейства програм. На їх перетині формуються загальні поняття, характеристики та обмеження в моделі характеристик ПрО. Опис кожної моделі здійснюється у відповідній предметно-орієнтованій DSL - мові. Даний опис за спеціальними правилами трансформується безпосередньо до відповідної мови програмування (МП) реалізації цієї моделі або в іншу DSL-мову, яка потім трансформується в необхідну МП [3].

Міжмовний інтерфейс – це зв'язок різних МП за типами, що містяться в них даних, методам їх організації і способам відображення цих засобів відповідними системами програмування.

Основними функціями міжмовного інтерфейсу є вирішення наступних чотирьох завдань [3]: забезпечення переходу від середовища функціонування однієї МП до середовища функціонування іншої; забезпечення передачі управління між різномовними модулями; забезпечення доступу до загальних даних; реалізація механізму передачі даних через параметри виклику.

Демо визначення поняття мова моделі (ММ) – це декларативна (непроцедурна) мова, призначення якої – визначення та опис термінологій, в основу яких покладено запропоновані поняття моделі «Jump» і відносини між метаданими та даними Про і способів їх перетворення.

В даному дослідженні пропонується наступна специфікація ММ даних:

- **дозволені буквено-цифрові символи** які підтримуються середовищами розробок для мов високого рівня програмування і відповідають таблиці ASCII-кодів: + - \ . , ! “ < > = ( ) \$ % & ~ \* \_ & @ пробіл ; { };

- **ключові слова:** *parameter, value, name, event, cod, EvenForm, ParameterForm, ParametrElement, ElementForm, EventElement, ValueElement, Form, LinguisticVariable, ContainerSolution, Form<sup>master</sup>, Form<sup>slave</sup>*;

- **ідентифікатори** використовуються для позначення таких ознак:

- ознака приналежності параметрів, подій до доменного або не доменного типу: *domen, not\_domen*. Домени відповідних характеристик (значень) належать до не перераховуваного (облікового) типу, який має можливість вибору із задалегідь сформованого списку. Прикладом може виступати деякий параметр *ParameterForm*, відображення *Form*, який може приймати значення *true* чи *false*, параметр *Align* який притаманний  $dom(parameter_{k\_числ}^1)$  та  $dom(parameter_{j\_числ}^1)$ , який може приймати значення, яке фіксуються середовищем розробки.

- тип даних значень (*value*), який визначає характеристику параметрів *ParameterForm* і *ParametrElement* (текстове, булеве, цілочисельне, цілочисельне негативне, текстове слово поєднання).

- лінгвістичний опис ознаки посилання *LinguisticVariable (name)* на *ContainerSolution*, який містить необхідний *cod*.

- базові поняття моделі ЖЦ «Jump», які дають можливість зв'язати події *ElementForm* і *EventElement*, які містять набір певних *event*, належних певному візуальному графічному

елементу з *ContainerSolution (cod)* через *LinguisticVariable (name)*.

На відміну від ключових слів, запропоновані ідентифікатори, теоретично можна перевизначити, але це збільшує можливість виникнення помилок, внаслідок чого перераховані вище ідентифікатори входять в фіксований словник ключових слів.

- **літерали** – певний набір значень, які не представлено ідентифікатором.

Рядкові літерали представляється у вигляді послідовності дозволених символів з різним типом пропису (прописні та строчні) букв. Наприклад, *name\_form*, назва форми яка використовуються в параметрах *Caption, Name* і.т.д, а також привласнення унікального імені (*name*) для кожного *LinguisticVariable*, яке містить певний фрагмент програмного коду. Приклад «зберегти в БД», «розрахувати результат», і.т.п, яке задається кінцевим користувачем з метою зручності методології, що розробляється.

*Алгебраїчні літери* являють собою опис простих логічних операцій типу *True, False*, які дозволяють задати значення (*value*) тому чи іншому параметру (*parameter*), що належить *ParametrElement, ParameterForm*, що є необхідним і достатнім для опису властивостей візуального елемента інтерфейсу користувача проєктованого ПП або ПМ для КІС ТПІВ.

*Зарезервовані літери* представляють слово, словосполучення або скорочення, яке дає можливість вибрати ту чи іншу властивість параметру, необхідну для досягнення умов технічного завдання (ТЗ). Прикладом може виступати властивість форми *WindowsState* в середовищі розробки RadStudioXE16, для якого можна вибрати наступні зарезервовані скорочення: *wsNormal, wsMinimized, wsMaximized*, які розробник може задати при першому запуску, для визначення виду відображення форми. *wsNormal* – відображення за замовчуванням, подається в тому вигляді, в якому вона створювалася на етапі проєктування, *wsMinimized* – форма відображається в мінімізованому вигляді на панелі завдань, *wsMaximized* – при запуску форма розгортається на весь розмір робочого столу.

Зарезервовані літери можуть бути загальними для *ParameterForm* і *ParametrElement*, а також спеціалізованими, тобто належними певній візуальній формі, яка визначає специфіку того чи іншого елемента. Але слід зауважити, що зарезервовані літери для визначення значень того чи іншого параметра для візуальних компонентів, маючи однакове призначення,

можуть виконувати різні задані функції в одному середовищі розробки

**Цілочисельний** тип даних (*integer*) – дозволяє привласнити параметру *ParameterForm* або / чи *ParametrElement*, певне і необхідне цифрове значення розмірності або координат розміщення візуального елемента відносно *Form*. В основному для опису візуальних графічних елементів використовується найменший логічний елемент двовимірного цифрового зображення в растровій графіці (*pixel*). Довжина рядка залежить від дозволу екрану і вимог ТЗ.

**Цілочисельний негативний** тип даних – дозволяє привласнити параметру певне значення, яке входить в діапазон (-1,1,2,3,..., n), що належить виключно *ParametrElement* і описує нумерацію в даному контексті:

-1 – нумерація відсутня, параметр не заданий;

1,2,3,...,n – нумерація графічного зображення (іконки), котре належить певному параметру (*parameter*) для *ElementForm*.

**Текстові / лінгвістичні** (*char*) – дозволяють привласнити параметру логічно впорядковані значення символів, які містять необхідні для користувача пояснення, або назву графічних елементів, що необхідні для зручності роботи з проєктованим ПП або ПМ для КІС ТПВ. Також даний тип подання значень використовується для завдання визначеного імені *LinguisticVariable*, яке присвоюється події *EvenForm*, *EventElement*.

**Логічний (булевий)** – може приймати тільки два значення *true*, або *false*, які виконують роль перемикача використання того чи іншого параметра в *ParameterForm* і *ParametrElement*.

**Текстове словосполучення (перераховувемий тип)** – тип даних, заданий списком у вигляді домена [2], що дозволяє задати список зарезервованих слів або скорочень в середовищі розробки, що приймаються для того чи іншого *parameter* в *ParameterForm* і *ParametrElement*.

**Роздільники** – символічне позначення виділення основних елементів синтаксичної конструкції ММ, що розробляється.

*<Form>* (кутові дужки *Form*) – використовується для вказівки ключового слова, яке є початком метаопису тієї чи іншої *Form* в конструкції ММ.

*</Form>* (слеш кутові дужки *Form*) – використовується для вказівки ключового слова, яке показує завершенням метаопису тієї чи іншої *Form* в конструкції ММ.

Для пропонованої конструкції ключового слова початок і завершення метаопису *Form* накладені такі обмеження: у назві *Form* може

міститись нумерація у вигляді *Form1*, або буквене визначення, наприклад *Form\_master*, або *Form\_add\_operat*, при цьому обов'язково ключове слово початку метаопису має збігатися з ключовим словом завершення метаопису тієї чи іншої *Form* в конструкції ММ. При невиконанні даної вимоги до конструкції, інтерпретатор ММ не зможе сприйняти вміст метаопису всіх необхідних параметрів і подій властивих даних *Form*.

{ (фігурна дужка, що відкривається) – обов'язковий символ початку рядка метаопису *Form* і *ElementForm*.

} (фігурна дужка, що закривається) – обов'язковий символ завершення рядка метаопису *Form* і *ElementForm*.

# (решітка) – після цього символу конструкція інтерпретатора ММ сприймає як початок опису графічних візуальних елементів інтерфейсу користувача (*ElementForm*).

/ # (слеш решітка) – після даної комбінації символів інтерпретатор ММ вважає, що опис графічних візуальних елементів інтерфейсу користувача (*ElementForm*) закінчений.

/ (слеш) – використовується для завдання ієрархії метаописів візуальних графічних елементів (*ElementForm*), у відповідності з деревом побудови ПП та ПМ для КІС ТПВ, і застосовується всередині #/# метаопису *Form*. *ElementForm1/ElementForm2* – розуміється як *ElementForm2*, що знаходиться всередині *ElementForm1* і є її невід'ємною частиною.

[] (квадратні дужки) – використовується для завдання метаописів, необхідних параметрів і подій *ParameterForm*, *EvenForm*, *ParametrElement*, *EventElement*.

; (крапка з комою) – обов'язковий символ конструкції ММ, який показує, що для даного *parameter* або *event* привласнення *value* і *name* відповідно завершено, дозволяється застосовувати всередині [3,4].

..., (перерахування через кому) – використовується для перерахування назв *parameter* для *ParameterForm*, *ParametrElement*, а також *event* для *EvenForm*, *EventElement*, при умові, що з набору декількох *parameter* або *event* значення *value* і *name* відповідно однакове і застосовується всередині [4,5].

= (знак рівності) – привласнює *parameter* певне значення типу даних *value* і застосовується для вказівки події (*event*) певне *name* з *LinguisticVariable*, яке містить посилання на *cod*, або його фрагмент в *ContainerSolution*. Варто врахувати, що в

залежності від контексту (логіки та змісту виконуваних дій), даний знак можна трактувати і як інструкцію присвоєння, згідно з якою для зазначеного базового параметра визначається йому належне значення.

**Коментарі** – всі символи і рядки, які записані всередині даної конструкції інтерпретатора ММ, що ігноруються і сприймаються як коментар. Допустимі до використання буквено-цифрові символи національних алфавітів, що підтримуються операційною системою і середовищем розробки, обмеженням для коментарів служить те, що їх послідовність не повинна перевищувати 255 символів.

? \*\* – показує, що після заданих символів, слідує коментар який ігнорується інтерпретатором ММ.

\*\*? – показує, що після заданих символів закінчується коментар і далі текст не ігнорується інтерпретатором ММ.

Для адаптації даного синтаксису опису ММ, нами запропоновано використовувати форму Бекуса-Наура [4-5], яка дає можливість розробити інтуїтивно просту і адаптивну формальну мову подання та опису необхідних даних для розробки ПП і ПМ для КІС ТПВ.

Синтаксична діаграма ММ, що розробляється представлена на рисунку 1.

Синтаксична діаграма запропонованих в даному дослідженні типів представлення значень, які можуть належати ідентифікатору, представлена на рисунку 2.

Як можна бачити з рис. 2 ідентифікатор *Parameter*, *Event* відносяться до *domen*-ого (облікового) типу і представляється у вигляді текстового слова або скорочення, які відносяться до *ParameterForm\_name* і *EventForm\_name*, а також *ParameterElement* і *EventElement* відповідно з рис. 1.

Список параметрів (*parameter*) і подій (*event*), які належать *ParameterElement*, *EventElement*, в межах одного середовища розробки, є постійними і не змінними. Для списку параметрів (*parameter*) і подій (*event*), які належать *ParameterElement*, *EventElement* відповідно, є однаковим з обмеженням, що це візуальні графічні елементи, які мають однакове призначення в рамках середовища розробки. Варто звернути увагу, що до даного типу відносять *value* для *ParameterElement* та *EventForm\_name*, який містить зарезервоване середовищем розробки текстове слово чи скорочення.

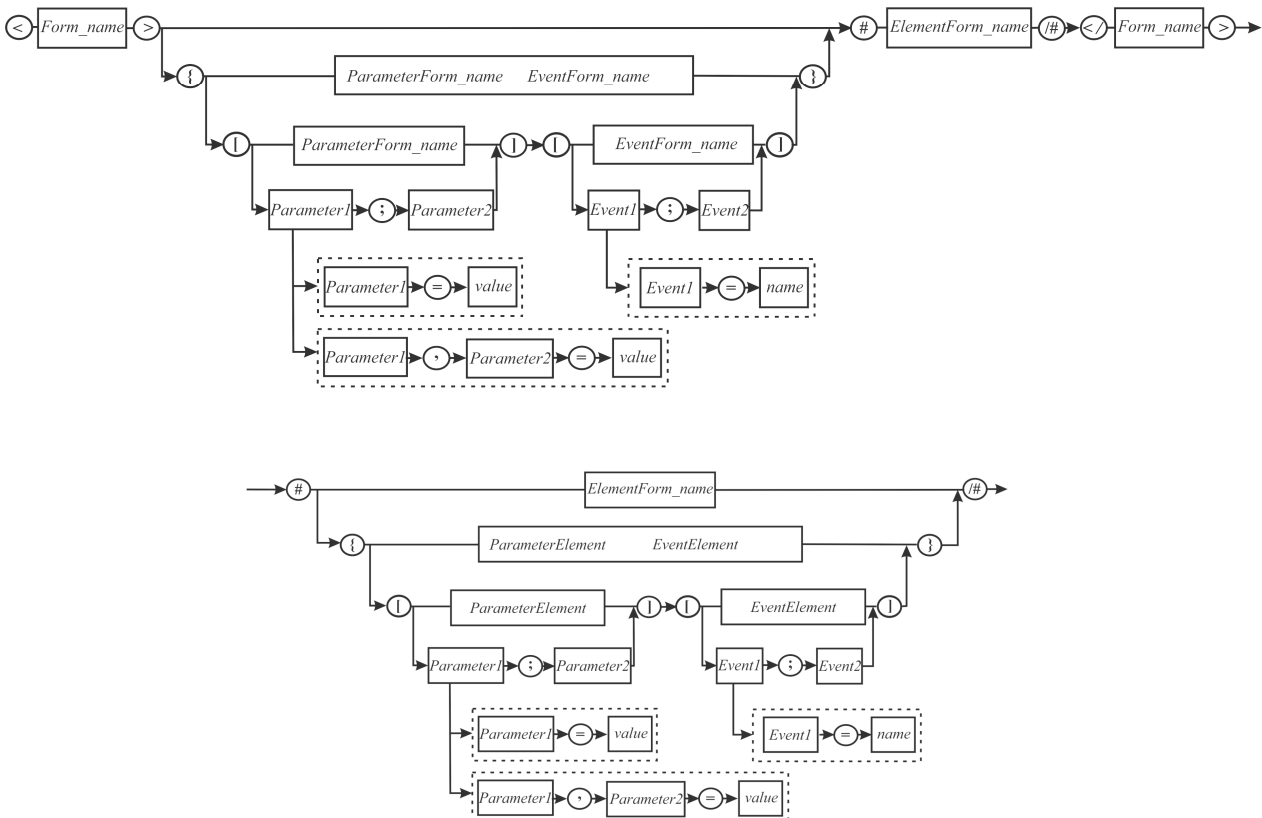


Рис.1. Синтаксична діаграма ММ, що розробляється



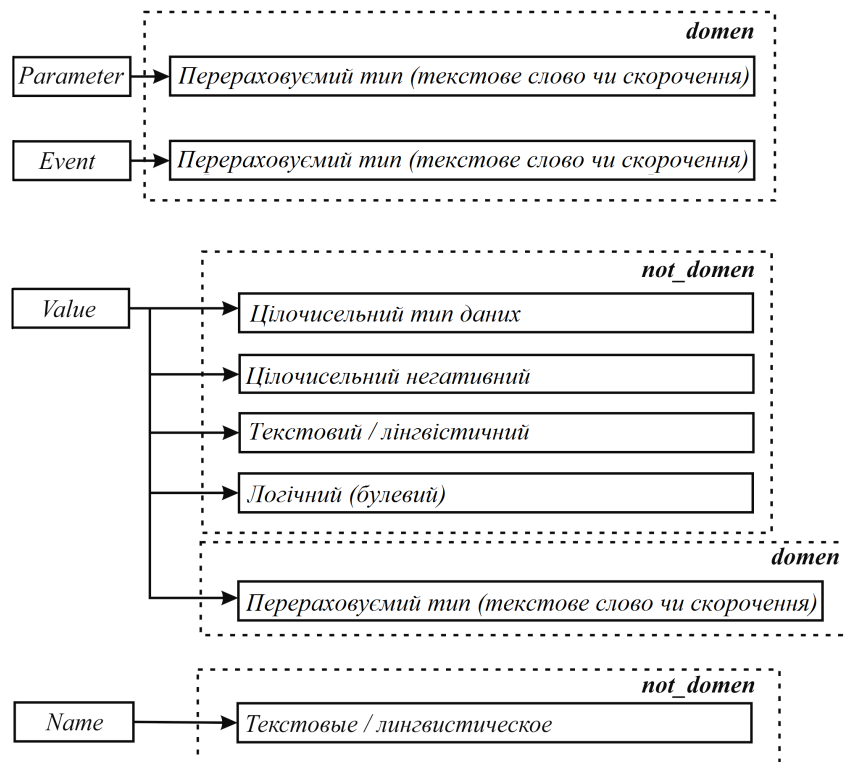


Рис. 2. Синтаксична діаграма типів представлення значень ідентифікаторів

Ідентифікатори *value* та *name* відносять до *not domen*-го (не списочного) типу. Це обумовлено тим, що значення *value* може задаватись розробниками в залежності від вимог ТЗ до ПП чи ПМ КІС ТПВ.

Для ідентифікатора *name*, що входить до *LinguisticVariable*, ім'я, яке посилається на *ContainerSolution* містить необхідний фрагмент або частину програмного коду (*cod*) та задається користувачем, з урахуванням його логічних вподобань та зручності використання.

Для зручності читання та подання розробленої декларативної мови (рис. 1 – 2) необхідно, щоб вона була зручна для розуміння і читання. Це можна досягти, використовуючи хоча б три принципи подання мови [.....]:

- бути максимально лінійною;
- бути короткою;
- бути самодокументованою.

При необхідності реалізації ієрархії (дерева побудови) приналежності візуальних графічних елементів *ElementForm1/ElementForm2*, пропонується наступний фрагмент структури метаопису:

# "ім'я елемента в середовищі розробки"?\*\*  
відкриття блоку опис візуальних графічних елементів *Form\_master* \*\*?

```
{ ** блок опису Element1Form_master **?  
[parameter1 = value; parameter2, parameter3 = value]  
[event1 = name; event2 = name]
```

```
}**      закриття      блоку      опису  
Element1Form_master **?  
/ "ім'я елемента в середовищі розробки"  
{ ** блок опису Element2Form_master **?  
[parameter1 = value; parameter2, parameter3 = value]  
[event1 = name; event2 = name]  
}**      закриття      блоку      опису  
Element2Form_master **?  
/# ** закриття блоку опису візуальних  
графічних елементів Form_master **?
```

Використання "/" (слеш) дозволить інтерпретатору ММ визначити ступінь приналежності візуального елемента до іншого, тобто в середовищі розробки реалізувати дерево побудови (Structure) проектування ПП або ПМ для КІС ТПВ.

### III. ВИСНОВКИ

Ґрунтуючись на запропонованих припущеннях і рекомендаціях для розроблюваної декларативної мови проектування ПП і ПМ для КІС ТПВ, пропонується розроблений тип стилю запису мови моделі, яка дає можливість спростити та стандартизувати код. Також можна задати будь-яку глибину вкладення графічних елементів інтерфейсу користувача, що дає можливість реалізувати за допомогою запропонованої синтаксичної діаграми ММ (рис. 1) структуру ПП



або ПМ для КІС ТПВ будь-якого ступеня складності, і спростити їх розробку на початковому етапі проєктування.

#### ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

- [1] ISO/IEC 12207: 1995–0801: Informational Technology – Software life cycle processes. // ГОСТ Р ИСО/МЭК 12207–99. Информационная технология. Процессы жизненного цикла программных средств.
- [2] Невлюдов І.Ш., Євсєєв В.В., Демська А.І. Розробка моделі життєвого циклу розробки програмного продукту та програмних модулів

для КІС ТПВ // Технология приборостроения . - 2017, №1.- с. 12-16.

- [3] Лаврищева Е.М., Грищенко В.Н. Сборочное программирование. Основы индустрии программных продуктов: монография. –Киев: Наук. думка, 2009.– 372с.
- [4] Кургаев А. Ф., Григорьев С. Н. Нормальные формы знаний // Доповіді Національної академії наук України, 2015, № 11 – с. 36–43.
- [5] Черников Ю.Г. Системный анализ и исследование операций. монография.- Москва, МДГУ, 2006.-370 с.

# Механізація виготовлення деталей приладобудування методом холодної листової штамповки

Вячеслав Роменський, Олексій Макаренко

Кафедра КІТАМ, Харківський національний університет радіоелектроніки, УКРАЇНА,  
Харків, пр. Науки. 14, e-mail: vjacheslav.romenskiy@nure.ua

**Анотація:** В даному матеріалі наведено приклад механізації виготовлення деталей приладобудування методом холодної листової штамповки в одиничному дрібносерійному та серійному виробництві із сталюого прокату різної товщини.

**Ключові слова:** приладобудування, холодна листовая штамповка, механізм автоматичної подачі полоси, транспортер, касета, механізм підйому смуги, промисловий робот, маніпулятор

## I. ВСТУП

Холодна листовая штамповка знайшла широке призначення в приладобудуванні і машинобудуванні при виготовленні плоских деталей із сталюого прокату різної форми, розміру і товщини.

Проаналізувавши основні виробничо-технологічні процеси штампування виявлено, що деталі товщиною до 0,5 мм, особливо у масовому і крупносерійному виробництві виготовляють із рулонного листа на спеціально розроблених автоматичних лініях. Деталі товщиною більше 0,5 мм штамнують із карток або смуг, які виготовляють у заготівельних цехах підприємства. Штампування із карток виконує один оператор, а із смуг (полоси) – два: один подає полосу в зону штампування (штами), другий – штампує. Робота штамповщика є монотонною, трудомісткою та шкідливою (шум преса).

До кінця робочої зміни робітник втомляється, а це впливає на продуктивність і якість продукції.

У зв'язку з цим є доцільним на підприємствах, де виконується холодне штампування з полоси, ручну, техпроцес замінити на механізований.

## II. ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМИ

В якості прикладу розглянемо структурну схему автоматизованої лінії холодної листової штамповки для карток з двома промисловими роботами (рис.1) [1].

Роботизована лінія двоопераційної штамповки з застосуванням промислових роботів складається з подаючого пристрою (1), захоплення картки (2), преса (3), пульта керування пресом (4), штампа (5), датчика контролю захвату картки (6), передавального пристрою (7), промислового робота (8), системи управління ПР (9), тари готової продукції (10).

В даній роботі поставлено мету розробки механізму автоматичної подачі смуг (полоси) в порожнину штампа.

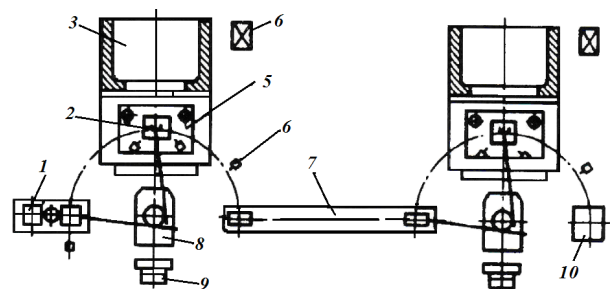


Рис. 1. Структура роботизованої лінії з двома ПР

При виконанні цієї мети були вирішені наступні питання: визначення основних розмірів смуг (заготовок), визначення основних типів розкрою матеріалу. Розроблена принципова схема автоматизованого механізму подачі смуги, розроблені ескізні проекти механізмів подачі, підйому смуг, касети упаковки смуг, транспортера переміщення касети і др.

### III. ВИЗНАЧЕННЯ ФОРМИ І РОЗМІРУ СМУГИ (ЗАГОТОВКИ)

Основними технічними ознаками, що впливають на вибір варіанта технологічного процесу холодної листової штамповки (ХЛШ) є: товщина матеріалу, ступень складності конфігурації деталі і її габарити, необхідна точність деталей, місце розташування отворів і точність відстані між їх осями, кількість штампуючих деталей із однієї смуги (полоси), розкрою полоси. Існують різні способи розкрою смугового матеріалу це з відходами, маловідходний та безвідходний розкрий. Приклади розкрою з відходами наведені в таблиці 1, а для безвідходного розкрою в таблиці 2 [2].

Таблиця 1.

Тип розкрою	Ескіз	Застосування розкрою
Прямий		Для деталей простої геометричної форми (прямокутної, круглої, квадратної)
Нахильний		Для деталей Г-образної або іншої складної конфігурації, які при прямому розташуванні дають великі відходи металу
Зустрічний		Для деталей Т-, П-, Ш-подібної конфігурації, які при прямому і похилому розташуванні дають великі відходи металу
Комбінований		Для двох різних деталей, однакових по товщині та марці металу, у великосерійному і масових виробництвах
Багаторядний		Для деталей невеликих розмірів у великосерійному і масових виробництвах
З вирізкою перемичок		Для дрібних і вузьких деталей (годинникові стрілки та подібні деталі) або для послідовної витяжки в стрічці при великосерійному і масових виробництвах

Таблиця 2.

Тип розкрою	Ескіз	Застосування розкрою
Прямий		Для деталей прямокутної або трапецеїдальної конфігурації
Нахильний		Для деталей Г-образної або іншої конфігурації, які допускають невеликі дефекти контуру
Зустрічний		Для деталей Т-, П-, Ш-подібної конфігурації, які допускають невеликі дефекти контуру
Комбінований		Для двох різних деталей, що взаємно вписуються по конфігурації
Багаторядний		Для деталей прямокутної, квадратної або шестикутної конфігурації невеликих розмірів у великосерійному і масових виробництвах
З вирізкою перемичок		Для деталей подовженої форми, виготовлених з мірної стрічки, без обрізки вздовж довгих сторін

Оцінку економічності того чи іншого типу розкрою слід проводити за допомогою коефіцієнта використання  $K_u$ .

$$K_u = \frac{f_n}{LB} \cdot 100, \quad (1)$$

де  $f$  - площа деталі без отворів,  
 $n$  - кількість деталей, одержуваних з полоси;  
 $B$  - ширина полоси;  
 $L$  - довжина полоси,

При розкрою необхідно забезпечити повну вирізку деталі по всьому контуру на що впливають перемички, загальний вигляд яких приведений на рис. 2.

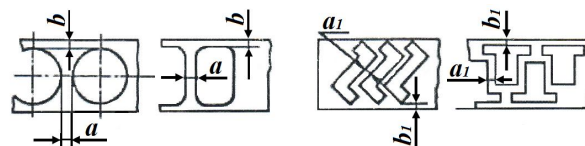


Рис. 2. Загальний вигляд перемичок при вирубці

Розмір перемичок вибирають із довідкових таблиць.

Для нашого випадку обираємо габарити штампуючої деталі  $L \times B \times H = 100 \times 250 \times 1,4$  мм

та ставим завдання виготовити десяти деталей із однієї смуги (полоси). На базі приведених даних і проведених розрахунків отримали довжину смуги (полоси)  $L_c=1030$  мм; ширину  $B_c=157$  мм. Для подальших розрахунків визначимо вагу полоси (для сталі 45  $P_c=1,8$  кг), прийняли кількість необхідних деталей (програму) 4000 шт. З огляду на те, що з кожної полоси передбачено виготовлення 10 деталей, для виконання програми необхідно виготовити 400 штук полос. Для розрахунків механізму подачі визначили загальну вагу полос яка дорівнює 720 кг.

#### IV. РОЗРОБКА ЕСКІЗНОГО ПРОЕКТУ МЕХАНІЗМУ АВТОМАТИЗОВАНОЇ ПОДАЧІ СМУГИ В ЗОНУ ШТАМПОВКИ

З огляду на довжину заготовки, ширину, товщину і кількість смуг виникла необхідність в розробці ємності (касети) для упаковки полос після порізки їх із листового прокату на заготовельній дільниці цеху і доставки за допомоги електрокару на ділянку штампування. Була розроблена конструкція касети рамної форми, яка складається із верхньої і нижньої рами, з'єднаних вертикальними прямокутними трубами. Для переміщення касети по транспортеру передбачений спеціальний захват з'єднання касети і ходового гвинта приводу.

Принципова схема автоматизованого механізму подачі смуги приведена на рис. 3, що була розроблена на базі аналізу літературних даних [3].

Основними вимогами при розробці автоматизованого механізму подачі смуги (полоси) є розташування усіх вузлів механізму таким чином, щоб їх осі збігалися з центральною віссю плити преса і штампа.

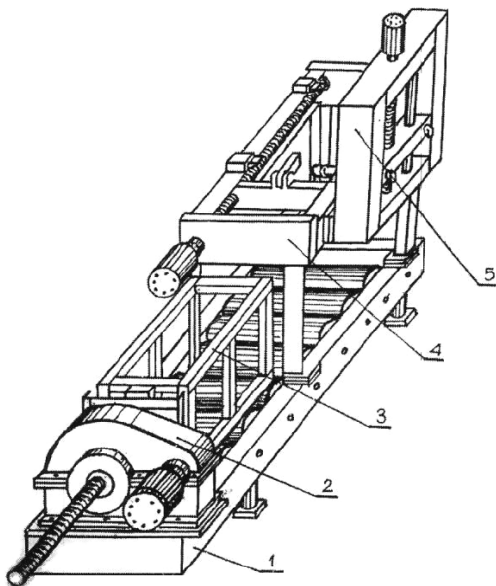


Рис. 3. Принципова схема автоматизованого механізму подачі смуги: 1 - транспортер; 2 - привод переміщення касети; 3 - касета; 4 - механізм подачі заготовки; 5 - механізм підйому заготовки

Однією з основних одиниць в механізмі подачі є транспортер, загальний вигляд якого приведений на рис. 4.

Транспортер є підставою для розміщення приводу переміщення касети і базою для розміщення механізму подачі заготовки в роз'єм штампа. В якості приводу була обрана передача гвинт – гайка, в якій використовується гвинт з трапецеїдальною різьбою.

Базою транспортера є зварювальна рама яка встановлюється на шість регульованих опорах. На рамі закріплюється ролики і наварюються пластини, за допомогою яких монтується механізми подачі, загальний вигляд якого приведений на рис. 5.

Механізм подачі смуги (полоси) в зону штампування являє складальну конструкцію з зварного корпусу і механічної передачі гвинт – гайка. В даному механізмі в якості гайки є упор (4), який під дією крокового двигуна (1) переміщує полосу.

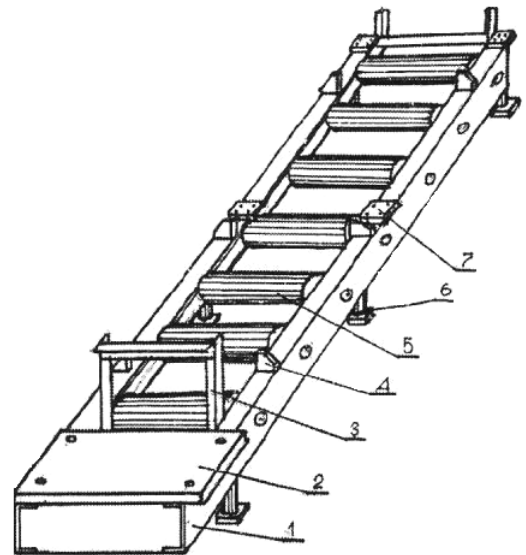


Рис. 4. Схема загального виду транспортера: 1 – рама, 2 – плита для установки приводу, 3 – напрямна для касети 4 – упор; 5 - ролики; 6 – регульована опора; 7 – платина

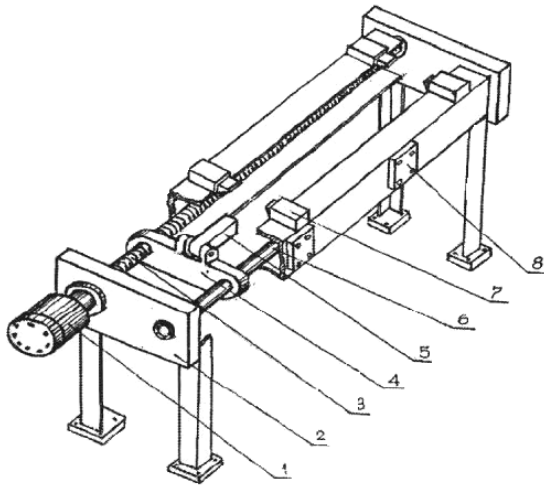


Рис. 5. Схема загального виду механізму подачі заготовки: 1 – кроковий двигун, 2 – рама, 3 – ходовий гвинт, 4 – гайка, 5 – упор, 6 – опорний вал, 7 – фіксатори, 8 – датчики

Смуги, які знаходяться в касеті (400 шт.) піднімаються автоматичним механізмом підйому, загальний вигляд якого наведено на рис. 6.

Основою механізму підйому є зварна рама, на якій установлені ходовий гвинт, два валики, траверс, арматура і приварені два платика.

За допомогою цих пластиків механізм підйому встановлюється, фіксується і закріплюється на базовій рамі механізму подачі. Захоплена двома вакуумними присосками полоса підіймається у касеті і укладається на пружинні фіксатори механізму подачі. Всі чотири фіксатори виставлені у одній площині.

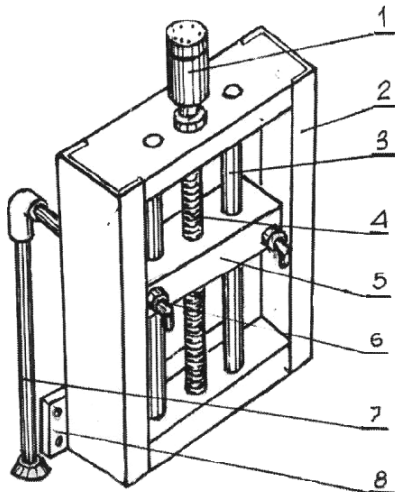


Рис. 6. Схема загального виду механізму підйому заготовок: 1 – кроковий двигун; 2 – рама; 3 – напрямні валики; 4 – ходовий гвинт; 5 – траверс; 6 – штуцер; 7 – арматура; 8 – пластик

Для від'єднання повітря з присосок в траверсі є отвори, з перехідними золотниками та інша арматура для вакуумного насоса.

Усі збиральні одиниці автоматизованого механізму подачі смуги (полоси) у зону штамповки пов'язані між собою програмним забезпеченням і виконують операції у заданій послідовності.

## V. ВИСНОВКИ

Впровадження автоматизованого комплексу холодної листової штамповки і розробка до нього модуля механізму подачі заготовки дозволяє замінити ручний труд підвищити продуктивність праці, та якість випускаємої продукції.

## ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

- [1] Роботизированные производственные комплексы. Под редакцией/ Ю.Г. Козырев, А.А. Кудинов, В.Э. Булатов и др. Под ред. Ю.Г. Козырева, А.А. Кудинова. – М.: Машиностроение, 1987. – 272с.
- [2] Справочник металлста, том № 4 под редакцией А.А. Малова. – М. : Государственное научно – техническое издательство машиностроительной литературы, 1961. – 778с.
- [3] О.Е. Иванов Комплексный подход к оснащению технологических процессов в современных условиях. Иванов О.Е., Кабанов Ю.Б., Друзяка В.И. – Харьков: ХГПУ, Резание и инструмент в технологических системах. № 58, 2000. – с. 38 – 45.

# Дослідження впливу інфразвуку на біоту

Артем Благодарь<sup>1</sup>, Володимир Никифоров<sup>1</sup>, Дмитро Кухаренко<sup>2</sup>

1. Кафедра біотехнологій і біоінженерії, Кременчуцький національний університет імені Михайла Остроградського, УКРАЇНА, Кременчук, вул. Першотравнева, 20, email: artem\_blag@gmail.com
2. Кафедра електронних апаратів, Кременчуцький національний університет імені Михайла Остроградського, УКРАЇНА, Кременчук, вул. Першотравнева, 20, email: dkuch100@gmail.com

**Анотація:** У роботі зроблений огляд впливу інфразвуку на живі організми. Це фізичне явище мало відоме. Інфразвук має як негативний так і позитивний вплив на живий організм. На одних частотах, наприклад, людина буде одужувати, а на других вона загине. Для інших тварин – це можливо один із основних засобів для виживання у дикій природі.

**Ключові слова:** інфразвук, низькочастотне коливання, біота.

## I. ВСТУП

Світ повний звуків, але не всі вони чути людському вуху. Не сприймає воно і інфразвуки. Це звукові хвилі, які збуджують тіла, які вчиняють менше 16 коливань в секунду. У природі джерелом таких звуків можуть бути руху повітряних мас, коливання води у великій водоймі, биття серця або інше повільно вібруєче тіло. Подає свій "голос" промисловість і транспорт. Але іноді звичний хор порушується катаклізмами. Справа в тому, що бурі, цунамі, землетруси, урагани, підводні та підземні вибухи, пожежі, теж генерують інфразвук. Він добре поширюється на великі відстані, тому може бути передвісником катастрофи. Ось медузи, здатні сприймати інфразвук і, завдяки йому, відчувають шторм майже за добу, що дозволяє їм заздалегідь схватися на глибині. Можливо це тому, що шторм генерує інфразвукову хвилю, яка рухається значно швидше свого джерела. Тепер, завдяки вченим, і у людей є можливість навчитися "читати" інфразвукові послання. Інфразвуки, з їх ще маловивченими властивостями, постійні супутники людини. Тому дослідження впливу інфразвуку на біоту є актуальною задачею.

## II. МАТЕРІАЛ І РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ.

Інфразвук - це механічні коливання, що поширюються в середовищі з частотою нижче мінімальної звуковий частоти і не перевищує 20 Гц. Інфразвук поширюється в середовищах в вигляді поздовжньої хвилі, в якій частинки коливаються вздовж напрямку поширення хвилі. Звукові хвилі частотного діапазону від 20 Гц і нижче характеризуються високу проникаючу здатність, вони поширюються на великі відстані і при цьому майже не послаблюються [1, 5].

В.Д. Кузнєцов вивчав інфразвуковий фон в місті Томську протягом 2000 року. Він зосередив свою увагу на інфразвукових шумах з частотами від 0,01 до 1,6 Герца. Було досліджено, що ця частота відповідає інфразвуку, який генерується невеликими лісовими пожежами.

Довгий час інфразвук відносили до негативних для людини факторів. Пов'язано це з тим, що при поширенні через тверді середовища інфразвукова хвиля викликає вібрацію. Саме вібрація і несе провину за всі негативні моменти інфразвуку. В даний час інфразвук починають повільно використовувати в медицині. В основному при лікуванні раку (видалення пухлин), в мікрохірургії ока (лікування захворювань рогівки) і в деяких інших областях. У Росії вперше лікування інфразвуком рогівки ока застосували в Російській дитячій клінічній лікарні. Вперше в практиці дитячої офтальмології при лікуванні захворювань рогівки застосований інфразвук і інфразвуковий фонофорез. Підведення лікарських речовин до рогівці за допомогою інфразвуку дозволило не тільки прискорити процес одужання, але і сприяло розсмоктуванню стійких помутнінь рогівки, а також знизити кількість рецидивів захворювання. Зараз існує чимало фізіотерапевтичних апаратів, що використовують метод лікування інфразвуком. Але вони мають застосування лише у вузьких спеціалізацій. По застосуванню інфразвуку проти раку відомо дуже мало, існують поодинокі пристрою такого типу. Хоча перспективність їх застосування не викликає сумнівів. Складність застосування обумовлена тим, що інфразвук робить згубний вплив на живий організм, потрібно провести сотні випробувань і багато років роботи, щоб знайти підходящі параметри впливу. Майбутнє цього методу не за горами. Сидоренко О. І. запропонував в своєму апараті використовувати передачу інфразвуку через повітряне середовище – інфразвуковий пневмомасаж.

Роботи Сидоренко Є.І. переконливо довели багатофакторний позитивний вплив інфразвукового пневмомасажа на активацію обмінних процесів в оці, накопичення РНК в гангліозних клітинах сітківки, поліпшення гідродинаміки ока, підвищення утилізації кисню. Після пневмомасажа зменшується ацидоз, знижується парціальний тиск CO<sub>2</sub>, збільшується парціальний тиск O<sub>2</sub>, різко знижується активність

запального процесу [1, 2-5]. Інфразвукові хвилі призводять до активації механізмів антиоксидантного захисту клітин. Вони інактивують вільнорадикальне окислення ліпідів, підвищуючи концентрацію ферментів в структурах очного яблука - каталази і супероксиддисмути, збільшення яких призводить до зниження супероксидних радикалів, запобігає руйнуванню клітинних мембран [1, 2, 5]. За експериментальними і клінічними даними [2] інфразвук, впливаючи на око, викликає поліпшення гемодинаміки, зменшення венозного застою. Посилення синтезу альбумінів, глобулінів обумовлює протизапальну активність інфразвуку. Інфразвуковий вплив активує діяльність ферментів, що безпосередньо впливають на стан прозорих середовищ ока:  $\beta$ -глюкозидази, катепсина-Д і гіалуронідази, що позитивно впливає на розсмоктування рубцевої тканини, а також підвищує проникність тканин ока для лікарських засобів [5].

Дозвуковий пневмомасаж змінює структуру клітинної мембрани, підвищує її проникність для поживних речовин і ліків без пошкодження мембрани [5]. Багаторічні кропіткі дослідження інфразвукового пневмомасажа Сидоренко Є.І. (1978 - 2008) і його учнями, велика експериментальна робота. Вони довели нешкідливість інфразвукового пневмомасажа для тканин ока, дозволили широко впровадити метод в офтальмології, в тому числі і для лікування офтальмопатології у дітей раннього віку [5].

В кінці 60-х років французький дослідник Гавро виявив, що інфразвук певних частот може викликати у людини тривожність і занепокоєння. Інфразвук з частотою 7 Гц смертельний для людини. Дія інфразвуку може викликати головні болі, зниження уваги і працездатності і навіть іноді порушення функції вестибулярного апарату. Ритми характерні для більшості систем організму людини лежать в інфразвукових діапазонах:

- скорочення серця 1-2 Гц;
- дельта-ритм мозку (стан сну) 0,5-3,5 Гц;
- альфа-ритм мозку (стан спокою) 8-13 Гц;
- бета-ритм мозку (розумова робота) 14-35 Гц [3].

Внутрішні органи вібрують теж з інфразвуковими частотами. У інфразвуковому діапазоні знаходиться ритм кишечника. На думку Гавро, при 7 Гц можливий параліч серця і нервової системи. Досить ефективно, в сенсі впливу на людину, задіяння механічного резонансу пружних коливань з частотами нижче 16 Гц, зазвичай не сприймаються на слух. Найнебезпечнішим тут вважається проміжок від 6 до 9 Гц. Значні психотропні ефекти найсильніше висловлюються на частоті 7 Гц, співзвучною альфаритмам природних коливань мозку, причому будь-яка розумова робота в цьому випадку робиться неможливою, оскільки здається, що голова ось - ось розірветься на дрібні шматочки. Звук малої інтенсивності викликає нудоту і дзвін у вухах, а також погіршення зору і

несвідомий страх. Звук середньої інтенсивності засмучує органи травлення і мозок, породжуючи параліч, загальну слабкість, а іноді сліпоту. Пружний потужний інфразвук здатний пошкодити, і навіть повністю зупинити серце. Зазвичай неприємні відчуття починаються з 120 дБ напруженості, що травмують - з 130 дБ. Інфрачастоти близько 12 Гц при силі в 85-110 дБ, наводять напади морської хвороби і запаморочення, а коливання частотою 15-18 Гц при тій же інтенсивності вселяють почуття занепокоєння, невпевненості і, нарешті, панічного страху. Може бути, в цьому також "винен" резонанс. У фізиці резонансом називають збільшення амплітуди коливань об'єкта, коли його власна частота коливань збігається з частотою зовнішньої дії. Якщо таким об'єктом виявиться внутрішній орган, кровоносна або нервова система, то порушення їх функціонування і навіть механічне пошкодження, цілком реально. Медики звернули увагу на небезпечний резонанс черевної порожнини, що має місце при коливаннях з частотою 4-8 Гц. Спробували стягувати, спочатку на моделі область живота ремнями. Частоти резонансу дещо підвищилися, проте фізіологічний вплив інфразвуку не послабило. Вплив інфразвуку на деякі органи і системи: легені і серце, як всякі об'ємні резонуючі системи, також схильні до інтенсивних коливань при збігу частоти їх резонансів з частотою інфразвуку. Найменше опір інфразвуку надають стінки легенів, що врешті-решт може викликати їхнє пошкодження. При впливі на мозок, картина взаємодії з інфразвуком особливо складна. Невеликий групі випробуваних було запропоновано вирішити нескладні завдання спочатку при впливі шуму з частотою нижче 15 Гц і рівнем приблизно 115 дБ, потім при дії алкоголю і, нарешті, при дії обох факторів одночасно. Була встановлена аналогія впливу на людину алкоголю і інфразвукового опромінення. При одночасному впливі цих факторів ефект посилювався, здатність до найпростішої розумової роботи помітно погіршувалася. В інших дослідках було встановлено, що і мозок може резонувати на певних частотах. Крім резонансу мозку як пружно-інерційного тіла виявилася можливість "перехресного" ефекту резонансу інфразвуку з частотою  $\alpha$ - і  $\beta$ - хвиль, що існують в мозку кожної людини. Ці біологічні хвилі виразно виявляються на енцефалограмх, і за їх характером лікарі судять про ті чи інші захворювання мозку. Висловлено припущення про те, що випадкова стимуляція біохвиль інфразвуком відповідної частоти може впливати на фізіологічний стан мозку.

У дослідках французьких акустиків і фізіологів 42 молодих людини на протязі 50 хвилин піддалися впливу інфразвуку з частотою 7.5 Гц і рівнем 130 дБ. У всіх випробовуваних виникло помітне збільшення нижньої межі артеріального тиску. При дії інфразвуку фіксувалися зміни ритму серцевих скорочень і дихання, ослаблення

функцій зору та слуху, підвищена стомлюваність і інші порушення. В процесі еволюції у людини, мабуть, сформувався центр, чутливий до інфразвукових коливань, провісників землетрусів і вулканічних вивержень. Комплекс реакцій, які повинні виявлятися при дії на цей центр: уникати замкнутих просторів, для того щоб не потрапити в завал; прагнути піти від поруч знаходяться об'єктів, що загрожують обвалитися; бігти «світ за очі», для того щоб вийти з району стихійного лиха. І зараз можна спостерігати подібну реакцію у багатьох тварин. Слон, що крокує по землі посилає інфразвукові сигнали, які, як показали недавні дослідження, поширюються більш ніж на 30 км. Переносячи вагу свого тіла з однієї ноги на іншу, слони біля озера роблять те ж, що робимо ми, коли повертаємо голову з боку в бік, намагаючись визначити, звідки доноситься далекий звук. Вібрації землі (інфразвуки) уловлюються слонячими ногами, піднімаються вгору по кістках тулуба, посилюються кістками черепа і нарешті досягають кісточок в середньому вусі.

Завдяки цьому слони чують інфразвуки, частота яких настільки низька, що наші вуха їх не сприймають. Років 20 тому стало відомо, що слони здатні видавати інфразвуки не тільки за допомогою ніг, але і носовими ямками. Частота цих звуків становить від 14 до 35 Гц. Їх енергія невелика, але вони поширюються на величезні відстані. За допомогою інфразвуків слони можуть повідомляти один одному про знайдені водойми або про небезпеку.

Фізичні принципи розповсюдження поздовжньої хвилі у просторі можна представити системою рівнянь:

$$\begin{cases} D_x = D_{mx} \sin(km - \omega t); \\ D_y = D_{my} \sin(km - \omega t); \\ D_z = D_{mz} \sin(km - \omega t), \end{cases}$$

де  $k = 2\pi/\lambda$ ,  $\lambda$  – довжина хвилі,  $\omega = 2\pi f$ ,  $f$  – частота,  $D_x$  – зміщення в точці  $m$  в момент часу  $t$  відносно осі  $x$ ,  $D_y$  – зміщення в точці  $m$  в момент часу  $t$  відносно осі  $y$ ,  $D_z$  – зміщення в точці  $m$  в момент часу  $t$  відносно осі  $z$ ,  $D_{mx}$  – максимальне значення цього зміщення відносно осі  $x$  (амплітуда),  $D_{my}$  – максимальне значення цього зміщення відносно

осі  $y$ ,  $D_{mz}$  – максимальне значення цього зміщення відносно осі  $z$ .

### III. ВИСНОВКИ

У роботі зроблений огляд впливу інфразвуку на живі організми. Це фізичне явище мало відоме. Інфразвук має як негативний так і позитивний вплив на живий організм. На одних частотах, наприклад, людина буде одужувати при лікуванні раку (видалення пухлин), в мікрохірургії ока, а на других вона загине. Вкрай небезпечно для людини частота в 7 Гц. Для інших тварин – це можливо один із основних засобів для виживання у дикій природі.

Запропонована система рівнянь для опису розповсюдження поздовжньої хвилі у просторі.

### ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

- [1] Дистрофія і дегенерація сітківки ока / [Електронний ресурс] : стаття / Медичний портал. – Режим доступу: <http://afterstudy.com.ua/dystrofiya-i-degeneratsiya-sitkivky-oka.html>
- [2] Российская детская офтальмология [Электронный ресурс] : стаття / Применение инфразвукового вакуумного пневмомассажа в офтальмологии: очки Сидоренко. – Режим доступу: <http://www.eyepress.ru/article.aspx?11137>
- [3] Инфразвук и его влияние на психику человека. [Электронный ресурс] : стаття / ПЕРГАМ. – Режим доступу: [http://www.decoder.ru/list/all/topic\\_105/](http://www.decoder.ru/list/all/topic_105/)
- [4] Мир знаний [Электронный ресурс] : стаття / Инфра – и ультразвук у животных. – Режим доступу: <http://mir-znaniy.com/ultra-i-infravzuki-u-zhivotnyih/>.
- [5] «Окуляри сидоренко» для очей [Электронный ресурс] : стаття / Студопедия. – Режим доступу: <http://damporadu.ru/korisne/24629-okuljari-sidorenko-dlja-ochej.html>

## Створення тривимірної моделі шлунково-кишкового тракту людини

Олександр Горелов<sup>1</sup>, Дмитро Кухаренко<sup>1</sup>

1. Кафедра електронних апаратів, Кременчуцький національний університет імені Михайла Остроградського, УКРАЇНА, Кременчук, вул. Першотравнева, 20, email: ktutoy276@gmail.com

**Анотація:** У роботі розглядається будова та можливість створення тривимірної моделі шлунково-кишкового тракту людини. Розробка нової моделі дозволить прогнозувати результати хірургічних втручань на шлунково-кишковому тракті людини. Користуючись такою правильно побудованою моделлю

хірург зможе вибрати оптимальну тактику хірургічного лікування і дозування оперативних втручань для конкретного хворого.

Ключові слова: модель, планування, шлунково-кишковий тракт.



**Ключові слова:** модель, планування, шлунково-кишковий тракт.

## I. ВСТУП

Для адекватної роботи комп'ютерних систем [1,2,4,5] необхідна правильно побудована тривимірна модель шлунково-кишкового тракту людини, яка має відповідну форму та правильно накладену текстуру, тобто координатну сітку для вдалого, добре спланованого хірургічного втручання.

Розробка нової моделі дозволить прогнозувати результати хірургічних втручання на шлунково-кишковому тракті людини. Користуючись такою правильно побудованою моделлю хірург зможе вибрати оптимальну тактику хірургічного лікування і дозування оперативних втручання для конкретного хворого.

## II. МАТЕРІАЛ І РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ.

До складу шлунково-кишкового тракту (ШКТ) входить: ротова порожнина, ротоглотка, стравохід, шлунок, тонка кишка (до складу якої входить дванадцятипала, худа і клубова), і товста кишка (ділиться на сліпу, висхідну, поперечну, низхідну, сигмовидну і пряму); крім цього до травної системи належать травні залози, найбільшими з яких є три пари слинних (по одній з кожного боку - привушні, підщелепні і під'язикові), а також підшлункова залоза і печінка з жовчним міхуром. Таким чином можна виділити основні анатомічні структури ШКТ: шлунок, тонка кишка, товста кишка.

Величина шлунка сильно варіює (рис.1) як індивідуально, так і в залежності від його наповнення. При середньому ступені розтягування його довжина близько 21-25 см. Ємність шлунка в значній мірі залежить від дієтичних звичок суб'єкта і може коливатися від одного до декількох літрів. Розміри шлунка новонародженого дуже невеликі (довжина дорівнює 5 см) [1]. Існують наступні три основні форми і положення шлунка:

– шлунок у формі рогу. Тіло шлунка розташоване майже поперек, поступово звужуючись до пілоричної частини. Привратник лежить вправо від правого краю хребетного стовпа і є найнижчою точкою шлунка. Внаслідок цього кут між низхідній і висхідній частинами шлунка відсутній. Весь шлунок розташований майже поперечно;

– шлунок у формі гачка. Низхідна частина шлунка спускається косо або майже прямовисно вниз. Висхідна частина розташована косо - знизу вгору і направо. Привратник лежить біля правого краю хребетного стовпа. Між висхідною і низхідною частинами утворюється кут (*incisura angularis*), дещо менший прямого. Загальне положення шлунка косе;

– шлунок у формі панчохи, або подовжений шлунок. Він схожий на попередній («гачок»), але має деякі відмінності: як говорить сама назва, спадна частина його більш подовжена

і спускається вертикально; висхідна частина піднімається вгору крутіше, ніж у шлунку у формі гачка. Кут, утворений малою кривизною, більш гострий (30° - 40°).

Коли шлунок порожній, він внаслідок скорочення своїх стінок йде в глибину і звільняється простір займає поперечна ободова кишка, так що вона може лежати попереду шлунку безпосередньо під діафрагмою. Величина шлунку сильно варіює як індивідуально, так і в залежності від його наповнення. При середньому ступені розтягування його довжина близько 21-25 см. Ємність шлунка в значній мірі залежить від дієтичних звичок суб'єкта і може коливатися від одного до декількох літрів. Розміри шлунка новонародженого дуже невеликі (довжина дорівнює 5 см).

Будова. Стінка шлунка складається з трьох оболонок:

- *tunica mucosa* - слизова оболонка з сильно розвиненою підслизовою основою, *tela submucosa*;
- *tunica muscularis* - м'язова оболонка;
- *tunica serosa* - серозна оболонка.

Слизова оболонка побудована відповідно основній функції шлунка - хімічній обробці їжі в умовах кислого середовища. У зв'язку з цим у слизовій є спеціальні шлункові залози, що виробляють шлунковий сік, *succus gastricus*, що містить соляну кислоту.

Желудок, *ventriculus (gaster)* и двенадцатиперстная кишка, *duodenum*. Передняя стенка желудка

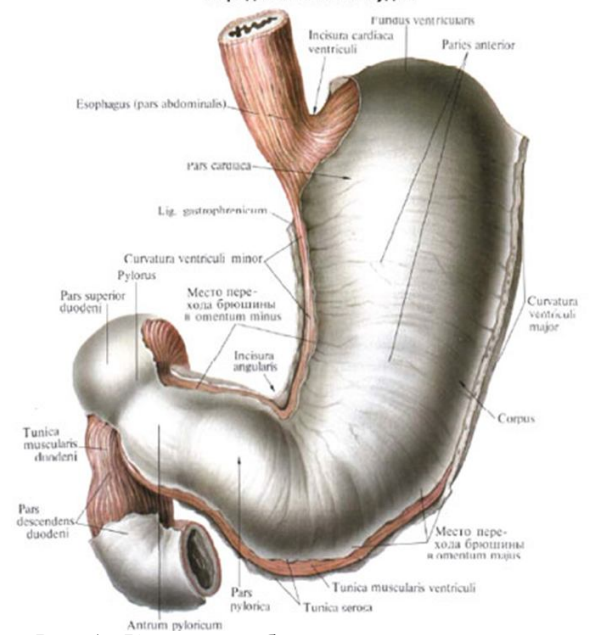


Рис. 1. Класичне зображення шлунку людини

Розрізняють три види залоз:

- кардіальні залози, *glandulae cardiacae*;
- шлункові залози, *glandulae gastricae* (*proprgiae*); вони численні (приблизно 100 на 1 мм<sup>2</sup> поверхні), розташовані в області склепіння і тіла шлунка і містять двоякого роду клітини: головні (виділяють пепсиноген) і обкладувальні (виділяють соляну кислоту);



– пілоричні залози, *glandulae pyloricae*, складаються тільки з головних клітин.

Весь шлунок розташований зліва від серединної лінії і лише незначно переходить за неї. Загальне положення шлунка вертикальне. Таким чином, між формою і положенням шлунка відзначається кореляція: шлунок у формі рогу має частіше поперечне положення, шлунок у формі гачка - косе, подовжений шлунок - вертикальне положення.

Форма шлунка значною мірою пов'язана з типом статури. У людей брахіморфного типу з коротким і широким тулубом часто зустрічається шлунок у формі роги. Шлунок розташований поперечно, високо, так що найнижча частина його перебуває на 4-5 см вище лінії, що з'єднує клубові гребені, - *linea biiliaca*.

У людей доліхоморфного типу статури з тулубом довгим і вузьким частіше зустрічається подовжений шлунок з вертикальним положенням. При цьому майже весь шлунок лежить зліва від хребетного стовпа і розташовується низько, так що воротар проєктується на хребті, а нижня межа шлунка опускається трохи нижче *linea biiliaca*.

У людей перехідного (між двома крайніми) типу статури спостерігається форма шлунка у вигляді гачка. Положення шлунка косе і середнє по висоті; нижня межа шлунка - на рівні *linea biiliaca*. Ця форма і положення найбільш поширені.

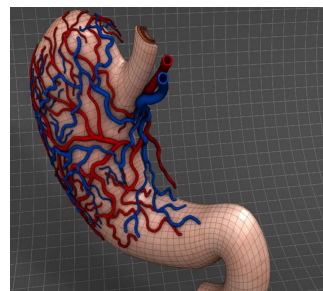
Великий вплив на форму і положення шлунка надає тонус його мускулатури. Уявлення про тонус шлунка в рентгеновському зображенні дає характер «розгортання» стінок шлунка при заповненні його їжею. Шлунок знаходиться в стані сну, а при попаданні в нього їжі починає розтягуватися, щільно охоплюючи свій вміст. У шлунку з нормальним тонусом перші порції їжі розташовуються у вигляді трикутника, зверненого підставою догори, до газового міхура. Повітряний міхур, обмежений склепінням шлунка, має форму півкулі. При зниженому (в межах норми) тонусі шлунка трикутник, утворений їжею, має подовжену форму з гострою вершиною, а повітряний міхур нагадує вертикальний водовід, який звужується донизу. Їжа, не затримуючись, падає на велику кривизну, як в м'який мішок, відтягує її донизу, внаслідок чого шлунок подовжується і набуває форму панчохи і вертикальне положення.

Форма шлунка вивчається при повному контрастному його наповненні. При частковому наповненні можна бачити рельєф слизової оболонки. Складки слизової шлунка утворюються при скороченні *lamina muscularis mucosae*, зміні тургору і набуханні тканин, при вельми пухкої структурі підслизової основи, що допускає рухливість слизової оболонки щодо інших шарів. Переважаюча картина рельєфу слизової в різних відділах шлунка така: в *pars cardiaca* - сітчастий малюнок; уздовж *curvatura minor* - подовжні складки; уздовж *curvatura major* - зубчастий контур, оскільки складки в *corpus ventriculi* -

подовжні і косі; в *antrum pyloricum* - переважно подовжні, а також радіальні і поперечні. Вся ця картина рельєфу слизової обумовлена складками задньої стінки, так як на передній стінці їх мало. Напрямок складок відповідає просуванню їжі, тому рельєф слизової оболонки вкрай мінливий.

Загальна довжина кишечника складає близько 4 м в стані тонічного напруження (за життя), і близько 6-8 м в атонічному стані (після смерті). У новонародженого довжина кишечника дорівнює 340-360 см, а в кінці першого року вона збільшується на 50% і перевищує зростання дитини в 6 разів. При цьому збільшення настільки інтенсивно, що з 5-місячного до 5-річного віку довжина кишечника зростає в 7-8 разів, у той час як довжина його у дорослого перевищує зростання лише в 5,5 разів.

Форма, положення і структура кишечника змінюються залежно від віку. Інтенсивність його зростання найбільша у віці 1-3-х років у зв'язку з переходом з молочного харчування на змішану і загальну їжу. Збільшення діаметра кишечника виражено сильніше всього в перші два роки життя, після чого воно сповільнюється до 6-річного віку, а пізніше знову зростає. Довжина тонкого кишечника (*intestinum tenue*) у немовляти становить 1,2-2,8 м, а у дорослого - 2,3-4,2 м. Ширина його в грудному віці - 16 мм, а в 23 роки - 23 мм. У ньому розрізняють дванадцятипалу кишку (*duodenum*), худу кишку (*jejunum*) і клубову кишку (*ileum*). Дванадцятипала кишка новонародженого має напівкруглу форму і розташована на рівні I поперекового хребця, але у віці 12 років вона спускається до рівня III-IV поперекового хребця. Довжина дванадцятипалої кишки після народження становить 7-13 см і залишається такою ж до 4-річного віку. У малих дітей дванадцятипала кишка дуже рухлива (13,14), але до 7-и років навколо неї з'являється жирова тканина, яка фіксує кишку і зменшує її рухливість. У другому півріччі після народження тонка кишка поділяється на худу (*jejunum*) і клубову кишку (*ileum*). Худа кишка займає 2/5 - а клубова - 3/5 тонкого кишечника без дванадцятипалої кишки. Тонкий кишечник починається зліва на рівні поперекового хребця (з *flexura duodenojejunal*) і закінчується входженням клубової кишки в сліпу кишку праворуч на рівні IV поперекового хребця. Досить часто зустрічається Меккеля дивертикул (залишок від *ductus omphaloentericus*) розташовується на відстані 5-120 см від баугиневої заслінки.



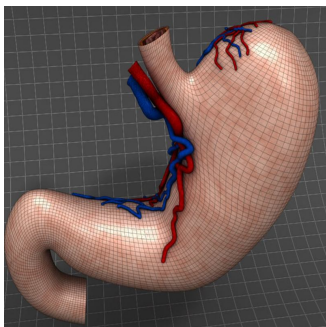
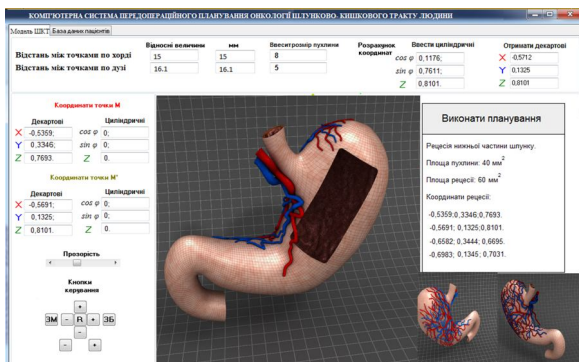


Рис. 2. Модель шлунку та частини дванадцятипалої кишки



Ри. 3. Модель шлунку та частини дванадцятипалої кишки, яка була інтегрована у запропонований програмний продукт

Перші спроби моделювання були виконані в програмному забезпеченні 3DMax (рис.2). Модель була інтегрована у запропонований програмний продукт (рис.3) для передопераційного планування онкологічних захворювань шлунково-кишкового тракту людини на базі мови високого рівня програмування Delphi [3].

### III. ВИСНОВКИ

У роботі зроблений огляд впливу інфразвуку на живі організми. Це фізичне явище мало відоме. Інфразвук має як негативний так і позитивний вплив на живий організм. На одних частотах, наприклад, людина буде одужувати при лікуванні раку (видалення пухлин), в мікрохірургії ока, а на других вона загине. Вкрай небезпечна для людини частота в 7 Гц. Для інших тварин – це

можливо один із основних засобів для виживання у дикій природі.

Запропонована система рівнянь для опису розповсюдження поздовжньої хвилі у просторі.

### ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

- [1] Гуденко В.С. Оцінка адекватності комп'ютерної системи передопераційного планування онкології шлунково - кишкового тракту людини / В.С. Гуденко, Д.В. Кухаренко // Матеріали XIII Міжнародної науково-технічної конференції «Фізичні процеси та поля технічних і біологічних об'єктів». Серія: Біологічні та медичні прилади і системи, 07–09 листопада 2014 р., Кременчук. – Кременчук: КрНУ, 2014. – С. 152–153.
- [2] Горелов О.Ю. Реалізація принципів комп'ютерного планування оперативних втручань на шлунково-кишковому тракті людини /О.Ю. Горелов // Збірник студентських наукових статей «Автоматизація та приладобудування 2018». Частина 1 [електронне видання]. – Харків: Харківський національний університет радіоелектроніки, 2018. – С. 210–214.
- [3] Кэнту М. Delphi 7: для профессионалов / М. Канту. – СПб.: Питер. 2004. – 1101с.
- [4] Мирошніченко В.С. Модель шлунково - кишкового тракту людини з визначенням координат зляксісних утворювань / В.С. Мирошніченко, Д. В. Кухаренко // Кременчук: Науковий вісник КУЕІТУ. Нові технології № 3-4 (41-46) - 2014. – С. 97-101.
- [5] Мирошніченко В.С. Комп'ютерна система передопераційного планування онкології шлунково - кишкового тракту людини / В.С. Мирошніченко, Д.В. Кухаренко // Матеріали XIII Міжнародної науково-технічної конференції «Фізичні процеси та поля технічних і біологічних об'єктів». Серія: Біологічні та медичні прилади і системи, 07–09 листопада 2014 р., Кременчук. – Кременчук: КрНУ, 2014. – С. 152–153.

# Исследование температурных полей РЭА методом регулярного теплового режима

Валерий Семенец<sup>1</sup>, Анатолий Синотин<sup>2</sup>, Татьяна Колесникова<sup>3</sup>

1. Кафедра МТЭ, Харьковский национальный университет радиоэлектроники, УКРАИНА, Харьков, пр. Науки. 14, e-mail: valery.semenets@nure.ua
2. Кафедра КИТАМ, Харьковский национальный университет радиоэлектроники, УКРАИНА, Харьков, пр. Науки. 14, e-mail: anatoli.sinotin@nure.ua
3. Кафедра МСТ, Харьковский национальный университет радиоэлектроники, УКРАИНА, Харьков, пр. Науки. 14, e-mail: tatayna.kolesnikova@nure.ua

**Аннотация:** Проведено исследование точности метода «многих точек» при расчёте температурных полей РЭА методом регулярного теплового режима.

**Ключевые слова:** анизотропность по теплопроводности, эффективная теплопроводность, коэффициент теплопередачи, нагретая зона, кондуктивные теплостоки.

## 1 ВВЕДЕНИЕ

**Актуальность.** При проектировании оптимальных радиоэлектронных аппаратов (РЭА) резко увеличился объём исходной информации. Получение такой информации требует тесной связи радиоэлектроники с другими отраслями науки и техники (математикой, физикой, теплофизикой, электровычислительной техникой и др.). В потоке необходимой информации видное место занимают сведения о характере теплового режима прибора, который наряду с другими факторами существенно сказывается на надёжности, весовых и габаритных размерах системы в целом [1-4].

**Цель исследования.** Установление характера анизотропности нагретых зон РЭА, монтажные платы которых выполнены из различных материалов от металлов до пластичных масс ( $\lambda = 380 - 0,3$  Вт / м · град), влияния процентного содержания различных элементов на общую теплопроводность нагретой зоны.

**Постановка задачи.** Отсутствие в литературе исчерпывающего ответа анализа точности регулярного режима и оптимальных условий проведения эксперимента вызвало необходимость аналитического исследования этих методов экспериментального определения эффективной теплопроводности анизотропных тел.

## II. СОДЕРЖАНИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ

В общем случае для испытания нагретых зон РЭА на теплопроводность можно применять методы стационарного и нестационарного теплового потока. Методы стационарного теплового потока требуют создания сложных и дорогостоящих установок. Продолжительность эксперимента сравнительно велика. Все стационарные методы требуют изготовления специальных образцов из материала объекта испытаний.

В отличие от метода стационарного теплового потока, нестационарные методы, основанные на теории регулярного теплового режима, позволяют повысить скорость эксперимента и проводить эксперимент на реальных натуральных объектах, не прибегая к специальным образцам.

Отличительной особенностью теплопроводных свойств нагретых зон РЭА в общем случае является их анизотропность, т.е. различие коэффициентов теплопроводностей вдоль различных осей координат ( $x, y, z$ )  $\lambda_x \neq \lambda_y \neq \lambda_z$ . Анизотропность нагретых зон РЭА вытекает из особенностей их конструкции и конструкции отдельных элементов монтажа, как много состоящих тел из различных материалов и заполнителей.

Нагретые зоны РЭА строятся из большого количества элементов, выполненных из металлических и диэлектрических материалов. Процентное содержание их в объёме аппарата и на платах может меняться в широких пределах.

При этом мы будем предполагать, исходя из основных особенностей конструкции современных РЭА, что максимальный размер одиночного элемента ( $\lambda_{max}$ ) монтажа намного меньше, чем наибольший линейный размер ( $L_{max}$ ) нагретой зоны, т.е.  $\ell_{max} \ll L_{max}$ .

Плотность размещения элементов на платах такова, что  $\frac{\ell_{max}}{\Delta_{i\text{cp}}} \geq 1$ , где  $\Delta_{i\text{cp}}$  - среднее расстояние между элементами на плате. Плотность размещения самих плат такова, что  $L_{max} / \Delta_{2i} \geq 1$ , где  $\Delta_{2i}$  - расстояние между платами.

В результате анализа различных методов испытаний было принято в качестве основного метода для РЭА – метод регулярного режима, известного под названием «метод многих точек». Однако, приведенные выше аналитические исследования показали ограниченность этого метода малыми теплопроводностями ( $\lambda < 1$ ), поэтому был разработан и исследован метод,

когда две теплопроводности (например,  $\lambda_x \approx \lambda_y \gg \lambda_z$ ) много больше теплопроводности в третьем направлении.

Для контроля за порядком получаемых экспериментальных значений  $\lambda$  по методу многих точек целесообразно использовать методы основанные на другом принципе, например, принципе стационарного режима, известного под названием «метод пластины». Кроме того, данный метод также можно использовать для контроля метода многих точек

Отсутствие в литературе исчерпывающего анализа точности методов регулярного режима и оптимальных условий проведения эксперимента вызвало необходимость аналитического исследования этих методов экспериментального определения эффективной теплопроводности анизотропных тел.

Метод многих точек разработан для определения теплопроводности анизотропных тел основных форм (цилиндра или параллелепипеда). При этом авторы метода не дали рекомендаций об оптимальных условиях проведения эксперимента и какими величинами  $\lambda$  ограничен в большую и меньшую стороны.

Для ответа на эти вопросы ниже проведено исследование точности метода многих точек, в зависимости от точности определения параметров, входящих в расчётные зависимости, на примере тела в форме параллелепипеда.

Основные расчётные зависимости метода многих точек для тел в форме параллелепипеда имеют вид:

$$e^{-\rho_x} = \frac{\vartheta_x}{\vartheta_0} \cos P_x; e^{-\rho_y} = \frac{\vartheta_y}{\vartheta_0} \cos P_y; e^{-\rho_z} = \frac{\vartheta_z}{\vartheta_0} \cos P_z; \quad (1)$$

$$P_x \operatorname{tg} P_x = \frac{\alpha_x \cdot L_x}{\lambda_x} = B_{ix}; P_y \operatorname{tg} P_y = \frac{\alpha_y \cdot L_y}{\lambda_y} = B_{iy}; P_z \operatorname{tg} P_z = \frac{\alpha_z \cdot L_z}{\lambda_z} = B_{iz}; \quad (2)$$

где  $\vartheta_{x,y,z}$  - избыточная температура в центре поверхностей соответствующих граней;  $\vartheta = t - t_{cp}$ ;

$P_{x,y,z}$  - безразмерные параметры, определяемые по данным эксперимента через  $\rho_{x,y,z}$ ;  $\rho_{x,y,z} = \ln \vartheta_0 - \ln \vartheta_{x,y,z}$ ;

$B_{i,x,y,z}$  - критерий Био на соответствующей грани.

Таким образом, построив в полулогарифмической шкале экспериментальные

данные охлаждения блока в центре  $\vartheta_0(\tau)$  и на поверхности  $\vartheta_{x,y,z}(\tau)$ , получим непосредственно из (2) значения  $\rho_{x,y,z}$ .

Расчётные зависимости для  $\lambda$  могут быть получены из (1) и (2):

$$\lambda_{x,y,z} = \frac{\alpha_{x,y,z} \cdot L_{x,y,z}}{P_{x,y,z} \operatorname{tg} P_{x,y,z}}$$

Так как из (1) имеем:

$$P_x = \arccos \frac{\vartheta_x}{\vartheta_0}; \sin P_x = \sqrt{1 - \left(\frac{\vartheta_x}{\vartheta_0}\right)^2}; \operatorname{tg} P_x = \frac{\sin P_x}{\cos P_x} = \frac{\sqrt{1 - \left(\frac{\vartheta_x}{\vartheta_0}\right)^2}}{\frac{\vartheta_x}{\vartheta_0}}, \text{ то } \lambda_x = \frac{\alpha_x \cdot L_x}{\arccos \frac{\vartheta_x}{\vartheta_0} \cdot \sqrt{1 - \left(\frac{\vartheta_x}{\vartheta_0}\right)^2}} \cdot \frac{\vartheta_x}{\vartheta_0} \quad (3)$$

Аналогичные выражения получим для  $\lambda_{y,z}$ .

Обозначим  $\vartheta_x / \vartheta_0 = \Theta$ , тогда из (3) получим, опуская индекс «x»:

$$\lambda = \frac{\alpha \cdot L \cdot \Theta}{\arccos \Theta \cdot \sqrt{1 - \Theta^2}}. \quad (4)$$

Точность определения  $\lambda$  согласно (4) зависит от точности определения коэффициента теплоотдачи к среде  $\alpha$ , линейного размера тела  $L$  и точности определения отношения температур  $\vartheta_x / \vartheta_0$ , определяемое точностью их измерения в процессе опыта.

Для получения количественной зависимости относительной ошибки определения эффективной теплопроводности  $\partial \lambda = \Delta \lambda / \lambda$  от относительных ошибок параметров  $\partial \alpha = \Delta \alpha / \alpha$ ;  $\partial L = \Delta L / L$ ;  $\partial \Theta = \Delta \Theta / \Theta$  воспользуемся методом полного дифференциала. Для этого прологарифмируем выражение (4) и возьмём полный дифференциал от левой и правой части, заменив в нём дифференциалы переменных величин их конечными приращениями

$$(d\alpha \approx \Delta \alpha; dL \approx \Delta L; d\Theta \approx \Delta \Theta).$$

Из (4) имеем:

$$\ln \lambda = \ln \alpha + \ln L + \ln \Theta - \ln \sqrt{1 - \Theta^2} - \ln \arccos \Theta \quad (5)$$

Продифференцируем левую и правую части выражения (5).

$$\frac{d\lambda}{\lambda} = \frac{d\alpha}{\alpha} + \frac{dL}{L} + \frac{d\Theta}{\Theta} + \frac{\Theta}{1 - \Theta^2} d\Theta + \frac{1}{\sqrt{1 - \Theta^2} \arccos \Theta} d\Theta \quad (6)$$

Перейдём в (6) от дифференциала к малым

конечным приращениям и сгруппируем члены с  $\Delta\Theta$ :

Или после преобразований в скобках:

$$\frac{\Delta\lambda}{\lambda} = \frac{\Delta\alpha}{\alpha} + \frac{\Delta L}{L} + \left[ \frac{1}{1-\theta^2} + \frac{1}{\alpha L} \left( \frac{\theta \cdot \alpha \cdot L}{\sqrt{1-\theta^2} \cdot \arccos\theta} \right) \right] \cdot \frac{\Delta\theta}{\theta}. \quad (7)$$

согласно (4) и (2) выражение стоящее в круглых скобках есть  $\lambda$ , а отношение  $\lambda/\alpha L = 1/Bi$ . Кроме того, из (1) следует, что  $1 - \theta^2 = \sin^2 P$ , тогда

$$\frac{\Delta\lambda}{\lambda} = \frac{\Delta\alpha}{\alpha} + \frac{\Delta L}{L} + \left[ \frac{1}{\sin^2 P} + \frac{1}{Bi} \right] \cdot \frac{\Delta\theta}{\theta}. \quad (8)$$

Найдём выражение для  $\Delta\theta$ .

$$\Delta\theta = \Delta \left( \frac{\vartheta_x}{\vartheta_0} \right) = \left| \frac{\Delta\theta_x}{\theta_0} \right| + \left| \frac{\Delta\vartheta_0}{\vartheta_0^2} \cdot \vartheta_x \right|. \quad (9)$$

После подстановки (9) в (8), получим:

$$\begin{aligned} \frac{\Delta\lambda}{\lambda} &= \frac{\Delta\alpha}{\alpha} + \frac{\Delta L}{L} + \left( \frac{1}{\sin^2 P} + \frac{1}{Bi} \right) \frac{\frac{\Delta\theta_x}{\vartheta_0} + \frac{\Delta\vartheta_0}{\vartheta_0^2} \cdot \vartheta_x}{\frac{\vartheta_x}{\theta_0}} = \\ &= \frac{\Delta\alpha}{\alpha} + \frac{\Delta L}{L} + \left( \frac{1}{\sin^2 P} + \frac{1}{Bi} \right) \cdot \left( \frac{\Delta\vartheta_x}{\theta_x} + \frac{\Delta\vartheta_0}{\vartheta_0} \right). \quad (10) \end{aligned}$$

Величины  $\Delta\vartheta_x$  и  $\Delta\vartheta_0$  представляют собой практически ошибки измерения температуры в центре и на поверхности тела. Обычно их измерение ведётся датчиками одного типа с регистрацией одним и тем же прибором.

Поэтому можно считать  $\Delta\vartheta_x = \Delta\vartheta_0 = \Delta\vartheta$ , тогда из (10)

$$\frac{\Delta\lambda}{\lambda} = \frac{\Delta\alpha}{\alpha} + \frac{\Delta L}{L} + \left( \frac{1}{\sin^2 P} + \frac{1}{Bi} \right) \cdot \left( 1 + \frac{1}{\frac{\vartheta_x}{\vartheta_0}} \right) \cdot \frac{\Delta\vartheta}{\vartheta_0}$$

или, так как из (10)  $\frac{\vartheta_x}{\vartheta_0} = \cos P$ , получим:

$$\frac{\Delta\lambda}{\lambda} = \frac{\Delta\alpha}{\alpha} + \frac{\Delta L}{L} + \left( \frac{1}{\sin^2 P} + \frac{1}{Bi} \right) \left( 1 + \frac{1}{\cos P} \right) \frac{\Delta\vartheta}{\vartheta_0} \quad (11)$$

Перейдём к обозначениям относительных ошибок, тогда окончательно запишем:

$$\delta\lambda = \delta\alpha + \delta L + N_g \cdot \delta\vartheta, \quad (12)$$

где

$$N_g = \left( \frac{1}{\sin^2 P} + \frac{1}{Bi} \right) \cdot \left( 1 + \frac{1}{\cos P} \right) = N_g(Bi) \quad \text{в}$$

силу того, что, и  $\sin P$  и  $\cos P$ , согласно (2) зависят только от критерия  $Bi$ .

$\cos P$ , согласно (2) зависят только от критерия  $Bi$ .

Из выражения (12) следует, что ошибка экспериментального определения  $\lambda$  зависит от значения критерия  $Bi = \alpha \cdot L/\lambda$  при котором проводится эксперимент. Эта зависимость определяется функцией  $N_g$ . Ошибка  $\delta\lambda$  будет иметь наименьшее значение, при заданной точности определения коэффициента теплоотдачи ( $\delta\alpha$ ), линейного размера ( $\delta L$ ) и температуры в центре тела ( $\delta\vartheta$ ), тогда  $N_g$  примет наименьшее значение. Следовательно, для получения  $\lambda$  с наименьшей ошибкой необходимо проводить эксперименты в условиях  $Bi \approx 3$  (13).

Для одноблочных радиоэлектронных аппаратов, имеющих линейный размер порядка  $10^{-1}$  м, в условиях естественной конвекции, когда  $\alpha$  имеет порядок  $10^1 = \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{град}}$ , получим, что

$$Bi = \frac{10^1 \cdot 10^{-1}}{\lambda} = \frac{1}{\lambda}, \quad \text{где } \lambda = \frac{\text{Вт}}{\text{м} \cdot \text{град}} \quad (14)$$

Из (14) имеем, что для выполнения условия (13) необходимо, чтобы теплопроводность исследуемой нагретой зоны была бы меньше единицы.

Таким образом, выполненное теоретическое исследование показало, что метод многих точек позволяет с наименьшей ошибкой определять в условиях естественной конвекции значения,  $\lambda$  не превышающие единицы. При экспериментальном определении  $\lambda$  больше единицы ( $Bi < 3$ ) метод приводит в условиях естественной конвекции к большим ошибкам.

### III. ВЫВОДЫ

1. Установлено существование оптимальных условий определения экспериментов. Минимальная ошибка определения  $\lambda$  по методу "многих точек" возможна при значениях критерия Био близких к 3.

2. Аналитические исследования точности метода многих точек показали, что этот метод можно эффективно использовать для экспериментального определения эффективной теплопроводности РЭА при значениях  $\lambda \leq 1$  Вт /м·град.

### ПЕРЕЧЕНЬ ССЫЛОК

- [1] Дульнев Г.Н. Тепловые режимы электронной аппаратуры / Дульнев Г.Н., Тарновский Н.Н. – Л.: Энергия, 1971. - 248

# Керування та навігація автоматизованими роботами-аватарами

Артем Бронніков<sup>1</sup>, Дмитро Шендрик<sup>1</sup>

1. Кафедра КІТАМ, Харківський національний університет радіоелектроніки, УКРАЇНА, Харків, пр. Науки, 14, e-mail: artem.bronnikov@nure.ua

**Анотація:** В матеріалах приведено структурну схему навігаційного комплексу для автоматизованих роботів-аватарів. Проведено аналіз існуючих навігаційних технологій та обрано оптимальні рішення для більшості модулів комплексу. Розроблено програму для операційної системи Android, котра приймає, оброблює та зберігає у базу показання з датчиків. Проведено аналіз даних та тренування декількох класифікаторів рухів, розраховано і порівняно їх точність.

**Ключові слова:** модель, акселерометр, гіроскоп, кореляція, точність передбачень.

## I. ВСТУП

Розробки і використання комплексу датчиків, які на основі аналізу електричних імпульсів (ЕМГ), що генеруються м'язами тіла оператора, можуть розпізнавати жести, рухи і зусилля м'язів є актуальною задачею, зокрема для управління роботами, які зможуть замінити людину у важкодоступних місцях та зонах підвищеного ризику.

Вже існують спеціальні браслети і технології управління з аналізу жестів м'язів руки. У даній роботі пропонується розробити цілісну систему забезпечення оператора власними датчиками і інтелектуальним алгоритмом розпізнавання руху.

Така система дозволить оцінювати не тільки моменти і напрямки зусиль (за рахунок інерційних датчиків), але і силу, що прикладається до руху. Апаратна частина включає безпосередньо сенсори, систему збору та обробки даних. Програмна частина реалізує алгоритми машинного навчання для калібрування і настройки параметрів алгоритму класифікації жестів і руху.

## II. Огляд технологій відстеження рухів та переміщення людини

Задача класифікації рухів людини вимагає комплексного підходу. Для її вирішення часто потрібен аналіз великої кількості потоків даних: відеопотоків з камер, акселерометрів, гіроскопів та інших датчиків. І не дивлячись на те що ця задача не є новою і існує достатня кількість способів її рішення, потрібно встановити, чи підходять вони для вирішення поставленого завдання [1].

Одним з рішень є використання зовнішніх камер, які знімають людину, рух якої необхідно визначити.

Для визначення рухів використовуються або маркери, закріплені на тілі людини, які

випромінюють або відбивають світло, за рахунок чого і визначається положення частин тіла людини на кадрі, або без використання маркерів, використовуючи методи машинного зору.

Після визначення положення всіх частин тіла людини дані зберігаються в базі, завдяки чому потім можна побудувати тривимірну модель руху людини. Приклад такої моделі представлений на рис. 1.

Кожна точка представляє собою точку опорно-рухової системи людини: ступня, коліно, таз, плече, хребет, шия, лікоть, голова. Далі на кожен точку закріплюють точку тривимірної моделі тіла, а змінюючи координати точок ми бачимо рухи [2].

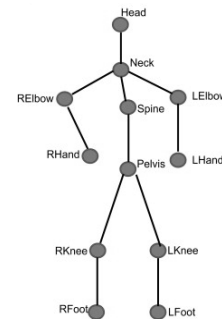


Рис. 1. Модель тіла людини

Застосування безмаркерних методів значно скоротило кількість необхідного обладнання, яке також сковувало і навантажувало людину, не даючи виконувати складні рухи. Завдяки використанню сучасних методів фільтрації, та розрахункам на графічному апаратному забезпеченні досягається достатня точність та швидкість роботи методу.

Для класифікації рухів людини так само використовують комбінацію трьохосових мікроелектромеханічних датчиків: акселерометрів, гіроскопів і магнітометрів. Дані отримані з датчиків, закріплених на тілі людини, обробляються за допомогою алгоритму, заснованого на фільтрі Калмана для визначення орієнтації і положення частин тіла у просторі, і подальшої побудови тривимірної моделі тіла людини.

Використання цього методу теж дозволяє досить точно визначати рухи людини для вирішення поставленого завдання, але використання великої кількості датчиків, закріплених на людині, робить його незручним для користувача.



Більш простим і зручним рішенням є використання різноманітних фітнес-трекерів, що використовують вбудовані крокоміри для визначення того, що людина зробила крок, а в подальшому здійснює підрахунок кроків і дає інформацію про розрахунковий пройдений шлях. Виглядає він як звичайний браслет, носиться на руці, має Bluetooth модуль для з'єднання зі смартфоном і виведення на нього зібраної інформації.

Крокомір використовується у сучасних фітнес-браслетах і представляє собою механічний або електронний пристрій для підрахунку кількості вироблених кроків. В електронних крокомірах часто застосовують 2-х або 3-х осьові акселерометри які передають дані на мікропроцесори, які підраховують кроки використовуючи певні алгоритми.

Не дивлячись на свою зручність, і фітнес браслет не підходить для поставленого завдання, тому що не здатний відрізнити різні рухи людини, такі як підйом по сходах, кроки на місці або повороти убік, від звичайних кроків уперед. Також велику роль грає час між здійсненням кроку та відображенням зміни кількості кроків на екрані.

Розглянемо засоби для визначення перешкод на маршруті людини [3].

Ультразвукові сенсори здатні відстежувати об'єкти перед собою та дистанцію до них. Завдяки цьому можливо попереджати користувача про об'єкти потенційного зіткнення, наприклад звуковим сигналом.

Але для поставленого завдання їх недостатньо – за допомогою їх не визначити сходинки, ями, швидкі об'єкти з необхідної відстані. Також слід зазначити, що дальність роботи таких далекомірів складає до 20 метрів.

Так само для визначення перешкод на шляху можна використовувати дані з камери, закріпленої на людині. Сучасні технології дозволяють визначати об'єкти на зображенні, а також приблизну відстань до них, і навіть їх швидкість. Таким чином людина буде завчасно попереджена про небезпеку та зможе її уникнути.

Не дивлячись на достатньо велику точність, різноманітність отримуваних рухів і відсутність будь-яких пристроїв на самій людині при роботі без маркерів, є один винятковий недолік, який не дозволяє його використовувати. Використання зовнішніх камер, які не закріплені на самій людині, але постійно спостерігають з боку за нею є неможливим, що робить метод непридатним в рішенні поставленої задачі.

### III. ПРОЕКТУВАННЯ СИСТЕМИ НАВІГАЦІЇ

Навігаційний комплекс повинен мати такі додаткові функції, як забезпечення людино-машинного інтерфейсу, попередження про небезпечні перешкоди на шляху та побудова оптимального шляху до місця призначення.

Такий комплекс повинен мати декілька зв'язаних модулів, кожен з яких виконуватиме своє завдання: навігація на місцевості, навігація у приміщенні, виявлення перешкод на шляху, попередження людини про перешкоду, побудова маршруту, класифікація рухів людини, взаємодія людини з комплексом і обробка даних. Схема взаємодії модулів представлено на рис.2.

Модуль людино-машинного інтерфейсу приймає команду людини, передає її у модуль обробки даних, котрий визначає місце призначення та передає його у модуль побудови маршруту. Модулі локальної та глобальної навігації передають локальні та глобальні координати людини у модуль побудови маршруту, котрий будує маршрут та передає напрям руху у модуль обробки даних [4].

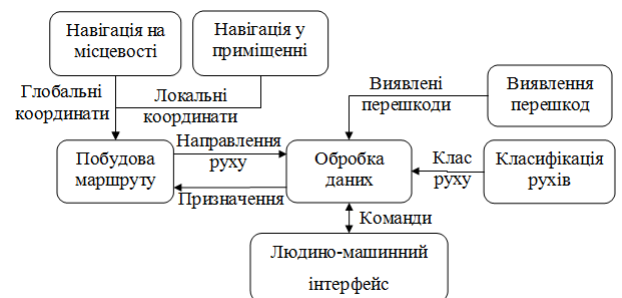


Рис.2. Структурна схема засобу навігації

Тим часом модуль виявлення перешкод попереджує модуль обробки даних о перешкодах на шляху, а модуль обробки даних передає дані о виявлених перешкодах у модуль людино-машинного інтерфейсу, щоб попередити людину про небезпеку. Одночасно модуль класифікації рухів визначає, який рух робить людина та передає дані у модуль обробки даних, котрий перевіряє відповідність рухів людини напрямленню руху по маршруту, та чи є перешкоди на шляху.

Система локального позиціонування, GPS, система машинного зору для визначення перешкод та класифікатор руху можуть функціонувати на мобільних телефонах, що облегшить поширення навігаційного комплексу.

### IV. РОЗРОБКА ФУНКЦІОНАЛЬНОЇ СХЕМИ МОДУЛЮ КЛАСИФІКАЦІЇ

Проаналізувавши наведені вище способи визначення рухів людини, їх переваги та недоліки, було прийнято рішення створити свій модуль класифікації рухів, котрий буде використовувати один набір датчиків: акселерометр, гіроскоп, магнітометр і барометр. Так як потрібно визначити лише певну групу рухів, то саму людину можна уявити, як точку, що повторює переміщення людини.

Необхідно визначити набір рухів для класифікації. Очевидно, що рухи окремими частинами тіла, такими як руки, ноги чи голова, не покажуть напряму руху людини, для цього треба знати загальні рухи усього тіла. Тож були

обрані такі рухи: рух вперед, поворот вліво, поворот вправо, підйом по сходах, спуск по сходах та стояння на місці [5].

Отже, отримана дев'яти-осьова система для класифікації рухів людини, яка повинна визначити рух із заданого набору, який робить людина у певний момент часу. Структура системи представлена на рис. 3.

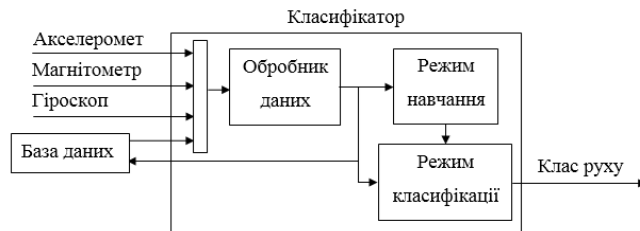


Рис.3. Функціональна схема класифікатора рухів

## V РОЗРОБКА МОДУЛЮ КЛАСИФІКАЦІЇ РУХІВ ЛЮДИНИ

За допомогою Android Studio було розроблено додаток, з інтерфейсом якого можна ознайомитися на рис. 4.

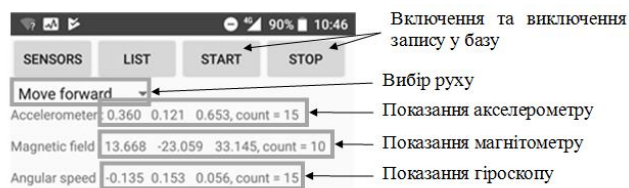


Рис.4. Головне вікно програми

Далі потрібно зібрати дані. Процес збору та обробки даних являється важливою задачею. В машинному навчанні більше половини часу витрачається на збір, аналіз та обробку даних. Зазвичай після аналізу та опробування даних на класифікаторі виявляється, що зібраних даних недостатньо для вирішення задачі, тож приходиться повертатися до процесу обробки даних, або навіть провести новий збір даних, які будуть якомога точніше описувати проблему.

Було прийнято рішення, що з акселерометра та гіроскопа дані будуть зчитуватись впродовж 0.3 секунд кожні 20 мс, а з магнітометру – 30 мс. Дані зберігаються у дві таблиці: таблицю даних та таблицю з класами рухів. Таблиця даних містить оброблені показання з датчиків – RMS та накопичене RMS, розраховані під час рухів, і номер класу руху, котрий являється вторинним ключем таблиці рухів, а таблиця рухів містить назви рухів.

Для збору даних було двічі проведено послідовність рухів: обертання навколо своєї осі вліво та вправо, ходьба вперед, підйом та спуск зі сходів.

Оберти проводились приблизно по шість секунд кожен, ходьба – по дванадцять, підйом та спуск в нормальному для людини темпі, без заміру часу. Перший раз рухи проводились

швидше, ніж у другий, щоб дані були більш варіативними.

Всього було зібрано 195 записів, зібраних у одну таблицю.

Провівши кореляцію даних між ними за допомогою Python та середовище розробки Jupyter Notebook, було отримано діаграму кореляції даних (рис. 5)

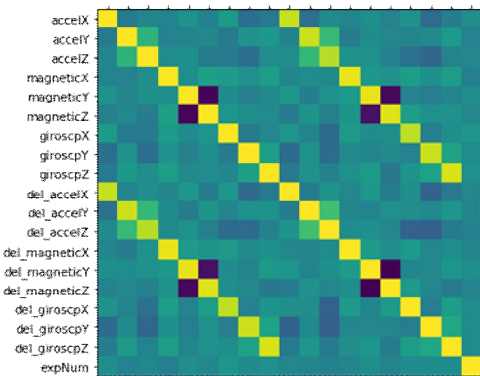


Рис. 5. Діаграма кореляції даних

Кореляція – це залежність однієї змінної величини від іншої, приймає значення від -1 до 1. Більші значення кореляції відповідають більшому зв'язку між показниками, і навпаки – чим ближче значення кореляції до нуля, тим менше величини залежать одна від однієї.

Виявлено, що явної кореляції між класом руху та обробленими даними немає, але це лише означає, що кожен параметр самостійно не може використовуватись для класифікації, тому слід використовувати їх у сукупності.

Для розробки класифікатора було вирішено використати алгоритм машинного навчання, котрий буде порівнювати дані, отримані з датчиків та дані у базі. Розглянемо деякі аспекти та алгоритми машинного навчання.

Машинне навчання з учителем займається класифікацією, маючи заздалегідь заготовлений набір дані-клас, на основі котрого здійснюється класифікація невідомих до цього об'єктів. Зрозуміло, що дані грають головну роль у тому, наскільки добре буде працювати алгоритм, тож задача збору та обробки даних займає досить багато часу та сил.

Щоб зрозуміти, наскільки добре працює алгоритм, користуються поняттям точності роботи алгоритму, тобто скільки разів алгоритм правильно виявив клас із загальної кількості питань. Для цього, зібрані дані групують у дві підгрупи: тренувальний набір та тестовий набір. Тренувальний набір зазвичай складає приблизно сімдесят відсотків від загального набору даних, отже тестовий – тридцять. В результаті отримано 4 набори: тренувальні дані, тестові дані, тренувальні класи, тестові класи.

Якщо натренована модель здатна видавати точні прогнози на нових даних, то кажуть що вона має узагальнюючу здатність. Тож чим краще вона узагальнює дані, тим краще сама модель. На



узагальненість моделі впливає її складність – наскільки модель підстроюється під навчальні дані. Коли модель надто складна, її називають перенавченою. Це означає що модель надто точна на тренувальних даних, але не точна на тестових. З іншого боку коли модель надто проста, вона буде погано працювати навіть на тренувальному наборі даних – її називають недовченою. Тож найкращим вибором буде дещо середнє, коли модель не проста і не складна.

Для початку використано гаусовий наївний байсовський класифікатор. Точність класифікатора на тренувальних даних становить 45%, а на тестових – 37%. Зрозуміло, що так як у наборі даних найбільш частий клас складає 38% від загального набору даних, тож точність класифікатора повинна бути хоча б не менше цього значення, тож отриманий класифікатор не має практичного сенсу.

Далі було використано метод  $k$  ближчих сусідів. У цього метода важливим параметром є кількість сусідів, котрі враховуються при класифікації точки даних. Було проведено серію тренувань з різною кількістю сусідів, щоб серед отриманих алгоритмів обрати кращий [6].

На рис.6. зображено графік зміни точності моделі від кількості сусідів  $k$ . Суцільна лінія зображує залежність точності моделі на тренувальних даних, а штрихована – на тестових.

На графіку видно, що оптимальна точність в 81% на тренувальних даних і 63% на тестових досягається при  $k = 3$ . Такі показники вже достатні для використання моделі у класифікаторі.

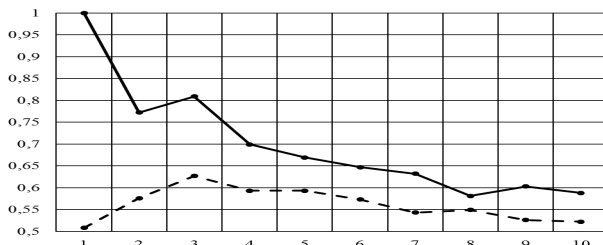


Рис.6. Графік залежності точності моделі від кількості сусідів

На рис.7 зображено матрицю точності, на котрій видно статистику по передбаченим та реальним класам.

Класифікатор cubic SVM видає точність 77% на тестових даних, здатен досить точно виявляти рухи людини вперед, повороти в сторони. Ходьба вперед та поворот вліво виявляються зі стовідсотковою точністю, поворот вправо іноді класифікується як ходьба вперед, іноді як поворот вправо, а загальна точність виявлення даного руху складає 67%. При класифікації підйомів та спусків зі сходин отримано гірші результати – майже усі дані класифікуються ходьба вперед [7].

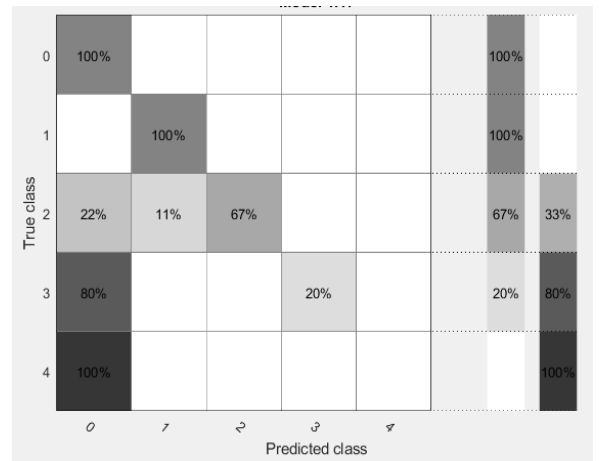


Рис 7. Матриця точності передбачень

З результатів розрахунку точності для кожного класу руху було визначено, що для покращення точності необхідно додаткові дані о вертикальному переміщенні людини. Для отримання таких даних можна скористатись барометром/акселерометром чи провівши більш детальну обробку даних з акселерометра.

## ВИСНОВКИ

В роботі розглянуто проблему керування та навігації автоматизованими роботами-аватарами. Проведено аналіз сучасних систем навігації, їх функцій та методів роботи.

Створено структурну схему навігаційного комплексу для роботів-аватарів, обрані оптимальні рішення для застосування в системі, а також функціональну схему програми для збору і обробки даних з датчиків.

Розроблено додаток для операційної системи Android, котрий здійснює збір та обробку показань датчиків в режимі реального часу. Оброблені дані зберігаються у базу даних SQLite для подальшого використання. Реалізовано розрахунок RMS для показань датчиків.

Проведено збір даних під час руху людини. Зібрано 195 записів для 5 типів руху. Проведено аналіз даних за допомогою мови Python, розраховано кореляційну матрицю.

Використовуючи бібліотеку scikit-learn та програму matlab було створено декілька класифікаторів, розраховано та порівняно їх точність. Алгоритм GaussianNB видає точність 37%, алгоритм  $k$  найближчих сусідів, точність котрого становить 63%, і класифікатор cubic SVM має 77% точності, що являється найкращим показником серед розглянутих.

Для подальшого покращення точності слід додати в систему акселерометр, чи проводити додатковий аналіз показань акселерометру для виявлення зміни вертикальних координат.

## ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

- [1] Real Time Motion Capture Using a Single-Of-Flight Camera [Електронний ресурс]. – URL: <http://www.robotics.stanford.edu/~koller/Papers/Ganapathi+al:CVPR10.pdf> (дата звернення 18.04.18).
- [2] A Real-Time Articulated Human Motion Tracking Using Tri-Axis Inertial/Magnetic Sensors Package [Електронний ресурс]. – URL: <http://edge.rit.edu/edge/P10010/public/System%20and%20Interfacing%20Concept/System%20concept.pdf> (дата звернення 23.04.18).
- [3] Рошин Д. А. Методика применения систем технического зрения для бесконтактных измерений параметров объектов на примере воздушной разведки / Д. А. Рошин. – Москва : ФГБУ «3 ЦНИИ», 2017. – 259 с.
- [4] A. C. Muller, Introduction to machine learning with Python / A. C. Muller, S. Guido – USA : O'Reilly Media, 2016 – 393 p.
- [5] Documentation for android development using java. Android reference [Електронний ресурс]. – URL: <https://developer.android.com/reference/android/package-summary/> (дата звернення 12.03.18)
- [6] The class and function reference of scikit-learn library. API reference [Електронний ресурс]. – URL: <http://scikit-learn.org/stable/modules/classes.html> (дата звернення 17.03.18)
- [7] Hendrik H. Accurate 3D Positioning for a Mobile Platform in Non-Line-of-Sight Scenarios Based on IMU/Magnetometer Sensor Fusion / , Zakaria Kasmi, Abdelmoumen Norrdine, Andreas Eichhorn // Sensors, 2017 – 19 с.

# Застосування лінійної апроксимації множини точок методом МНК у задачі побудови моделі оточуючого простору мобільним роботом

Іхтіяров Артем

Кафедра КІТАМ, Харківський національний університет радіоелектроніки, УКРАЇНА,  
Харків, пр. Науки. 14, email: [artem.ikhitiarov@nure.ua](mailto:artem.ikhitiarov@nure.ua)

**Анотація:** В даній роботі наведено основні відомості про застосування лінійної апроксимації множини точок методом МНК у задачі побудови моделі оточуючого простору мобільним роботом.

**Ключові слова:** МНК, апроксимація, алгоритм, мобільний робот.

## I. ВСТУП

Для успішної навігації у оточуючому просторі, робототехнічна система повинна будувати маршрут, коректно задавати кути обертів коліс та швидкість їх обертання, правильно інтерпретувати інформацію щодо оточуючого середовища, яка надходить з датчика, та постійно відслідковувати власні координати.

Побудова моделі оточуючого простору мобільним роботом представляє собою комплексну проблему, можливість вирішення якої знаходиться у безпосередній залежності від якості використовуваних інформаційно-вимірних засобів, а також, умов оточуючого середовища.

## II. ОПИС МЕТОДУ ЛІНІЙНОЇ АПРОКСИМАЦІЇ ДАНИХ, ЩО ОТРИМУЮТЬСЯ ВІД МОБІЛЬНОГО РОБОТА

Коло задач, що потребують одночасного вирішення проблеми локалізації та побудови моделі оточуючого простору в умовах неідеальних інформаційно-обчислювальних засобів, вносить до розробки програмного забезпечення безліч складних аспектів.

Одним з найголовніших аспектів картографування є обробка інформації з далекомірів, що встановлено до мобільного робототехнічного пристрою. Необхідно враховувати й коректно оброблювати вхідну інформацію з датчиків перед тим, як будувати на її основі карту оточуючого простору насамперед тому, що від якості й точності карти залежить можливість успішної навігації й виконання поставлених задач перед мобільним робототехнічним пристроєм. Складність полягає у необхідності належним чином відтворити

регресивну залежність й невідомі величини серед великих масивів даних, які представляють собою набори координат відносних й абсолютних координат точок ( $x$  та  $y$ ) у двовимірному недетермінованому просторі, серед яких може бути немала частина вимірювальних похибок, пов'язаних із природою поведінки відбиття ультразвукових хвиль від поверхні, за допомогою яких я вимірюється відстань.

Задля вирішення поставленої задачі з апроксимації множини точок прямою проведено аналіз наступних методів:

– метод послідовних наближень: суть методу базується на геометричній аксіомі, яка стверджує, що через будь які дві сусідні точки, що належать одній площині, можливо провести пряму. Далі, якщо кожна наступна точка лежить достатньо близько до уже проведеної прямої, пряма коректується з урахуванням цієї точки. У протилежному випадку, нова точка й наступна вважаються початком наступної прямої. Виконання методу вважається завершеним, коли всі точки будуть належати тій чи іншій прямій;

– метод  $k$ -середніх: основна мета полягає у тому, що на кожній ітерації переобчислюється центр мас для кожного поєднання декількох точок, що були отримані на попередньому кроці, потім, вектори розбиваються на нові поєднання точок (кластери) у відповідності із тим, який з нових центрів потрапив ближче до обраної метрики. Виконання методу вважається завершеним, коли під час ітерації не здійснюється зміння внутрикластерної відстані. Це здійснюється за кінцеву кількість ітерацій у зв'язку із тим, що кількість можливих розбиттів кінцевої множини кінцева, а на кожному кроці, сумарне квадратичне відхилення зменшується, тому зациклення неможливе.

– метод найменших квадратів (МНК): для вирішення задачі за цим методом, достатньо підібрати такий набір параметрів прямої, за яких всі точки наближення були б розташовані до неї максимально близько.

– метод RANSAC: метод базується на зборі статистики о вхідних даних. З загального набору вхідних точок випадковим чином обирається деяка підмножина фіксованого розміру, яка апроксимується прямою. Цей процес виконується декілька разів. Пряма, поблизу якої трапилась найбільша кількість точок із великою ймовірністю є найкращою апроксимацією всієї множини вхідних точок.

З проаналізованих методів, задля вирішення задачі апроксимації множини точок, обрано метод найменших квадратів, що базується на основних елементах ймовірності й статистики та має допустиму алгоритмічну й складність обчислювальну складність, що задовільнює потребам у своєчасній обробці великих обсягів вхідної інформації у реальному масштабі часу.

Аналіз показав, що метод здатен до великих узагальнень. Замість того, щоб знайти найкращу лінію відповідності, можливо знайти найкращу

відповідність, що задана будь якою кінцевою лінією комбінацій заданих функцій за більш короткий проміжок часу. Таким чином, загальною задачею є: для функцій  $f_1, \dots, f_k$ , знайти значення коефіцієнтів  $a_1, \dots, a_k$  такі, щоб лінійна комбінація (1):

$$y = a_1 \cdot f_1(x) + \dots + a_k \cdot f_k(x) \quad (1)$$

представляла собою найкраще наближення до даних.

Враховуючи послідовність даних  $x_1, \dots, x_n$ , стає можливим визначити середнє (або очікуване) значення:  $(x_1 + \dots + x_n) / n$ . Позначимо це, виразивши строку під  $x$  наступним чином:

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \cdot \sum_{n=1}^n x_n \quad (2)$$

Формула (2) відображає середнє значення даних.

Розглянемо наступні дві послідовності даних:  $\{1, 2, 3, 4, 5\}$  та  $\{3, 3, 3, 3, 3\}$ . Обидва набори даних мають однакове середнє значення, проте, перший набір даних має більше відхилення відносно середнього значення. Це приводить до виникнення дисперсії, що представляє собою корисний інструмент для кількісної оцінки того, скільки наборів даних коливається відносно його середнього значення. Дисперсія значень  $x_1, \dots, x_n$ , позначається  $\sigma^2$ , та визначається наступним виразом (3):

$$\sigma^2_x = \frac{1}{n} \cdot \sum_{n=1}^n (x_i - \bar{x})^2 \quad (3)$$

Стандартне відхилення  $\sigma_x$  є квадратним коренем з дисперсії (4):

$$\sigma_x = \sqrt{\frac{1}{n} \cdot \sum_{n=1}^n (x_i - \bar{x})^2} \quad (4)$$

Важливо відзначити, що якщо хвимірюється у метрах, то дисперсія  $\sigma^2$  вимірюється у квадратних метрах. Таким чином, стандартне відхилення задає досить непогану міру відхилення значень  $x$  від середнього.

Можливо використовувати альтернативні міри обчислення. Наприклад, можна розглядати її (5) (міру обчислення) як:

$$\frac{1}{N} \sum_{n=1}^N (x_T - \bar{x}) \quad (5)$$

Проте, цей вираз є знаковим та великі додатні значення можуть бути компенсовані великими від'ємними числами, що, в свою чергу, може привести до того, що визначене середнє значення буде дорівнювати нулю, що є неприйнятним. Таким чином, це буде неприйнятною мірою визначення мінливості даних тому як вона може дорівнювати нулі незалежно від значень даних.

Ми можемо виправити цей недолік, застосувавши абсолютні значення. Тоді, вираз (5) набуде вигляду:

$$\frac{1}{N} \sum_{n=1}^N [x_n - \bar{x}] \quad (6)$$

Не зважаючи на те, що абсолютні значення дозволяють запобігти анулювання помилок (а також, з тими ж одиницями, що й  $x$ ), функція абсолютних значень не є досить гарною функцією з аналітичної точки зору. Вона не диференційована. Перш за все, саме тому ми розглядаємо стандартне відхилення, виражене через квадратний корінь з дисперсії – це дозволить нам використовувати стандартні інструменти обчислення.

Тепер ми можемо кількісно визначити, що маємо на увазі під «найкращим образом». Якщо припустимо, що  $y = ax + b$  тоді  $y - (ax + b)$  повинно дорівнювати нулю. Таким чином, дані спостереження:

$$\{(x_1, y_1), \dots, (x_N, y_N)\} \quad (7)$$

Приймуть вигляд:

$$\{y_1 - (ax_1 + b), \dots, y_N - (ax_N + b)\} \quad (8)$$

Середнє значення повинне бути досить невеликим (якщо воно оптимальне), а дисперсія буде вимірювати, наскільки гарну відповідність ми маємо.

Функція дисперсії для представленого таким чином набору даних матиме вигляд:

$$\sigma_{y-(ax+b)}^2 = \frac{1}{N} \sum_{n=1}^N (y_n - (ax_n + b))^2 \quad (9)$$

Великі помилки матимуть більшу вагу, ніж менші помилки через возведення підвиразу до квадрату. Таким чином, отримана процедура схильна до багатьох помилок середнього розміру замість декількох великих помилок. Якщо б ми використовували абсолютні значення для вимірювання помилки (7), то всі помилки мали б однакову вагу, проте, функція абсолютних значень не є диференційованою, отже, інструменти обчислення стали б недоступними.

Для набору даних  $\{(x_1, y_1), \dots, (x_N, y_N)\}$ , ми можемо визначити помилку, пов'язану із ствердженням, що  $y = ax + b$  наступним чином:

$$E(a, b) = \sum_{n=1}^N (y_n - (ax_n + b))^2 \quad (10)$$

Це лише  $N$  разів дисперсія набору даних  $\{y_1 - (ax_1 + b), \dots, y_N - (ax_N + b)\}$ . Так або інакше, не має значення, чи визначаємо загальну дисперсію або  $N$  разів дисперсію як нашу помилку, важливо відзначити, що помилка є функцією двох змінних. Мета полягає в тому, щоби знайти значення  $a$  та  $b$ , що мінімізують

помилку. Для цього, у багатопараметричному обчисленні, необхідно знайти такі значення  $a$  та  $b$ , що:

$$\frac{\partial E}{\partial a} = 0, \quad \frac{\partial E}{\partial b} = 0 \quad (11)$$

Необхідно відзначити, що немає потреби турбуватися про граничні точки, оскільки із зростанням  $|a|$  та  $|b|$ , відповідність (даних) буде явно погіршуватись та погіршуватись.

Диференціювання  $E(a, b)$  дає:

$$\frac{\partial E}{\partial a} = \sum_{n=1}^N 2(y_n - (ax_n + b)) \cdot (-x_n)$$

$$\frac{\partial E}{\partial b} = \sum_{n=1}^N 2(y_n - (ax_n + b)) \cdot 1 \quad (12)$$

Прийнявши, що  $\frac{\partial E}{\partial a} = \frac{\partial E}{\partial b} = 0$  (та розділивши на 2), отримаємо:

$$\sum_{n=1}^N (y_n - (ax_n + b)) \cdot x_n = 0$$

$$\sum_{n=1}^N (y_n - (ax_n + b)) = 0 \quad (13)$$

Перепишемо ці рівняння як:

$$\left(\sum_{n=1}^N x_n^2\right)a + \left(\sum_{n=1}^N x_n\right)b = \sum_{n=1}^N x_n y_n$$

$$\left(\sum_{n=1}^N x_n\right)a + \left(\sum_{n=1}^N 1\right)b = \sum_{n=1}^N y_n \quad (14)$$

Таким чином, значення  $a$  та  $b$ , що мінімізують похибку визначену у (9), задовольняють наступному матричному рівнянню:

$$\begin{pmatrix} \sum_{n=1}^N x_n^2 & \sum_{n=1}^N x_n \\ \sum_{n=1}^N x_n & \sum_{n=1}^N 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} a \\ b \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \sum_{n=1}^N x_n y_n \\ \sum_{n=1}^N y_n \end{pmatrix} \quad (15)$$

Покажемо, що матриця не є виродженою, тоді:

$$\begin{pmatrix} a \\ b \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \sum_{n=1}^N x_n^2 & \sum_{n=1}^N x_n \\ \sum_{n=1}^N x_n & \sum_{n=1}^N 1 \end{pmatrix}^{-1} \begin{pmatrix} \sum_{n=1}^N x_n y_n \\ \sum_{n=1}^N y_n \end{pmatrix} \quad (16)$$

Позначимо матрицю як  $M$ . Детермінант  $M$  дорівнює:

$$\det M \sum_{n=1}^N x_n = \sum_{n=1}^N x_n^2 \sum_{n=1}^N 1 - \sum_{n=1}^N x_n \cdot \sum_{n=1}^N x_n \quad (17)$$

Тоді

$$\bar{x} = \frac{1}{N} \sum_{n=1}^N x_n \quad (18)$$

Вичислимо, що

$$\begin{aligned} \det M &= N \sum_{n=1}^N x_n^2 - (N\bar{x})^2 = \\ &= N^2 \left( \frac{1}{N} \sum_{n=1}^N x_n^2 - \bar{x}^2 \right) = \quad (19) \\ &= N^2 \cdot \frac{1}{N} \sum_{n=1}^N (x_n - \bar{x})^2 \end{aligned}$$

де остання рівність випливає із простої алгебри. Таким чином, доки всі  $x_n$  не рівні,  $\det M$  буде відмінним від нуля, а  $M$  буде невиродженою. Звідси випливає, що до тих пір, доки не всі  $x$  рівні, кращі значення набору даних  $a$  та  $b$  отримуються шляхом вирішення лінійної системи рівнянь (16).

Задля виконання усіх обчислень, розроблено необхідні функції й класи для програмного забезпечення, що реалізує обробку інформації й обмін між персональним комп'ютером й мобільним робото технічним пристроєм, за допомогою bluetooth'а.

Демонстрацію результатів, отриманих за допомогою розробленої частини програмного забезпечення, наведено на рисунку 1.

```

C:\Users\Teddy\Bear\Desktop\MNK\MNK\bin\Debug\MNK.exe
Input data
x: 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16
y: 7 5 8 7 5 9 9 6 5 7 9 6 6 6 7
Standard deviation: 1.3745958877476
Regression function: y(x) = -0.0142857142857142x + 6.92857142857143
Coefficient a0 : 6.92857142857143
Coefficient a1 : -0.0142857142857142
y(x) = 6.9
y(x) = 6.88571428571429
y(x) = 6.87142857142857
y(x) = 6.85714285714286
y(x) = 6.84285714285715
y(x) = 6.82857142857143
y(x) = 6.81428571428572
y(x) = 6.8
y(x) = 6.78571428571429
y(x) = 6.77142857142857
y(x) = 6.75714285714286
y(x) = 6.74285714285715
y(x) = 6.72857142857143
y(x) = 6.71428571428572
y(x) = 6.7
*****
Coefficient a0 : 6.02157802157807
Coefficient a1 : 0.24751332247185
Coefficient a2 : -0.0145442792581616

```

Рис.1. Демонстрація результатів обчислень за допомогою розробленого програмного забезпечення

На рисунку 1 наведено вхідні дані, обчислене середньоквадратичне відхилення, функцію регресії й обчислені для неї коефіцієнти.

На рисунку 2 наведено графічне представлення оброблених результатів

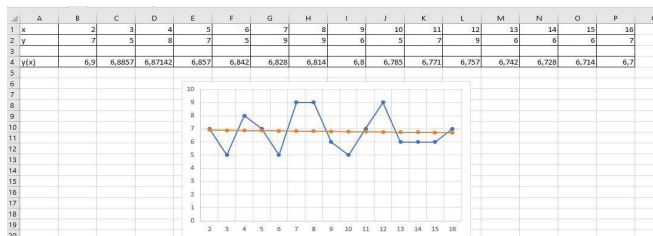


Рис. 2. Графічне представлення оброблених результатів

### III. ВИСНОВКИ

На сучасному етапі технологічного розвитку, робототехнічні пристрої знаходять все більше сфер застосування у людській діяльності. Це обумовлено, на сам перед тим, що робототехнічні пристрої здатні працювати краще, довше та надійніше, ніж людина, цілком виключаючи такі

систематичні похибки, як «людський фактор». Планування робочого простору робототехнічним пристроєм, дозволить людині отримувати точну, якісну та зручну для розуміння інформацію, без докладання фізичних зусиль.

Актуальність полягає у тому, що застосування робототехнічного пристрою, яке розроблено для планування робочого простору та оснащено мінімальними апаратними засобами, дозволить отримати модель забрудненого радіацією, або шкідливими для здоров'я людини токсинами, без ризику втрати дорогокоштуючих спеціальних роботів. Отримана, на підставі розробленого програмного забезпечення модель, дозволить впевнено переміщатися по забрудненій території спеціально-орієнтованим роботам, без ризику зіткнення із перешкодами.

В роботі наведено основні відомості про застосування лінійної апроксимації множини точок методом МНК у задачі побудови моделі оточуючого простору мобільним роботом й продемонстровано результати функціонування розробленого програмного забезпечення. Обробка даних таким чином дозволить будувати карту оточуючого простору мобільним роботом, із послідуною навігацією за нею.

### ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

- [1] Даринцев О.В., Мигранов А.Б. Использование нейронной карты для планирования траектории мобильного робота. // Искусственный интеллект. 2009. №3. С. 300-307.
- [2] Управление роботами. Состояние и перспективы [Текст]: материалы XX общ. собрания академии навигации и управления движением, 26 октября 2005 г. С.-Петербург / редкол.: П.К.Плотников (отв. ред.). - С.-Петербург: Электроприбор, 2008. - 20 с.
- [3] Скиена С. Алгоритмы. Руководство по разработке [Текст] / С. Скиена - 2-е изд.: Пер. с англ. — СПб.: БХВ-Петербург. 2011. — 720 с.
- [4] Gavrilo A.V., Lee S/-Y. An Approach for Invariant Clustering and Recognition in Dynamic Environment. // Advances and Innovations in Systems, Computing Science and Software Engineering (Ed. Khalet Elleithe). Heidelberg: Springer. 2007. P.47-52.
- [5] Paul E. B. Dictionary of Algorithms, Data Structures, and Problems. [Электронный ресурс] / Paul E. B. - режим доступа: <http://foldoc.org/algorithm>.
- [6] H. Strasdat, A.J. Davison, J.M.M. Montiel, and K. Konolige, Double Window Optimisation for Constant Time Visual SLAM Accepted for the IEEE International Conference on Computer Vision (ICCV), 2011.

# Control Method for Multi-assortment Production Processes

Anatoliy Ladanyuk<sup>1</sup>, Viacheslav Ivaschuk<sup>1</sup>, Yaroslav Smityukh<sup>1</sup>

1. IASU Department, Kyiv, National University of Food Technologies, UKRAINE,  
Kyiv, Volodimirska st.,68, e-mail: ivaschuk@nuft.edu.ua

**Abstract:** The paper describes the method of efficiency control that had been developed for automation of multi-assortment processes for control. Main attention was paid to special qualities of the functional structure as well as the integrated human interface and the machine to maintain the adequacy of the intelligent model.

**Keywords:** assortment product, dynamic, case event.

## I. INTRODUCTION

The development of processing industry is closely related with the demand for final products which had characteristics that depend on consumer preferences and tend to change by product cycle. Methods for change of product characteristics which are implemented by the variation of recipes, characteristics of raw materials and parameters of the processing are form the concept of production assortment.

The main structural unit of the multi-assortment product (MAP) is technological complexes which consist of technological processes and aggregates, where the complex processes of heat and mass transfer, hydrodynamics, physical and chemical transformations of a substance are proceed for finished product or semi-finished product produce. Usually, for this processes the considerable resources of material and energy are dependent, the optimal use of which directly affects on quality and cost of products. The decision maker person (DMP) assists for processes of TC, organizational and technological systems which makes it possible for uses of complex methods for evaluation of processes and the formation of control actions, because the processes of TC is the main source of production efficiency. The articles to discuss some aspects of development, analysis of the functioning and creation of a control system for MAP in various industries are present in the technical literature [1-3] but the conditions of full solution for food industry in such papers were not performed. The MAP food products had been selected into a separate class of control objects by many features, such as a time of stocks and raw materials processing, short times for storage of finished products, strict demands of product quality, purity and consumer attractiveness, seasonal fluctuations of demand, market situation, etc. As a typical instance of the MAP there are dairy, baking, confectionery, beverage production, etc. Each step for assortment increasing of dairy, vegetable processing, bakery industry has a complex manufacturing and technology development, and the process of its implementation requires the technical re-equipment of production, construction of a separate technological line [4]. This way requires

substantive volume of material, the share of which is related to development of technological apartment, increase of production space which is determined by location of such production and as a consequence is the limits for production assortment. The reconfiguration of technological units at industrial locality is lead to complications of control systems that do not provide of stability conditions as necessary which is determine to decline in product quality and increase in energy consumption as unforeseen. The evaluation of parameters identity of processing for changes in modes of equipment is complicated because the object of control over the structure states and modes of work often can be represented by nonlinear models at circumstances that are pointed, with the ambiguous inverse reactions that are involved. Low quality control, for the use of linear type models (Fig.1), leads to additional losses in product characteristics.

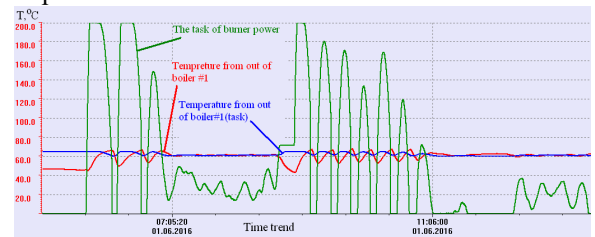


Fig. 1 The control process of water boiling by uses of linear model

For multi-assortment technologies, it is a need in the creation of new control methods that would response to nature of variability of processes in TC (technological system), in conjunction with methods to solve optimization problems like increment of resource or energy efficiency of production in most cost.

## II. DECISION MAKING UNDER UNCERTAINTY

We define the restriction for alternatives of object states in the class of organization-technological systems for the control of MAP, where its entropy by features that was determined:

$$H(y) = 0.$$

So as the state of object is evaluated by single criterion  $y'$  and set in one of  $n$  states by probability  $p(y'_1), \dots, p(y'_n)$ , so the dimension of information basis is the adequacy of entropy  $H(y)$  as a measure of state uncertainty of object:



$$H(y) = -\sum_{i=1}^n p(y'_i) \log p(y'_i), \quad (1)$$

that requires to reduce entropy by information redundancy:

$$J(y, y') = H(y) - H(y/y'), \quad (2)$$

where  $H(y/y')$  is a conditional entropy for determine of object state after update a new information about  $y'$ .

The strategy for control synthesis for the MAP will be determined by the following steps as the entropy approach of obtaining information:

- reduce the number of alternative states  $H(y)$  of object to improve the quality of control;
- increase the number of control variables for  $H(x)$  which should correspond to the variety of object states by  $H(y)$ ;

- reduce the ambiguity of control variables relative to object states  $H(x/y)$  by increase the information about condition and external environment of object, up to constrain the dimension of space for coordinates change of object state which should be adequate to the dimension of control variables which is conditioned by the necessity of satisfy to diversity principle of W. R. Ashby for to develop a subsystem of decision making support by the implementation of case control.

But the technical implementation of such control as for assessment multicriteria is technically complicated. Thus, the implication of decision maker by limited information basis is an alternative for control of MAP.

The decision to control of MAP is chosen from a group of possible alternatives by development of situations that allow reduce the dimension of alternatives group. The reduction of this group dimension is provided by the method of pairwise comparison as an alternative solution. This method allows to resolve the conflict situations in particular by use of criteria which is characterized as mutually correlative by arguments of criterion for the case increasing of control dimension. For the alternative  $x$  from group  $X_i$ , so for  $x \in X_i$  is the target criterion which reproduces a partial projection of the goal, when it is defined as a function  $q(x)$ , where the adjacent alternative  $X_{i+1}$  determine the competitive strategy of choice

$$X_{i+1} : (X_i > X_{i+1}) \Rightarrow q(X_i) < q(X_{i+1}). \quad (3)$$

Previously, we stipulate that the choice of any alternative leads unambiguously to an effective resolve. Thus,  $X^*$  is the best alternative that has the highest value of criterion:

$$X^* = \arg \max_{x \in X} q(x). \quad (4)$$

The numerical method for searching  $X^*$  is determined by the type of function  $q(x)$ : the

dimension of arguments, the presence of extremums, points of function discontinuity. The choice of adequate control of MAP is being constructed by a multilayer functional principle of subordination which requires the formation of a dynamic multi-stage structure of situation assessment (Fig. 2).

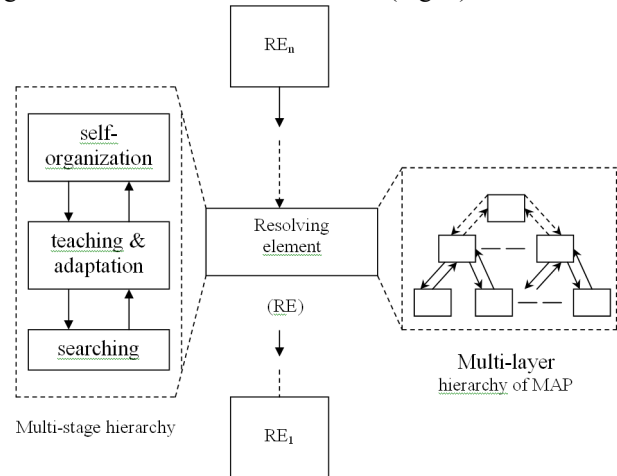


Fig. 2 The structure of decision-making for control of the MAP

In this way, the evaluation of response for control of MAP as the elements of upper level of hierarchical system are used for increasing the information basis about of MAP objects by to increasing the number of system's behavior aspects.

The further application of the multi-headed principle determines the element of the upper level as a "command" for other elements and the consequences of determining state as the basis of solutions determination for totality approach to state of all subordinate elements to the general purpose of control. Moreover, the elements of the upper level leave adequate system behavior over longer time periods.

Therefore, the sample for state determination is estimated by location hierarchy of element and volume of decision risk, where the increase of risk responsible to an increase of training sample size.

The problem of large dimension is solved in article by decreasing the number of alternative variants for  $X$  which is limited by set of  $H_m$  that are distinguished at the next  $m$  stage of raw materials processing.

### III. CONCLUSION

The system that had been represented makes it possible to simplify the control of TP of a production complex with minimization of risks provided by violation of technological norms of production. The method that had been involved allows to increase the efficiency of MAP production, by maintaining the adequacy of the functions by which the control decisions are formed. This method ensures minimization of static control errors.

The estimation of decisions by the model which reduces the level of uncertainty, provides minimization of energy costs for processing of the



unit of product. The examples that had been used indicate a decrease of the process variability in relation to the application of classical control systems.

The next improvement of the MAP relates by the optimization of dimension of control actions to ensure controllability, reduction uses of energy during transients, the enhancement of the number of productivity task and range of assortment. The obtained result can be effectively used in tasks where the function  $q(x)$  loses its adequacy during the change of assortment.

The efficiency of control of technological processes and aggregates is evaluated by a generalized indicator that has interpretation as a cost function, and its value depends of control quality of technological variables and is coinciding with characteristics of energy and resource efficiency.

The reduction of group of partially defined alternative that used for decision-making strategies for control is conditioned by the next state estimation of technological route. Sequence of stages is accompanied by restrictions of predefined risks of efficiency loss and accidents emergence. The group of states of individual processes is limited by technological product card. The vector of process characteristics changes the space of permissible variation for each product. Thus, the space of uncertainty of coordinates decreases and the process state obtained by the number of alternatives  $q(x)$  which doesn't allows linearization.

The formation of constraints  $sub(X)$  to determine the space  $X \cap H$  of possible solutions are obtaining the raw material characteristics as coordinates of  $H$ , investment flow  $dI_{pr} / dt$  for function processing and maximum specific losses  $dI_{vir} / dF_{sir}$ . Involving the analysis by a group of arguments allows to provide  $max[dI_{vir} / dF_{sir} / (dI_{pr} / dt)]$ .

This method of construction solutions admits a flexible strategy with relative to characteristics of the TP as an instance of class of dynamic programming. Another example is the involvement of algorithm to control a group of water-heating boilers that provide the dynamic load. The destructive variable is the pressure in the water supply network. An additional complication is the necessary regulation of heat power by using group of boilers, introducing variability and dynamic error as a consequence during change of modes and load task by temperature (heating / domestic water). The loss by error (Fig. 1) which is estimated for the dimensions of coordinates that had been involved for the decision-making task  $n$ , justifies the effectiveness of strategy along with the classical methods of coordination of control

The adding a new product is only available with the support of operator to determine the signs of an alternative production strategy by stochastic cognitive behavior and a cumulative assessment of

persistent situations. In this way it is possible to reduce the entropy of states (Fig. 3).

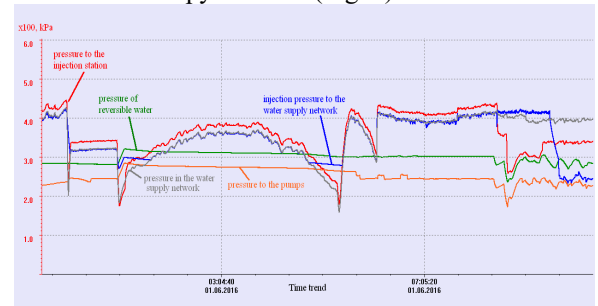


Fig. 3 The structure of decision-making for control of the MAP

The system that had been represented makes it possible to simplify the control of TP of a production complex with minimization of risks provided by violation of technological norms of production. The method that had been involved allows to increase the efficiency of MAP production, by maintaining the adequacy of the functions by which the control decisions are formed. This method ensures minimization of static control errors.

The estimation of decisions by the model which reduces the level of uncertainty, provides minimization of energy costs for processing of the unit of product. The examples that had been used indicate a decrease of the process variability in relation to the application of classical control systems. The next improvement of the MAP relates by the optimization of dimension of control actions to ensure controllability, reduction uses of energy during transients, the enhancement of the number of productivity task and range of assortment.

The obtained result can be effectively used in tasks where the function  $q(x)$  loses its adequacy during the change of assortment.

## REFERENCES

- [1] A.Tomasella, M. Clerici, Sacconi M. 'Optimal reconfiguration policy to react to product changes', International Journal of Production Research, 2008, 10(46), 2651-2673.
- [2] Wiendahl H.-P. Changeable manufacturing - classification, design and operation. CIRP Annals: Manuf. Tech. 2007. 56(2), 783-809.
- [3] Terkaj W., Tolio T., Valent A. 'Focused flexibility in production systems: Changeable and reconfigurable manufacturing systems', 2009, Springer-Verlag, 47-66.
- [4] Ivashchuk V., Ladaniuk A. 'Definition of depth for flexibility of technological system'. in Ukrainian Food Journal. 2015. 3(2), 233-242.

# Розробка технології створення тривимірної моделі в синхронному середовищі проектування сучасних САПР

Володимир Тігарєв<sup>1</sup>, Віра Салій<sup>2</sup>, Павло Зайцев<sup>3</sup>

1. Кафедра ІТІМ, Одеський національний політехнічний університет, УКРАЇНА, 65044, Одеса, просп. Шевченко, 1, email: volodymyr\_t@ukr.net
2. Кафедра ІТІМ, Одеський національний політехнічний університет, УКРАЇНА, 65044, Одеса, просп. Шевченко, 1, email: svi099svi@gmail.com
3. Кафедра ІТІМ, Одеський національний політехнічний університет, УКРАЇНА, 65044, Одеса, просп. Шевченко, 1, email: pava77mu@gmail.com

**Анотація:** В даній роботі розглядається технологія створення тривимірної моделі деталі типу Корпус в синхронному середовищі проектування сучасної САПР Solid Edge. Докладно наведено особливості створення та редагування тривимірної моделі деталі та її елементів.

**Ключові слова:** Синхронна технологія, моделювання, параметрична модель.

## I. ВСТУП

Проектування сучасних виробів машинобудування важко уявити без участі систем автоматизованого проектування (САПР), що реалізують 3D-моделювання об'єктів. В рамках передових концепцій підтримки життєвого циклу виробу 3D-моделювання залишається центральною складовою всього процесу роботи з виробом, за допомогою якого інженер-конструктор створює 3D-моделі деталей і складальних одиниць, а також комплект конструкторської документації. В умовах активного впровадження в конструкторську практику сучасних САПР, переходу підприємств на електронний документообіг, а також появи стандарту на електронну модель виробу, стає очевидною важливість підготовки молодих фахівців в області САПР [1].

Існує два принципово різних підходи до процесу 3D-проекування – це параметричне та пряме проектування.

Параметричне проектування ґрунтується на параметрах конструктивних елементів геометрії моделі та зв'язків між цими параметрами. Зв'язки між конструктивними елементами моделі ієрархічно організовуються у вигляді лінійного дерева, що відображає послідовність її побудови та зв'язку типу «батько-нащадок» [1,2]. Перевагою є передбачуваність поведінки моделі при зміні її параметрів. Але є і суттєві недоліки: в складних моделях таку передбачуваність можна забезпечити, лише ретельно продумавши стратегію її побудови. А при необхідності внести найменші зміни, які можуть призвести до порушення зв'язків та ієрархії конструктивних елементів, і, як наслідок, до краху моделі.

Одночасно з параметричним проектуванням розвивався підхід прямого моделювання (без

дерева побудови та жорстких зв'язків між конструктивними елементами). Значна перевага полягає, перш за все, у високій гнучкості проектування і швидкому внесенні змін у геометрію [1]. Але є і ряд очевидних недоліків: труднощі з побудовою складних конструктивних елементів, складно контролювати розміри і вносити зміни, які порушують структурну цілісність моделі.

## II. ОСНОВНА ЧАСТИНА

В 2008 році компанією-розробником Siemens PLM Software було введено в обіг термін «синхронна технологія» – в якості найменування пропонуваного рішення, що дозволяє поєднати суворе управління процесом проектування з історією моделі (history – based) і його відтворюваність з тією свободою і гнучкістю для проектувальника, яку надають системи прямого моделювання (рис.1). Тобто синхронна технологія дозволяє змінювати функціонал прямого моделювання безпосередньо в параметричному середовищі. Ця технологія якісно змінила продукт компанії Siemens PLM Software і до цього дня залишається основним засобом підвищення швидкості і зручності проектування [1,3].

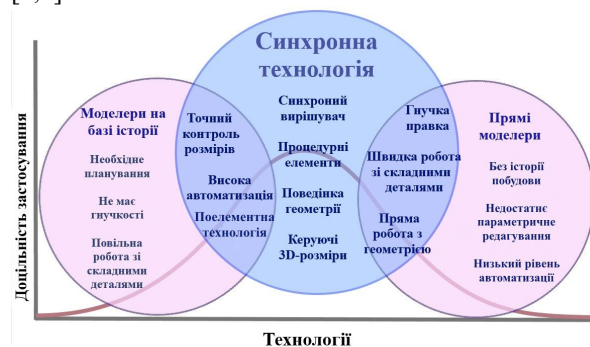


Рис. 1. Синхронна технологія як принцип, що об'єднує у собі елементи прямого і параметричного моделювання

Дана технологія реалізує принципово новий підхід – побудова 2D-ескізу відбувається безпосередньо в середовищі 3D-моделювання (рис.2) [2], де одразу накладаються геометричні

обмеження. Завдані в 2D-ескізі розміри мігрують в 3D-модель і стають, так званими, керуючими 3D-розмірами. Використовуючи їх можливо безпосередньо і динамічно керувати геометрією 3D-моделі, не звертаючись до 2D-ескізу. Це дозволяє проектувальнику економити час на переході в окреме середовище редагування ескізу, як це реалізовано в параметричних CAD [4].

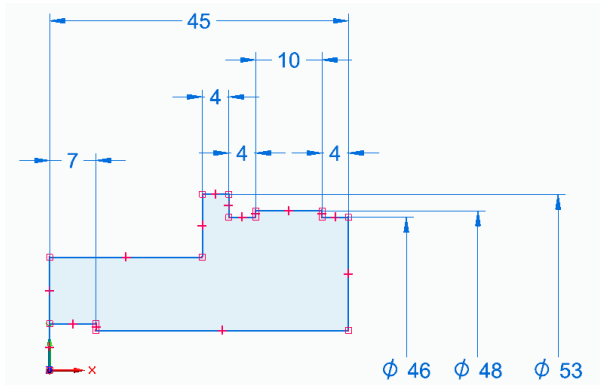


Рис.2. Створення 2D-ескізів безпосередньо у середовищі тривимірного моделювання

За допомогою керуючих 3D-розмірів і геометричних зв'язків між 3D-об'єктами в синхронній технології реалізовано точний контроль геометрії (рис.3, рис.4). Для цього використовується унікальна технологія «Поведінка геометрії», яка аналізує поверхні 3D-моделі, до яких застосовується операція редагування, вона автоматично розпізнає і визначає можливі геометричні зв'язки, та зберігає їх в процесі редагування, навіть якщо модель імпортована з іншої CAD системи.

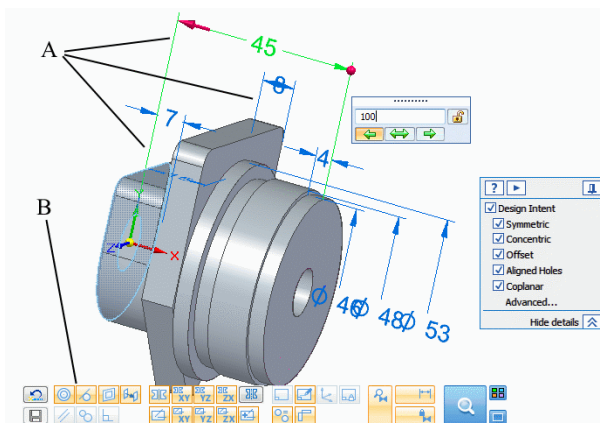


Рис.3. Редагування конструктивного елемента за допомогою керуючого розміру. Керуючі 3D-розміри (A) та поведінка геометрії (B)

Технологія автоматичного пошуку та підтримання зв'язків у 3D-моделі («Поведінка геометрії») є однією з основ синхронного моделювання [5], у тому числі, при імпорті геометрії з іншої CAD системи. В процесі проектування не потрібно задавати геометричні зв'язки вручну – система сама виконує їх пошук і відстеження. За замовчуванням підтримується

пошук і відстеження таких зв'язків, як горизонтальність/вертикальність, симетрія копланарність, дотичність, концентричність та ін.

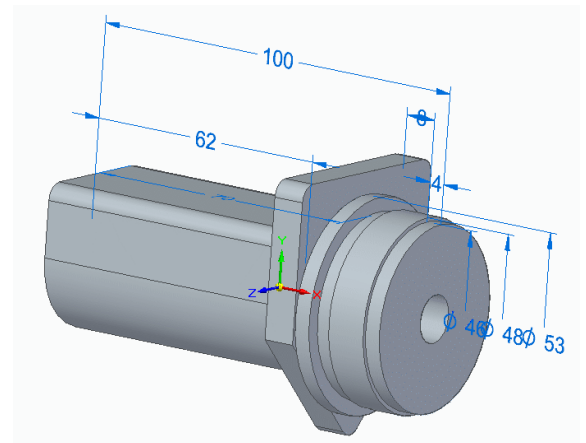


Рис. 4. Результат редагування конструктивного елемента за допомогою керуючого розміру

Дана технологія дозволяє автоматично підтримувати конструкторський задум, без застосування до моделі очевидних геометричних обмежень[1,2]. Наприклад, симетрія граней відносно базової площини XY при обертанні однієї з них за допомогою рульового колеса представлено на рис 5.

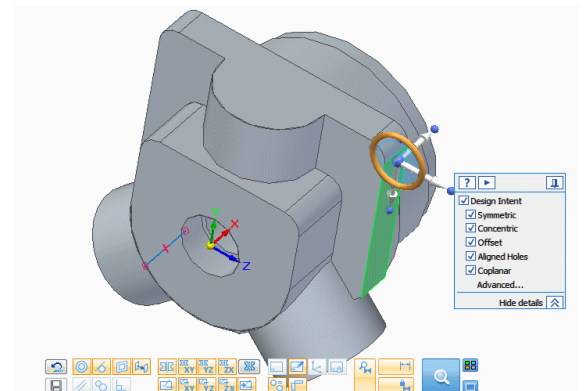


Рис. 5. Автоматичне відстеження 3D-зв'язків при зміні геометрії моделі у синхронному середовищі

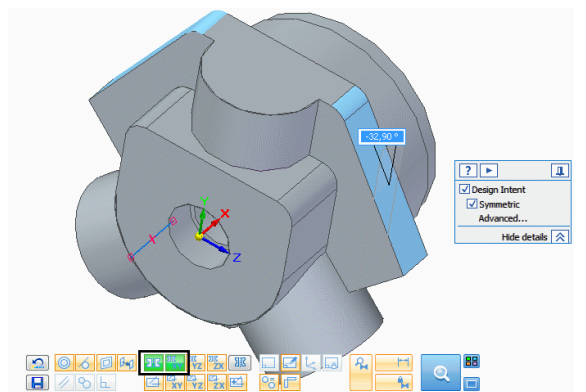


Рис. 6. При зміні геометрії моделі у синхронному середовищі до уваги беруться тільки ті зв'язки, які безпосередньо задіяні в змінених конструктивних елементах

У синхронному середовищі Solid Edge є можливість створювати складні конструктивні елементи (отвори, масиви, сполучення, тонкостінні оболонки – так звані процедурні елементи) за допомогою діалогового процесу завдання параметрів [5], а не прямого моделювання (рис. 7). Наприклад, для створення отвору задаються його тип, розмір, наявність фаски та розташування. При цьому отримані елементи не зв'язуються один з одним відносинами «батько-нащадок», тому їх редагування не веде до перебудови всієї моделі, а лише до локального оновлення.

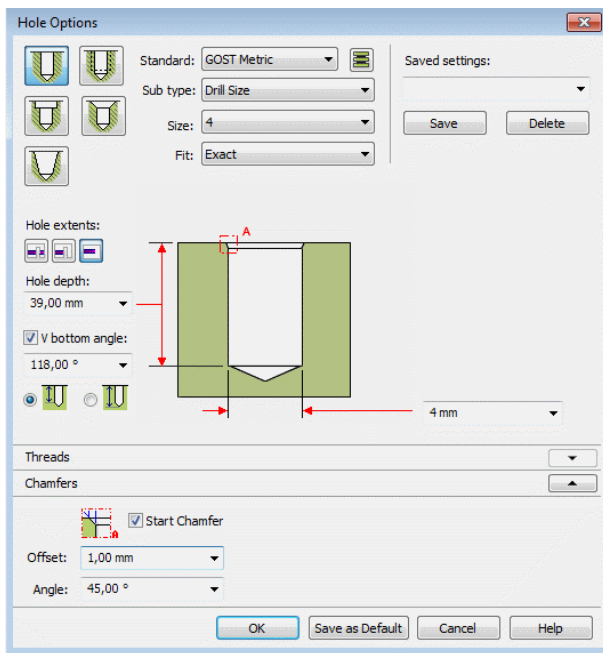


Рис.7. Діалогове вікно для завдання параметрів процедурного елемента «Отвір»

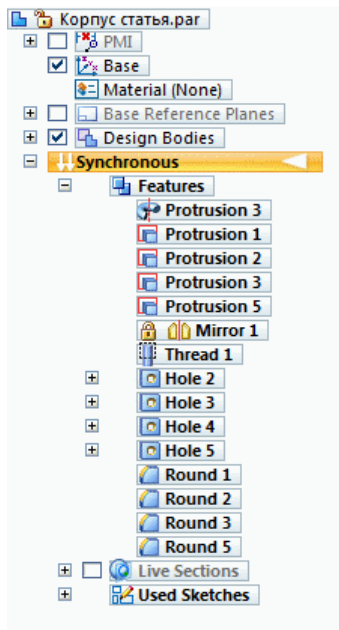


Рис.8. Навігатор моделі, яка створена виключно в синхронному середовищі

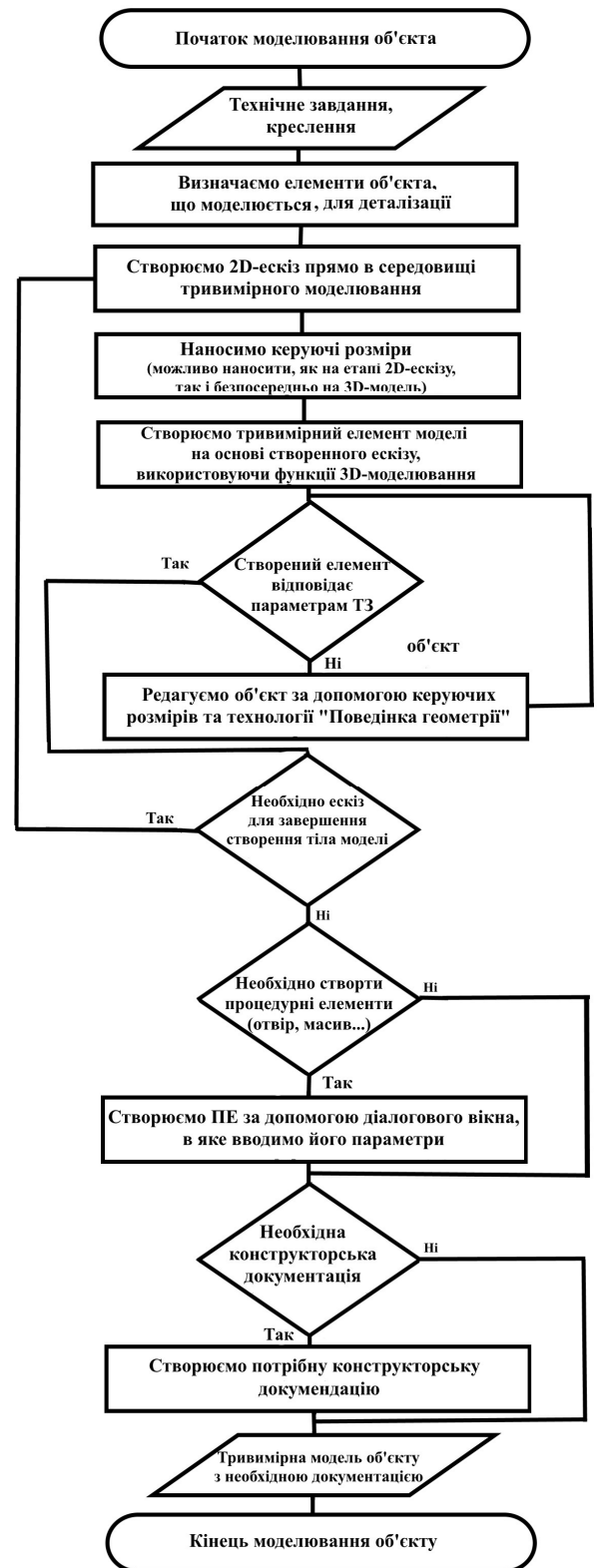


Рис.9 Алгоритм створення тривимірної моделі деталі у синхронному середовищі



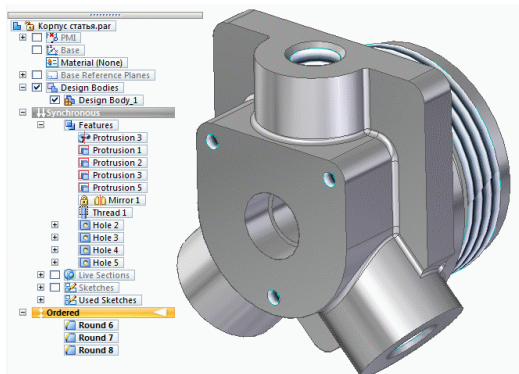


Рис. 10. Навігатор моделі, що містить синхронні і звичайні конструктивні елементи

У Solid Edge з синхронною технологією конструктивні елементи є незалежними і зберігаються не в дереві моделі, а в навігаторі (рис. 8). Отже, існує можливість зміни послідовності конструктивних елементів, переміщення граней, зміни значень 3D-розмірів без порушення конструкторського задуму моделі. Те що при перерахунку моделі до уваги беруться не всі присутні в ній обмеження та зв'язки (рис.6), а тільки ті з них, які безпосередньо задіяні в змінених конструктивних елементах, що істотно скорочує час поновлення моделі.

Solid Edge дозволяє поєднувати синхронну технологію та моделювання на основі історії побудови моделі. Таким чином, при створенні складних моделей можливе використання одного або іншого метода самостійно, або навіть обох методів одночасно (рис.10). Цей підхід працює, як на рівні деталі, так і складальної одиниці. Синхронна технологія та моделювання на основі історії мають кардинально різні сильні сторони. Першу краще використовувати при редагуванні призматичних моделей; Другий кращий при роботі з ескізами та складними конструктивними елементами. Працюючи у змішаному режимі спочатку у синхронному середовищі створюється тіло моделі, а вже потім використовують параметричні функції та зв'язки [6]. Синхронні редагування дозволяють перераховувати параметричні функції, що зменшує вірогідність виникнення помилок.

Сучасні технології дозволяють створювати деталь по її 3D- моделі, але, при необхідності, можливо створити і оформити повний комплект конструкторської документації згідно стандартів ЕСКД. Система Solid Edge надає розвинений інструментарій створення креслень двох типів: асоціативні креслення, які автоматично створюються з 3D-моделі деталі або складальної одиниці і потребують незначного редагування, та незалежні креслення.

Використовуючи запропоновану методику та технологію створення тривимірної моделі деталі було запропоновано загальний алгоритм створення тривимірної моделі деталі (рис.9).

### III. ВИСНОВКИ

В данній роботі докладно викладена методика та технологія створення тривимірної моделі деталі типу Корпус в синхронному середовищі проектування, яке знайшло своє втілення в широкому спектрі рішень компанії-розробника Siemens PLM Software, одним з яких є розглянута нами САПР Solid Edge. Також нами було розроблено загальний алгоритм створення тривимірної деталі в синхронному середовищі. Дана технологія дозволяє реалізувати більш природний підхід до проектування, ніж традиційне параметричне проектування, та дає можливість вносити у конструкцію обмеження і накладати геометричні і розмірні зв'язки в процесі побудови моделі, залишаючи непотрібні на даному етапі зв'язки і розміри невизначеними. При цьому важливо відзначити, що дана система об'єднує синхронний і параметричний підходи в рамках однієї моделі. Користувач може будувати відносно прості конструктивні елементи у синхронному режимі, а для реалізації складної геометрії перемикається в параметричний режим, використовуючи геометрію синхронної частини моделі для додавання параметричних конструктивних елементів. Важливо також відмітити, що можливе переміщення елементів зі звичайного простору моделі у синхронну з конвертацією їх «на льоту». Також робота з повністю параметричною моделлю, якщо в ній відсутня синхронна частина.

### ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

- [1]. Шахнов В.А., Зинченко Л.А., Соловьев В.А., Курносенко А.Е. Основы конструирования в Solid Edge. Пособие по проектированию изделий в приборостроении. – М.: ДМК Пресс, 2014. – 272 с.: ил.
- [2]. Демидов П . Синхронная технология Solid Edge [Электронный ресурс]// Проект isicad. 28.07.2015.–URL: [http://isicad.ru/ru/articles.php?article\\_num=17898](http://isicad.ru/ru/articles.php?article_num=17898)
- [3]. Fast and easy creation of 3D models using synchronous technology Solid Edge Edge [Электронный ресурс]// Material Library Siemens PLM Software–URL: [https://solidedge.siemens.com/ru/solutions/products/3d-design/synchronous-technology/#ui\\_Fast\\_and\\_Flexible\\_Design\\_Creation](https://solidedge.siemens.com/ru/solutions/products/3d-design/synchronous-technology/#ui_Fast_and_Flexible_Design_Creation)
- [4]. Зиновьев Д.В. Основы конструирования в Solid Edge ST10. Синхронная технология / Дмитрий Зиновьев – 1-е изд. 2018. – 206 с.: ил.
- [5]. Ryan McVay. Solid Edge with Synchronous Technology—Many Things at the Same Time[Электронный ресурс] Проект engineering. 27.05.2016.–URL: <https://www.engineering.com/DesignSoftware/DesignSoftwareArticles/ArticleID/12223/Solid->

- Edge-with-Synchronous-TechnologyMany-Things-at-the-Same-Time.aspx
- [6] Ryan McVay. Synchronous Technology—Debunking the Myths [Электронный ресурс] Проект engineering. 26.06.2017.—URL: [https://www.engineering.com/DesignSoftware/DesignSoftwareArticles/ArticleID/15056/Synchronous-TechnologyDebunking-the-Myths.aspx?e\\_src=relart](https://www.engineering.com/DesignSoftware/DesignSoftwareArticles/ArticleID/15056/Synchronous-TechnologyDebunking-the-Myths.aspx?e_src=relart)

# Моделі процесів логістичного управління закупівлями виробничого підприємства

Роман Артюх<sup>1</sup>, Аліна Єлізева<sup>2</sup>, Наталія Косенко<sup>3</sup>

1. Державне підприємство "Південний проектно-конструкторський та науково-дослідний інститут авіаційної промисловості",  
Харків, вул. Сумська, 130а, УКРАЇНА, e-mail: roman.artjuh77@gmail.com
2. Кафедра Комп'ютерних наук та інформаційних технологій, Національний аерокосмічний університет ім. М. Є. Жуковського «ХАІ», Харків, вул. Чкалова 7, УКРАЇНА, e-mail: alina.yelizeva@gmail.com
3. Кафедра Управління проектами у міському господарстві і будівництві, Харківський національний університет міського господарства імені О. М. Бекетова, м. Харків, вул. Маршала Бажанова, 17, УКРАЇНА; e-mail: kosnatalja@gmail.com

**Анотація:** Проводиться дослідження процесів логістичного управління закупівлями виробничого підприємства. Розроблено системну модель управління закупівлями, створені автоматні моделі процесів логістичного управління закупівлями на основних стадіях життєвого циклу продукту, а також інтегрована модель для вирішення задачі управління закупівлями.

**Ключові слова:** розвиток підприємства, життєвий цикл, управління закупівлями, матеріально-технічні ресурси.

## I. ВСТУП

Впровадження запланованих інновацій може викликати значні труднощі у виробництві продукції нових видів. Це може бути обумовлено нестачею якісних матеріалів та прогресивних технічних ресурсів або труднощами їх постачання. Тому своєчасне вирішення логістичних задач постачання нових матеріалів, обладнання, визначення необхідного обсягу й номенклатури ресурсів, можливостей існуючих поставок і вибір нових постачальників, у тому числі й за кордоном, з використанням сучасних інформаційних технологій є важливою задачею [1].

## II. СИСТЕМНА ТА АВТОМАТНА МОДЕЛІ УПРАВЛІННЯ ЗАКУПІВЛЯМИ

Уявімо завдання прийняття рішень з управління закупівлями матеріально-технічних ресурсів у вигляді системної моделі. З урахуванням виділених параметрів процесу управління закупівлями сформуємо системну модель задачі прийняття рішень на основі кібернетичного

підходу. Метою застосування кібернетичного підходу є досягнення оптимізуемого управління (за рахунок замкненого контуру управління).

Основним об'єктом розвитку промислового підприємства є виробнича система. В узагальненому системному поданні слід виділити вхідні параметри системи, вихідні, впливи (вплив зовнішнього середовища) і коригувальний зворотний зв'язок (вимоги до якості продукту як вихідного параметру).

Оскільки «вхід» і «вихід» виробничої системи відносяться до зовнішнього оточення, то відповідно до правил застосування системного підходу «вхід» і «вихід» процесу слід розглядати як взаємопов'язані компоненти єдиної системи. Звідси випливає, що параметри на «вході» визначають параметри функціонування процесів у виробничій системі, а параметри процесів, в свою чергу, визначають параметри «виходу».

До компонентів "входу" відносяться матеріальні ресурси, що надходять ззовні - сировина, матеріали, комплектуючі вироби, нове обладнання, і ресурси інших видів - енергія, інформація, персонал та інше.

Структура системної моделі задачі управління закупівлями представлена у вигляді кібернетичної моделі із зворотним зв'язком, в якій управління, що корегує, забезпечується за рахунок замкненого контуру. Дана модель відображає два основні аспекти управління. Перший дозволяє виділити об'єкт управління – як об'єднання виробничої й логістичної підсистем підприємства, й враховувати вплив, що обумовлює зовнішню дію, у вигляді елементів зовнішнього середовища.

Другий аспект відображає дискретність управління розвитком виробництва [2].

Опис законів такої системи задається наступними функціями:

- функцією, визначальною зміни станів всіх елементів системи;
- функцією, яка задає їх вихідні сигнали;
- функцією, яка описує зміни в структурі системи.

Однією з особливостей логістичної системи управління є здатність переходити в різні стани під впливом різних керуючих впливів (змін параметрів компонентів зовнішнього середовища).

Складовими кібернетичної системи є:

1) логістичний процес управління виробництвом інноваційної продукції (основний елемент системи);

2) вхід являє собою потік споживаних ресурсів, тобто все те, що змінюється при протіканні процесу логістичного управління виробництвом інноваційної продукції (матеріально-технічні ресурси, основні параметри логістичної системи і інформація від зовнішніх джерел);

3) вихід - результат перетворення входів, тобто потік створених або відпрацьованих ресурсів (готова продукція);

4) зворотний зв'язок сприяє ефективному управлінню системою в умовах, що змінюються. Негативний зворотний зв'язок дозволяє зіставити отриманий результат до наміченої мети і в разі необхідності скоригувати його;

5) обмеження являють собою вплив параметрів зовнішнього середовища на логістичну систему.

Множина можливих станів логістично-виробничої системи визначається декартовим добутком:

$$H = X \times Y \times Z \times W, \quad (1)$$

де  $X$  - множина параметрів входу системи,

$Y$  - множина параметрів виходу системи,

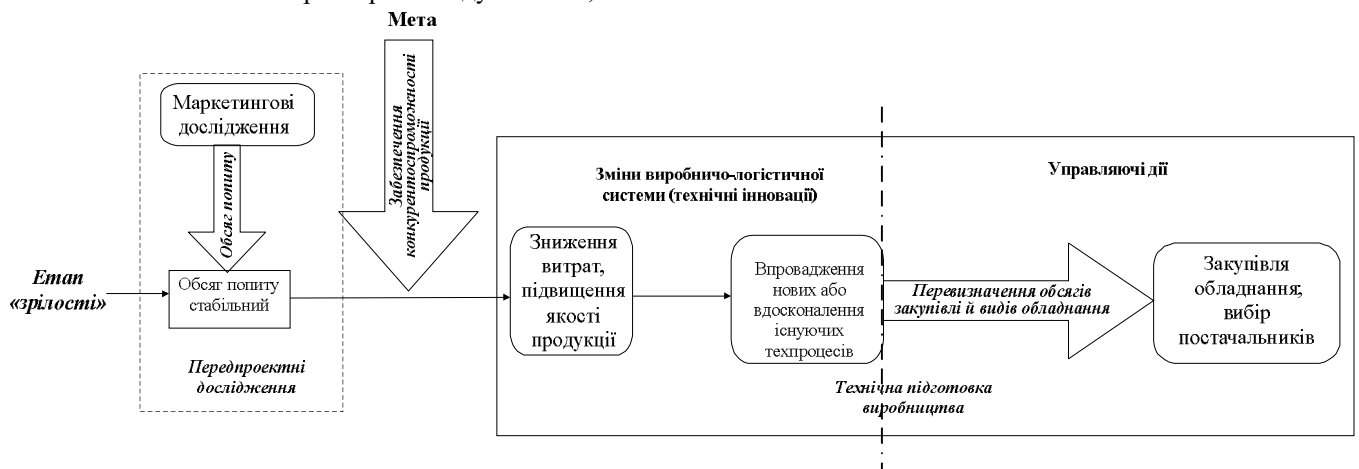


Рис. 1. Схематичне представлення прийняття рішень з управління закупівлями на етапі «зрілості»

$Z$  - множина показників внутрішнього стану системи,

$W$  - множина параметрів зовнішнього середовища.

Тоді кортеж, що характеризує стан логістично-виробничої системи в певний момент часу має вид:

$$h(t) = \langle x(t), y(t), z(t), w(t) \rangle. \quad (2)$$

Таким чином, кібернетична логістична система визначається елементами множин входу, виходу і показників внутрішнього стану з урахуванням зовнішнього стану. Наприклад, номенклатура і обсяг матеріально-технічних ресурсів визначається в залежності від обсягу замовлення на виготовлення продукції, вимог до її якості і рівнем технічного потенціалу підприємства.

Для опису дискретних станів об'єкту управління розроблені моделі станів логістичної системи.

При реалізації стратегій розвитку виробництва на відповідних етапах життєвого циклу приймаються рішення з логістичного управління. Для кожної з трьох основних стадій («зростання», «зрілості» і «занепаду») розглянуті особливості прийняття рішень з управління закупівлями та сформовані моделі станів. Для опису змін параметрів станів створені відповідні математичні моделі.

Особливість кожного етапу життєвого циклу характеризується наступними елементами: зовнішніми змінами, цілями, що плануються, змінами в виробничо-логістичній системі і відповідними управляючими діями для вирішення задач управління закупівлями. На рисунку 1, в якості приклада, наведена схема прийняття рішень з управління закупівель на етапі «зрілості».



Для формалізованого опису процесів вирішення задач управління закупівлями був обґрунтований апарат автоматних моделей. Рівняння процесів в алгебрі мов визначають множину допустимих значень і описують зміни станів всіх елементів дискретної системи, що дозволяє визначити послідовність виконання задач і перетворення відповідної інформації при управлінні закупівлями. Рівняння в алгебрі відношень описують можливі стани системи з врахуванням умов переходів й управляючих дій.

Далі розроблені локальні автоматні моделі для основних етапів життєвого циклу продукту [3].

Так, наприклад, для етапу «зрілості», при реалізації стратегії оновлення обладнання, рівняння процесів мають вид:

$$\begin{aligned} F_1 &= s_1 \vee F_3 s_1; \\ F_2 &= s_2 \vee F_1 s_2; \\ F_3 &= s_3 \vee F_2 s_3, \end{aligned} \quad (3)$$

де станами моделі є:

$s_1$  – зміна вхідної інформації про конкурентів і досягнення науково-технічного прогресу,  
 $s_2$  – кількість обладнання, що закуповується,  
 $s_3$  – кількість постачальників обладнання;  
 $F_1, F_2, F_3$  - припустимі процеси,  
 $\vee$  – операція диз'юнкції.

Тоді регулярний вираз процесу управління поставками можна представити в наступному вигляді:

$$F = s_1 \vee s_1 s_3 \vee s_2 \vee s_1 s_2 \vee s_3 \vee s_2 s_3 \vee s_1 s_2 s_3 \vee (s_1 s_2 s_3)^* . \quad (4)$$

Сформовано рівняння в алгебрі відношень:

$$\begin{aligned} f_1 &= y_1 f_2; \\ f_2 &= y_2 f_3; \\ f_3 &= y_3 f_1, \end{aligned} \quad (5)$$

де переходами є:

$y_1$  – визначення кількості обладнання, що закуповується,  
 $y_2$  – визначення кількості постачальників обладнання;  
 $y_3$  – можливість повторення у разі зміни умов зовнішнього середовища,  
 $f_1, f_2, f_3$  – рівняння перетворень припустимих процесів.

Тоді управління у вигляді регулярного виразу описується як

$$f_1 = (y_1 y_2 y_3)^* . \quad (6)$$

Інтегрована автоматна модель створена на основі дискретного перетворювача, що складається з керованої й управляючої компонент і комплексує локальні моделі задач управління закупівлями на різних етапах життєвого циклу (рис. 2).

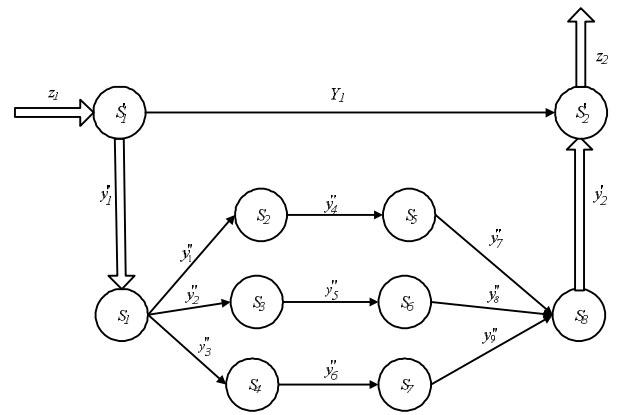


Рис. 2. Структура інтегрованої моделі задач управління закупівлями на основі дискретного перетворювача

Таким чином, запропонована інтегрована модель дозволяє представити задачі управління закупівлями, що можуть виникнути на всіх етапах життєвого циклу продукту.

Для управляючої компоненти дискретного перетворювача введені наступні позначення станів і переходів:

$S'_1$  – рішення про модернізацію продукції, що випускається;

$S'_2$  – аналіз отриманих даних про постачальників;

$Y_1$  – рішення задачі управління закупівлями.

Для керованої компоненти були використані наступні позначення станів:

$S_1$  – значення параметрів логістичної системи;

$S_2$  – обсяг виробництва модернізованої продукції;

$S_3$  – обсяг і номенклатура матеріальних ресурсів, що закуповуються;

$S_4$  – номенклатура і обсяг обладнання, що закуповується;

$S_5$  – необхідна кількість постачальників матеріальних ресурсів;

$S_6$  – необхідна кількість постачальників комплектуючих;

$S_7$  – необхідна кількість постачальників обладнання;

$S_8$  – список постачальників матеріально-технічних ресурсів.

Переходи з одного стану в інший позначено таким чином:

$y_1''$  – визначення обсягу виробництва інноваційної продукції;

$y_2''$  – визначення номенклатури і обсягу необхідних для виробництва матеріальних ресурсів;

$y_3''$  – визначення кількості обладнання, що закуповується;

$y_4''$  – визначення кількості постачальників матеріальних ресурсів;

$y_5''$  – визначення кількості постачальників комплектуючих;

$y_6''$  – визначення кількості постачальників обладнання,

$y_7''$ ,  $y_8''$ ,  $y_9''$  – вирішення задачі вибору постачальників матеріально-технічних ресурсів.

Взаємодія управляючої й керованої компонент здійснюється за допомогою наступних команд:

$y_1'$  – передача управлінського рішення;

$y_2'$  – передача інформації про постачальників;

$z_1$  – вплив чинників зовнішнього середовища;

$z_2$  – укладення угод з постачальниками.

Робота керованої компоненти у вигляді регулярного виразу алгебри алгоритмів має наступний вигляд:

$$f = y_1' y_4' y_7' \vee y_2' y_5' y_8' \vee y_3' y_6' y_9'. \quad (7)$$

З урахуванням впливу зовнішнього середовища на управління компоненти функціонування моделі описується за допомогою регулярного виразу алгебри алгоритмів:

$$F = z_1 (y_1' f_1' z_2 \vee Y_1 z_2). \quad (8)$$

Отриманий вираз описує процес логістичного управління залежно від значень параметрів управляючих дій.

## II. ВИСНОВКИ

Для формального представлення завдань управління закупівлями запропоновано використовувати апарат автоматних моделей, що

дозволяє визначити послідовності дій при прийнятті рішень. Були розглянуті особливості прийняття рішень з управління закупівлями, що дозволило сформулювати відповідні моделі станів.

Була розроблена інтегрована автоматна модель, яка описує переходи логістичної системи в різні стани в умовах керуючих впливів і змін параметрів компонентів зовнішнього середовища.

## ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

- [1] Артюх, Р.В. Модели формирования и оценивания вариантов планов развития предприятия в прецедентной системе принятия решений [текст] / Артюх Р.В., Божинский И.В. // Автоматизированные системы управления и приборы автоматики. – 2012. – Вып. 158. – С.78 – 81..
- [2] Елизева, А.В. Формализованное представление информационных взаимосвязей логистических задач производственного предприятия [Текст] / А.В. Елизева, О.В. Малеева, Э.В. Лысенко // Радиоэлектронні і комп'ютерні системи. – 2011. – №2 (50). – С.132 – 138.
- [3] Елизева, А.В. Автоматные модели для формализованного представления задач управления закупками ресурсов [Текст] / А.В. Елизева, Л.В. Малеев // Радиоэлектронні і комп'ютерні системи. – 2012. – №2 (54). – С.128 – 133.

# Інформаційна технологія ризик-адаптивного управління параметрами мережі передачі даних програмно-технічного комплексу

Віктор Косенко<sup>1</sup>, Ольга Малеева<sup>2</sup>, Олена Персіянова<sup>3</sup>

1. Державне підприємство "Південний проектно-конструкторський та науково-дослідний інститут авіаційної промисловості", Харків, вул. Кривоконівська,30, УКРАЇНА, e-mail: kosvv@ukr.net
2. Кафедра Інформаційні управляючі системи, Національний аерокосмічний університет ім. М. С. Жуковського «ХАІ», Харків, вул. Чкалова 7, УКРАЇНА, e-mail: omalejeva@ukr.net
3. Науково-дослідний відділ, Державне підприємство "Південний проектно-конструкторський та науково-дослідний інститут авіаційної промисловості", Харків, вул. Сумська, 130а, УКРАЇНА, e-mail: persikqw@gmail.com

**Анотація:** Запропоновано структуру інформаційної технології. Розглянуто роботу блока синтезу інформаційної структури мережі на прикладі програмно-технічного комплексу у складі автоматизованої системи управління технологічними процесами. Для аналізу навантаженості вузлів мережі побудовано матриці зв'язків вузлів мережі з іншими

елементами структури та обчислено матриці інтенсивності потоку даних.

**Ключові слова:** мережа передачі даних, адаптивне управління, критична інфраструктура, інформаційний ризик.

## I. ВСТУП

В сучасних умовах високий рівень інформаційного забезпечення стає визначальним фактором досягнення цілей систем критичної інфраструктури (СКІ), які пред'являють особливі вимоги щодо засобів обробки і передачі інформації. Забезпечення виконання комплексних вимог до якості вирішення прикладних завдань є основною метою управління СКІ [1].

## II. СТРУКТУРА ІНФОРМАЦІЙНОЇ ТЕХНОЛОГІЇ ТА ЇЇ АПРОБАЦІЯ

Інформаційна технологія відображає послідовну роботу трьох блоків (рис. 1) [2]:

- 1) блок синтезу структури мережі;
- 2) блок адаптивного управління розподілом трафіку;



Рис. 1. Модель інформаційної технології управління параметрами МПД

Підсистема призначена для управління технологічними процесами загальностанційних і допоміжних систем і відноситься до класу АСУ ТП. Підсистема є тривірневою розподіленою системою. Реалізує функції збирання, обробки та подання інформації, а також функції управління, регулювання, захисту, блокувань і сигналізації. Для реалізації зазначених функцій використовується гетерогенна мультисервісна інфокомунікаційна мережа.

На основі проведеного аналізу прикладних задач програмно-технічного комплексу робиться умовне розбиття вирішуваних завдань управління і технологічних завдань на підгрупи. В рамках завдання побудови структури мережі і визначення її параметрів формуються множини елементів

3) блок прийняття рішень з управління ризиками.

Практична апробація інформаційної технології проводилася для «Комплексу з переробки твердих побутових відходів з системою збору, утилізації полігонного газу та виробництво електроенергії» (с. Дергачі).

Комплекс є багатофункціональною, розподіленою, вільно-програмованою автоматизованою системою, розрахованою на безперервне функціонування в режимі реального часу. Відноситься до класу СКІ Харківської області через підвищені вимоги до техногенної безпеки. Однією з підсистем комплексу є «Програмно-технічний комплекс верхнього рівня і загальностанційних систем».

інформаційної структури, будуються матриці їх взаємозв'язків.

Для аналізу навантаженості вузлів мережі передачі даних (МПД) побудовано матриці зв'язків вузлів АСУ ТП з іншими елементами МПД:

- 1) матриця закріплення системних застосунків за вузлами мережі (G);
- 2) матриця закріплення користувачів за вузлами мережі (H);
- 3) матриця інформаційних зв'язків вузлів із сховищами даних (S).

На основі цих даних можна обчислити інтенсивності потоків запитів між елементами інформаційної структури:

- 1) розрахунок матриці інтенсивності виконання системних додатків користувачами

$$\Gamma = P \times \Lambda.$$

2) розрахунок матриці виконання завдань на вузлах мережі з урахуванням системних додатків та зв'язків із сховищами даних:

$$Z = Z' + Z'' = G \times D + S \times D.$$

3) обчислення інтенсивності запитів користувачів до вузлів з урахуванням системних додатків та завдань:

$M = ((U \times P) \times G) \times B$  в результаті були сформовані вимоги до технічної структури мережі, в тому числі визначені [3]:

- тип каналів передачі даних;
- тип обчислювальної мережі;
- номенклатура і кількість модулів введення / виведення інформації;
- вид пристроїв зв'язку з об'єктом;
- вид центральних контролерів систем збору і управління;
- пропускну здатність каналів для інформаційного обміну між вузлами і рівнями системи.

Також були досліджені напрямки та обсяги інформаційних потоків всередині базової МПД [4]. Із застосуванням розробленої інформаційної технології і даних про напрямки й обсяги інформації, що циркулює в мережі, було проведено моделювання функціонування програмного забезпечення ПТК. Проведене моделювання дозволило запропонувати альтернативні варіанти топології МПД. Результати моделювання показали, що обрана топологія дозволяє наблизити завантаження вузлів базової мережі до рівномірної і зменшити за рахунок цього час знаходження завдання в мережі.

Проведено обчислювальний експеримент з дослідження функціонування програмного забезпечення в середовищі гетерогенної мультисервісної мережі. Результати експерименту в цілому збігаються з результатами моделювання, що дозволяє говорити про адекватність і достовірності запропонованих в роботі моделей і теоретичних розрахунків.

В рамках завдання управління ризиками побудовано системну модель ризиків, причинно-наслідкову діаграму (рис. 2), визначені матриці коефіцієнтів впливу [5].

В результаті обчислені рівні значущості факторів і ймовірність можливих наслідків (табл. 1).

Найбільш значущими факторами є:

- для обладнання: недолік ємності і продуктивності;
- для процесів: неправильні налаштування безпеки;
- для структури: неправильні інформаційні потоки;
- для дій: випадкова помилка.

Виявлено найбільш вразливі характеристики мережі: безпека та надійність.

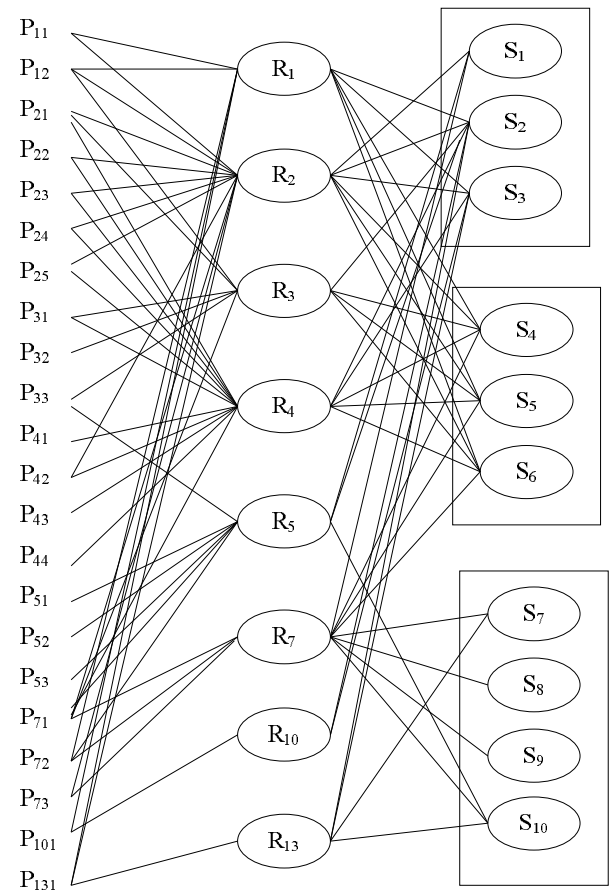


Рис.2. Причино-наслідкова діаграма ризиків МПД ПТК

В результаті, були сформульовані заходи парирування восьми часткових ризиків:

- дублювання обчислювальної мережі;
- захист від несанкціонованого доступу до логічної частини програм;
- реалізація кількох рівнів доступу до програмного забезпечення, бази даних і архівів реєстрації,
- резерв по пам'яті та часу вирішення завдань;
- автоматичний контроль достовірності та захист вхідної інформації;
- запобігання помилкових дій персоналу;
- збереження інформації при аваріях та збоях в електроживленні системи та ін.

Розрахунок значущості факторів та ймовірності наслідків (фрагментарно)

Фактори	Основні параметри мережі										Сумарна значущість	Нормована значущість
	Надійність		Живучість	Продуктивність			Безпека					
	S <sub>1</sub>	S <sub>2</sub>		S <sub>4</sub>	S <sub>5</sub>	S <sub>6</sub>	S <sub>7</sub>	S <sub>8</sub>	S <sub>9</sub>	S <sub>10</sub>		
P <sub>11</sub>	50	125	86	83	93	88	0	0	0	0	525	<b>0,109</b>
P <sub>12</sub>	40	138	94	102	110	98	0	0	0	0	582	<b>0,121</b>
P <sub>21</sub>	50	58	7	60	70	43	0	0	0	0	288	0,060
P <sub>22</sub>	40	32	5	24	32	23	0	0	0	0	156	0,032
P <sub>23</sub>	100	102	18	104	124	74	0	0	0	0	522	<b>0,108</b>
P <sub>24</sub>	20	18	3	16	20	13	0	0	0	0	90	0,019
...												
P <sub>41</sub>	0	16	4	32	32	12	0	0	0	0	96	0,020
P <sub>42</sub>	60	74	14	88	100	54	0	0	0	0	390	<b>0,081</b>
P <sub>43</sub>	0	16	4	32	32	12	0	0	0	0	96	0,020
...												
P <sub>53</sub>	10	25	0	0	0	0	0	0	0	10	45	0,009
P <sub>71</sub>	62	64	13	57	61	33	24	12	12	54	392	<b>0,081</b>
....												
P <sub>131</sub>	30	87	47	56	62	49	6	0	0	12	349	0,072
Сум. вплив	576	1074	377	908	1000	645	50	22	22	150	4824	1
Нор. коефіц.	0,12	0,22	0,078	0,188	0,207	0,134	0,104	0,005	0,005	0,031	1	
	0,341		0,078	0,529			0,145				1	

### III. ВИСНОВКИ

Таким чином, розроблено інформаційну технологію, що застосовує створені загальні математичні моделі і методи для розрахунку параметрів потоків даних і характеристик роботи мережі при практичній реалізації методів і принципів управління мережею. Технологія визначає послідовність і склад рішень та дій при вирішенні завдань налаштування і оперативного управління мережею. Всі дії згруповані по етапах, що дозволяє рознести їх в часі, забезпечити узгоджене застосування отриманих теоретичних результатів.

Експериментальне застосування інформаційної технології адаптивного управління параметрами МПД показало, що при її використанні підвищується оперативність передачі інформації в мережах АСУ ТП. Зокрема, при підвищенні відносних обсягів переданої підсистемою АСУ ТП інформації загальний відносний час при реалізації рішень, що прийняті на основі результатів застосування адаптивної технології зменшується до 15%. Показано, що використання запропонованої інформаційної технології дозволяє знизити інформаційний ризик мережі на 30%.

Отримані результати можна розглядати як основу для вирішення завдань синтезу програмно-апаратного середовища МПД, яка використовує як стандартні, так і розроблені моделі, методи і технології управління параметрами потоків даних, пов'язані з оптимізацією робочих характеристик мереж.

### ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

- [1] Лаврут О.О. Дослідження якості управління потоками інформації у телекомунікаційній системі критичного призначення // Системи озброєння і військова техніка, 2014, № 4(40) – С.89-93.
- [2] Косенко В. В., Кучук Г. А., Давікоза О. П., Калкаманов С. А. Методика синтезу інформаційної технології управління мережевим трафіком. Системи управління навігації та в'язку. Полтава. 2013. Випуск 2 (26). С. 105-110.
- [3] Косенко В. В., Кучук Н. Г. Взаємодія технічних і програмних засобів при управлінні розподілом трафіка. Системи озброєння і військова техніка. Харків. 2016. Випуск 3 (47). С. 72-75.
- [4] Кучук, Г.А. Інформаційні технології управління інтегральними потоками даних в інформаційно-телекомунікаційних мережах систем критичного призначення. Харків: ХУПС. 2013. 264 с.
- [5] Косенко В. В., Персіянова О. Ю. Адаптивне управління ризиками інформаційної мережі для інформаційної безпеки систем критичної інфраструктури. Математичні моделі та новітні технології управління економічними та-технічними системами: Монографія / за заг. ред. В. О. Тимофєєва, І. В. Чумаченко. Харків. 2017. С. 284-301.

# Modeling and Optimization of the Refining Process

Almaz Mehdiyeva<sup>1</sup>, Matanat Bayramova<sup>1</sup>

1. Department of Control and System Engineering, Azerbaijan State Oil and Industry University, AZERBAIJAN, Baku, 16/21 Azadliq Ave, email: almazmehdiyeva@yahoo.com

**Abstract.** It is known that catalytic cracking is one of the important processes in our day, since the products obtained from this process are used in many areas. For example, most high octane gasolines used in automobiles are the result of this process. In this regard, the optimization of the catalytic cracking process reduces the cost of production, as well as reduces costs, and the solution to this problem is very important for the refining industry.

**Keywords:** optimal control, catalytic cracking, process optimization, refinery, oil refining industry.

## I. INTRODUCTION

The catalytic cracking is one of the important processes of our time. The products received from this process are applied in many areas. For example, the main part of high-octane gasoline used in cars is the result of this process.

## II. STATEMENT OF THE PROBLEM

In this regard, optimization of the catalytic cracking process reduces the cost of production, also reduces costs and the solution of this issue is very important for the oil refining industry. In general, cracking is a very complicated process. In this process, decomposition, polymerization, dehydrogenation, isomerization and so on. as well as various reactions take place at the same time.

Catalytic cracking is the splitting of oil products with the participation of the catalyst. In catalytic cracking, in comparison with thermal cracking higher quality gasoline is obtained. It is necessary to study the process in detail before creating an optimal control system for catalytic cracking and in this case, the catalytic cracking unit becomes the object of research. We should investigate its work to determine the mathematical expression of the catalytic cracking, to determine the indices and to find the kinetic constants of the mathematical model. Finally, the adequacy of the model has to be checked and the optimal regime has to be chosen.

## III. PROBLEM SOLUTION

What does optimal control mean?

Optimal control is the design of systems. Optimal control combines calculation and synthesis of control of optimal programs. Firstly, for optimization, it is necessary to choose such a method of programming, which could be further solved with the help of a computer. After determining the method, we can carry out the appropriate optimization and this, in turn, increases the amount of information in the

process of calculating tasks using a computer, shortens the calculation period. It would be beneficial to find optimization using the "random excitement" method. This is a very reliable and simple method.

The cracking process is not stable from the point of view of the control object. The parameters of the object change non-static, which creates a mismatch in the operating mode. For this reason, the conditions of the process itself and the management of optimization can not be met with device adjustments using industry balancers.

Direct digital control (DDC) systems are used on computers to ensure optimal control quality.

If the process is carried out according to the adopted optimization criteria, then such a process will be considered optimal. The criterion of optimality of the catalytic cracking process is the largest remainder of stable gasoline of AI-92 grade. In order to normalize the operation of devices and select the most advantageous method, taking into account the appropriate object prohibition, an optimized system of combinations of regeneration reactors is created.

A suitable formula for managing complex processes must be in the form of a system of equations. This system of equation takes into account the dynamics of the process, indicating the variable dependence of the parameters.

If the dynamic properties of the system are known:

- The state of the system can be known in advance;
- You can find the most beneficial optimization parameter.

In order to configure the optimal control system, it is first necessary to establish its optimal control algorithm. The criterion of optimization is to increase the final necessary element. However, the conditions for the quality and residues of the substances used were established.

What does the optimal control algorithm mean?

The optimal control algorithm is a complex task combined into one system. The developed optimal control system of the process must find the results of the optimal regime in accordance with the balanced results of the exciting effects (controlled and uncontrolled) and should ensure the necessary accuracy of the combination of the optimal mode parameters of a certain process by calculation. The optimal control algorithm is shown in the following Figure 1:

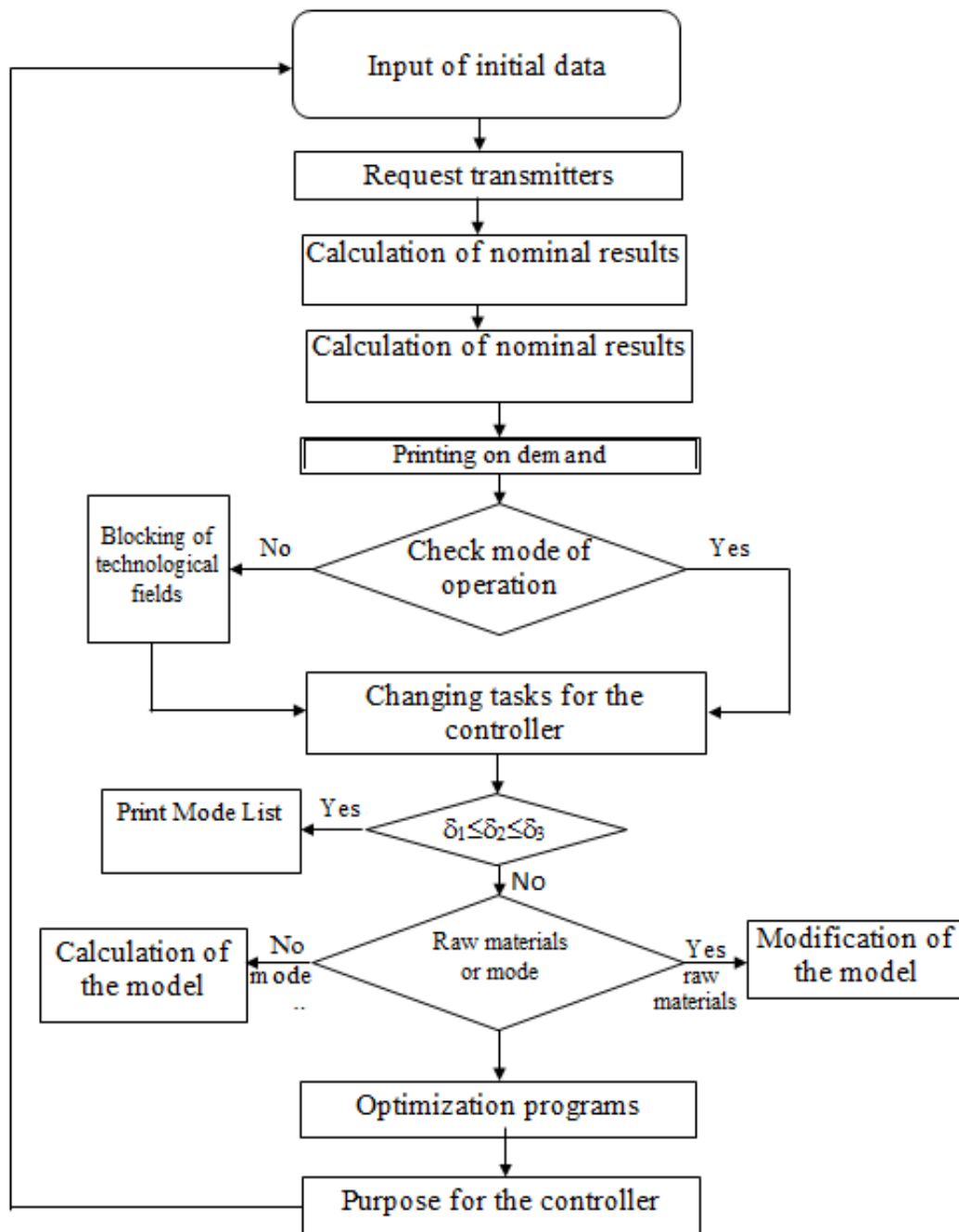


Fig. 1. Optimal control algorithm

The use of the automated control system in the catalytic cracking unit ensures optimal control in the "operator recommendation" mode.

An optimized catalytic cracking system can be described in a general way: In the beginning, the information corresponding to the input and output parameters of the control object is converted to the code in the analog-to-digital converter and enters the computer in the form of a digit. Based on the available information, a mathematical model of the process is created and the problem of optimization is

solved. In this case, the optimum values of the control parameters are determined and these results are converted into analogous parameters using digital analog converters. These parameters are converted to analog signals and transmitted to suitable actuators through a local control system. Thus, we can control the cracking process.

Figure 2 shows the structural scheme of the optimal catalytic cracking control system. The control system with a modern microcontroller is as follows (Figure 3).



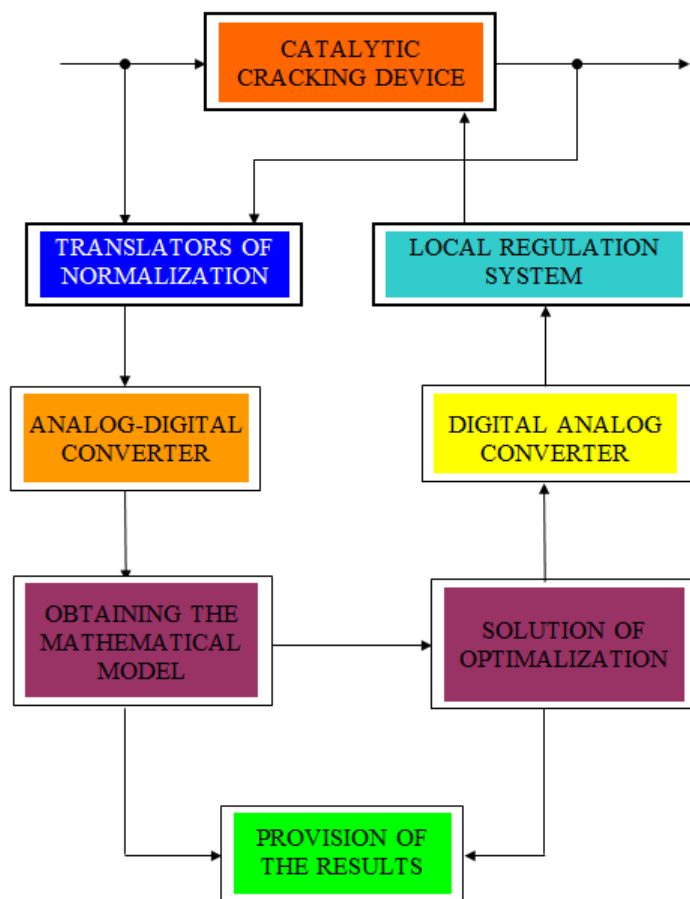


Fig. 2. Block diagram of the optimal control system for catalytic cracking

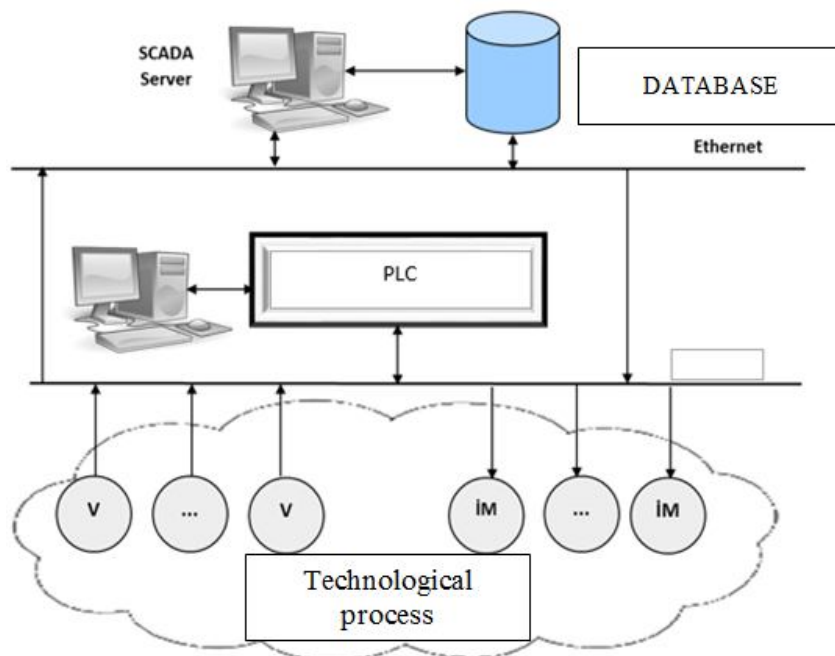


Fig. 3. Modern microcontroller system

The practical significance of the proposed control system is:

- This system allows increasing the yield of the main product;

- Implementation of technical realization based on software, facilitates their use in automatization systems.

#### IV. CONCLUSION

Practical value of the proposed control system: the system allows increasing the yield of the main product; implementation of technical implementation based on software facilitates their use in automation systems. Application of the results obtained in the corresponding systems significantly increases the practical significance of the work.

#### REFERENCES

- [1] Rustamov M.I., Abad-Zade Kh.I., Akimov Sh.K. Light hydrocracking of vacuum distillate from low-sulfur oils // Chemistry and technology of fuel and oils. 2006. № 9. pp.15–18.
- [2] Aliev A.M., Magerramov V.R., Agayeva R.Y. Method for studying catalytic processes with a fluidized bed of catalyst // Azerbaijan Oil Industry. 2007. № 5. pp. 40–42.
- [3] Abbasov A.M. Experience in designing automation of modern catalytic cracking units. M. TsNIITeneftkhim, 2012.40 p.
- [4] Aliev V.S., Rustamov M.I., Pryanikov E.I. Current state and ways of intensification of the catalytic cracking process. Baku, Azerneshr, 2006. 242 p.
- [5] Mehdiyeva A.M., Mehdizade E.K. Information-measurement system development for controlling of parameters of measurement // Global Standard Journal. March 2014. Vol 1(2). pp. 030–033.
- [6] Mehdiyeva A.M. Conversion and initial processing errors of measurement results // American Journal of Circuits, Systems and Signal Processing. 2015. № 3. pp. 56–59.
- [7] <http://proofoil.ru/Oilrefining/Oilrefining22.html>
- [8] <http://chem21.info/info/66462>

## Задачи визуализации данных теплового сканирования

Георгий Кулинченко<sup>1</sup>, Алексей Дрозденко<sup>1</sup>, Роман Петренко<sup>1</sup>

1. Кафедра компьютерных наук, Сумский государственный университет ,  
Сумы, ул. Р-Корсакова 2, УКРАИНА, e-mail: georgv@ukr.net

**Аннотация:** Рассмотрен анализатор тепловых полей, обеспечивающий визуализацию данных, полученных в результате сканирования объекта. Описаны принципы построения сканирующего устройства. Оцениваются алгоритмы обработки данных сканирования.

**Ключевые слова:** матрица температурных датчиков, модуль сканирования, состояние тепловых объектов, метод Кригинга.

#### I. ВВЕДЕНИЕ

Интенсификация технологических процессов машиностроительного производства, связанных с чередованием тепловых циклов, предполагает наличие информации о распределении поля температур в обрабатываемом объекте. Традиционно визуализация температурного поля осуществляется аппаратно-программными комплексами на основе непосредственного измерения температур с помощью датчиков, устанавливаемых в соответствующих зонах

контроля. Изображение температурного поля формируется после цикла точечных измерений, по интерполяционным значениям температур, полученных в результате обработки массива измерений. При этом задача увеличения скорости ввода и обработки данных решаются в основном за счет использования микропроцессорных и программных средств с высокой производительностью.

Значительное количество исследований по тепловизионному мониторингу сосредоточена вокруг использования тепловизоров - устройств для наблюдения за распределением температуры на исследуемой поверхности. Термограммы наблюдаемых объектов в соответствии с выбранными критериями позволяют оценить состояние объекта и, при необходимости, скорректировать технологические параметры теплового процесса.

Тем не менее высокая стоимость тепловизоров известных фирм *Fluke*, *Flir*, *Raytek* ограничивает их использование для управления тепловыми процессами в производственных условиях. Поэтому контроль высокотемпературных полей с помощью аппаратно-программных комплексов, базирующихся на точечных измерениях температуры, в настоящее время не исчерпал себя и остается актуальным [1,2]. Основные задачи исследований этого направления представляются в выборе эффективных средств визуализации процессов. При этом совершенствование аппаратной части комплекса связано с применяемыми алгоритмами обработки информации, поскольку управление тепловым процессом ведется в режиме реального времени.

*Целью работы* является оценка параметров аппаратно-программных средств, выбранных для визуализации результатов измерений теплового поля объекта. Фактором оценивания является поиск компромисса между объемом вычислительных операций и сложностью используемых технических средств.

## II. ПОСТРОЕНИЕ МОДУЛЯ СКАНИРОВАНИЯ

Оценка возможностей визуализации теплового поля по его дискретным отсчетам производилась с помощью схемы, изображенной на рис.1.

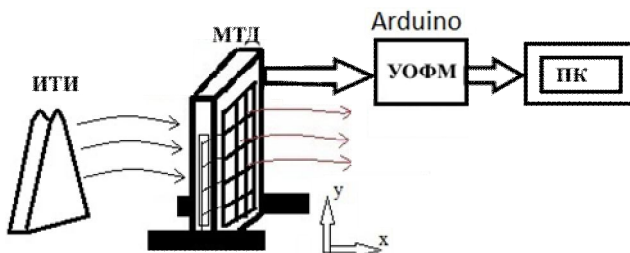


Рис.1. Схема устройства

Точечные измерения теплового поля от источника теплового излучения (ИТИ) осуществляются с помощью матрицы температурных датчиков (МТД). В качестве датчиков используются датчики температуры DS18B20В, которые посредством интерфейса 1-Wire соединяются с устройством обработки и формирования массива данных (УОФМ). Это устройство реализовано на контроллере Arduino, подключенном к персональному компьютеру. Использование программного продукта MATLAB позволяет визуализировать конфигурацию теплового поля, излучаемого ИТИ (рис. 2).

Оценка адекватности бесконтактных измерений значений поля, выполненных с помощью МТД, показывает, что в таких измерениях следует отдать предпочтение методам, основанным на использовании ИК датчик температуры [3].

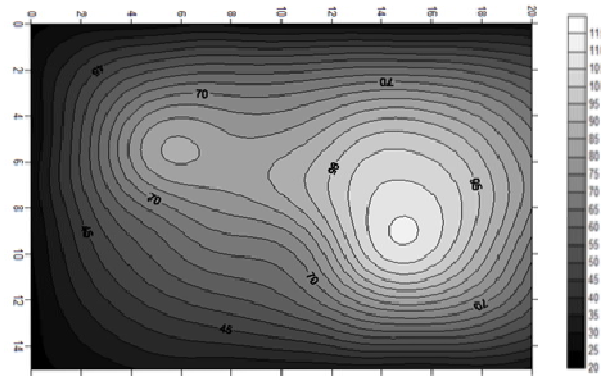


Рис. 2 Распределение температур ИТИ

Соответственно, реализация бесконтактных измерений предполагает использование сканирующего модуля, обеспечивающего пространственные измерения температуры [4]. Задача точного позиционирования ИК датчика по заданным координатам решается с помощью другого контроллера Arduino и схем специальных драйверов, которые формируют управляющие сигналы для шаговых двигателей модуля сканирования.

Вид макетного образца разработанного сканирующего устройства приведен на рис. 3.

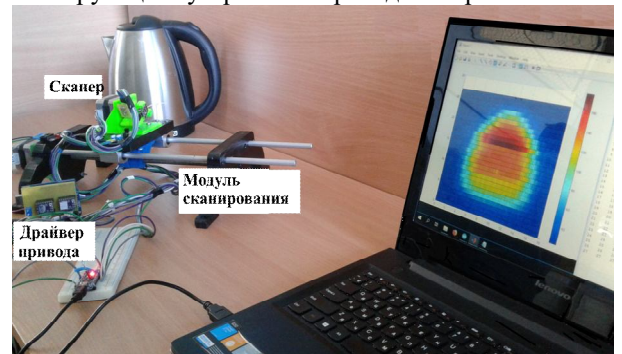


Рис. 3 Макетный образец сканирующего устройства

В качестве ИК датчика в устройстве сканирования используется датчик температуры MLX90614-BCI, который подключается к контроллеру Arduino по шине двухпроводного интерфейса I2C. Таким образом в схеме устройства сканирования (рис.1) имеется возможность параллельного сканирования теплового поля- с помощью МТД и ИК датчика MLX90614-BCI.

Диапазон температур MLX90614 находится в пределах от  $-70^{\circ}\text{C}$  до  $+380^{\circ}\text{C}$ . Погрешность составляет  $\pm 0,5^{\circ}\text{C}$  и достигает  $\pm 4^{\circ}\text{C}$  на краях рабочего диапазона измерений.

Собственно, возможности построения сканирующего устройства определяются параметрами быстродействия ИК датчика MLX90614-BCI. Стремление получить минимальное время сканирования кадра за счет повышения скорости перемещения модуля сканирования в заданных координатах ограничивается временем отклика используемого датчика [5].

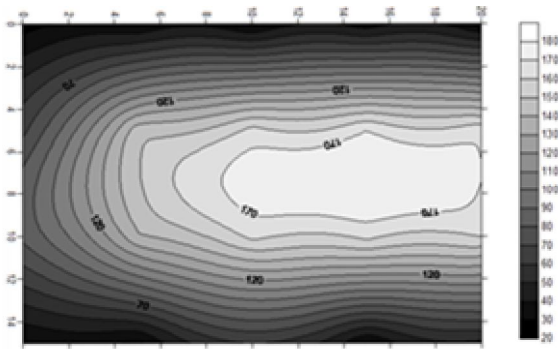


Рис. 4 Визуализация поля, полученного по точкам МТД

Альтернативой снижения скорости сканирования выступает подход к измерениям, предусматривающим уменьшение количества измеряемых точек поля. На рис.4 показан результат визуализации поля, измеренного сканирующим устройством в точках, соответствующим расположению датчиков МТД. Из рисунка видно, что качество отображения теплового поля, измеренного сканирующим устройством выше, чем отображение данных поля, полученных от МТД.

Наряду с выбираемыми техническими средствами измерений немаловажную роль в формировании качества и быстродействия отображения поля играют программно-алгоритмические средства.

### III. АЛГОРИТМЫ ОБРАБОТКИ ДАННЫХ СКАНИРОВАНИЯ

Основой процесса получения тепловизионных изображений является процесс формирования видеосигналов, пропорциональных тепловому потоку от объекта, находящемуся в кадре, содержащем  $M$  строк и  $N$  рядов. Эти строки и ряды данных формируются сканирующим модулем в массив и поступают на обработку. Процесс формирования изображения представляется оператором обработки  $\Phi$  некоторой функции  $U(x, y)$  с целью получения изображения  $S(x, y)$ :

$$S(x, y) = \Phi[U(x, y)] \quad (1)$$

Задачей получения непрерывного изображения  $S(x, y)$  из отсчетов функции  $U(x, y)$  является отыскание такого оператора  $\Phi$ , обеспечивающего адекватное представление измеряемого поля. Таким образом дискретизированное изображение  $U(x, y)$  после выбора оператора подвергается линейной пространственной интерполяции или линейной пространственной фильтрации. Оператор  $\Phi$  может строиться на алгоритмах, имеющих строгое математическое обоснование или эмпирических. Эти алгоритмы условно можно разделить на три основные группы: алгоритмы решения системы алгебраических уравнений, итерационные алгоритмы и алгоритмы фильтрации изображений. Последние используются для улучшения качества

изображений и при распознавании деталей изображения.

Наша задача состоит в выборе алгоритма пространственной интерполяции, обеспечивающего минимальное время вычислительных операций при приемлемой точности представления картины поля.

Если  $x, y$  – координаты точки на отображаемой плоскости, а пространственная переменная  $S$  является функцией этих координат, то ее измеренное значение в точке  $i$  определяется значением  $S(x_i, y_i)$ . На основе измеренных значений поля, содержащем  $M$  строк и  $N$  рядов с помощью пространственной интерполяции оценим значения переменной  $S$  в точках, где она не измерена.

Для оценки распределения поля воспользуемся достаточно простым алгоритмом интерполяции IDW (Метод обратных расстояний), для которого значение в оцениваемой точке  $S_0$  определяется:

$$S_0 = \frac{\sum_{i=1}^n \omega_{i0} * S_i}{\sum_{i=1}^n \omega_{i0}} \quad (2)$$

где  $\omega_{i0}$  – вес  $i$ -ой точки данных при оценке значения  $S_0$  в точке  $(X_0, Y_0)$ , причем

$$\omega_{i0} = \frac{1}{(\sqrt{d_{i0}^2 + \delta^2})^\beta} \quad (3)$$

где  $d_{i0}$  – расстояние между точкой  $(X_0, Y_0)$ , где вычисляется оценка и  $i$ -ой точкой измерения;  $\delta$  – параметр сглаживания;  $\beta$  – степенной параметр. Результат интерполяции по методу IDW представлен на рис. 5,а. При достаточной простоте реализации метод IDW характеризуется существенным недостатком – эффектом «бычьих глаз». Поэтому для уменьшения проявления этого эффекта следует воспользоваться алгоритмом «модифицированный метод Шепарда». Результат его применения показан на рис. 5,б.

Согласно метода Шепарда в качестве оценки переменной  $S_0$  в точке  $(X_0, Y_0)$  области исследования используется среднее взвешенное значений аппроксимирующих функций в этой точке:

$$S_0 = \frac{\sum_{i \in N_0} \omega_{0i} * \Omega_i(X_0, Y_0)}{\sum_{i \in N_0} \omega_{0i}} \quad (4)$$

Суммирование ведется не по всем  $N$  выборочным точкам, а лишь по  $n_w$  ближайшими соседями той точки, где производится оценка. Здесь  $N_0$  – набор номеров таких ближайших выборочных точек ( $N_0 = n_w$ ). Число  $n_w$  является параметром метода, контролирующим его локальность. Веса выборочных точек, также, как и в методе IDW, обратно пропорциональны расстоянию до точки оценки, но задаются другим способом:

$$\omega_{i0} = \left( \frac{d_{\max 0} - d_{i0}}{d_{\max 0} * d_{i0}} \right)^2 \quad (5)$$

где  $d_{i0}$  - расстояние от точки интерполяции до  $i$ -ой точки измерения;  $d_{\max 0}$  - расстояние до максимально удаленной выборочной точки, среди тех, которые учитываются при вычислении оценки.

В отличие от метода IDW вместо значений самой переменной  $S$ , измеренных в выборочных точках, усредняются значения  $n_w$  аппроксимирующих функций, построенных вокруг каждого из  $n_w$  наблюдений.

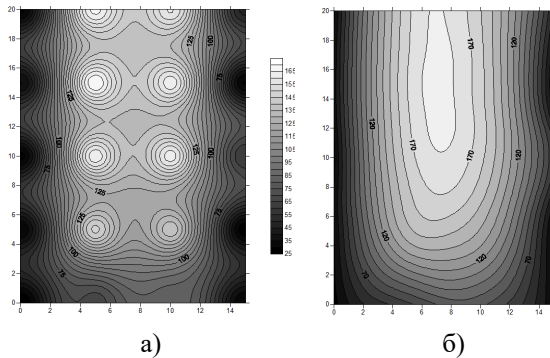


Рис. 5 Визуализация поля, полученного по точкам МТД

Сравнение полученных отображений позволяет констатировать преимущества результатов интерполяции по методу Шепарда.

При использовании метода Кригинга для построения поля по сканированным 20 точкам МТД результат отображения удастся улучшить (рис. 4). Это улучшение объясняется большим объемом вычислительных операций, которые связаны с представлением пространственной переменной  $S(x, y)$  реализацией случайной функции  $Z(X, Y)$ . Такой подход позволяет учитывать пространственную корреляцию данных и дает возможность не только создавать модели поверхностей, но и получать оценку точности этих моделей.

Кригинг - оценка значения пространственной переменной  $Z$  в некоторой точке, где не было измерений, определяется как:

$$S_0 = \sum_{i=1}^n \lambda_i \cdot Z_i \quad (6)$$

где  $n$  весов  $\lambda_i$  являются решением системы Кригинга:

$$\sum_{i=1}^n \lambda_i \cdot C_{ij} = C_{0j}, \quad j=1, \dots, n \quad (7)$$

где  $C_{ij} = C((X_i, Y_i); (X_j, Y_j))$  - значение функции ковариации, характеризующее связь между случайной величиной  $Z(X_i, Y_i)$  в  $i$ -ой точке выборки и случайной величиной  $Z(X_j, Y_j)$  в  $j$ -ой точке выборки.

Соответственно,  $C_{0i} = C((X_0, Y_0); (X_i, Y_i))$  - значение функции ковариации между случайной величиной  $Z(X_0, Y_0)$  в интерполируемой точке и случайной величиной  $Z(X_i, Y_i)$  в  $i$ -ой точке выборки.

Описанный алгоритм относится вариограммному анализу данных, поскольку задачей вычислений является получение оценки пространственной корреляции - *вариограммы*, из которой определяется функция ковариации. Последняя подставляется в систему уравнений Кригинга, чтобы определить весовой коэффициент  $\lambda_i$ .

Анализ результатов визуализации используемых алгоритмов показывает, что лучшим из них является метод Кригинга, хотя требует большего времени вычислений.

Для более точного отображения теплового поля, улучшения разрешающей способности изображения следует увеличить объем измеряемых данных путем уменьшения дискретности сканируемого поля до 2мм.

Применение соответствующих процедур продукта MATLAB, посредством которого ведется управление сканированием, дает возможность визуализировать поле сканируемого объекта в различных вариантах. При этом визуализация осуществляется в результате построения графика поверхности заданной функции.

На первом этапе построения генерируется сетка координатных узлов в области  $x \in [a, b]$ ,  $y \in [c, d]$ . Процесс генерации запускается командой **meshgrid**, после чего вычисляются значения визуализируемой функции в узловых точках. Координаты узловых точек задаются матрицами одинаковой размерности  $X$  и  $Y$ :

$$[X, Y] = \text{meshgrid}(x, y)$$

График функции двух переменных  $S = f(x, y)$  на сформированной сетке будет построен после выполнения команды

$$\text{surf}(X, Y, S)$$

Функция **surf** сначала формирует опорную поверхность (каркас), а потом осуществляет цветовую заливку каждой клетки поверхности.

Результат построения поверхности значений, полученных сканированием объекта с дискретностью 2мм, показан на рис. 6.

Достоинством построенного объемного изображения является возможность анализа неравномерности тепловых потоков сканируемого объекта. Благодаря представленной цветовой палитре, на которой значения температур кодируются соответствующим цветом, улучшается восприятие информации и облегчается анализ конфигурации теплового поля. Если в анализе направлений потоков нет необходимости, то в результате вращения координатных осей изображения можно получить



плоскую картину исследуемого объекта в требуемой плоскости (рис.7,а)

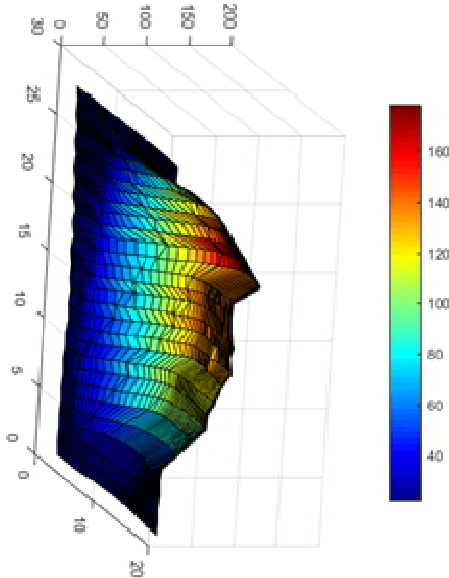


Рис.6. Объемное изображение теплового поля

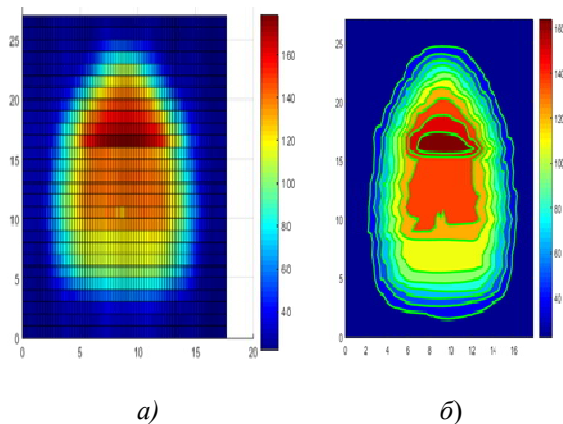


Рис.7. Плоское изображение теплового поля

На плоском изображении четко локализуется нагревательный элемент (темно-коричневый цвет), расположенный в верхней части объекта.

Специфическая опция MATLAB *contour* реализует проекцию функции двух переменных на плоскость в виде контурных графиков (рис.7,б).

Ее формат обращения задается в виде:

$$[Matrix, name]=contour(X, Y, S, n, LineSpec)$$

При обращении *contour(X, Y, S, n)* на сетке, созданной функцией *meshgrid*, строится *n* линий уровня. Цифровые метки отображающие линии уровня, устанавливаются функцией *clabel*.

Сравнивая изображения, представленные на рис. 7, можно заключить, что для оперативного

управления тепловым процессом целесообразно использовать отображение поля в виде контурных графиков, а для исследовательских задач - объемное изображение.

#### IV. ВЫВОДЫ

В результате оценки возможности построения устройства визуализации теплового поля можно констатировать, что программная составляющая устройства сканирования не является ограничивающим фактором при построении поля в реальном масштабе времени. На данном этапе исследований нет необходимости улучшения динамических характеристик электропривода сканирующего модуля, поскольку качество тепловизионного изображения определяется динамикой ИК датчика, используемого в устройстве сканирования. Дальнейшее совершенствование параметров устройства сканирования возможно при использовании более совершенных ИК датчиков.

#### ПЕРЕЧЕНЬ ССЫЛОК

- [1] Temperature and humidity mapping [Электронный ресурс] // Научно-техническая лаборатория "Электронные инструменты". – Режим доступа к ресурсу: URL: [http://elin.ru/files/pdf/Application/thermal\\_mapping\(en\)-revA.pdf](http://elin.ru/files/pdf/Application/thermal_mapping(en)-revA.pdf).
- [2] Coexdaq smart system [Электронный ресурс] // Composites expertise for aircraft – Режим доступа к ресурсу: URL: <http://coexpair.com/Equipment/smart-systems/>
- [3] Maldague X. Theory and practice of infrared technology for nondestructive testing. John Wiley & Sons, Inc., U.S.A., 2001.– 684.
- [4] Кулінченко Г.В., Мозок Є.М., Павленко Є.В. "Дослідження режимів позиціонування скануючого пристрою". XVI Міжнародна науково - технічна конференція "Фізичні процеси та поля технічних і біологічних об'єктів". - Кременчук.-2017.-С. 115-117.
- [5] Кулінченко Г.В., Мозок Є.М., Петренко Р.В. "Оцінка динаміки пірометричного давача температур". Матеріали VII Міжнародної науково-технічної конференції присвяченої 120-річчю НУБіП України. - м. Київ. - 2018 р. С.76-78.

# Сучасні технології та засоби вивчення рельєфу дна ВОДОЙМ

Олександр Малий<sup>1</sup>, Сергій Гарачук<sup>1</sup>

1. Кафедра ПЕЗ, Запорізький національний технічний університет, Запоріжжя, вул. Жуковського, 64, УКРАЇНА, e-mail: docsasha2@gmail.com

**Анотація:** В матеріалах наведено огляд сучасних технологій та засобів вивчення рельєфу дна водойм для створення загальнонаціональної бази водойм з побудовою 3D зображень та вказанням матеріалів шарів дна.

**Ключеві слова:** гідролокатор бокового огляду, ехолот, профілограф, ехограма, профілографа, рельєф дна, правила.

## I. ВСТУП

Морську і річкову геологію цікавить як сучасний рельєф дна, так і осадова товща, включаючи детальну інформацію верхній частині розрізу дна. Дану інформацію можуть надавати сучасні гідрографічні технології. Актуальним напрямом є виконання інженерних геологічних робіт, до складу яких також входить детальне вивчення поверхні і структури дна.

Створення карт водойм та створення загальнонаціональної бази на основі таких досліджень дозволить швидко планувати спорудження мостових переправ та прокладання курсу суден в залежності від їх осадки, а також планувати роботи по отриманню корисних речовин з дна водойм.

Метою досліджень є огляд з метою поліпшення існуючих та розробки нових методів та алгоритмів розпізнавання підводних об'єктів за допомогою комплексної гідроакустичної зйомки дна з використанням багатопромених ехолотів (БПЕ) і гідролокаторами бічного огляду (ГБО). При цьому основна увага приділяється мілководним БПЕ, здатним працювати на частотах в діапазоні від 200 до 400 кГц з використанням при цьому лінійно-частотної модуляції, і забезпечувати управління сектором випромінювання

## II. СТРУКТУРА ТА СКЛАД СИСТЕМ, ЩО ВИКОРИСТОВУЮТЬСЯ ДЛЯ ОБСТЕЖЕННЯ РЕЛЬЄФУ ДНА

Огляд робіт, обладнання, методів та засобів обстеження проводився шляхом аналізу існуючої наукової літератури в цьому напрямку, а також розглядався та аналізувався досвід отриманий при виконанні подібних робіт Науково-технічним центром панорамних акустичних систем Національної академії наук України, що знаходиться у м.Запоріжжя.

Перелік необхідного обладнання для виконання інженерних геологічних робіт, до складу яких

також входить детальне вивчення поверхні і структури дна:

- Ехолотатор ;
- Гідролокатор бокового огляду лівий;
- Гідролокатор бокового огляду правий;
- Профілограф;
- GPS навігатор;
- Персональний комп'ютер
- Модуль зв'язку локаторів з персональним комп'ютер.

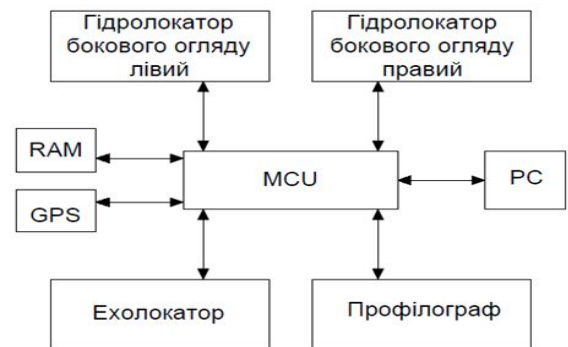


Рис.1 Структура комплексної системи обстеження дна, що встановлюється на базі судна

Під час виконання підводних робіт найважливішою складовою служить комплексна гідроакустична зйомка дна з використанням багатопромених ехолотів (МПЕ) і гідролокатором бічного огляду (ГБО).

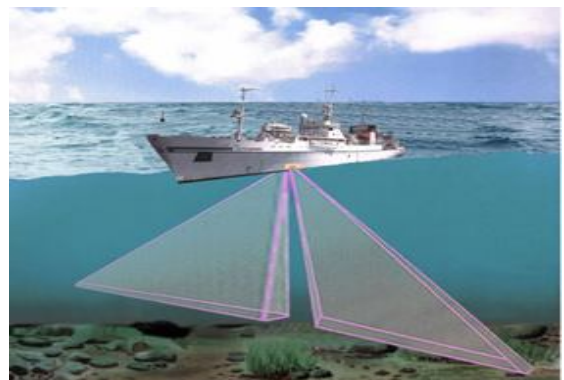


Рис.2 Обстеження дна гідролокатором бокового огляду

Гідролокатор бокового огляду шляхом отримання та аналізу рівня відбитого від дна водойми сигналу дає можливість формування ехограми. Оскільки сигнал, що посилюється під різним кутом повертається у зворотньому напрямку через різний проміжок часу на ехограмі отримуються точки перпендикулярні руху судна, що відповідають відстані від середини борта



судна, їх яскравість характеризує рівень відображеного сигналу, а за рахунок переміщення судна на ехограмі отримується зсув за напрямком руху судна (рис.3).

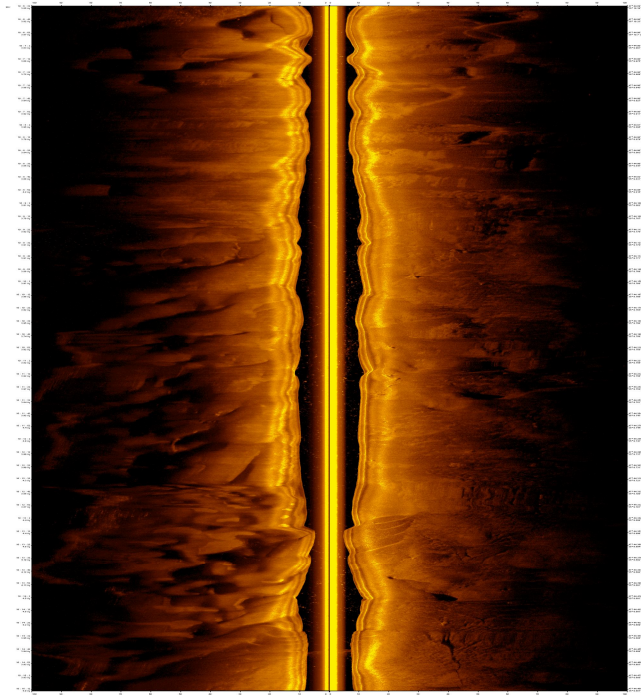


Рис.3 Приклад ехограмі отриманої при обстеженні р.Дніпро поблизу м.Запоріжжя

Враховуючи що гирло річок мають не абсолютно прямі, а також максимальна відстань розповсюдження хвиль гідролокатора не покриває ширину річки, не кажучи вже про озера та моря, обстеження дна проводять рухаючись не за прямою траєкторією. Відповідно треба проводити корегування інформації отриманої гідролокаторами з врахуванням траєкторії руху судна. Для цього додатковим елементом, що дає коригувальну інформацію, а також інформацію про місцезнаходження судна в момент отримання зрізу ехограмі, є GPS трекер. Для корегування інформації з гідролокаторів з врахуванням траєкторії руху судна складають так звані планшети (рис.4).

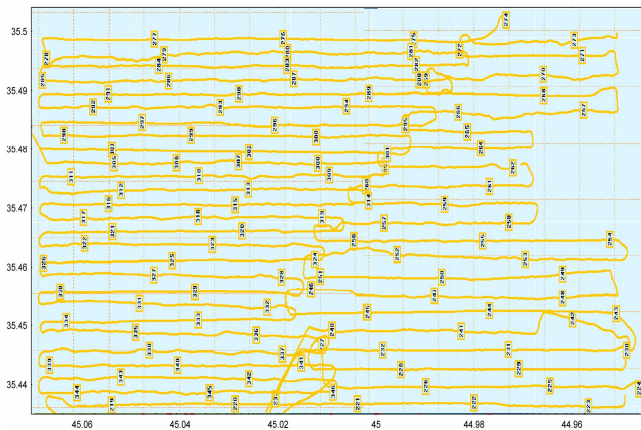


Рис.4 Приклад планшету з траєкторією руху і номерами файлів ехограм

Враховуючи дані отримані з набору ехограм кореговані за допомогою планшетів з траєкторією за допомогою комп'ютерної обробки отримують 3D модель рельєфу дна (рис.5)

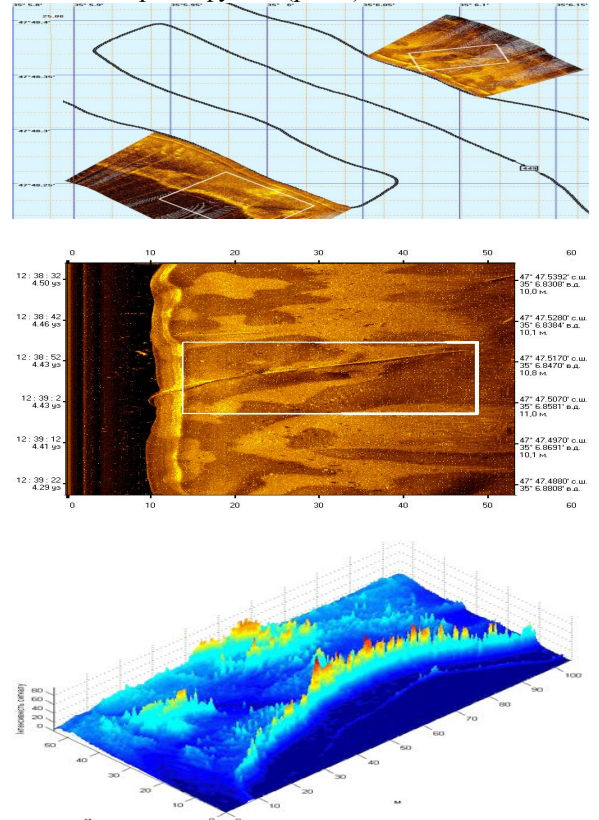


Рис.5 Приклад отримання 3D моделі поверхні дна «Старого русла» р.Дніпро, біля острова Хортиця в м.Запоріжжя

Система обстеження дна має комплексний характер та складається не лише з гідролокаторів бокового огляду. В систему також входить багатопроменевий ехолот. Він в першу чергу використовується для перекриття так званої «мертвої зони» під судном (див. п.6 на рис.6), що обумовлюється смугою розділення лівого та правого каналу гідролокаторів бокового огляду.

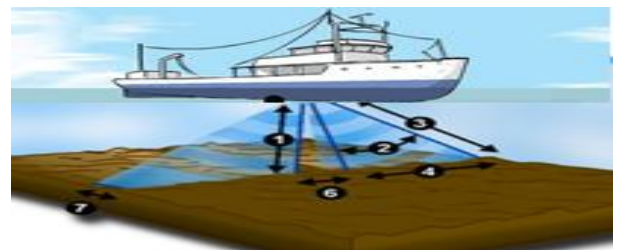


Рис.6 Розподіл зон спостереження при розповсюдженні сигналу та їх відображення на ехограмі

1 - глибина занурення звукового імпульсу, 2 - вертикальний кут променя, 3 - максимальний звуковий діапазон (встановлюється в програмному забезпеченні), 4 - ширина смуги огляду дна, 5 - глибина занурення ГБО від поверхні води, 6 - смуга розділення лівого і правого каналів («мертва зона»)

Крім обстеження рельєфу при створенні загальнонаціональної бази даних водойм проводять обстеження структури дна. Для виявлення складу та товщини шарів дна на бортових системах обстеження використовують профілографи.

Профілограф дозволяє визначати склад та ширину шарів дна водойми з глибиною зондування до 100м з точністю розташування шарів до 10см (на прикладі профілографа ПГ-100, що використовується суднами НТЦ ПАС НАН України).

Приклад виділення шарів дна р. Дніпро за допомогою профілографа ПГ-100 наведено на рис.7.

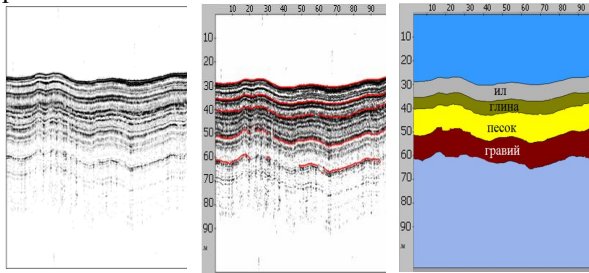


Рис.7. Приклад профілограми, виділення за її допомогою шарів дна та опис матеріалів шарів

Подальша обробка набору профілограм з врахуванням планшетів з траєкторією руху судна, що проводить обстеження дна, дозволяє проводити побудову 3D візуалізації інтенсивності та щільності дна, а також при необхідності складу матеріалів (рис.8).

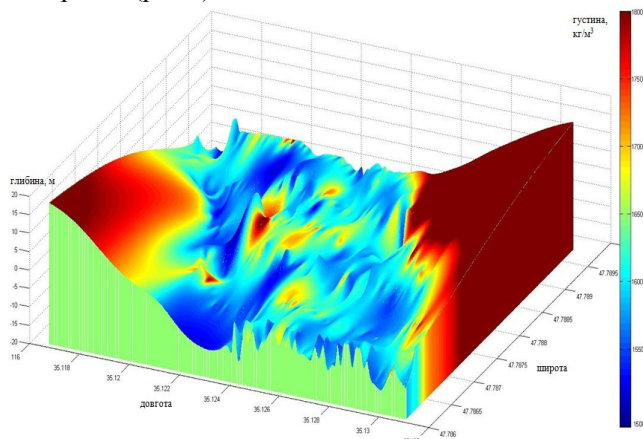


Рис.8 Приклад 3D візуалізації інтенсивності та щільності дна

### III. ПРОГРАМНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ДЛЯ ОБРОБКИ ІНФОРМАЦІЇ ОТРИМАНОЇ ЗА ДОПОМОГОЮ ГІДРОЛОКАЦІЙНОГО ОБЛАДНАННЯ

Великі можливості для аналізу структури донних опадів надають пакети програм остаточної обробки даних низькочастотних ехолотів-профілографів. Електронні прилади різних фірм, як правило, здійснюють реєстрацію даних в своїх фірмових форматах. Універсальним

форматом, використовуваним для остаточної обробки даних електронних приладів гідроакустичного дослідження, є формат SEG-Y. Відомими пакетами програм остаточної обробки даних низькочастотних ЕП є SonarWIZ5 (Chesapeake Technology), Fledermäuse MidWater (QPS / IVS), StructureScan 3D (рис.9), Raymarine AXIOM 7 та інші.

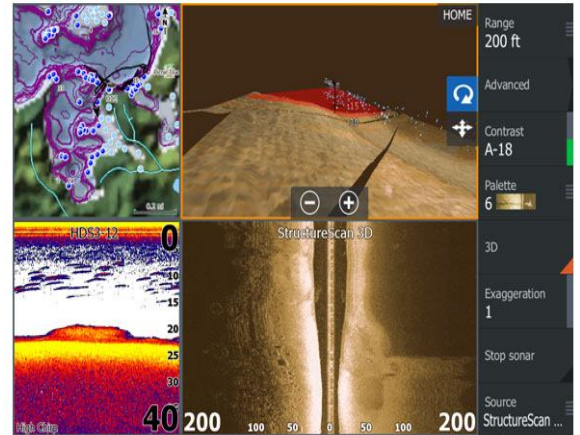


Рис.9 Програмне забезпечення StructureScan 3D

### IV. ВИСНОВКИ

В даний час експлуатаційні, технічні рішення майже всіх гідроакустичних засобів відомі. Гідроакустичні сигнали несуть в собі величезний обсяг інформації, сучасні можливості обчислювальних засобів, розвиток математичних методів обробки інформації надають величезні можливості для підвищення ефективності та продуктивності гідроакустичних засобів.

Вони забезпечують:

- вивчення рельєфу дна і визначення глибин;
- обстеження дна по площі і виявлення затонулих і спеціально встановлених на дні об'єктів, в тому числі замулених;
- виявлення неоднорідностей і порушень моноструктури водного середовища (грязьових вулканів і викидів газу) як індикаторів наявності в донних ґрунтах вуглеводневої сировини і твердих відходів, в тому числі малорозмірних.

Оскільки при проведенні дослідження використовувались не лише теоретичні дані отримані з різних наукових джерел та звітів, а проведена співпраця з Науково-технічним центром панорамних акустичних систем Національної академії наук України, що знаходиться у м.Запоріжжя, то можна стверджувати, що проведений аналіз виявив основні складові систем обстеження рельєфу дна водойм та було проведено аналіз подальшого розвитку в цьому напрямку.

### ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

- [1] Фирсов Ю. Г. *Новые методы пространственной визуализации результатов инженерной батиметрической съемки* / Ю. Г. Фирсов, И. В. Кожухов // Вестник Государственного университета морского и

- речного флота имени адмирала С. О. Макарова. — 2014. — № 2 (24). — С. 17-23.
- [2] Lindsay Gee. *New Tools for Water Column Feature Detection, Extraction and Analysis* / Gee Lindsay [et al.] // *Sea Technology*. — October 2014. — P. 27-30.

# Огляд алгоритмів, моделей та стратегій для розподілу поставлених задач групам роботів, що виконують загальну мету

## Олександр Малий<sup>1</sup>, Олександр Піроженко<sup>1</sup>

1. Кафедра ПТЕЗ, Запорізький національний технічний університет, Запоріжжя, вул. Жуковського, 64, УКРАЇНА, e-mail: docsasha2@gmail.com

**Анотація:** У роботі наведено огляд та порівняння сучасних алгоритмів та моделей побудови систем керування групами роботів при виконанні ними загальних задач.

**Ключові слова:** модель керування, самоорганізація груп роботів, колективна стратегія, стадна стратегія, ройовий інтелект.

### I. ВСТУП

Інтелектуальні роботи використовуються в багатьох областях науки, техніки і промисловості, в першу чергу там, де життєдіяльність людини або ускладнена, або взагалі неможлива, наприклад, в зонах радіоактивного або хімічного забруднення, в умовах бойових дій, при проведенні підводних або космічних досліджень і т.п. До теперішнього часу досить добре опрацьовані основні проблеми, з якими доводиться стикатися розробникам при створенні інтелектуальних роботів, такі, як розпізнавання об'єктів і сцен, формування моделей навколишнього середовища, планування маршрутів руху і послідовностей дій для досягнення мети, управління рухом з урахуванням динаміки інтелектуальних роботів і т.д.

У той же час зрозуміло, що одиночний робот, яким би інтелектуальним він не був, може використовуватися тільки для вирішення деяких приватних задач або виконання досить простих операцій, оскільки він, як правило, має порівняно малими можливостями для виконання поставленої великомасштабної завдання.

Переваги групового застосування роботів очевидні. Це і більший радіус дії, що досягається за рахунок розосередження роботів по всій робочій зоні; і розширений набір виконуваних функцій, що досягається за рахунок установки на

кожен робот індивідуальних виконавчих пристроїв; і, нарешті, більш висока ймовірність виконання завдання, що досягається за рахунок можливості перерозподілу цілей між роботами групи в разі виходу з ладу деяких з них [1].

Найважливішим завданням робототехніки є розвиток і створення нових моделей і алгоритмів для управління групами роботів, а також оптимізацією і поліпшенням взаємодії між ними.

### II. СТРАТЕГІЇ КЕРУВАННЯ ГРУПАМИ РОБОТІВ

Ефективність виконання поставленого завдання для групи роботів багато в чому залежить від обраної стратегії колективного управління. Розрізняють централізовані і децентралізовані стратегії управління.

При централізованих стратегіях управління існує деякий центральний пристрій управління, якому доступна інформація про стан всіх роботів групи і навколишньому середовищу. Керуючий пристрій оцінює поточну ситуацію і приймає рішення про дії роботів групи.

До децентралізованих стратегій управління відносять:

- колективні, із загальним каналом зв'язку для всіх роботів;
- зграйні, без каналу зв'язку;
- ройові стратегії управління, з каналом зв'язку в обмеженому просторі [2].

При колективній стратегії управління, кожен робот групи приймає інформацію від всіх інших роботів групи, і передає зібрану ним інформацію про навколишнє середовище і про свій стан в канал зв'язку таким чином, що ця інформація доступна всім іншим роботам групи. Таким чином інформаційний обмін в групі роботів при колективному управлінні здійснюється за



принципом «кожен з усіма». За рахунок цього кожен робот може самостійно оцінювати поточну ситуацію і приймати рішення про необхідні подальші дії.

При зграйних стратегіях управління виділений канал зв'язку для обміну інформацією між роботами відсутній, кожен робот збирає інформацію про навколишнє середовище самостійно і так само самостійно приймає рішення про свої подальші дії з тим розрахунком, щоб внести свій внесок у виконання групового завдання.

Методи ройового інтелекту [3, 4], вже використовуються для вирішення багатьох практичних завдань, можуть застосовуватися і для управління великими групами роботів, що призвело до появи окремого напрямку, так званої ройовий робототехніки. Кожен робот групи взаємодіє лише з деякими сусідніми роботами, що потрапляють в зону видимості, обмежену дальністю дії його телекомунікаційних приладів (або обмежену штучно). Кожен робот самостійно приймає рішення про подальші дії, спираючись на прості локальні правила (simple rules, local rules). Роботу доступна та інформація про навколишнє середовище, яку він зібрав самостійно, а також та інформація про навколишнє середовище і про стан деяких роботів групи, яку йому передали сусідні роботи. Зібрану інформацію про навколишнє середовище, а також про свій стан робот передає в канал зв'язку. Ця інформація стає доступна тим роботам, в зону видимості яких потрапляє цей робот (в разі однакових по радіусу зон видимості - це ті ж сусідні роботи).

При ройовій стратегії завдяки такому підходу роботи отримують більше інформації про навколишнє середовище, ніж при стайних стратегіях управління, при цьому доступна їм інформація стосується навколишнього їх області, тобто найбільш актуальна. При цьому зберігається масштабованість - збільшення чисельності групи не призводить до збільшення навантаження на бортові обчислювальні пристрої. На нашу думку ця стратегія керування є найбільш оптимальною особливо при використанні масштабної групи, що складається за десятків, а можливо сотен роботів.

В роботі [4] дано визначення ройового інтелекту, як дисципліни, що вивчає природні та штучні системи, що складаються з великої кількості окремих об'єктів (особі, агентів і т.д.), які здійснюють децентралізоване управління на основі принципів самоорганізації.

### III. ПОСТАНОВКА ЗАДАЧ ГРУПОВОГО КЕРУВАННЯ

У загальному випадку завдання управління групою об'єктів можна сформулювати наступним чином [6]. Припустимо, що деяка група, що складається з  $N$  роботів  $R_i$  ( $i = 1, \dots, N$ ), впливає на деяку середу  $E$  (що є об'єктом управління для групи). Будемо вважати, що стан кожного робота  $R_i$  описується вектором  $S_i(t) = [s_{1i}, s_{2i}, \dots, s_{li}]^T$ ,

( $i=1, \dots, N$ ), а стан середовища - вектором  $E_i(t) = [e_1, e_2, \dots, e_w]^T$

Нехай, крім того, кожен робот  $R_i$ ,  $i = 1, \dots, N$ , може виконувати деяку сукупність дій  $A_i = \{A_{1i}, A_{2i}, \dots, A_{mi}\}$ ,  $i=1, \dots, N$ , за допомогою яких він може змінювати як стан середу, так і стан інших роботів групи. В загальному випадку ці зміни в часі визначаються системами виду:

$$S_i = F_i(S_1, A_1, \dots, S_N, A_N, E), i = 1, \dots, N, \quad (1)$$

$$E = F(S_1, A_1, \dots, S_N, A_N, E). \quad (2)$$

На стан роботів і середовища, а також на дії роботів в конкретних ситуаціях, можуть накладатися деякі обмеження, в загальному випадку визначаються системами нерівностей:

$$G(S, S_N, E) < 0, \quad (3)$$

$$D(S, A, S_N, A_N, E) < 0. \quad (4)$$

яким повинні задовольняти допустимі стани роботів групи і їх дії. Метою дій групи роботів є перетворення середовища з вихідного (поточного) стану  $E_0$  в деякий цільовий стан  $E_k$  оптимальним чином, наприклад за мінімальний час.

У загальному випадку задача групового керування роботами розбивається на ряд підзадач, серед яких можна виділити наступні:

- визначення складу групи, здатної ефективно вирішити цільове завдання;
- розподіл функцій між роботами для оптимального (або близького до нього) рішення цільової завдання;
- реалізація функцій окремими роботами для досягнення кінцевої мети.

Серед відомих підходів до вирішення завдання групового керування роботами можна виділити два діаметрально протилежні підходи [5, 6]. У першому випадку це завдання вирішується одним, зосередженим (центральним) пристроєм управління. У другому випадку рішення здійснюється розподіленою системою, що об'єднує пристрої управління окремих роботів групи. Надалі перший підхід будемо називати централізованим груповим керуванням, а інший підхід - децентралізованим груповим керуванням.

### IV. АЛГОРИТМИ КЕРУВАННЯ, ЩО ДОЗВОЛЯЮТЬ ОПТИМІЗУВАТИ ГРУПОВУ ВЗАЄМОДІЮ

У найпростішому випадку  $m_1=m_2=\dots=m_j=\dots=m_N=M$ ,  $M=N$ , тобто число цілей групи дорівнює числу роботів в групі, і кожен робот може вибирати будь-яку мету, кожна з яких для даного робота має своє значення оцінки ефективності (5).

$$d_{i,l} = \frac{\Delta Y_{l,j}}{\Delta Y_j^{\max}} \quad (5)$$

де  $\Delta Y_{l,y}$  - цільовий функціонал

$\Delta Y_j^{\max}$  – максимально можливе збільшення цільового функціоналу, яке може забезпечити j-й робот при досягненні мети.

$$\Delta Y_c = \sum_{j=1}^n d_{j,l} \rightarrow \max, l \in [1, m_j] \quad (6)$$

Причому одну мету може вибрати тільки один робот, тоді задачу управління (6) можна записати в наступному вигляді:

$$\Delta Y_c = \sum_{j,l=1}^n d_{j,l} n_{j,l} \rightarrow \max \quad (7)$$

При обмеженнях:

$$\sum_{l=1}^N n_{i,l}, \quad j = \overline{1, N}$$

$$\sum_{j=1}^N n_{i,l}, \quad j = \overline{1, N}$$

$$d_{j,l} \geq 0$$

де

$$n_{j,l} = \begin{cases} 1, \text{ якщо робот обрав першу ціль} \\ 0, \text{ в іншому випадку} \end{cases}$$

Одним з точних алгоритмів розв'язання задачі призначення є послідовне поліпшення плану. Основна ідея даного методу, орієнтованого на пошук глобального оптимуму функціоналу (7) на інтервалі часу  $[t_0, t_1]$  може бути покладена в основу алгоритму розподілу цілей, що реалізує метод колективного управління.

Найбільш доцільним є спосіб, при якому кожен робот при формуванні початкового опорного плану вибирає мету, яка для даного робота має максимальне значення оцінки ефективності  $d_{j,l}$ .

Інший робот робить те саме але з ще не обраних цілей і так далі поки або не закінчатся цілі, або всі роботи не оберуть свою ціль.

Наступним етапом визначається загальна ефективність системи після чого роботи проводять обмін цілями для оптимізації виконання загальної задачі.

Обчислювальна складність даного алгоритму практично в N раз нижче, ніж у відомих централізованих алгоритмів, що дозволяє реалізовувати цей алгоритм в реальному часі розподіленою системою групового керування, що об'єднує бортові пристрої управління окремих роботів, що функціонують у складі груп в динамічних середовищах і вирішують завдання досягнення спільної групової мети.

### V. ПРОГРАМНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ДЛЯ МОДЕЛЮВАННЯ ПОВЕДІНКИ ГРУПИ РОБОТІВ ПРИ ВИКОНАННІ ЗАГАЛЬНИХ ЗАДАЧ

Великі можливості для аналізу роботи роботів при взаємодії в групі дає моделювання їх

поведінки з використанням різних алгоритмів та стратегій керування у програмних комплексах.

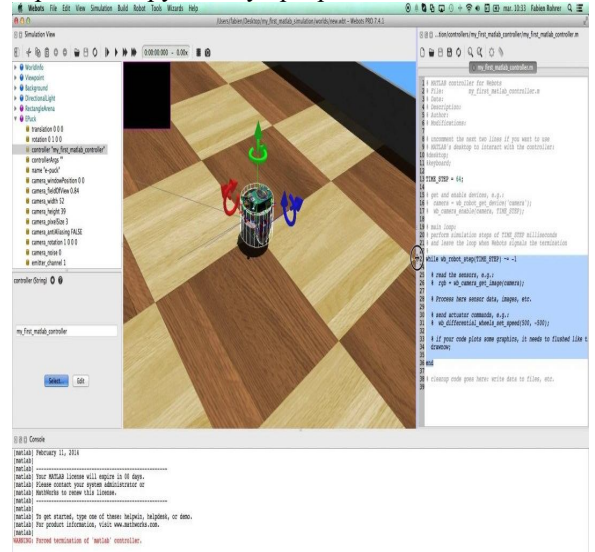


Рис.1 Опис алгоритму поведінки окремого робота, що входить в групу якій поставлена загальна задача

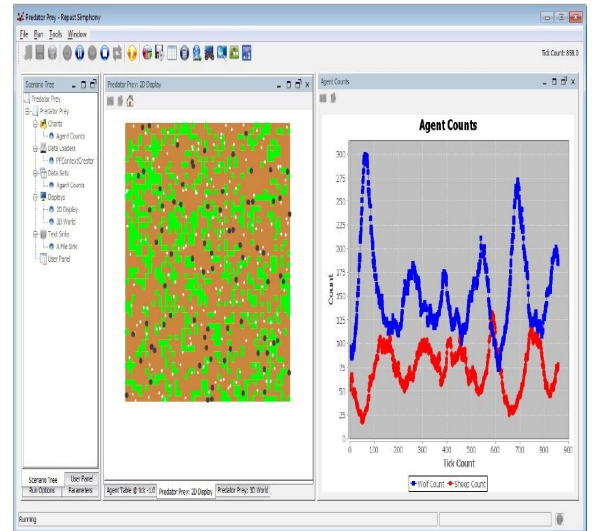


Рис.2 Моделювання групової поведінки роботів при виконанні задачі дослідження місцевості на прикладі мікророботів зі сканерами поверхні

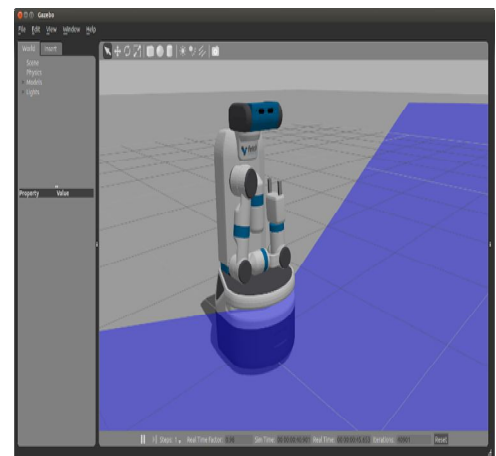


Рис.3 Створення 3D моделі робота, що представляє групу

## VI. ВИСНОВКИ

На даному етапі розробка програмного забезпечення, алгоритмів і моделей для управління групами роботів є більш пріоритетною метою, ніж розробка апаратної і механічної частин.

Переваги використання групи роботів:

- більший радіус дій;
- розширений набір функцій;
- більш висока ймовірність виконання завдання.

Таким чином, проблема групового керування роботами є дуже актуальною. Її рішення дозволить розширити області застосування роботів і вдосконалити вже існуючі.

## ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

- [1] Капустян С.Г. *Метод організації мультиагентного взаємодія в розподілених системах управління групою роботів при вирішенні задачі покриття площини* // «Искусственный интеллект» 3'2004. 2004. – с. 715-727.
- [2] Иванов Д.Я. *Использование принципов роевого интеллекта для управления целенаправленным поведением массово-применяемых микророботов в экстремальных условиях* // Известия высших учебных заведений. 2011. №9. С. 70-78.
- [3] Bonabeau E., Dorigo M., Theraulaz G. *From Natural to Artificial Swarm Intelligence*. Oxford University Press. 1999.
- [4] Dorigo M., Birattari M. *Swarm intelligence* //Scholarpedia. 2007. N 2(9).
- [5] Каляев И.А., Лохин В.М., Макаров И.М. и др. *Интеллектуальные роботы* / Под общей ред. Е.И. Юревича. – М.:Машиностроение, 2007. – 360 с.
- [6] Каляев И.А., Гайдук А.Р., Капустян С.Г. *Методы и модели коллективного управления в группах роботів*. – М.:ФИЗМАТЛИТ, 2009. – 280 с.

# Застосування процедурних авіаційних тренажерів із автоматизованою системою контролю набутих компетентностей в процесі підготовки авіаційних спеціалістів як фактор поліпшення стану безпеки польотів

Дмитро Власенков

Циклова комісія авіаційних приладів та електроустаткування, Криворізький коледж Національного авіаційного університету, УКРАЇНА, Кривий Ріг, вул. Туполева 1, email: Vlasenkov.d@gmail.com

**Анотація:** В даному матеріалі аналізується стан безпеки польотів в Україні та розглядається доцільність використання процедурних авіаційних тренажерів із автоматизованою системою контролю набутих компетентностей для підготовки авіаційних техніків у закладах вищої освіти інженерно-технічного профілю.

**Ключові слова:** авіаційний тренажер, технічні засоби навчання, безпека польотів, людський фактор, автоматизація.

## I. ВСТУП

Авіація – найбільш високотехнологічна галузь народного господарства будь-якої країни. Успішне функціонування такої галузі вимагає

залучення значних наукових та матеріальних ресурсів, а також визначення та реалізацію ряду пріоритетних задач щодо забезпечення надійності авіаційної транспортної системи (АТС). Основною задачею, вирішення якої дозволить забезпечити ефективне функціонування авіаційної галузі на всіх етапах її розвитку та становлення полягає в забезпеченні прийнятного рівня безпеки польотів (БП). Національне законодавство визначає, що БП – це властивість АТС здійснювати перевезення пасажирів і вантажу, а також інші види авіаційної діяльності з прийнятним рівнем ризиків для життя і здоров'я

людей, заподіяння шкоди навколишньому середовищу та спричинення матеріальних втрат. Для забезпечення прийняттого рівня БП найважливішою задачею є підготовка висококваліфікованого персоналу – льотного та інженерно-технічного.

## II. СУЧАСНА БЕЗПЕКОВА СИТУАЦІЯ В АВІАЦІЙНІЙ ГАЛУЗІ УКРАЇНИ

Згідно з даними, що надійшли до Національного бюро з розслідування авіаційних подій, у першому півріччі 2018 року, при експлуатації цивільних повітряних суден (ПС) України з виконання пасажирських та вантажних перевезень, при здійсненні авіаційних робіт, навчально-тренувальних польотів та під час експлуатації ПС авіації загального призначення, що внесені в Державний реєстр цивільних ПС сталися:

- 1 катастрофа (при виконанні УТП на вертольоті Мі-8);
- 4 аварії (аварія при виконанні транспортних перевезень на літаку MD-83, АХР на вертольоті Мі-2, дві аварії з ПС авіації загального призначення);
- 4 серйозні інциденти (при виконанні транспортних перевезень);
- 32 інциденти (11 з яких – інциденти, пов'язані з засліпленням лазерними променями);
- 2 пошкодження ПС на землі;
- 5 порушень порядку використання повітряного простору.

За 6 місяців поточного року на території України сталося 24 події з іноземними цивільними повітряними суднами (рис.1).

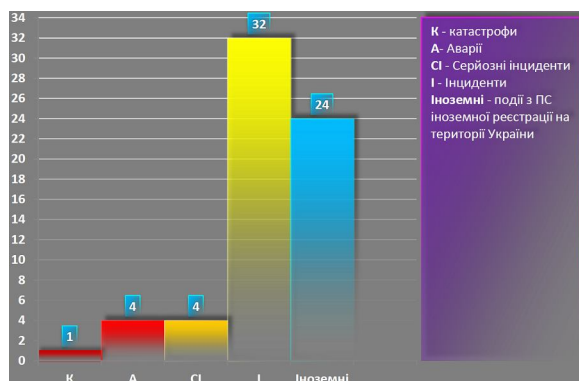


Рис. 1. Кількісний розподіл авіаційних подій за видами

У 1 півріччі 2018 року обсяг нальоту годин при виконанні регулярних комерційних, нерегулярних комерційних та некомерційних польотів у порівнянні з минулим роком збільшився на 11907 льотних годин (9,5%).

Відносним показником стану безпеки польотів цивільних повітряних суден є коефіцієнти аварійності, що розраховуються за загальною формулою:

$$K_T = N \times 100\,000 / T,$$

де N – кількість авіаційних подій;

T – наліт годин за аналізований період;

100000 – критерій порівняння, 100 000 годин нальоту.

Абсолютна кількість серйозних інцидентів у порівнянні з 2017 роком збільшилась на 3, що призвело до підвищення коефіцієнту аварійності по серйозних інцидентах на 2,11.

Обсяг нальоту годин при виконанні авіаційних робіт та учбово-тренувальних польотів у порівнянні з 2017 роком зменшився на 1877 годин (18,9 %).

Внаслідок зменшення обсягів робіт у поєднанні з абсолютною кількістю обох подій (катастрофи та аварії), призвело до збільшення коефіцієнта аварійності:

- по катастрофам на 1,24;
- по аваріям на 0,23.

При виконанні транспортних перевезень сталася 1 аварія та 4 серйозні інциденти. Коефіцієнт аварійності по аваріям збільшився до 0,72, а по серйозним інцидентам в порівнянні з 1 півріччям 2018 збільшився до 2,9.

Відносний показник кількості інцидентів при виконанні транспортних перевезень практично не змінився (за рахунок більшої кількості годин нальоту) та становить 13,7 (у 2017 році – 13,2) інцидентів на 100 000 льотних годин.

Враховуючи всі отримані дані, при експлуатації повітряних суден сертифікованих компаній та навчальних закладів, загальний коефіцієнт аварійності по подіях високого рівня (катастрофи, аварії, серйозні інциденти) погіршився (збільшився) на 3,33 у порівнянні з першим півріччям 2017 року, та складає 4,81 на 100 000 льотних годин.

Аналіз причин, які призвели до погіршення рівня БП показав, що одним з головних факторів є недосконалість системи професійної підготовки персоналу (рис.2).



Рис.2. Класифікація причин/факторів авіаційних подій

## III. АНАЛІЗ ВИМОГ ДО СИСТЕМИ ПІДГОТОВКИ АВІАЦІЙНИХ СПЕЦІАЛІСТІВ

Згідно із статистикою Міжнародної асоціації повітряного транспорту (IATA), щороку спостерігається приріст пасажиропотоку і перевезень вантажів авіаційним комерційним транспортом. Так, в період з 2015 р. по 2018 р.



світовий приріст об'єму авіаперевезень, виражений в пасажиро-кілометрах, склав 7,3%. Активний розвиток кількості польотів, вимагає наявності висококваліфікованих професійних кадрів, залучених в усі процеси конструювання, виробництва і експлуатації повітряних суден, у тому числі, їх технічного обслуговування.

Основою високого рівня професіоналізму, необхідного для здійснення авіаційної діяльності в сучасних умовах, є якісна первинна підготовка фахівців, що враховує тенденції розвитку цивільної авіації.

Розглянемо відповідні міжнародні вимоги, що діють нині.

Міжнародна організація цивільної авіації (ICAO), що створена в 1944 р. і об'єднує сьогодні 191 країну, включаючи й Україну, розробляє і затверджує засадничі вимоги в області цивільної авіації, яким країни-члени ICAO зобов'язані слідувати при розробці національних стандартів.

Розглянемо основні положення, прийняті ICAO відносно підготовки фахівців, що здійснюють технічне обслуговування (ТО) повітряних суден. Виходячи із складності і об'єму завдань, що вирішуються авіаційними технічними фахівцями, процес їх підготовки рекомендується розбити на 3 етапи:

- Етап 1. Знання. Цей етап включає базову підготовку, після проходження якої слухач повинен мати необхідні початкові знання для переходу до другого етапу підготовки.

- Етап 2. Уміння. Цей етап включає загальну практичну підготовку по процедурах ТЕ, необхідним для освоєння основних навичок до початку робіт на діючому парку ВС.

- Етап 3. Досвід. Цей етап включає практичну підготовку по виконанню робіт безпосередньо на робочих місцях, на конкретних типах авіаційної техніки і видах устаткування.

У свою чергу, теоретичну підготовку підрозділяють на складові елементи, які можна об'єднати в 4 групи: вивчення авіаційного законодавства; вивчення конструкції і технічного обслуговування повітряних суден; вивчення природничих наук; аналіз можливостей людини.

Ідентичний підхід застосовується і в Європейському авіаційному законодавстві по підготовці інженерно-технічного персоналу, викладеному в додатку 3 (Part-66) до Рішення Європейської комісії 2042/2003 від 20 листопада 2003 р. Законодавство Європейської агенції з безпеки польотів (EASA), викладене в Part-66, зокрема включає вимоги по базовій освіті, яка складається з 17 дисципліни (модулів), що вивчаються залежно від спеціалізації і роду діяльності. При цьому кожна дисципліна ділиться, у свою чергу, на підрозділи. Зміст кожного підрозділу розподілений на три рівні, а саме: рівень 1 - загальне знайомство з принциповими основами предмета, що вивчається; рівень 2 - загальне знання теоретичних і практичних аспектів; рівень 3 -

детальне знання теоретичної і практичної частини предмета (п. 1 додатка I до вимог Part-66).

Таким чином, Європейське законодавство корелює з тими рекомендаціями, які розроблені і прийняті ICAO. Станом на теперішній час українське національне законодавство в повній мірі відповідає та узгоджується із вимогами EASA. Рівень підготовки авіаційних фахівців наближається до європейських стандартів.

#### IV. МОЖЛИВІСТЬ ВИКОРИСТАННЯ ПРОЦЕДУРНИХ ТРЕНАЖЕРІВ ПІДГОТОВКИ АВАЦІЙНОГО ТЕХНІЧНОГО ПЕРСОНАЛУ

Аналіз світової статистики авіаційних подій показує, що причиною близько 80% катастроф є людський чинник, а саме помилки екіпажа, авіаційних диспетчерів та авіаційних техніків, викликані їх невідповідністю до ситуацій, коли відбувається поєднання яких-небудь несприятливих чинників.

Для того, щоб навчитися упевнено діяти в невизначених ситуаціях у всьому світі створюються центри підготовки і перепідготовки авіаційного персоналу. Професійна підготовка проходить на тренажерах, які моделюють роботу реальних об'єктів. Навчання на тренажері, окрім економії грошових коштів і часу, дає можливість ефективніше, ніж на реальному літаку відпрацювати дії в ситуації повної або часткової невизначеності. Це пов'язано з тим, що можна багаторазово повторити і довести дії персоналу до автоматизму без ризику псування авіаційного обладнання. В даному матеріалі розглядається можливість тренажерної підготовки технічних фахівців з наземного обслуговування повітряних суден.

Сучасні іноземні навчальні процедурні тренажери технічного обслуговування повітряних суден дозволяють здійснювати не лише ознайомлення з системами літака, але і відпрацьовувати процедури пошуку і усунення несправностей (Troubleshooting). Цей вид робіт припускає роботу з документацією АММ (Aircraft Maintenance Manual - керівництво по технічному обслуговуванню) і ТSM (Troubleshooting Manual - керівництво по пошуку і усуненню несправностей). Робота з керівництвом здійснюється за допомогою використання документаційної бази, що дозволяє швидко і якісно сортувати необхідну для конкретного випадку і виду технічного обслуговування документацію. При цьому слід зазначити, що проведення подібних процедур на тренажері симулюється максимально близько до умов реальної експлуатації повітряного судна.

Сучасний тренажер дозволяє відпрацьовувати більш ніж 140 основних процедур технічного обслуговування по АММ і більше 80 процедур по ТSM. Процедура Troubleshooting є комплексним видом технічного обслуговування повітряного судна, що включає пошук несправності,

локалізацію і підтвердження наявності несправності за допомогою устаткування вбудованого контролю BITE (Built - In Test Equipment) з точністю до блоку або агрегату, пошук що відповідає документації TSM у базі документів для конкретного випадку, подальша процедура усунення несправності, тестування, підтвердження усунення несправності, перевірка на працездатність і справність.

Нині основна доля авіаперевезень на середніх і далеких авіалініях національних авіакомпаній здійснюється на повітряних суднах іноземного виробництва. У зв'язку з цим стає актуальним завдання впровадження в освітній процес авіаційних навчальних закладів навчальних матеріалів про конструкцію і правила технічної експлуатації зарубіжної авіаційної техніки.

Основними видами навчального заняття із застосуванням тренажерної техніки може бути лабораторне і практичне заняття. Найбільш раціональним видом навчального заняття, що проводиться з використанням тренажерної техніки, є лабораторні роботи. В даному випадку повністю обґрунтований статус цього виду зайняття, оскільки застосовується авіаційна техніка. Дослідницька частина лабораторної роботи пов'язана із застосуванням нестандартних режимів функціонування бортової системи літака і пошуком причини відмов. Практична реалізація лабораторної роботи забезпечується наявністю дисплейного класу з автоматизованими робочими місцями для студентів (слухачів). Тренажер у вигляді імітаційної кабіни екіпажа повітряного судна має менше дидактичних можливостей. Його доцільно використати для підготовки студентів (слухачів) до проведення практичного зайняття або лабораторних робіт під керівництвом викладача (інструктора).

Тренажер повинен мати два режими роботи: режим навчання (режим тренування) і режим автоматизованого контролю набутих компетентностей. У режимі навчання повинні фіксуватися помилки, а також мають бути гіперпосилання на автоматизовану базу навчальних матеріалів, де вказані матеріали, вивчення яких дозволить виправити помилки. У режимі навчання на екрані дисплея присутнє поле підказок, на якому в текстовому форматі відображається зміст наступного кроку алгоритму перевірки функціональної системи літака. Після безпомилкового виконання тесту студент (слухач) переходить до режиму контролю набутих компетентностей. Цей режим роботи, окрім помилок, фіксує також загальний час роботи на тренажері. Така методика виконання заняття дозволяє отримати не лише знання, але і практичні навички (компетенції) по перевірці правильності функціонування бортових систем повітряного судна.

Методика проведення лабораторного (практичного) заняття із застосуванням тренажерної техніки має ряд особливостей. Навчальний посібник по проведенню зайняття

має готувати викладач за участю інструктора тренажера. Загальна частина навчального посібника повинна включати короткий опис досліджуваної системи літака, а також штатних режимів функціонування системи. Початкові матеріали для посібника можуть бути отримані з базового теоретичного курсу за цим типом повітряного судна (Training Manual). Бажано використати анімовані схеми функціональної системи. Найменування конструктивних елементів, органів контролю і управління системи мають бути представлені англійською мовою з перекладом на українську. Тому в якості додатка до навчального посібника викладач повинен розробити глосарій в об'ємі тематики навчального заняття. Глосарій повинен містити окрім дослівного перекладу терміну також коротке його тлумачення.

Нині існує ряд проблем, від рішення яких залежить успішне впровадження в освітній процес навчання на зарубіжній авіаційній техніці із застосуванням тренажерів. Однією з основних проблем є мовна професійно-орієнтована підготовка студентів (слухачів). Для студента (слухача) достатнє знання англійської мови на рівні розуміння технічного тексту (Reading Comprehension). Викладач і інструктор тренажера повинні знати англійську мову на рівні інтер'ю (Speaking).

## V. ВИСНОВКИ

На основі проведеного аналізу та фактичних даних можна зробити наступні висновки:

1. Не дивлячись на активний технологічний розвиток авіаційної галузі ситуація зі станом безпеки польотів потребує негайної стабілізації.
2. Покращити стан безпеки польотів можливо за рахунок впровадження в освітній процес закладів вищої освіти авіаційних тренажерів.
3. Національне авіаційне законодавство відповідає сучасним європейським вимогам.
4. Наразі в Україні відсутні системи тренажерної підготовки персоналу з технічного обслуговування повітряних суден.
5. В Україні відсутня як вид система сертифікації процедурних тренажерів персоналу з технічного обслуговування повітряних суден.
6. Серйозною проблемою підготовки персоналу з технічного обслуговування є низький рівень знання англійської мови.

## ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

- [1] Про затвердження Положення про систему управління безпекою польотів на авіаційному транспорті *Наказ Державної служби України з нагляду за забезпеченням безпеки авіації від 25 листопада 2005 року N 895.*

- [2] Аналіз стану безпеки польотів за результатами розслідування авіаційних подій та інцидентів з цивільними повітряними суднами України, що сталися у 1 півріччі 2018 року *Національне бюро з розслідування авіаційних подій та інцидентів з цивільними повітряними суднами*, 2018.
- [3] Commission Regulation (EC) No 2042/2003 of 20 November 2003 on the continuing airworthiness of aircraft and aeronautical products, parts and appliances, and on the approval of organisations and personnel involved in these tasks. – Brussels, 2003.
- [4] Міжнародна організація цивільної авіації Doc. 7192, Настанова по навчанню. – Ч. D-1. Технічне обслуговування повітряних суден (технік/інженер/механік) – 2-ге видання, 2003.
- [5] Zasuhin A.S. «USE OF PROCEDURAL SIMULATOR «FAROS» AIRCRAFT MAINTENANCE OF A320 FAMILY», 2014.
- [6] Nayda V.A. «SYSTEMATIC KNOWLEDGE OF AUTOMATED CONTROLS WITH SPECIALISED AVIATION TRAINER OF AIRCRAFTS», 2015.
- [7] Lyu Dzhonda, Kolokolnikov P.A., Yablonskiy S.N., Terenin S.S. «INTERNATIONAL REQUIRMENTS ANALYSIS APPLIED AT PROGRAM SYSTEMS DESIGN FOR AERONAUTICAL SPECIALISTS TRAINING», 2015.
- [8] EPRI NDE Center Training. Courses, Materials & Services. Charlotte, NC, 2003.
- [9] Vazques A.A. «Touch screen use on flight simulator instructor/operator stations». MS Thesis. US Naval Acad. Publ., Monterey, 1990, 78 p.

## Розробка конструкції та виготовлення лазерного гравера

Євгеній Разумов-Фризюк, Олексій Гусак, Дмитро Нікітін, Ігор Баданюк, Андрій Олійник, Сергій Іорданов, Олексій Водоріз, Олександр Колодяжний.

Кафедра КІТАМ, Харківський національний університет радіоелектроніки, УКРАЇНА,  
Харків, пр. Науки. 14, email: mityanikitin97@gmail.com

**Анотація:** В даному матеріалі розглянуті особливості технології лазерної обробки та представлено конструкцію малопотужного гравера.

**Ключові слова:** обробка листових заготовок, механічні та термічні методи, лазерний модуль, різання, гравіювання, технологія, лазерний гравер.

### I. ВСТУП

Існують різноманітні методи обробки матеріалів: механічні і термічні. Механічні методи: обробка різанням і тиском – широко застосовуються у виробництві, бо відрізняються високою продуктивністю, дозволяють обробляти великі заготовки. Однак, незважаючи на ці істотні переваги, у механічних методів є ряд значних недоліків:

- складність забезпечення мікронної точності і чистоти поверхні деталі;
- механічна деформація заготовки при обробці;

- великі витрати матеріалу;
- малий термін служби інструменту і його швидкий знос.

Термічні методи, в тому числі лазерна обробка, цих недоліків позбавлені. Лазерна обробка матеріалів прогресивна і високотехнологічна, затребувана зараз через низку істотних переваг:

- при різанні металу лазером досягається висока точність різки без похибок і з мінімальними допусками;
- вироби і заготовки при обробці не деформуються, оскільки відсутній механічний тиск на матеріал;
- використання спеціалізованих комп'ютерних програм для обробки креслень і створення розкрою, що дозволяє максимально знизити відсоток відходу матеріалу;

– лазерне різання не обмежує роботу з деталями (можуть підійти як плоскі деталі, так і об'ємні).

Саме завдяки всім цим перевагам лазерний метод обробки є зараз провідним і доступним для широкого кола споживачів. Сучасне обладнання має широкий діапазон настройки потужності лазера, і як наслідок глибини проникнення променю. В результаті можна отримати лазерну різку або гравіювання матеріалів за порівняно низьку ціну.[1]

## II. ЛАЗЕРНЕ РІЗАННЯ ТА ГРАВІЮВАННЯ

Лазерне різання та гравіювання – технології обробки матеріалів, що використовують лазер високої потужності.

Сфокусований лазерний промінь забезпечує високу концентрацію енергії і дозволяє розрізати практично будь-які матеріали незалежно від їх теплофізичних властивостей.

У процесі різання під впливом лазерного променю матеріал розрізається на ділянки, плавиться, займається, випаровується і видувається струменем газу.

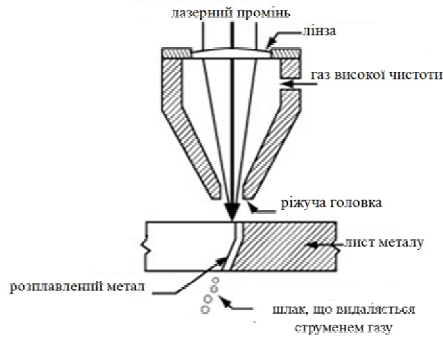


Рис. 1. Схема лазерного різання і гравіювання

Завдяки великій потужності лазерного випромінювання забезпечується висока продуктивність процесу в поєднанні з високою якістю поверхонь різку[2].

Легке і порівняно просте управління лазерним випромінюванням дозволяє здійснювати лазерну різку і гравіювання по складним контурам плоских та об'ємних деталей та заготовок з високим ступенем автоматизації процесу.

Переваги лазерного різання і гравіювання:

- відсутність механічного контакту дозволяє обробляти крихкі матеріали, які легко деформуються матеріали;
- висока швидкість роботи (в залежності від типу лазера, його потужності і матеріалу);
- обробка матеріалів з твердих сплавів;
- малі розміри станків у порівнянні з плазмовими і газокисневими;
- можлива високошвидкісна різка тонколистової сталі;
- висока точність різку і гравіювання від  $\pm 0,01$  до  $\pm 0,1$  мм;
- мінімальна кількість відходів при різанні й гравіюванні;

- низька ціна обладнання в порівнянні з іншими видами термічної обробки;
- можливість роботи у великому діапазоні листових матеріалів;
- екологічність роботи;
- висока якість виробів.

Недоліки лазерного різання і гравіювання:

- не підходить для різання товстостінного металу;
- залежність параметрів, таких як ефективність, швидкість обробки, якість різку від типу лазера і його потужності;
- обмеження по товщині і габаритам листа, максимальний розмір листа  $1500 \times 3000$  мм;
- потрібен додатковий захист очей від лазерного випромінювання;
- обмежений термін служби лазера.

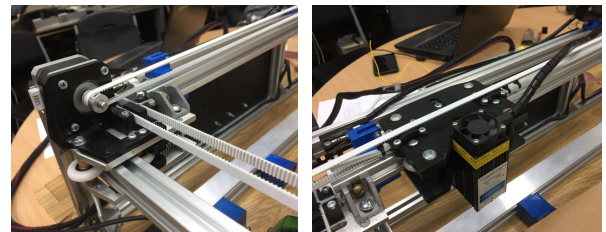
Враховуючи вищезазначені переваги та недоліки було створено конфігурацію лазерного гравера, яка задовольняє більшості вимог дрібносерійного виробництва (табл.1).

Таблиця 1

Вимоги до лазерного гравера

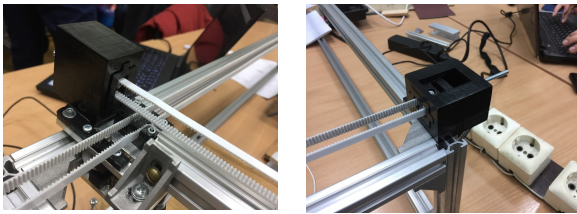
№	Параметри	Значення
1	Розмір конструкції (довжина, ширина, висота), мм	1110×1005×230
2	Вага, кг	10
3	Робоче поле, мм	865×725
4	Швидкість гравіювання (по дереву), мм/хв	600
5	Швидкість різання (дерево 4 мм), мм/хв	75
6	Точність позиціонування, мм	0.1
7	Потужність лазера, Вт	5.5
8	Довжина хвилі, нм	450
9	Напруга живлення, В	220
10	Програмне забезпечення	Marlin laser

Конструкція лазерного гравера складається з механічної та електронної частини та робочого пристрою (лазера). Механічна частина включає каркас та напрямні з верстатного профілю по якому переміщуються каретки вісей X та Y, які приводяться у рух кроковими двигунами через зубчасту пасову передачу (рис.2).



а) перша каретка осі (X); б) каретка осі (Y);

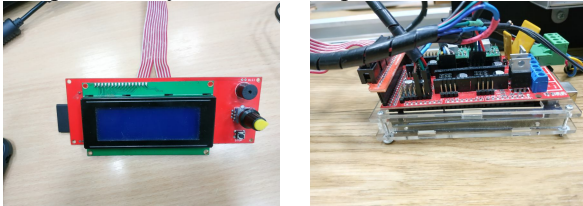




в) друга каретка осі (X); г) натягувач осі (X).

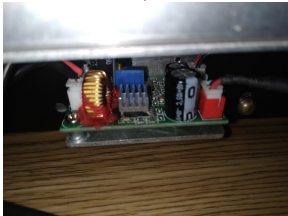
Рис.2. Механічна частина гравера

До електронної частини, що забезпечує керування процесом відноситься плата керування з драйверами крокових двигунів, драйвером лазерного модуля та датчики рис. 3.

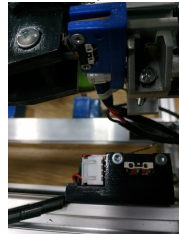


а)

б)



в)



г)



д)

Рис. 3. Електронна частина гравера:  
а) LCD екран; б) плата керування на основі ArduinoMega; в) драйвер лазерного модуля;  
г) кінцеві вимикачі; д) блок живлення.

Схема підключення електронної частини наведена на рис.4.

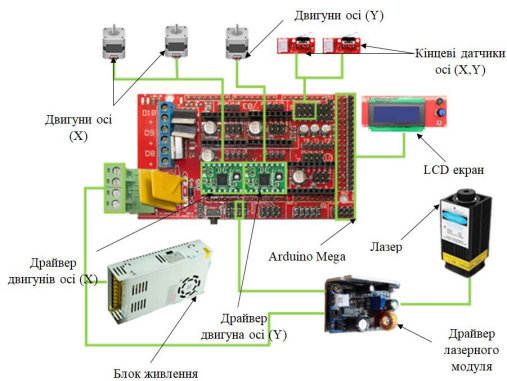


Рис. 4. Схема підключення електронної частини гравера

В якості робочого пристрою використовується напівпровідниковий лазер з регульованою фокусною відстанню рис.5.

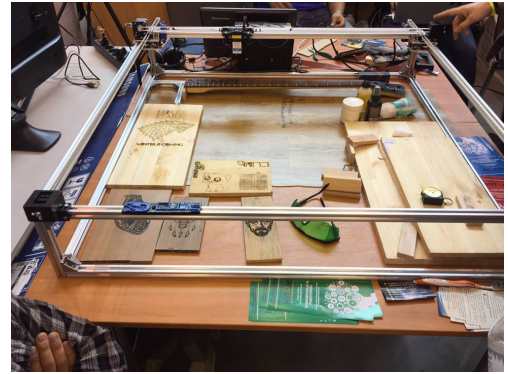


Рис. 5. Зовнішній вигляд гравера

### III. ВИСНОВКИ

За результатами проведеної роботи було створено лазерний гравер, що дозволяє обробляти (гравіювати та різати) широкий спектр матеріалів, а саме: дерево, шкіру, пластик, гума, тканини (рис. 6).

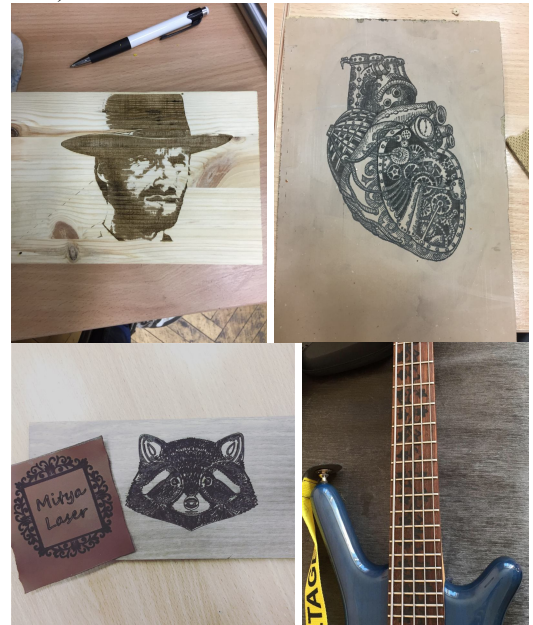


Рис. 6. Зразки гравіювання

Даний прилад може використовуватись для декорування дерев'яних поверхонь, гравіювання та розкрою шкіряних виробів.

### ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

- [1] Технологические процессы лазерной обработки: Учеб. Пособие для вузов [Текст] / Под ред. А.Г. Григорьянца – Москва. МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2006. –496 с.
- [2] Технология лазерной резки листового металла [Электронный ресурс]; режим доступа (<http://www.benutek.com.ua/articles/laser-cut-technology/>); дата використання [02.10.2018].

# Розробка конструкції та виготовлення 3D принтеру з механікою Delta

Олійник Андрій, Ігор Баданюк, Сергій Іорданов, Дмитро Нікітін,

Олексій Гусак, Олексій Водоріз, Євгеній Разумов-Фризюк

Кафедра КІТАМ, Харківський національний університет радіоелектроніки, УКРАЇНА,  
Харків, пр. Науки. 14, email: mityanikitin97@gmail.com

**Анотація:** В даному матеріалі розглянуті особливості 3D принтеру з механікою Delta та представлено конструкцію прототипу 3D принтера.

**Ключові слова:** 3d принтер, кінематика Delta, екструдер, система тяг.

## I. ВСТУП

Сучасні виробничі технології розвивається стрімко, і в даний час все більшої популярності набувають так звані адитивні технології.

Частина заслуги в цьому належить технології 3D друку. З кожним днем ця технологія набирає все більших обертів, і зараз її можна зустріти як в будинку ентузіаста так і на великому підприємстві.

Великого поширення 3D друку почалося з появи принтерів невеликих габаритів і по відносно не високими цінам. Що в свою чергу дозволило застосувати 3D друк у багатьох напрямках починаючи від створення дрібних сувенірів та прототипів пристроїв які знаходяться на етапі розробки, закінчуючи створенням повноцінних функціональних частин або навіть вузлів.

Самі 3D принтери не перепиняють модифікуватися і вже сьогодні існує велика їх кількість різних форм і габаритів, що робить розвиток 3D друку актуальним та має прикладний характер.

Особливої уваги заслуговують 3D принтери з кінематикою Delta..

## II. КІНЕМАТИКА DELTA

Кінематика даного виду принтера заснована на принципах манипулятора дельта-робота.

Дані принтери не мають значного поширення. Можливо тому, що вимагають надійного та точного конструкційного виконання, механічного та програмного налаштування.

Дельта-принтери мають високий каркас для вільного ходу довгих важелів, і разом з тим досить високу область друку.

Дельта принтери мають низку переваг в порівнянні з аналогами, а саме швидкість і точність друку за рахунок системи тяг яка побудована за типом дельта бота. За рахунок цієї конструкції принтер здійснює друк на досить високій швидкості, при цьому витрачає менше зусиль для переміщення друкуючої головки. Окрім того нерухомий стіл зменшує вірогідність деламінації деталей, що друкуються [1].

Разом з цим присутні наступні недоліки, а саме:

– складність калібрування. Осі переміщення у Delta принтера залежні один від одного (незначні переміщення однієї з осей призводить до того, що друкуюча головка переміщується за трьома координатами);

– складність розрахунків. Для того щоб забезпечити точне переміщення екструдера необхідно багато розрахунків, що тягне за собою покупку дорожчої електроніки;

– габарити в висоту. Крім виділеної області під друк частина обсягу принтера потрібна для переміщення самої головки [2].

Загальне зображення кінематики принтеру представлено на рисунку 1.

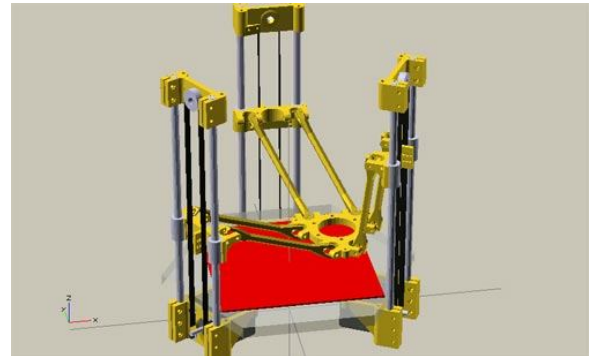


Рис. 1. Зображення 3D принтеру з механікою Delta

## III. РОЗРОБКА КОНСТРУКЦІЇ ПРИНТЕРУ

Враховуючи вищезазначені переваги та недоліки було розроблено та виготовлено багатофункціональний 3D принтер з кінематикою Delta, який має наступні технічні характеристики:

- технологія друку: FDM (FFF);
- кількість екструдерів: 3;
- діаметр робочого простору: 260мм;
- висота робочого простору: 320мм;
- температура підігріваного столу: до 120°C.
- діаметр прутка філаменту: 1,75мм.
- роздільна здатність (висота шару): від 50мкм до 300мкм;
- діаметр сопла: 400мкм;
- габаритні розміри: 1250x550x600 мм.
- живлення: 220В, 50Гц;
- потужність: 360Вт
- можливість друку з flash-карти:



- наявність захисного корпусу;
  - можлива заміна на другий тип екструдера;
- Розроблений 3D принтер здатний виконувати друк наступними матеріалами:
- термопласти з температурою плавлення до 300°C (поліактид (PLA));
  - крилонітрілбутадієнстірол (ABS, АБС);
  - полівінілхлорид (PVA, ПВА);
  - нейлон, полікарбонат (PC, ПК);
  - поліетилен високої щільності (HDPE, ПНД);
  - поліпропілен (PP, ПП);
  - полікапролактон (PCL);
  - поліфенілсульфона (PPSU);
  - поліметилметакрилат (Acrylic, оргскло, акрил, ПММА);
  - поліетилентерефталат (PET, ПЕТ);
  - ударостійкий полістирол (HIPS);
  - декоративні пластики-імітатори різноманітних матеріалів (імітатори металів (BronzeFill), імітатори пісковика (Laybrick), деревні імітатори (LAYWOO-D3, BambooFill) та інші.

Зовнішній вигляд розробленого 3D принтеру наведено на рисунку 2.

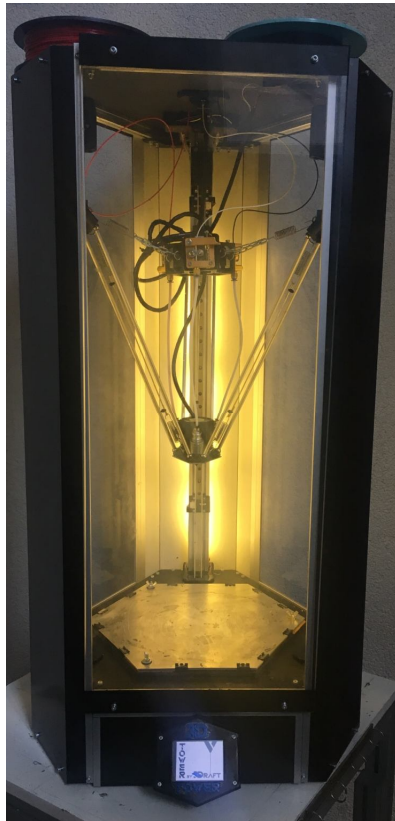


Рис. 2. Багато функціональний 3D принтер «TOWER»

До переваг даного 3D принтеру слід віднести його конструкцію, а саме на відміну від існуючих аналогів він має шестикутну форму, що в свою чергу дозволяє зменшити довжину системи тяг, які переміщують екструдери 3D принтеру.

Зображення екструдера та системи тяг наведено на рисунку 3.



Рис. 3. Екструдер та система тяг

В якості основного матеріалу для побудови 3D принтеру було використано верстатний алюмінієвий профіль. Даний профіль виготовляється з алюмінієвого сплаву АД31, поверхня якого зміцнена завдяки механічних деформацій під час виготовлення. Завдяки чому конструкції з даного матеріалу одночасно легкі та міцні[3].

### III. ВИСНОВКИ

Розроблений 3D принтер з механікою Delta дозволяє друкувати різними матеріалами, що дає можливість використовувати даний 3D принтер в різних сферах діяльності:

- виготовлення прототипів деталей для тестування нових механізмів, деталей, виробів або виготовлення їх малими партіями;
- виготовлення форм для лиття стеарину-парафінових моделей або виготовлення, для подальшого лиття металами, за технологією «лиття по виплавленим моделям», або виготовлення пластикових моделей для подальшого лиття по виплавленим моделям;
- виготовлення пластикових деталей автомобілів за індивідуальними замовленнями (ручки, корпуси окремих компонентів, оздоблювальні елементи).
- виготовлення медичних шин і елементів персоналізованих екзоскелетів, індивідуально, під кожного замовника (заміна стандартного гіпсу);
- виготовлення макетів будинків, споруд, комплексів, з усією інфраструктурою: дорогами, деревами, освітленням;
- виготовлення одиничних або дрібносерійних декоративних елементів швейної промисловості (майже всі види фурнітури і нашивки);
- створення сувенірної, декоративної



продукції, логотипів компаній, та інш.



Рис. 4. Зразки друкованих моделей

#### ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

- [1] Kossel – RepRapWiki [ Електронний ресурс]; режим доступу (<http://reprap.org/wiki/Kossel> ), дата використання [02.10.2018].
- [2] Delta geometry [Електронний ресурс]; режим доступу ( [https://reprap.org/wiki/Delta\\_geometry](https://reprap.org/wiki/Delta_geometry)) ; дата використання [02.10.2018].
- [3] Использование станочного алюминиевого профиля [Електронний ресурс]; режим доступу ( <http://www.rsi-llc.ru/>); дата використання [02.10.2018].

## Підвищення ефективності роботи оптоволоконних ліній зв'язку в умовах впливу зовнішніх факторів оточуючого середовища

Борис Малик<sup>1</sup>, Олена Токарева<sup>2</sup>, Світлана Малик-Заморій<sup>3</sup>

1. Кафедра КІТАМ, Харківський національний університет радіоелектроніки, Харків, пр. Науки. 14, УКРАЇНА, e-mail: borys.malyk@nure.ua.
2. Кафедра КІТАМ, Харківський національний університет радіоелектроніки, Харків, пр. Науки. 14, УКРАЇНА, e-mail: olena.tokarieva@nure.ua.
3. Кафедра Фізики, Харківський національний університет радіоелектроніки, Харків, пр. Науки. 14, УКРАЇНА, e-mail: svitlana.malyk-zamorii@nure.ua.

**Анотація:** Розглянута задача і обґрунтовані шляхи підвищення ефективності роботи оптичних волокон в умовах впливу зовнішніх факторів оточуючого середовища. Пропонується технічна реалізація вдосконаленого технологічного процесу, яка дає можливість використання оптоелектронних ліній передачі інформації в складних умовах.

**Ключові слова:** оптичне волокно; параметри випромінювача; втрати потужності; ефективність сполучення.

#### I. ВСТУП

Для збереження працездатності оптоволоконних ліній передачі при високих рівнях затухання потужності електромагнітної хвилі під впливом зовнішніх факторів оточуючого середовища (радіоактивності, деформацій, зміни температури та інше) необхідно компенсувати втрати шляхом

підвищення потужності генераторів, чутливості приймачів, підвищення ефективності вводу випромінювання високопотужних джерел в оптичне волокно, особливо одномодове, збільшення відношення сигнал/завада.

Послідовно оптимізація масогабаритних і економічних характеристик лінії зв'язку складається з розрахунку параметрів випромінювачів, приймачів, ефективності введення випромінювання у волокно і звичайно вибором типів волокон [1].

## II. ТЕОРЕТИЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ

Для визначення параметрів напівпровідникових випромінювачів необхідно розрахувати [2]:

– внутрішню квантову ефективність:

$$\eta_{вн} = \left( 1 + \frac{2\tau_{вип}}{\tau_{б/вип}} \right)^{-1}, \quad (1)$$

де  $\tau_{вип}$ ,  $\tau_{б/вип}$  – час випромінюючої та безвипромінюючої рекомбінації;

– зовнішню квантову ефективність:

$$\eta_{зовн} = \frac{n_e}{n_i}, \quad (2)$$

де  $n_e$  – кількість емітованих квантів;

$n_i$  – кількість інжекттованих квантів.

Апертурний коефіцієнт пов'язує обидві квантові ефективності та визначає долю випромінювання, що виводиться на зовні:

$$F = \frac{\eta_{зовн}}{\eta_{вн}}, \quad (3)$$

Диференційна квантова ефективність:

$$\eta_D = \frac{dP}{dI_n}, \quad (4)$$

де  $P$  – потужність випромінювання;

$I_n$  – струм накачки.

Втрати потужності при генерації випромінювання обумовлено:

– повним внутрішнім відбиттям на межі напівпровідник – навколишнє середовище, якщо випромінювання падає під кутом більшим, ніж критичний.

– френелівським відбиттям для променів, що падають під кутом меншим, ніж критичний;

– поглинанням променів у об'ємі напівпровідника і в приконттактних областях.

Вони визначаються за формулою [3]:

$$K_{втр} = \left( \frac{n_n - n_{сер}}{n_n + n_{сер}} \right)^2 \approx 30\%, \quad (5)$$

де  $n_{сер}$  – показник заломлення середовища,

$n_n$  – показник заломлення напівпровідника.

Чутливість фотоприймача  $S$  характеризує реакцію ФП на дію потоку випромінювання певної величини.

При розрахунках необхідно використовувати:

– вольтову чутливість:

$$S_v = U_\phi / P_{випр}, \quad (6)$$

де  $U_\phi$  – фотонапруга;

$P_{випр}$  – потужність введеного випромінювання;

– струмову чутливість:

$$S_i = I_\phi / P_{випр}, \quad (7)$$

де  $I_\phi$  – фотострум.

Критерієм чутливості може бути величина квантового виходу, яка визначається відношенням кількості генерованих світлом електронно-діркових пар до кількості фотонів, які влучили до фотоприймача [4]:

$$\eta = \frac{(I_\phi / e)}{(P_{випр} / h \cdot \nu)}, \quad (8)$$

де  $I_\phi$  – фотострум;

$e$  – заряд електрона;

$P_{випр}$  – потужність випромінювання.

Тоді струмова чутливість:

$$S_i = \eta \cdot e / h \cdot \nu = \eta \cdot \lambda / 1,24. \quad (9)$$

Коефіцієнт збирання носіїв  $K_{зб}$  обумовлює ту частину генерованих світлом носіїв, яка розділяється полем р-п – переходу та створює фотострум. Може статися, що частина носіїв рекомбінує, не встигаючи дійти до р-п-переходу.

Постійна часу ФП  $\tau$  – інтервал часу після закінчення опромінення в кінці якого напруга сигналу, що спадає по експоненті, зменшується, від початку опромінення до моменту, коли величина вихідного сигналу досягає 63% свого максимального рівня.

Від параметра  $\tau$  залежить гранична частота  $F_{гр}$  – частота синусоїдально модульованого потоку випромінювання, що падає на ФП, при якому його чутливість знижується до значення 0,707 порівняно з чутливістю при немодульованому випромінюванні [3].

Пороговий потік (порог чутливості)  $\Phi_{пор}$  визначає можливість реєстрації гранично малих оптичних сигналів та пов'язаний з шумами ФП.

Шуми можуть бути [2]:

– зовнішні: різного роду оптичні наводки, яких легко запобігти;

– внутрішні: обумовлені випадковими процесами, тому описуються такими параметрами, як математичне очікування або дисперсія середнього рівня шумів.

Основні види шумів необхідно враховувати при розрахунках:

– тепловий шум, який виникає під дією хаотичного теплового руху вільних електронів та не залежить від величини корисного сигналу і характеризується рівномірним шумом у смузі частот  $\Delta f$ , тобто так званий «білий шум».

Дисперсія напруги теплового шуму на опорі навантаження (вхідному опорі підсилювача). Основний метод боротьби з ним – охолодження ФП;

$\gamma$ - дробовий – обумовлений тим, що струм на виході ФП є потоком дискретних частинок, кількість яких флукує в часі;

– надлишковий шум ( $1/f$  - шум) слабо залежить від температури, має перевагу в області низьких частот. Обумовлений різними неоднорідностями у об'ємі та на поверхні напівпровідника, недосконалістю омичних контактів;

– радіаційний (фотонний) шум виникає внаслідок флуктуації кількості фотонів випромінювача та фону і характеризується рівномірним спектром. Зовнішній радіаційний шум обумовлений:

а) при  $\lambda > 4\text{мкм}$  (основний вид завад) – тепловим випромінюванням атмосфери та земної поверхні (мах на довжині хвилі  $10\text{мкм}$ );

б) при  $\lambda < 3\text{мкм}$  – фонові завади від сонячного випромінювання.

Загальні параметри фотоприймачів у ВОСПІ які слід враховувати :

– співвідношення сигнал/шум у децибелах;

– рівень шумів у нВт;

– чутливість фотодетектора;

– шумовий струм;

– середнеквадратичне значення теплового шуму, середньоквадратичне значення дробного шуму, заряд електрона, постійна Больцмана, абсолютна температура, середня сила струму (включно фоновий струм та струм сигналу), смуга частот, опір навантаження.

При вводиті випромінювання в волокно необхідно враховувати:

– обмеження поверхневого припустимого кута  $\theta_{кр}$  внутрішнім поверхневим відбиттям;

– Френелівське відбиття від межі розподілу повітря напівпровідник;

– поглинанням поміж точкою генерації випромінювання та випромінюючою поверхнею: фотон з енергією, більшою за ширину забороненої зони  $E_g$  може збудити електрон у зону провідності, при цьому фотон самопоглинається. Отже, відстань до поверхні має бути скорочена. Однак біля поверхні багато вільних «пасткових» рівнів, які змінюють безвипромінювальний час життя та знижують внутрішню квантову ефективність.

Світловий потік визначається інтегруванням потужності, що випромінюється в одиницю тілесного кута в напрямку під кутом  $\theta$  до нормалі до його поверхні  $I = I_0 \cos \theta$  [3]:

$$\Phi_0 = \int_{\theta=0}^{\pi/2} I_0 \cos \theta \cdot 2\pi \cdot \sin \theta d\theta = \pi I_0. \quad (10)$$

Частина світлового потоку джерела випромінювання, що потрапляє в оптичне волокно обмежена числовою апертурою волокна та визначається інтегралом:

$$\begin{aligned} \Phi &= \int_0^{\varphi_{кр}} I_0 \cos \theta \cdot 2\pi \cdot \sin \theta d\theta = \\ &= \pi I_0 \sin^2 \varphi_{кр} = \Phi_0 \cdot NA^2, \end{aligned} \quad (11)$$

де  $\varphi_{кр}$  – апертурний кут волокна.

Отже, ефективність вводу у волокно дорівнює [2]:

$$\frac{\Phi}{\Phi_0} = NA^2. \quad (12)$$

Коефіцієнт ефективності виводу випромінювання з джерела з урахуванням критичного кута  $\theta_c$ .

Світловий потік випромінювання в одиничному кути у напрямку  $\theta$  відносно нормалі до поверхні:

$$\Phi_0 = 2 \int_{\theta=0}^{\pi/2} I_0 \cos \theta \cdot 2\pi \cdot \sin \theta d\theta = 2\pi I_0. \quad (13)$$

Доля загальної потужності, обмежена кутом  $\theta_c$ :

$$\begin{aligned} f &= \frac{\Phi}{\Phi_0} = \frac{1}{2\pi I_0} \int_0^{\theta_c} I_0 \cos \theta \cdot 2\pi \cdot \sin \theta d\theta = \\ &= \frac{1}{2} \sin^2 \theta_c = \frac{n_0^2}{2n^2}. \end{aligned} \quad (14)$$

При малих  $\theta < \theta_c$  за рахунок Френелівського відбиття частина енергії  $R$  відбивається, отже при перпендикулярному падінні проходить частина  $t$ , якщо  $n_0 = 1$  [3]:

$$t = 1 - R = 4n_0 n / (n_0 + n)^2 = 4n / (1 + n)^2. \quad (15)$$

При більш похилих променях частина енергії що випромінюється, змінюється мало і дорівнює нулю, якщо  $\theta_c = 0$ .

Цей коефіцієнт може бути збільшений за рахунок просвітлення, при цьому ідеальне значення дорівнює  $(n_0 n)^{1/2}$ , коли  $t$  прямує до 1.

Загальний коефіцієнт має вираз:

$$f \cdot t = 2n / (1 + n)^2 = 0,24. \quad (16)$$

Отже, ефективність виводу випромінювання за межі кристала джерела  $\eta_{зовн}$  визначається як зовнішня квантова ефективність:

$$\eta_{зовн} = \eta_{внутр} \cdot f \cdot t, \quad (17)$$

а ефективність вводу у волокно:

$$\eta_{вол} = \eta_{зовн} \cdot NA^2.$$

Загальна потужність, яка генерується в джерелі випромінювання:

$$\Phi_{внутр} = \eta_{зовн} \cdot \frac{I}{e} \cdot E_{фотона}. \quad (18)$$

Оптична потужність, яка випромінюється у повітря:

$$\Phi_{пов} = \eta_{зовн} \cdot \frac{I}{e} \cdot E_{фотона}, \quad (19)$$

де  $\eta_{зовн} = \eta_{внутр} \cdot f \cdot t$ .

Потужність, яка потрапляє в оптичне волокно:

$$\Phi_{вол} = \eta_{вол} \cdot \frac{I}{e} \cdot E_{фотона}, \quad (20)$$

де  $\eta_{вол} = \eta_{зовн} \cdot NA^2$ .

### III. ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНЕ ВПРОВАДЖЕННЯ

При реалізації оптоволоконних ліній зв'язку часто виникає завдання узгодження оптоелектронних компонентів і волокон з різними поперечними перетинами випромінюючої і

приймаючої області та різними числовими апертурами. Варіантом такого завдання може бути з'єднання одномодового і багатомодового волокон або випромінювачів і фотоприймачів з волокнами різних типів.

Наприклад, при використанні лазерного діода для передачі великої потужності через одномодове волокно необхідне узгодження полів, що генеруються діодом і виникають в пов'язаному з ним одномодовому волокні. Доводиться погоджувати параметри електромагнітних коливань і, отже, геометричних параметрів елементів. Тільки в такому випадку, навіть в умовах великих втрат пропускної здатності при суттєвих впливах оточуючого середовища, волоконно-оптична система збереже свою працездатність [5].

Одним з варіантів системи для узгодження полів можуть бути так звані каскадні волокна, в яких приймальне волокно спеціальної форми і ділянки градієнтних багатомодових волокон (БВ) інтегровані в одномодове волокно (ОВ) (рис.1) [7].

При виготовленні узгоджувачої секції у вигляді клиноподібного багатомодового оптичного волокна послідовно зрощують два відрізки багатомодових градієнтних оптичних світловодів (БВ1 та БВ2) і одномодового волоконного світловоду.

Така узгоджувача секція перетворює еліптичний профіль випромінювання в круговий, а розмір модового поля на виході другого багатомодового градієнтного оптичного волокна БВ2 дорівнює розміру модового поля необхідного для ефективного збудження одномодового світловоду.

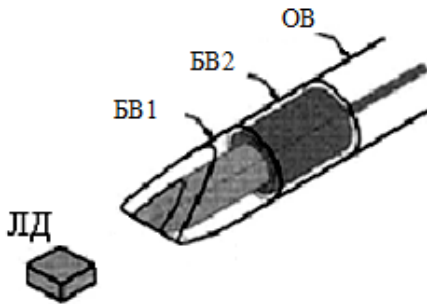


Рис.1. Каскадне волокно, що містить клиноподібний наконечник + БВ1 + БВ2 + ОВ

Приведені в роботі [5] теоретичні викладки і експериментальні дані говорять про те, що можна спроектувати таку послідовну структуру з БВ1, БВ2 і ОВ, яка забезпечить ефективну передачу енергії від випромінювача в одномодове волокно.

Технічні помилки під час виготовлення таких секцій тягнуть за собою додаткові втрати і погіршення сполучних характеристик, так як кожна БВ область має свою визначену функцію, таку як фазове перетворення, перетворення розміру, перетворення профілю.

Тому геометричні розміри кожної ділянки

пристрою узгодження потрібно контролювати з точністю до 1 мікрметра. Це дозволить зменшити додаткові втрати зв'язку різних компонентів до прийнятних величин.

Для спостереження сполучної площини, при виготовленні узгоджувачої секції, використовується непрямий інтерферометричний метод, який на відміну від дифракційних та голографічних методів, є найбільш точним, простим в реалізації, а його недоліки в порівнянні з іншими методами представляються несуттєвими. Для оцінки місця розташування сполучної площини спостереження проводяться під мікроскопом зі збільшенням 360X. Однак відстань між волокном і об'єктивом в мікроскопах з високою роздільною здатністю дуже мала.

У виробництві каскадного волокна, процедура сколювання вимагає великого простору, в якому відстань між волокном і лінзою пристрою контролю повинна бути більше ніж 4 см. Отже, метод визначення положення сполучної площини з великою робочою відстанню (> 40 мм) і з малим збільшенням (<8X) контрольної системи є ключем до поліпшення процесу виготовлення каскадних волокон [7].

Грунтуючись на проведених дослідженнях інтерференційних методів та методів квантування і дискретизації були отримані зображення, які характеризуються оригінальними темними лініями, що покриті інтерференційними смугами. У таких зображеннях можна спостерігати відмінності між інтерференційними смугами в багатомодових і одномодових волокнах. Інтенсивності і кількість інтерференційних смуг в цих двох секціях волокна будуть різними, що дозволяє визначити місце розташування сполучної площини.

Опрацьовуючи інформацію в зображеннях, елемент з'єднання двох волокон знаходиться за допомогою цих смуг. Так як на кількість інтерференційних смуг впливають розміри волокна, інтенсивність світла та положення фокальної площини, узгодження цих трьох факторів необхідне для отримання задовільного зображення. Щоб знайти оперативну інформацію про БВ і ОВ ділянках, застосовується програмна і апаратна обробка зображень. Для роботи реальної системи контролю різниця між зображеннями повинна бути досить великою (рис.2) [8].

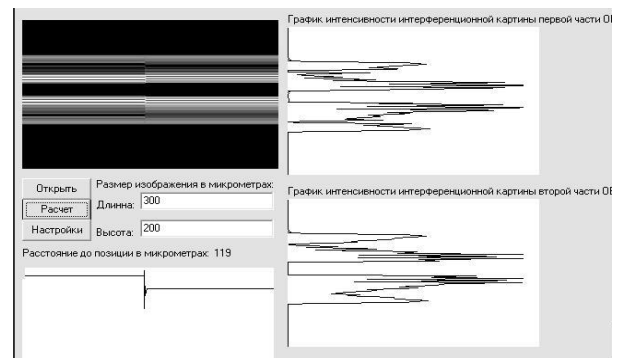


Рис.2. Результат контролю

## ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

Цієї інформації достатньо для програми контролю відмінностей на двох ділянках волокна. Програма визначає відмінності між ОВ і БВ ділянками.

Для поліпшення сполучних характеристик і враховуючи технологічні особливості виготовлення компонентів розроблено нові методи контролю геометричних параметрів різних ділянок волокон що з'єднуються, які забезпечать можливість вільного доступу інструменту в робочу зону [9]. В даний час втрати в з'єднанні можна знизити до 0,03 дБ.

## IV. ВИСНОВКИ

Було обґрунтовано доцільність використання методу підвищення ефективності вводу випромінювання потужних джерел в оптичні волокна в умовах дії інтенсивних впливів навколишнього середовища. Запропонована технічна реалізація вдосконаленого технологічного процесу робить можливим використання оптоелектронних ліній передачі інформації в складних умовах.

Визначення точності розташування сполучної площини в пристроях узгодження з похибкою близько одного мікрометра підвищує ефективність вводу випромінювання до 20 дБ. Це, в свою чергу, дасть змогу зберегти працездатність волоконно-оптичної системи, з довжиною і рівнем впливу навколишнього середовища, прийнятними для військового, наукового та космічного призначення. Наприклад, якщо розглянути систему, в якій відношення потужності, що генерується передавачем, до мінімально допустимої потужності на вході приймача становить 50 дБ, то навіть при згасанні на 100 дБ/км, до якого приведе доза іонізуючого випромінювання в 1000 рад, дозволить забезпечити роботу лінії з довжиною близько кілометра.

- [1] О.К. Склярів *Волоконно-оптические сети и системы связи*. Солон-пресс, 2010.
- [2] Янг М. *Оптика и лазеры, включая волоконную оптику и оптические волноводы*. Мир, 2005.
- [3] А.Б. Иванов *Волоконная оптика: компоненты, системы передачи, измерения*. Сайрус системс, 1999.
- [4] Стерлинг Д. Дж. (мл.) *Волоконная оптика. Техническое руководство*. Лори, 2001.
- [5] H. Yoda, T. Endo, and K. Shiraishi "Cascaded GI-fiber chips with a wedge-shaped end for the coupling between an SMF and a high-power LD with large astigmatism," in *J. Lightw. Technol.*, vol. 20, no. 8, 2002, pp. 1545–1548.
- [6] Филипенко А. И., Малик Б. А., Селенкова Н. П. и Гончар В.В.: "Контроль геометрических параметров каскадных оптоволоконных структур" *Восточно-Европейский журнал передовых технологий*, №3/5(57), 2012, с.28–31.
- [7] Спосіб виготовлення узгоджуючої секції оптичних волокон: Патент України № UA 115811 U, опубл. 25.04.2017, бюл. № 8 / Малик Б.О., Малик – Заморій С.Б.
- [8] Malyk, B. O., Tokarieva, O. V., & Malyk-Zamorii, S. B. (2018). Optical fiber structures performance enhancement under the conditions of ionizing radiation high power levels. *Problems of Atomic Science and Technology*, 114(2), 13-18.
- [9] Патент України №122687 Спосіб виготовлення узгоджуючої секції оптичних волокон, 2018.

## Оптимізація режимів нанесення фоторезисту

Віктор Письменецький, Олександр Профатіло, Владислав Райков

Кафедра КІТАМ, Харківський національний університет радіоелектроніки, УКРАЇНА,  
Харків, пр. Науки. 14, email: vladyslav.raikov@nure.ua

**Анотація:** В даному матеріалі було проведено двофакторний дисперсійний аналіз нанесення фоторезисту та дослідження його властивостей.

**Ключові слова:** фоторезист, оптимізація, дисперсійний аналіз.

### I. ВСТУП

Завдання оптимізації зводиться до знаходження таких умов проведення технологічного процесу, при

яких критерій оптимізації (вихідний параметр) досягає екстремуму. Функцію  $y = \varphi(x_1, x_2, \dots, x_k)$ , зв'язує критерій оптимізації з вхідними параметрами, прийнято називати функцією відгуку, а геометричне зображення функції відгуку в факторному просторі - поверхнею відгуку.

При пошуку екстремальної точки, на відміну від аналітичного дослідження, здійснюється локальне вивчення поверхні відгуку за результатами



експериментів. Рух до екстремуму в багатовимірному просторі незалежних змінних здійснюється зазвичай дискретно. Проаналізувавши результати експериментів і порівнюючи їх з попереднім, приймає рішення про подальші дії з пошуку оптимуму. Екстремальне значення відгуку досягається багаторазовим послідовним дослідженням поверхні відгуку і просування в факторному просторі. Існує кілька експериментальних методів оптимізації [1], а саме:

- метод Гаусса-Зейделя;
- метод випадкового пошуку;
- метод градієнтного пошуку;
- метод Кіфера –Вольфовіца;
- метод крутого сходження

## II. ДИСПЕРСІЙНИЙ АНАЛІЗ

Розглянемо нанесення шару фоторезисту методом центрифугування. При цьому рідкий фоторезист розтікається під дією відцентрових сил. Прилеглий до підкладки граничний шар формується за рахунок врівноваження відцентрової сили, пропорційної числу обертів, та сили опору, що залежить від когезії молекул фоторезисту.

Було проведено двофакторний дисперсійний аналіз, який використовується для оцінки параметрів регресійної моделі формування шару фоторезисту фотолітографії тонких плівок. При отриманні рисунка ІМС визначальними операціями є нанесення рівномірно без дефектного шару заданої товщини. Основними технологічними факторами операції центрифугування є: в'язкість фоторезисту, доза фоторезисту, швидкість обертання центрифуги, час виходу на режим, час

центрифугування, температура і вологість навколишнього середовища.

Товщина шару фоторезисту вимірювалася після термозадублювання, інтерференційним мікроскопом МП – 4. Після отримання даних був проведений двофакторний дисперсійний аналіз.

Алгоритм виконання двофакторного дисперсійного аналізу зображено на рисунку 1.

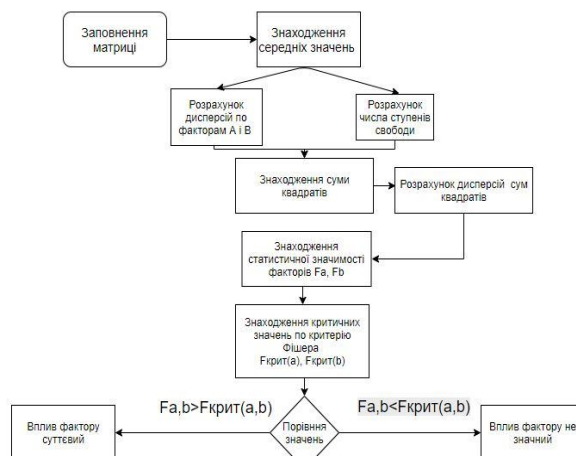


Рис 1. Алгоритм дисперсійного аналізу

Алгоритм виконання двофакторного дисперсійного аналізу:

- а) заповнення матриці дослідів (табл. 1);

Таблиця 1. Матриця дослідів

В'язкість	Швидкість центрифуги									
	1000 об/хв, мкм	1500 об/хв, мкм	2000 об/хв, мкм	2500 об/хв, мкм	3000 об/хв, мкм	3500 об/хв, мкм	4000 об/хв, мкм	4500 об/хв, мкм	5000 об/хв, мкм	
0.054 см <sup>2</sup> /с	3,5	2,9	2,57	2,3	2,15	2,1	2,05	2	1,95	
0.048 см <sup>2</sup> /с	3,0	2,55	2,25	2,1	1,9	1,8	1,7	1,65	1,6	
0.038 см <sup>2</sup> /с	2,4	2,1	1,7	1,6	1,53	1,48	1,43	1,4	1,38	
0.029 см <sup>2</sup> /с	2,0	1,7	1,46	1,35	1,29	1,15	1,1	1,05	1,03	
0.021 см <sup>2</sup> /с	1,25	1,1	0,9	0,8	0,75	0,7	0,65	0,6	0,58	

- б) розрахунок середніх значень А, В, та загальне середнє по формулам (1) - (3).

$$\frac{\partial^2 i}{\partial x^2} = \frac{LC}{|\Delta x|^2} \frac{\partial^2 i}{\partial t^2} + \frac{L}{|\Delta x|^2} R \frac{\partial i}{\partial t}$$

$$\bar{x}_i = \frac{\sum_{j=1}^q x_{ij}}{q}, i=1, 2, \dots, p. \quad (1)$$

$$\bar{x}_j = \frac{\sum_{i=1}^p \bar{x}_{ij}}{p}, j=1, 2, \dots, q \quad (2)$$

$$\bar{\bar{x}} = \frac{\sum_{i=1}^p \bar{x}_i}{p} = \frac{\sum_{j=1}^q x_j}{q} \quad (3)$$

- в) розрахунок дисперсії признака x по факторам А та В за формулами (4),(5).

$$S_i^2 = \frac{\sum_{j=1}^q (x_{ij} - \bar{x}_i)^2}{m_2}, i=1, 2, \dots, p \quad (4)$$



$$S_j^2 = \frac{\sum_{i=1}^q (x_{ij} - \bar{x}_j)^2}{m_j} \quad j=1, 2, \dots, q. \quad (5)$$

г) розрахунок числа степенів свободи за формулами (6) - (9):

$$m_1 = p - 1; \quad (6)$$

$$m_2 = q - 1; \quad (7)$$

$$m = pq - 1; \quad (8)$$

$$m_0 = (p - 1)(q - 1). \quad (9)$$

г) знаходження суми, що характеризують вплив факторів на ознаку х, та загальна сума квадратів за формулами (10) - (13);

$$S_a = q \sum_{i=1}^p (\bar{x}_i - \bar{x})^2; \quad (10)$$

$$S_b = p \sum_{j=1}^q (\bar{x}_j - \bar{x})^2; \quad (11)$$

$$S_o = \sum_{i=1}^p \sum_{j=1}^q (x_{ij} - \bar{x})^2 = \sum_{i=1}^p \sum_{j=1}^q x_{ij}^2 - n \times \bar{x}^2 \quad (12)$$

$$S = S_a + S_b + S_o. \quad (13)$$

д) розрахунок дисперсій за формулою (14),(15)

$$S_a^2 = \frac{S_a}{p-1}; S_b^2 = \frac{S_b}{q-1}; \quad (14)$$

$$S_o^2 = \frac{S_o}{(p-1)(q-1)}; S^2 = \frac{S}{n-1}. \quad (15)$$

е) знаходження статистичної значимості впливу факторів на ознаку х за формулою (16).

$$F_a = \frac{S_a^2}{S_o^2}; F_b = \frac{S_b^2}{S_o^2}; \quad (16)$$

є) порівняння  $F_a$  та  $F_b$  з критичними значеннями  $F_{крит}$  по критерію Фішера. Якщо  $F > F_{крит}$  то вплив фактора суттєвий, якщо навпаки то вплив фактору не суттєвий.

Після отримання даних було проведено двофакторний дисперсійний аналіз в Microsoft Excel, результати зображено на рисунку 2.

Двофакторний дисперсійний аналіз без повторень						
ИТОГИ	Счет	Сумма	Среднее	Дисперсия		
0.054 см <sup>2</sup> /с	9	21.52	2.39111	0.266961111		
0.048 см <sup>2</sup> /с	9	18.55	2.06111	0.220486111		
0.038 см <sup>2</sup> /с	9	15.02	1.66889	0.124236111		
0.029 см <sup>2</sup> /с	9	12.13	1.34778	0.106944444		
0.021 см <sup>2</sup> /с	9	7.33	0.81444	0.053002778		
1000 об/хв	5	12.15	2.43	0.762		
1500 об/хв	5	10.35	2.07	0.4995		
2000 об/хв	5	8.88	1.776	0.43203		
2500 об/хв	5	8.15	1.63	0.3595		
3000 об/хв	5	7.62	1.524	0.29678		
3500 об/хв	5	7.23	1.446	0.29958		
4000 об/хв	5	6.93	1.386	0.29123		
4500 об/хв	5	6.7	1.34	0.29175		
5000 об/хв	5	6.54	1.308	0.27747		
Дисперсионный анализ						
Источники вариации	SS	df	MS	F	P-Значение	F критическое
Строки	13.57095556	4	3.39274	231.781841	3.88125E-23	2.668436943
Столбцы	5.70464	8	0.71308	48.71550702	9.37045E-16	2.244396139
Погрешность	0.468404444	32	0.01464			

Рис 2. Двофакторний дисперсійний аналіз

З отриманих результатів визначаємо вплив фактора в'язкості,  $231,78 > 2,66$ . Це порівняння підтверджує вплив фактору в'язкості на товщину сформованої плівки фоторезисту.

На рисунку 3 зображено залежність товщини плівки фоторезисту в залежності від швидкості обертання центрифуги та різної в'язкості фоторезисту.

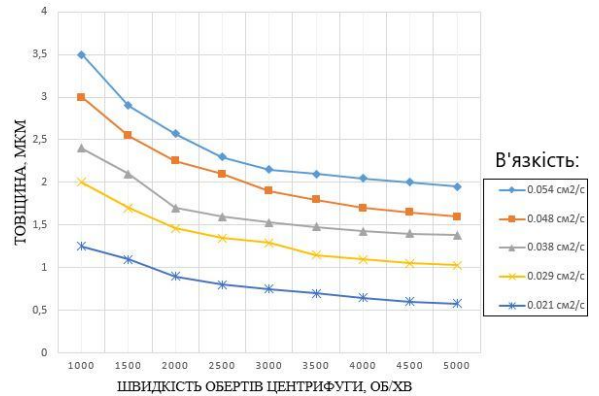


Рис 3. Товщина плівки при різних факторів впливу

Крім того згідно з формулою (17) проаналізовано вплив факторів А (в'язкість) та В (швидкість обертів центрифуги).

$$h = \frac{k \times p^2}{\sqrt{W}} \quad (17)$$

де k – константа центрифуги;

p – вміст сухих компонентів фоторезистів пропорційній в'язкості ( A );

W – частота обертання ротора центрифуги ( фактор В).

Таким чином робимо висновок що в'язкість впливає сильніше ніж число обертів центрифуги

Крім того згідно з формулою (18) [2], можна зробити висновок, що в'язкість або вміст сухих компонентів фоторезисту впливають сильніше, ніж кількість обертів центрифуги w.

$$h = \frac{k \times A^2}{\sqrt{B}} \quad (18)$$

Формула (19)[2] запропонована в роботі теж характеризує більш вагомих вплив в'язкості ніж число обертів w.

$$h = k \times \sqrt{\frac{v}{w}}, \quad (19)$$

Це потребує подальших досліджень та урахування наступних факторів: типу резисту і його в'язкості; максимальної швидкості обертання – прискорення центрифуги; температури й вологості навколишнього середовища; властивостей поверхні підкладки.

Зміна товщини плівки в залежності від вологості навколишнього середовища показано на рисунку 4.

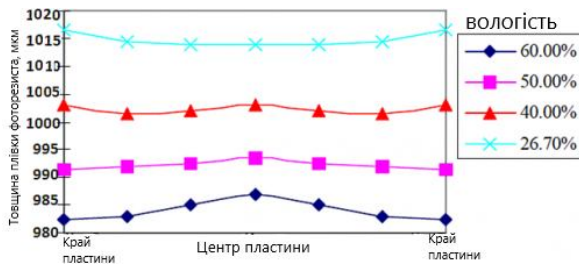


Рис 4. Залежність товщини півки від вологості

При зміні температури фоторезисту змінюється товщина півки резисту та збільшується розкид товщини півки центру пластини від краю. Тобто при збільшенні температури фоторезисту SPR955-СМ-0,7 на 1 °С його різниця в товщині центру пластини щодо краю може скласти від 2 нм до 10 нм, що призведе до розкиду лінійних розмірів елементів топології. Це зображено на рисунку 5.

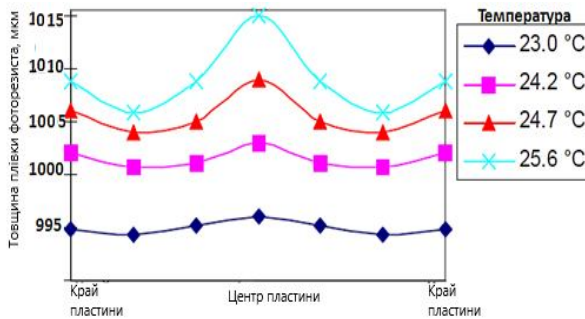


Рис 5. Залежність товщини півки від температури

При збільшенні температури проявника значно збільшується і швидкість прояви фоторезисту. Тому керуючи температурою проявника можна управляти швидкістю прояви фоторезисту,

оптимізуючи цим технологічний процес. Для стабілізації параметрів фоторезисту і проявника, а також оптимізації технологічного процесу з проектними нормами 0,25 мкм – 0,35 мкм, необхідно мати програмовані блоки термостабілізації з вбудованим нагрівачем, мікропроцесорним пристроєм та датчиками температури [3].

### III. ВИСНОВКИ

У міру зростання складності вирішуваних завдань збільшується й вартість застосовуваного фотолітографічного обладнання. акцент в розвитку все більше зміщується в бік програмного забезпечення та моделювання. Найбільш розповсюдженими пакетами програм є VirtualStepper, PROLITH або SOLID-C в яких вдається визначити та оптимізувати параметри фотолітографічного обладнання до етапу експонування пластини та змодельовати тривимірне зображення елементів в фоторезисті на різних стадіях обробки фотолітографії.

### ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

- [1]. Основи виробництва електронних апаратів [Текст]: Підручник / І.Ш. Невлюдов, м. Харків, 2005. – 185с.
- [2]. Технология производства интегральных микросхем [Текст]/ В.Н. Черняев, А.А. Васенкова, г. Москва, 1986. – 165с.
- [3]. Обзор Методов Оптимизации Процессов Фотолитографии [Электронный ресурс]./ Режим доступа: [www/URL:https://sibac.info/studconf/science/i/555](http://www.URL:https://sibac.info/studconf/science/i/555)

## Исследование процесса формирования микросоединений методом ультразвуковой сварки при изготовлении ГПП

Юрий Александров<sup>1</sup>, Николай Стародубцев<sup>1</sup>, Шахин Омаров<sup>1</sup>

1. Кафедра КИТАМ, Харьковский национальный университет радиоэлектроники, Харьков, пр. Науки. 14, УКРАИНА, e-mail: nikolaj.starodubcev@nure.ua

**Аннотация:** В данной работе рассматривается процесс формирования микросоединений методом сварки ультразвуком при изготовлении гибких печатных плат, проанализировано влияние технологических факторов и конструктивных параметров на механизм образования сварного соединения.

**Ключевые слова:** микросоединение, ультразвук, показатель качества, полиимид, сварка.

### I. ВВЕДЕНИЕ

Гибкие печатные платы (ГПП) – в условиях микроминиатюризации изделий современной электронной техники обеспечивают ряд преимуществ при создании электросоединений в приборах как стационарных, так и подвижных конструкций. Устойчивость к перегибам

позволяет использовать ГПП в конструкциях радиоэлектронных изделий (РЭИ), позволяющих неоднократно складывать их в книжку или свертывать в рулон. Конструктивно выполняемые по принципу организованных выводов они обеспечивают уменьшение габаритов и веса РЭИ, возможность применения автоматизированных процессов их сборки и монтажа, снижая тем самым трудоемкость технологического процесса и повышая надежность. Все это позволило для РЭИ на основе ГПП найти широкое применение в различных областях.

Основные преимущества использования ГПП в конструкциях изделий радиоэлектроники:

- динамическая гибкость;
- уменьшение размера конструкции;
- уменьшение веса (50 - 70% при замене проводного монтажа, до 90% при замене жестких плат);
- улучшение эффективности сборки;
- уменьшение стоимости сборки (уменьшение числа операций);
- увеличение выхода годных при сборке;
- улучшение надежности (уменьшение числа уровней соединений);
- улучшение электрических свойств (унифицированные материалы, волновое сопротивление, уменьшение индуктивности);
- улучшение рассеивания тепла (плоские проводники, рассеивание тепла на обе стороны);
- возможность трехмерной конструкции упаковки; совместимость с поверхностным монтажом компонентов (совместимость по коэффициенту расширения);
- упрощение контроля (визуального и электрического).

В производстве гибких печатных плат широко используются технологические процессы сборки и монтажа. Для обеспечения надёжности конструкции ГПП существует потребность в реализации необходимых конструктивно-технологических характеристик микросоединений [1-3].

На сегодняшний день наиболее перспективным методом получения монтажных соединений в микроэлектронике является ультразвуковая сварка [1]. По сравнению с другими методами формирования соединений метод сварки при помощи ультразвука обладает целым рядом преимуществ: простотой использования; технологичностью; широкими возможностями для автоматизации технологического процесса монтажа. Кроме того, прочность сварного микросоединения близка к прочности исходных соединяемых элементов микросхем; сварное соединение имеет минимальное омическое сопротивление; основные параметры процесса соединения (температура нагрева, удельное давление и длительность выдержки) являются минимальными, что позволяет исключить повреждения элементов схемы; ультразвуковая сварка позволяет выполнять соединение материалов разнообразных сочетаний и

типоразмеров; после соединения не остаётся материалов, вызывающих коррозию.

Влияние технологических факторов на процесс образования сварных микросоединений может привести к отклонению их параметров от ожидаемых, что обуславливает необходимость детального анализа влияния технологических факторов на механизм формирования соединений в ГПП методом ультразвуковой (УЗ) сварки.

## II. ВЛИЯНИЕ КОНСТРУКТИВНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ФАКТОРОВ НА КИНЕТИКУ ФОРМИРОВАНИЯ СВАРНЫХ МИКРОСОЕДИНЕНИЙ

Качество и надежность соединений металлических микровыводов ГПП во многом определяется правильным выбором конструктивно-технологических параметров сварных узлов, обеспечением металлургической совместимости, соединяемых микровыводов, высокой электропроводности, механической прочности и минимизацией напряженно-деформированного состояния структурных компонентов микросоединения.

Прочность и надежность соединения типа А1-А1 характеризуются высокими показателями вследствие отсутствия гетерогенных диффузионных процессов в процессе сварки и при последующем температурном старении. Так, при ускоренных испытаниях (выдержка при 300 °С в течение 150 час) целостность сварных соединений А1-А1 сохраняется, а при отрыве проволоки происходит разрыв в месте перехода вывода в сварное соединение. Металлографический анализ косых микрошлифов показал, что зона взаимодействия А1-А1 имеет металлический блеск и незначительные включения окислов алюминия [5].

Однако при чрезмерной деформации выводов (более 60%) и при непараллельности поверхности кристалла относительно торца инструмента имеет место (до 4%) предельно низкое усилие на отрыв –  $13 \cdot 10^{-2}$  Н.

Использование плоских ленточных выводов в конструкции гибких коммутационных структур вместо проволоки позволяет во многом избежать проблем, связанных с переменным сечением проволоки (диаметр 30 мкм), так как ширина ленточного вывода (фольги) составляет 100-200 мкм и фактор разнотолщинности сглаживается за счет интегральной картины сварного микросоединения. К тому же ленточный вывод гибкого носителя поступает на сварочный монтажный стол в готовом виде и не подвергается внешним воздействиям протяжных механизмов, как в случае подачи проволоки.

В условиях формирования сварного микросоединения плоских алюминиевых выводов гибкой печатной платы дополнительных требований к материалу проводникового слоя по сравнению с проволочным способом сборки ранее не обнаружено [3]. Однако, экспериментально

установлено, что толщина слоя алюминиевой металлизации на ГПП должна быть не менее 10 мкм. Уменьшение толщины ведет к снижению прочности сварного соединения микровыводов ГПП (рис. 1).

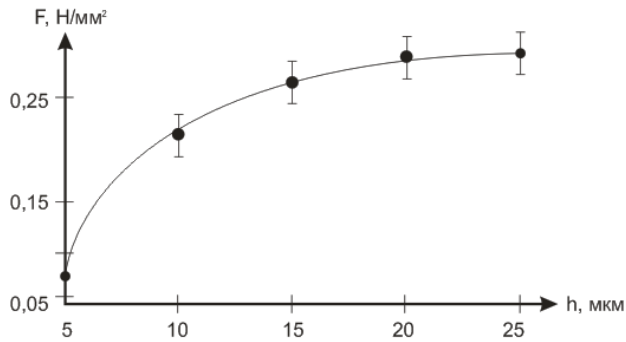


Рис. 1. Зависимость прочности микросоединения от толщины слоя алюминия на полиимидной подложке

Процесс соединения проволоочных выводов с металлизированными контактными площадками на полиимидной подложке изучен достаточно полно [1-5]. Для случая соединения ленточных выводов картину кинетических закономерностей формирования соединения, в основном, следует считать идентичной за исключением некоторых допущений, связанных с геометрией привариваемого вывода и профилем торца инструмента. Кинетика формирования соединения в реальном масштабе времени ранее подробно изучалась [3, 4] с помощью регистрации осциллограмм, изменения температуры в зоне сварки, контактного электросопротивления на границе сварочный инструмент - проводник или проводник-проводник, записи акустической эмиссии (рис. 2 - 3).

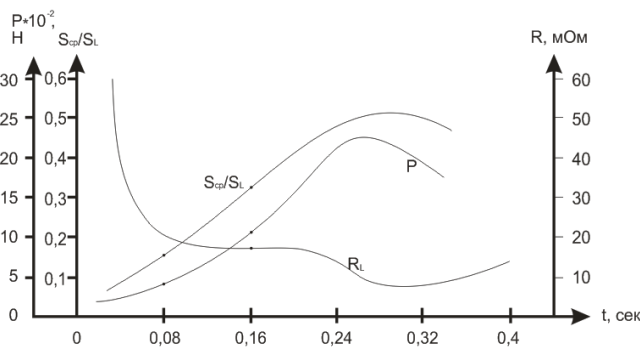


Рис. 2. Характер изменения прочности (P) и электросопротивления (R<sub>k</sub>) контакта, отношения площади сварного соединения (S<sub>св</sub>) к общей площади контакта S<sub>к</sub> от времени (t) для контактных пар Al-Al при УЗ-микросварке

Кинетику формирования соединений при УЗ-микросварке подобных образцов можно представить следующим образом. До включения ультразвуковых колебаний (УЗК) под действием статически приложенной нагрузки на инструмент из-за деформации проводника создается некоторая первоначальная площадь

контактирования по разнице раздела инструмент – металлический проводник и металлический проводник – металлический проводник.

После включения УЗ-колебаний в результате активирующего действия ультразвука, снижающего предел текучести алюминия, облегчается пластическая деформация проводника и идет интенсивная осадка его, о чем свидетельствует резкое возрастание ширины контакта и интенсивности акустической эмиссии. При этом из-за наличия канавки (канавок) на рабочем инструменте процессы трения сначала идут, в основном, на контактной поверхности металлический проводник – металлический проводник, что и подтверждают экспериментальные данные по резкому возрастанию и последующему спаду RK (рис. 2). На этой стадии в зоне трения происходит значительное тепловыделение, которое резко повышает температуру в зоне сварки (рис. 3), способствуя ускоренной пластической деформации проводника.

Таким образом, УЗ-колебания при сварке, прежде всего, создают условия для быстрого формирования физического контакта. Одновременно с этим происходит активация контактных поверхностей, приводящая к образованию очагов взаимодействия в условиях пластической деформации алюминия. При осадке алюминиевого проводника окисная пленка на нем растрескивается и в зону контакта выходит чистый алюминий, растекание которого по поверхности способствует удалению из зоны сварки загрязнений и осколков окисных пленок.

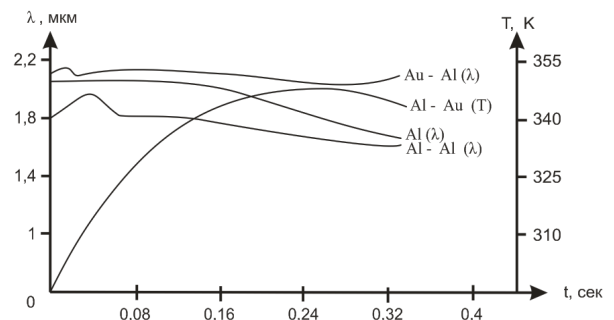


Рис. 3. Характер изменения температуры T и амплитуды колебаний (λ) для контактных пар при ультразвуковой сварке на кремниевой подложке

При наличии УЗ колебаний в зоне контакта резко возрастают касательные напряжения за счет интенсивного перемещения трущихся поверхностей, что приводит к локализации пластической деформации в поверхностных слоях и резкому градиенту плотности структурных дефектов у контактной поверхности.

Под действием структурной и термической активации в зоне трения образуются первые дискретные очаги взаимодействия, разрастающиеся затем в результате протекания диффузионных процессов, которые значительно ускоряются в условиях пластической деформации проводника и трения его по поверхности контакта

с одновременным наложением ультразвукового поля [3, 5]. Естественно предположить, что при УЗ-микросварке под влиянием необычайно больших пластических деформаций в приконтактных слоях и кратковременных температурных всплесков, возникающих в зоне трения, первые очаги взаимодействия образуются при относительно небольшом увеличении температуры. Наличие первых очагов взаимодействия при очень малых временах сварки подтверждается экспериментально с помощью металлографических исследований [4], и, кроме того, контакты, полученные за такие малые времена сварки, обладают уже некоторой прочностью, но суммарная площадь очагов взаимодействия при этом мала (рис. 2).

В дальнейшем, с увеличением площади контактирования и плотности очагов взаимодействия, сопротивление перемещению металлического проводника верхнего слоя относительно микропроводника нижнего слоя возрастает настолько, что, в основном, происходит перемещение инструмента уже относительно верхнего проводника. При этом резко возрастает падение напряжения на границе раздела инструмент-проводник. Эта граница и является теперь источником тепла. Следует отметить, что температура в зоне сварки под действием обоих источников тепла, которые как бы меняются местами, все время растет до определенного момента (рис. 3).

Характерно, что при достижении максимальной температуры в зоне сварки происходит вторичная осадка проводника. Это хорошо подтверждается резким падением напряжения, а также резким падением РК. Кроме того, этому временному интервалу соответствует наиболее интенсивный рост площади  $S_{св}$ , ( $S_{св}/S_k$ ) и, соответственно, прочности сварки  $P$  (рис. 2). Причем максимальный прирост прочности сварки происходит, в основном, за время активной деформации проводника. Перегибы на кривых РК соответствуют задержке по деформации проводника из-за деформационного упрочнения алюминия в процессе первичной осадки и резкого уменьшения удельного давления сварки из-за прироста площади контактирования свариваемых материалов при постоянной величине нагрузки на сварочный инструмент. С увеличением параметров сварки отдельные стадии процесса накладываются друг на друга.

### III. ВЫВОДЫ

Таким образом, исходя из рассмотренных закономерностей формирования микросоединения в процессе ультразвуковой сварки можно сделать вывод, что прочность и надёжность соединений на заданном в технической документации уровне обеспечивается технологическими факторами: усилием нагружения, мощностью импульса, временем сварки, а также свариваемыми материалами с соответствующими физико-химическими свойствами. Оптимальный режим процесса микросварки характеризуется достижением максимальной прочности соединения при минимальном электрическом сопротивлении контакта. При этом заметное влияние на параметры режима сварки оказывает состояние поверхности используемых материалов, соотношение размеров зоны контактной микросварки и микропроводников, конструктивные параметры гибкой печатной платы.

### ПЕРЕЧЕНЬ ССЫЛОК

- [1]. Борщов, В.Н. Исследование и выбор оптимальных технологических режимов сварки для автоматизации монтажа гибких алюминий-полиимидных микрокабелей [Текст] / В.Н. Борщов, И.Ш. Невлюдов, М.А. Проценко, И.Т. Тымчук, И.С. Хатнюк // Технология приборостроения. - 2011.- №1.- С. 3 - 8.
- [2]. Гуськов, Г.Я. Монтаж микросварки аппаратуры [Текст] / Г.Я. Гуськов, Г.А. Блинов, А.А. Азаров. - М.: Радио и связь, 1986. - 175 с.
- [3]. Грачёв, А. А. Ультразвуковая микросварка [Текст] / А. А. Грачёв, А. П. Кожевников, В. А. Лебига. - М.: Энергия, 1977. - 184 с.
- [4]. Балабанов, В. Т. Технология создания плоских микромодулей для приборов бесконтактной идентификации [Текст]: автореф. дис. к.т.н. : / В. Т. Балабанов ; [Московский гос. ин-т электронной техники]. - М., 2008. - 26 с.
- [5]. Заводян, А. В. Анализ сборочно-монтажных процессов производства электронных средств [Текст] / А. В. Заводян, А. М. Грушевский. - М.: МИЭТ, 2000

# Анализ физико-химических процессов при формировании и разрушении сварных соединений ГПП

Николай Стародубцев<sup>1</sup>, Анатолий Андрусевич<sup>2</sup>, Виктория Невлюдова<sup>1</sup>

1. Кафедра КИТАМ, Харьковский национальный университет радиоэлектроники, Харьков, пр. Науки. 14, УКРАИНА, e-mail: nikolaj.starodubcev@nure.ua
2. Криворожский колледж Национального авиационного университета, Кривой Рог, вул. Туполева 1, УКРАИНА, e-mail: Vlasenkov.d@gmail.com

**Аннотация:** В работе исследованы физико-химические процессы, наблюдаемые при формировании и разрушении сварных соединений, полученных методом сварки ультразвуком при изготовлении гибких печатных плат.

**Ключевые слова:** сварное соединение, ультразвук, физико-химические процессы, теория разрушения твёрдых тел.

## I. ВВЕДЕНИЕ

Вопросы надежности приобретают все более высокую значимость в самых различных сферах человеческой деятельности. Особую ценность имеют решения проблем обеспечения надежности в промышленном производстве, где задача достижения требуемого качества изделий и производительности процесса их изготовления сопряжена с ограниченностью ресурсов и необходимостью минимизации их затрат.

Отечественный и зарубежный опыт показывает, что качество, точность, производительность и себестоимость изготовления радиоэлектронного изделия зависят от параметров (технологических режимов), надёжности и управляемости процесса сборки и монтажа этого изделия. Даже при использовании самого прогрессивного сборочно-монтажного оборудования при несоблюдении режимов и низкой надёжности процесса сборки и монтажа невозможно достичь высоких технико-экономических показателей выпускаемой радиоэлектронной продукции.

Гибкие печатные платы (ГПП) являются очень распространённым способом организации межсоединений в современной электронной аппаратуре. Тенденция к дальнейшему расширению их использования в радиоэлектронных изделиях обусловливается большими преимуществами, которые они создают в технике межсоединений. Особый интерес представляет использование в конструкциях радиоэлектронных изделий алюминий-полиимидных ГПП, открывающих новые возможности перед разработчиками радиоэлектронной аппаратуры благодаря своим преимуществам:

- динамической гибкости;
- уменьшению размеров конструкции;

- уменьшению веса (50-70% при замене проводного монтажа, до 90% при замене жестких плат);

- улучшению эффективности сборки;
- уменьшению стоимости сборки (уменьшению числа операций);

- увеличению выхода годных при сборке;
- улучшению надежности (уменьшению числа уровней соединений);

- улучшению электрических свойств (унифицированные материалы, волновое сопротивление, уменьшение индуктивности);

- улучшению рассеивания тепла (плоские проводники, рассеивание тепла на обе стороны);

- возможности трехмерной конструкции упаковки; совместимости с поверхностным монтажом компонентов (совместимость по коэффициенту расширения);

- упрощению контроля (визуального и электрического).

В практике современной технологии сборки радиоэлектронных изделий на основе алюминий-полиимидных ГПП в процессе монтажа широко применяется ультразвуковая (УЗ) микросварка. По сравнению с используемыми в радиоэлектронике другими методами монтажа ультразвуковая микросварка обладает целым рядом неоспоримых преимуществ:

- обладает широкими возможностями для автоматизации технологического процесса монтажа.

- обеспечивает возможность соединения разнотолщинных проводников без снятия оксидных пленок;

- позволяет достичь высокой производительности процесса монтажа;

- гарантирует стабильное достижение требуемых норм точности, что положительно отражается на качестве и надежности готовой продукции в целом;

- обеспечивает простоту и технологичность процесса сварки.

Для обеспечения надежности сварного соединения, а, следовательно, и конструкции ГПП существует потребность в исследовании физико-химических процессов, протекающих при формировании и разрушении сварных соединений, полученных методом сварки ультразвуком.



## II. ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ

Ультразвуковая сварка металлических микропроводников основана на использовании энергии механических колебаний сварочного наконечника. Колебания совершаются с ультразвуковой частотой свыше 16 кГц и амплитудой колебаний на уровне 0,5-50 мкм. Энергия в зону сварки вводится посредством сварочного усилия, которое находится в пределах  $(0,1 \div 1,0) \cdot \sigma_T$  свариваемого материала ( $\sigma_T$  – предел текучести материала).

Процесс образования сварного монтажного соединения характеризуется сложным взаимодействием многочисленных и разнородных факторов. С одной стороны, это комплекс явлений, связанный с интенсивными процессами внешнего трения, повышения температуры в свариваемых материалах, растрескиванием твердых и выгоранием жировых пленок, повышением пластичности, обмятием микро- и макронеровностей, сближением контактирующих поверхностей на расстояние, близкое к межатомному, и т. п. С другой стороны – это комплекс явлений, связанных с состоянием, способностью энергетического тракта подать эту энергию в зону сварки.

Основными величинами, определяющими перенос энергии в зону сварки, являются колебательные напряжения и скорости, возникающие на сварочном наконечнике и, в конечном счете, в зоне сварки.

Основными технологическими параметрами режима сварки металлических проводников являются мощность ультразвукового генератора, амплитуда колебаний сварочного наконечника (инструмента)  $\xi_{ce}$ , сварочное усилие  $F_{ce}$  и время сварки.

Кроме того, с учетом малых толщин и размеров соединяемых элементов в микроэлектронных изделиях по сравнению со сваркой обычных конструкционных материалов к основным параметрам следует отнести частоту колебаний инструмента. При этом для конкретной сварочной установки частота является постоянной величиной, изменяемой только в узких пределах [1, 2].

Одним из наиболее важных параметров является электрическая мощность, подводимая к преобразователю [3]. Электрическая мощность определяет мощность, поглощаемую в зоне сварки (акустическую мощность) от которой зависит качество соединения. Следует отметить, что увеличение электрической мощности при постоянной амплитуде колебаний необходимо при переходе к сварке от пластичных к более твердым металлам.

Амплитуда колебания и период микросварки дает большее представление об акустической мощности, чем электрическая мощность преобразователя. Поэтому увеличение амплитуды колебаний ведет к увеличению акустической мощности в зоне сварки.

Амплитуда колебаний имеет оптимальное значение для каждого свариваемого материала определенной толщины. Для образования сварного соединения необходима определенная амплитуда, которая вызывает в месте соединения сдвиговое напряжение, способное преодолеть силу трения, вызываемую сжатием соединяемых элементов. При малых значениях амплитуды колебаний инструмента, сварное соединение не образуется. С ростом амплитуды при постоянстве остальных параметров режима сварки прочность соединений возрастает. Однако при больших значениях амплитуды колебаний инструмента свариваемые элементы могут разрушиться.

Значительное влияние на прочность монтажного соединения при ультразвуковой микросварке оказывает усилие сжатия, которое обуславливает возникновение тангенциальных напряжений в месте сварки [3, 4]. Оптимальное усилие сжатия увеличивается с увеличением толщины свариваемых элементов и размера сварного соединения и существенно зависит от подводимой мощности. Чем больше усилие сжатия, тем больше должна быть амплитуда колебаний инструмента и необходимая электрическая мощность.

Если мощность установки превышает необходимую для сварки данного материала определенной толщины или диаметра, то увеличение усилия сжатия приводит к чрезмерной деформации сварной точки и снижению прочности соединения.

В случае недостаточного усилия сжатия не достигается необходимое сцепление между инструментом и верхней свариваемой деталью. Происходит проскальзывание инструмента по детали, сварного соединения не образуется.

При рассмотрении взаимосвязи амплитуд колебаний инструмента и усилия сжатия с точки зрения постоянства выделения энергии в зоне сварки рекомендовано с увеличением амплитуды колебаний инструмента при заданной механической мощности ультразвуковой колебательной системы снижать усилие сжатия. Отмечается, что усилие сжатия должно увеличиваться пропорционально амплитуде колебаний инструмента при соответствующем увеличении мощности колебательной системы.

Рядом исследователей [2] установлено, что длительность сварки увеличивается с толщиной материала, твердостью и уменьшением электрической мощности. Отмечено, что существует экстремальный характер зависимости прочности сварочных микросоединений от длительности сварочного цикла. Уменьшение прочности при длительном времени микросварки объясняется в большинстве случаев увеличением общей деформации и появлением трещин в зоне сваривания.

Энергия ультразвуковых колебаний зависит от амплитуды и частоты следующим образом (1):

$$E = \xi \cdot f \cdot \tau, \quad (1)$$

где  $\xi$  – амплитуда колебаний при микросварке;

$f$  – частота колебаний при микросварке;

$\tau$  – время микросварки.

Данные параметры показывает, что при сохранении необходимого для сварки уровня мощности уменьшение амплитуды колебаний можно скомпенсировать соответствующим повышением частоты.

Кроме того, установлено, что высокое качество соединений при ультразвуковой микросварке достигается при определенном соотношении всех параметров режима.

Необходимая для микросварки длительность включения ультразвука определяется амплитудой колебаний и усилием сжатия.

Амплитуда колебаний связана с колебательной скоростью  $V$  соотношением (2):

$$V_{ce} = 2 \cdot \pi \cdot \xi_{ce} \cdot f \quad (2)$$

Для выявления взаимодействия этих величин целесообразно использовать усредненные эквивалентные величины – эквивалентную силу и сопротивление нагрузки.

Если амплитуду колебаний сварочного наконечника  $\xi_{ce}$  отнести ко всей колебательной системе в целом и оперировать активной составляющей нагрузки, то получим (3):

$$P_{ce} = 0,5 \cdot (2 \cdot \pi \cdot f \cdot \xi_{ce})^2 R_{экв} \cdot k_1, \quad (3)$$

где  $R_{экв}$  – усредненное эквивалентное сопротивление нагрузки;

$k_1$  – обобщенный безразмерный коэффициент связи системы с нагрузкой.

Эквивалентная колебательная сила, возникающая в зоне сварки, зависит от сопротивления нагрузки. Сопротивление нагрузки является следствием взаимодействия разнородных факторов: изменения свойств свариваемых материалов и поверхностных пленок, поверхности волнового фронта, характера контактирования сварочного наконечника с деталями и деталей между собой и опорой и т. п. и зависит, при прочих равных условиях, от контактного давления сварочного наконечника на свариваемые материалы. Можно записать  $F_{экв} = f(F_{cd})$ .

Эквивалентная сила  $F_{экв}$  может быть связана со сварочным усилием посредством обобщенного безразмерного коэффициента  $k_2$  (4):

$$F_{экв} = k_2 \cdot F_{ce}, \quad (4)$$

где  $k_2$  – коэффициент, учитывающий особенности колебательной системы, ее потери, характер сопротивления нагрузки.

Используя вышеприведенные уравнения, получим выражения, связывающие усилие

сварочного наконечника в зависимости от его скорости колебаний, мощности колебательной системы и сопротивления нагрузки (5):

$$\left. \begin{aligned} P_{ce} &= \pi \cdot f \cdot \xi_{ce} \cdot F_{экв}; & P_{ce} &= \pi \cdot f \cdot \xi_{ce} \cdot k_2 \cdot F_{ce}; \\ F_{ce} &= P_{ce} / (k_2 \cdot \pi \cdot f \cdot \xi_{ce}); & \xi_{ce} &= P_{ce} / (k_2 \cdot \pi \cdot f \cdot F_{ce}). \end{aligned} \right\} \quad (5)$$

Как следует из приведенных уравнений, при заданной мощности с увеличением  $\xi_{ce}$  контактное усилие, которое можно приложить к сварочному наконечнику, падает. Повышение  $F_{ce}$  при заданной  $\xi_{ce}$  можно осуществлять только при соответствующем увеличении мощности колебательной системы.

Сварочное усилие зависит от твердости свариваемого материала (6):

$$F_{ce} = f(\alpha; HB), \quad (6)$$

где  $\alpha$  – коэффициент;

$HB$  – твердость материала по Бринеллю.

Известна связь между пределом твердости и пределом текучести материала (7):

$$HB \approx \beta \cdot \sigma_T. \quad (7)$$

Сварочное усилие при ультразвуковой сварке должно подчиняться условию (8):

$$F_{ce} \leq \sigma_T \cdot S_{ce}. \quad (8)$$

Или можно записать (9):

$$F_{ce} \approx \alpha \cdot \beta \cdot \sigma_T \cdot S_{ce}. \quad (9)$$

Площадь ввода энергии определяется диаметром сварочного наконечника. Диаметр сварочного наконечника зависит от толщины свариваемых материалов  $\delta$ , т. е.  $d = f(\delta)$ . Установим между ними связь в виде коэффициента  $\gamma$  (м), т. е.  $d \rightarrow S_{cd} \rightarrow \delta$ , тогда (10):

$$\xi_{ce} = P_{ce} / (k_2 \cdot \pi \cdot f \cdot \alpha \cdot \beta \cdot \gamma \cdot \delta \cdot \sigma_T). \quad (10)$$

Основой моделирования процессов разрушения сварного микросоединения может послужить теория разрушения твердых тел [5, 6], основные положения которой предполагают рассматривать процесс разрушения, как действие явлений ползучести, и хрупкого разрушения, возникающих при действии внешней силовой нагрузки, при этом возникают условия для превышения допустимого предела прочности.

Многие свойства материалов и, в частности, механические и диэлектрические свойства обнаруживают своеобразные особенности и, обусловленные частично замедленной реакцией материала на внешние воздействия. Всякая деформация материала под действием внешней силы не сопровождается мгновенной

перестройкой внутренней структуры до состояния равновесия, отвечающего новым условиям. Для этого требуется некоторый промежуток времени, пока все частицы в соответствии с этими условиями придут в равновесие. Так, если быстро деформировать материал и поддерживать степень деформации постоянной, то необходимое для этого напряжение постепенно уменьшается (релаксация напряжения). Если же быстро деформировать материал, поддерживать постоянным напряжением, то некоторое время будет увеличиваться деформация (релаксация деформации). Таким образом, процесс перехода частиц в новое состояние равновесия, объясняющее ползучесть сопровождается релаксацией. В рассматриваемом случае имеется в виду ослабление напряжения, созданного внешним воздействием [7].

Процесс разрушения протекает более или менее постепенно и для своего завершения требует определенного времени  $t_p$ . Это время, необходимое для развития процесса разрушения от момента нагружения тела до момента его разрыва, называется временной прочностью или долговечностью материала [7, 8].

Долговечность разрушаемого материала  $t_p$ , растягивающее напряжение  $\sigma$  и абсолютная температура  $T$  связаны следующим соотношением (11):

$$t_p = t_{p0} \exp[(U_0 - \gamma\sigma)/kT], \quad (11)$$

где  $t_{p0}$ ,  $U_0$ ,  $\gamma$  – постоянные, зависящие от природы и структуры материала.

Логарифмируя (11) получаем зависимость (12):

$$\ln t_{p0} = \ln t_p + (U_0 - \gamma\sigma)/kT = \ln t_p + U_a/kT \quad (12)$$

где  $U_a = U_0 - \gamma\sigma$  – энергия активации процесса разрушения.

Эти формулы проверялись на большом количестве разнообразных материалов (металлы, стекла, полимеры, кристаллы и др.) при изменении  $t_p$  на 10 порядков и изменении  $T$  в широких пределах [6]. Как показали опыты,  $t_{p0}$  у всех материалов приблизительно одинаково и равно примерно  $10^{-12} \div 10^{-13}$  с т. е. близко к периоду колебаний атомов около положения равновесия. Построив зависимость  $\ln t_p$ , от  $1/T$ , для данного  $\sigma$ , можно экспериментально определить  $U_a$ . Установлено, что для металлов  $U_a$  хорошо совпадает с энергией сублимации, для полимеров – с энергией термической деструкции, т.е. с энергией разрыва химических связей.

Универсальность полученных закономерностей позволяет сделать вывод, что процесс разрушения твердого тела всегда имеет кинетический характер (т.е. протекает во времени) и природа его для всех тел одинакова.

Физический механизм этого процесса представляется в настоящее время следующим образом [5, 9].

Атомы твердого тела совершают тепловые колебания с периодами  $t_{p0} \approx 10^{-12} \div 10^{-13}$  с. Под действием тепловых флуктуаций время от времени происходит разрыв химических связей. Вероятность этого события, равная  $\exp(-U_a/kT)$ , зависит от высоты активационного барьера  $U_a$  и температуры  $T$  уменьшаясь с ростом  $U_a$  и понижением  $T$ . В отсутствие внешнего напряжения (при  $\sigma = 0$ ) энергия, необходимая для разрыва связи равна для металлов  $U_0 = Q_{субл}$ . Напряжение  $\sigma$  созданное в теле уменьшает энергию активации процесса разрушения с  $U_0$  до  $U_0 = U_0 - \gamma\sigma$  и тем самым увеличивает вероятность разрыва связей, а следовательно и число разорванных связей в единице объема.

Образование субмикроскопических областей с разорванными связями и слияние их друг с другом приводит к тому, что тело под действием приложенного напряжения разрушается. Чем выше  $a$ , тем сильнее понижается энергия активации, тем быстрее и в большем количестве возникают разорванные связи, поэтому тем меньше требуется времени для развития процесса разрушения.

Таким образом, для обеспечения режима разрушения в отсутствие заметной ползучести необходимо лишь кратковременное незначительное увеличение напряжения над пределом прочности.

Теоретическая прочность твердых тел  $\sigma_0$ , рассчитанная по той или иной атомистической модели, во много раз превосходит реальную прочность  $\sigma_p$ .

Принято считать, что такое различие между  $\sigma_p$  и  $\sigma_0$  объясняется наличием в реальных твердых телах (металлических проводниках, кристалле микросхемы) различного рода дефектов, в частности микротрещин, снижающих их прочность [5]. Появление трещины длиной  $l$ , приводит к концентрации напряжений у ее краев, если к образцу приложено растягивающее усилие  $F_{/вн}$  (рис. 1).

Величина напряжения у края острой трещины, имеющей радиус округления  $a$  определяется следующим соотношением (13):

$$\sigma_k = \sigma(1 + 2\sqrt{l/a}), \quad (13)$$

где  $\sigma_k$  – напряжение у края трещины;

$\sigma$  – среднее напряжение в поперечном сечении образца.

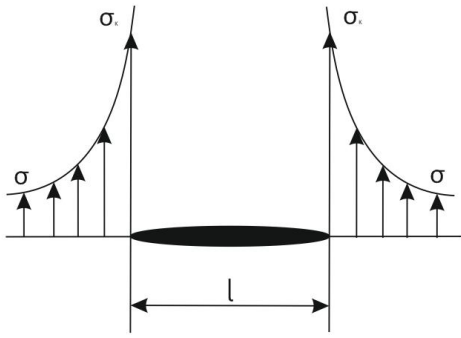


Рис. 1. Распределение напряжений у краев трещины

Разрушение образца наступает при таком значении  $\sigma = \sigma_p$  при котором напряжение  $\sigma_k$  достигает теоретической прочности материала  $\sigma_0$  (14):

$$\sigma_k = \sigma_p (1 + 2\sqrt{l/a}) = \sigma_0. \quad (14)$$

Отсюда можно определить реальную прочность материала  $\sigma_p$  (15):

$$\sigma_p = \frac{\sigma_0}{1 + 2\sqrt{l/a}} \approx \frac{\sigma_0}{2\sqrt{l/a}} \quad (15)$$

Из соотношения (15) видно, что реальная прочность тела тем ниже, чем длиннее возникшая в нем трещина и чем меньше радиус кривизны ее края.

Для того, чтобы  $\sigma_p$  составляла 0,01  $\sigma_0$ , достаточно возникновения в теле трещин размером  $l=1$  мкм с радиусом закругления краев, равным параметру решётки. Таким образом, механизм разрушения монтажного соединения основан на зарождении и развитии трещин и микротрещин в среде сформировавшейся при образовании соединения содержащей дефекты микроструктуры. Значительная концентрация напряжений у краев трещины приводит к условиям, когда время разрушения материала становится значительно меньше времени релаксации, т.е. к обеспечению минимального влияния процесса разрушения на перестройку структуры материала в прилегающих к поверхности разрыва областях. Практически такие условия могут быть реализованы при таком режиме испытания микросоединения на прочность, когда значительные деформации достигаются за несколько секунд, что приводит к кратковременной ползучести, и процесс характеризуется хрупким разрушением.

При УЗ-сварке микропроводников МЭИ на основе алюминиевых ГКС создаются достаточные условия для реализации такого механизма разрушения. Можно сделать предположение о наличии двух источников формирования среды, содержащей дефекты структуры: во-первых, частицы посторонних

веществ; во-вторых, продукты физико-химических реакций на поверхности и в объеме исходных материалов образующих сварное соединение (МОС). Эти источники обладают большой интенсивностью на этапе активации МОС во время микромонтажа, особенно при отсутствии защитной среды.

Удаление посторонних веществ с поверхности алюминиевых микропроводников (тонкой оксидной и жировой плёнок) принципиально невозможно в реальных условиях монтажа, так как даже при идеальной очистке поверхности от минеральных и органических загрязнений поверхность металла обладает столь высокой активностью, что практически мгновенно покрывается тонким оксидным слоем, образующими на ней адсорбированные пленки.

Таким образом, можно предположить, что подготовленные для соединения поверхности являются достаточно мощным источником концентрации посторонних частиц, которые ослабляют прочность материала и определяют механизм начала процесса разрушения, возникновение и развитие трещин. Значительный рост напряжения на концах развивающейся трещины обуславливает ослабление процессов ползучести и в сторону хрупкого разрушения. Развитие микротрещин происходит в слое материала, структура и свойства которого могут определяться характером физико-химического взаимодействия, в котором участвуют соединяемые поверхности, при участии внешних факторов, обуславливающих значительный вклад в несовершенство структуры и состава сварного микросоединения.

### III. ВЫВОДЫ

Таким образом, исходя из рассмотренных закономерностей формирования микросоединения в процессе ультразвуковой сварки можно сделать вывод, что прочность и надёжность соединений обеспечивается технологическими факторами. Оптимальный режим процесса микросварки характеризуется достижением максимальной прочности соединения при минимальном электрическом сопротивлении контакта

В свою очередь процесс разрушения рассматриваемый, как действие явлений ползучести и хрупкого разрушения, при условии превышения допустимого предела прочности напряжений, зависит от воздействия внешних сил.

### ПЕРЕЧЕНЬ ССЫЛОК

- [1]. Tricomi A. The CMS Inner Tracker Silicon Microstrip Modules: Production and test // Nuclear Instruments and Methods in Physics Research. Section A: Accelerators Spectrometers Detectors and Associated Equipment. – 2007. – Vol. 570 (2), N 1. – P. 248-252.
- [2]. Хмелев, В.Н. Ультразвуковая сварка термопластичных материалов [Текст] :

- монография / В.Н. Хмелев, С.С. Хмелев, А.Н. Сливин, А.Д. Абрамов. – Бийск: Изд-во Алтайского гос. технич. ун-та, 2014. – 281 с.
- [3]. Балабанов В. Т. Технология создания плоских микромодулей для приборов бесконтактной идентификации [Текст] / Автореф. дис. ... канд. техн. наук. – Московский гос. ин-т электронной техники. – 2008.
- [4]. Заводян, А. В. Анализ сборочно-монтажных процессов производства электронных средств [Текст] / А.В. Заводян, А. М. Грушевский. – Москва: МИЭТ, 2005. – 200 с.
- [5]. Работнов, Ю.Н. Введение в механику разрушения [Текст] / Ю.Н. Работнов.- М.: Наука, 2009. - 82 с.
- [6]. Кузнецов, А. О. Прочность элементов микроэлектронной аппаратуры [Текст] / А. О. Кузнецов, А. И. Погалов, В.С. Сергеев. - М.: Радио и связь, 1990. - 144 с.
- [7]. Фролов, В.К. Контроль и испытания в проектировании и производстве радиоэлектронных средств [Текст] / В.К. Фролов, Н.П. Сергеев. - М.: Техносфера, 2005. - 504 с.
- [8]. Андрусевич, А. А. Технологический мониторинг монтажных соединений в производстве электронной техники [Текст]: дис. ... канд. техн. наук / А. А. Андрусевич. - Х., 2005. - 156 с.
- [9]. Терлецкий, Я. П. Статистическая физика [Текст] / Я. П. Терлецкий. – М.: Высшая школа, 1994. - 352 с.

## Разработка классификации конвейеров по основным признакам

Владислав Евсеев<sup>1</sup>, Салиева Веляде<sup>1</sup>

1. Кафедра КИТАМ, Харьковский национальный университет радиоэлектроники, Харьков, пр. Науки. 14, УКРАИНА, e-mail: veliade.saliieva@nure.ua

**Аннотация:** В данных тезисах проведен анализ типов конвейерных линий, их структура и назначение, который даст возможность разработать информационно-параметрическую модель для унификации параметров необходимых для автоматизации проектирования новых или усовершенствования существующих конвейерных линий с минимальными экономическими затратами.

**Ключевые слова:** автоматизированная линия, конвейер, привод, конструкция, транспортировка.

### 1. ВВЕДЕНИЕ

Одним из главных направлений технического прогресса является комплексная автоматизация производства – ряд технических решений, основное назначение которых состоит во внедрении в систему механизмов и инструментов минимизирующих участие человека в технологических процессах. Типовым решением задачи комплексной автоматизации является автоматическая линия, выполняющая часть процесса или весь процесс изготовления изделия. В состав такой линии входят технологическое оборудование, система управления и транспортная система. От построения и выбора транспортной системы зависит вопрос компоновки всей линии, так как именно на транспортных устройствах перемещают

полуфабрикат с одной рабочей позиции на другую, осуществляют изменение его ориентации (в поворотных устройствах), убирают отходы производства (стружку) и т. д. Основным механизмом транспортных устройств являются конвейеры.

Разработка новых конвейеров является сложной научно-технической задачей, которая связана с высокими экономическими расходами. Для уменьшения времени проектирования, а также достижения максимальной экономической эффективности, необходимо разработать новый подход к проектированию конвейеров на базе унификаций основных параметров устройства, что даст возможность автоматизировать процесс проектирования новых устройств или совершенствования существующих под необходимые задачи на производстве.

Конвейер – это непрерывно работающая часть транспортного устройства, отвечающая за перемещение груза на своей рабочей поверхности. В упрощенном виде конструкцию конвейера (рис 1) можно представить в виде двух основных блоков: блок приводного механизма, отвечающий за приведение устройства в движение, в состав которого входят электродвигатель, редуктор, сочленение с

движущимися деталями, каркас конвейера; блок рабочей поверхности, представляющий собой поверхность перемещения груза (может быть представлена лентой, роликами, пластинами, скребками, винтом, нориями); и дополнительных блоков (обозначены пунктиром), наличие которых предусмотрено не во всех типах конвейеров: натяжная станция; опорные металлоконструкции.

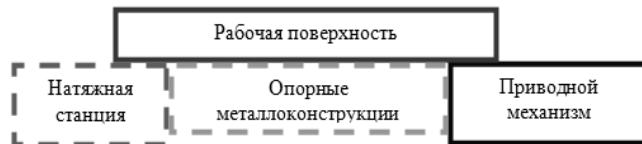
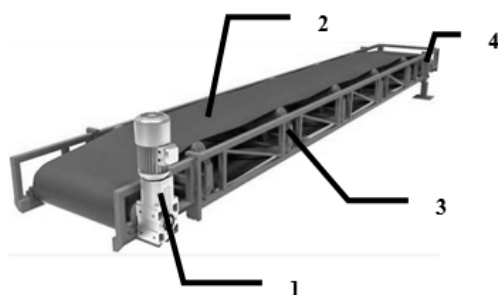


Рис.1. Упрощенная схема конструкции конвейера

## II. АНАЛИЗ ТИПОВ КОНВЕЕРОВ

Конвейеры применяются для перемещения деталей, материалов, сырья между конкретными точками обработки, по фиксированному пути. Их можно классифицировать по различным признакам: тип транспортируемого объекта (единичная нагрузка (кусковые или штучные грузы), или объемная нагрузка (сыпучий груз)); расположение конвейера в пространстве (наклонный, горизонтальный, встроенный в пол, на опорных конструкциях); наличие дополнительных силовых нагрузок на конвейер; расстояние для перемещения.

Одним из наиболее применяемых типов конвейера являются ленточные. Их используют для перемещения любых типов грузов на расстоянии до 10 км и больше (могут состоять из нескольких секций). Трасса конвейера такого типа в горизонтальной плоскости прямолинейная, а в вертикальной может быть наклонной или иметь сложную конфигурацию.



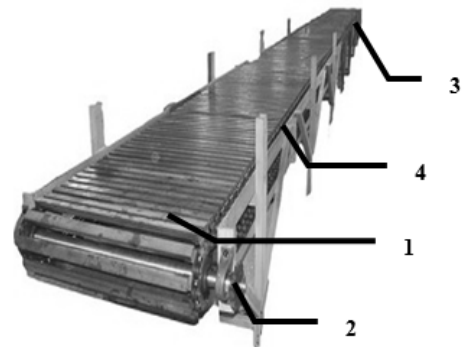
1-привод (электродвигатель, редуктор);  
2-транспортная лента;  
3 – опорные металлоконструкции;  
4 – натяжной барабан  
Рис. 2 Ленточный конвейер

Пример конструкции горизонтального ленточного конвейера приведен на рис.2. Материал (полимеры, ткани) и тип применяемой ленты зависит от объекта транспортировки. Такие конвейеры имеют высокую эксплуатационную надёжность, высокий уровень производительности (могут обеспечивать

скорость в 6-10 м/с), транспортировать тяжелые грузы. Сфера применения конвейеров ограничивается высокой ценой комплектующих (ленты и роликов), фиксированным углом подъема (не больше 20), влиянием на характеристики ленты изменения температур.

Для перемещения тяжелых (800 кг и более) штучных, крупнокусковых грузов, а так же грузов, нагретых до высокой температуры в горизонтальной плоскости или в плоскости с наклонном до 35град, или в случае, когда на конвейер действуют дополнительные внешние нагрузки используются пластинчатые конвейеры.

Конструкция (рис.3) такого конвейера имеет те же основные узлы, что и ленточные, главное отличие в исполнении грузонесущей части – это пластмассовое или металлическое полотно, состоящие из отдельных пластин, прикрепленных к тяговому цепям.



1-настил;  
2- натяжное устройство;  
3 –привод;  
4 – тяговая цепь  
Рис. 3 Пластинчатый конвейер

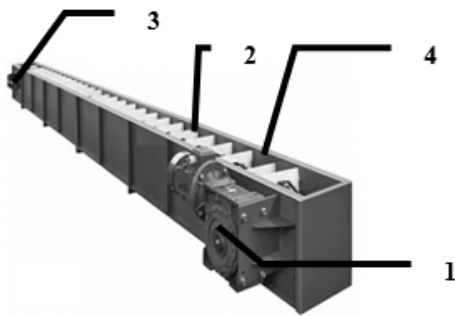
Особенностью конструкции данного типа является возможность построения траектории транспортировки грузов со сложной конфигурацией, а так же транспортировка грузов под большим наклоном. Однако, из-за большой погонной массы пластин возникает большой расход энергии и малая скорость движения грузов, так же такая конфигурация не позволяет транспортировать сыпучие грузы.

Для переработки кусковых и сыпучих грузов применяют другой тип конвейера – скребковый (рис. 4), который перемещает груз движущимися по желобу или трубе скребками. Контур сечения желоба и конфигурация скребков должны быть одинаковыми - прямоугольной, полукруглой, трапециевидальной формы. Скребки бывают штампованными из листовой стали или литыми, а желоба изготавливают металлическими, реже пластмассовыми.

Конвейеры этого типа могут загружаться и разгружаться в любой точке по всей длине желоба. Они имеют массу, и простую конфигурацию, что позволяет: транспортировать разнообразные грузы (хорошо сыпучие, связные, порошкообразные, острокомочные, химически



активные и ядовитые, различных температур) по сложным трассам без перегрузки; обеспечить герметичность, отсутствие пыления и простоту автоматизации загрузки и разгрузки во многих точках трассы.

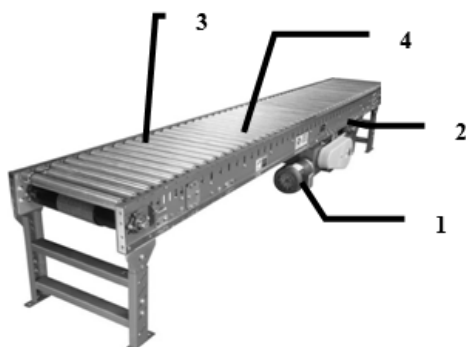


- 1-приводная станция;
- 2- скребок;
- 3 –концевая головка;
- 4 – став

Рис. 4 Скребковый конвейер

Недостатками конвейера является измельчение грузов при транспортировке (в меньшей степени у конвейеров сплошного волочения с низкими скребками); значительный расход энергии; повышенный износ движущихся частей и желобов (особенно при перемещении абразивных грузов); шум, создаваемый при трении груза и элементов конвейера о желоб и направляющие, возможность образования заторов груза и заклинивания скребкового полотна в конвейерах с закрытым желобом.

Для перемещения штучных грузов используются роликовые конвейера (рольганги).



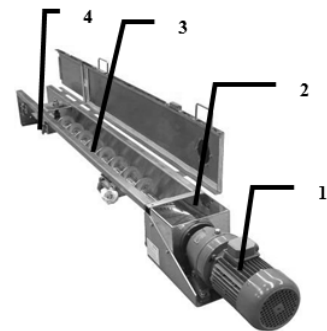
- 1-привод;
- 2- рама;
- 3 –роликоопоры;
- 4 – ролики

Рис. 5 Роликовый конвейер

Они делятся на приводные (рис.5) и неприводные. В первом случае ролики приводятся в движение принудительно электродвигателем. Неприводные конвейеры должны иметь небольшой уклон в направлении движения груза, который перемещается под силой собственного веса, либо при помощи пневматического или механического толкателя. Рольганги обычно состоят из секций длиной до 3

м. Конструкция допускает ложные конфигурации линии (криволинейные и откидные секции, поворотные круги и т.д.). Конвейеры данного типа способны работать в помещениях с повышенной влажностью, кислотностью и щелочностью, отличаются повышенной грузоподъемностью конструкции и возможностью осуществления реверсивного движения. К недостаткам можно отнести низкую скорость транспортировки; возможность перемещения только плоского или упакованного товара (либо необходимость дополнительного оборудования – поддонов); ширина приводных конвейеров ограничена длиной ролика; быстрый износ рабочих частей.

Для непрерывного перемещения порошкообразных, сыпучих, пылевидных, насыпных или мелкокусковых материалов используются винтовые конвейеры (рис.6). Главным рабочим органом выступает шнек (стержень со сплошной винтовой поверхностью вдоль продольной оси). Такие конвейеры предназначены для транспортирования материалов на небольшие расстояния, в основном в горизонтальной, а иногда и в наклонной плоскости.



- 1-привод;
- 2- загрузочное окно;
- 3 –шнек;
- 4 – выгрузное окно

Рис. 6 Винтовой конвейер

Достоинством таких типов конвейеров является закрытый транспортный тракт, компактность по сравнению с другими транспортирующими устройствами (ленточными и пластинчатыми конвейерами) равной производительности, простота механизма, безопасность в работе и обслуживании, пригодность для горячих, пылящих и токсичных материалов. Недостатками такого конвейера являются вероятность истирания и измельчения транспортируемого материала, повышенный удельный расход энергии при больших объемах транспортируемого груза; периодический износ шнека и желоба транспортера.

Проведенный выше анализ наиболее распространенных типов конвейеров, применяемых в автоматических линиях, позволил произвести классификацию по их основным

параметрам. Первый уровень классификации по данным параметрам представлен на рис. 7.



Рис. 7 Фрагмент классификации (первый уровень) конвейеров по основным признакам

#### IV. ВЫВОДЫ

На базе проведенного анализа наиболее распространенных типов конвейеров, применяемых в автоматических линиях, были выбраны основные параметры, которые характеризуют конструкцию объекта исследования, что позволило разработать классификацию конвейеров по данным признакам и систематизировать зависимость и принадлежность каждого параметра как неотъемлемую часть конфигурации. В дальнейшем на базе классификации будет разработана информационно-параметрическая модель, которая даст возможность предложить метод унификации проектных расчетов конвейера и тем самым повысить экономическую эффективность производства.

#### ПЕРЕЧЕНЬ ССЫЛОК

- [1] В. И. Ануриев, Справочник конструктора-машиностроителя, т.3. – М: Машиностроение, 2001
- [2] В. П. Бобров, Л. И. Чеканов. Транспортные и загрузочные устройства автоматических линий: Учеб. пособ. — М.: Машиностроение, 1980. — 119 с.

# Determination of the working putting out for the correction of signals transmitted on the damaged communication lines

R.A.Mayilov<sup>1</sup>, E.A. Khanmamedova<sup>2</sup>

1. Control and systems engineer department, Azerbaijan State Oil and Industry University, Baku, AZERBAIJAN, mayilov.rauf@mail.ru

2. Control and systems engineer department, Azerbaijan State Oil and Industry University, Baku, AZERBAIJAN, dadashovaelmira@mail.ru

**Abstract:** the primary goals at collection, processing and transmission of informational electric signals in various measuring systems are to bring the informational losses into a minimum level minimize the informational losses.

**Keywords:** Communication, cable lines, capacity, inductiveness, transmission, electromagnetic energy, electrical processes.

## I. INTRODUCTION

Electric properties of cable communication lines and quality of transmission by them are completely characterized by so called initial parameters of cable: active resistance R, inductiveness L, capacity C, conductivity of isolation G. These parameters do not depend on the value of voltage and current transmitted and they are defined just by construction of cable, cable materials used and current frequency.

When communication signals are passing cable line then the decreasing of the voltage takes place, so that the power of the signal coming to the end of the line is essentially less than initial. From mentioned parameters only R and G bring about losses of energy: first – losses on thermal in current conductive wires and other metallic parts of cable, second – losses in insulation. Secondary parameters of the line are wave resistance  $Z_B$  and coefficient of spreading along uniform line without reflection, i.e. in condition of absence of influence on process of transmission of loading's discoordination on the ends of line.

Electromagnetic energy spreads along cable line, decreases on value from the beginning to the end of the line. Decreasing or putting out of energy is explained by its losses in the circuit of transmission and is taken into consideration by means of coefficient of spreading. Coefficient of spreading is complex value and can be shown as sum of real and imaginary parts:

$$\gamma = \alpha + j\beta = \sqrt{(R + j\omega L)(G + j\omega C)}.$$

Then ratio of current and voltage at the beginning and in the end of the line expressed so:

$$\frac{U_0}{U_L} = \frac{I_0}{I_L} = e^{(\gamma + j\beta)l} = e^{\alpha l} \cdot e^{j\beta l} = Ae^{j\varphi}$$

The module of this equation  $Ae^{j\varphi}$  characterizes the decreasing of absolute value of current or voltage at passing through lines with length  $l$ . Angle  $\varphi$

characterizes the changing of vector's angle of current and voltage at this part of line with the length L and shows changing of phase at energy spreading in circuit.

It is obvious, that the longer is cable line, the bigger is changing of transmitted energy (signals of communication) on value and phase.

When transmitting signals of communication the parameters  $\varphi_{OH}$  and  $\varphi_{OI}$  characterize correspondingly putting off and changing of phases of current, power and voltage at part of cable circuit by length 1 km and is called as coefficient of putting of putting of coefficient of phase. Coefficient of spreading  $\gamma$  at the same time defines changing of signal both on absolute value and on phase at 1 km of cable length.

Let us consider next the dependence of secondary parameters of cable line on frequency. At constant current ( $f = 0$ ):

$$\gamma = \alpha + j\beta = \sqrt{(R + j\omega L)(G + j\omega C)} = \sqrt{RG}.$$

Therefore, for given case the coefficient of putting off  $\gamma = \sqrt{RG}$ , coefficient of phase  $\beta = 0$  and wave resistance:

$$Z_B = \sqrt{\frac{R + j\omega L}{G + j\omega C}} = \sqrt{\frac{R}{G}}.$$

In the range of low frequencies  $f = 800$  Hz – where a spectrum of useful signals in marine – taking into consideration that inductiveness of cable circuit is not big, one can ignore the value  $\omega L$  in compare with R. In this case one can also ignore parameter in compare with  $\omega C$ , i.e. in the low frequency range  $R > \omega L$  and  $C \leq \omega C$ , then:

$$\alpha = \beta = \sqrt{\frac{\omega RC}{2}};$$

$$Z_B = \sqrt{\frac{R}{j\omega C}} = \sqrt{\frac{R}{\omega C}} - j\omega\gamma C.$$

In points of electric disparity some reflected waves appear, some part of energy returns to the beginning of the circuit, hence only part of energy comes to receiver and it is absolute value less than at coordinated load:

$$U_l = U_0 \cdot e^{\alpha l} \quad (1)$$

Putting out of uniform line represents at a summary value which besides own putting out of cable, includes also putting out at the expense of disuniformity of electric characteristics of circuit. Qualitative characteristics of signal which is transmitted by such cable line will be caused not by own putting out of the line  $a = \alpha l$ , but its working putting out  $a_p$  quantitative ratio between energy applied to the receiver and reflected energy depends on ratio of resistances of receiver and wave impedance  $Z_B$  and is characterized by coefficient of reflection:

$$P = \frac{Z_C - Z_B}{Z_C + Z_B},$$

Working putting out  $a_p$  is putting out of cable circuit in working conditions and is calculated by the equation:

$$a_p = \alpha l + \ln \left| \frac{z_0 + z_B}{2\sqrt{z_0 z_B}} \right| + \ln \left| \frac{z_l + z_B}{2\sqrt{z_l z_B}} \right| + \ln |1 - p_1 p_2 e^{-2\gamma l}|, \quad (2)$$

Where

$$p_1 = \frac{z_0 - z_B}{z_0 + z_B}$$

and

$$p_2 = \frac{z_l - z_B}{z_l + z_B}.$$

If we provide the coordination of resistances of load at the beginning and in the end of the line ( $Z_0 = Z_l = Z_B$ ), then there will remain just the first component in the formula and the working putting out will turn out to be equal to its own ( $\lambda p = \alpha l$ ).

Quantity ratio between applied and reflected energy depends on ratios of resistances of receiver  $Z_l$  and wave impedance  $Z_B$ , and is characterized by reflection coefficient:

$$p = \frac{z_l - z_B}{z_l + z_B}.$$

When coefficient of reflection is known, one can calculate wave impedance and therefore define three last components in equation (2) and naturally working declination. So, the ratio of current and voltage at the beginning and in the end of the line, according to equation (1), will be as:

$$U_l^* = U_0 \cdot e^{\alpha p}$$

and then

$$\frac{U_l^*}{U_0} = \frac{I_l^*}{I_0} = e^{\alpha p} \quad (3)$$

where,  $U_l^*, I_l^*$  - values of voltage and current in the ends of line in case of breaking of non-uniformity of lines.

Dividing (3) on (1) we will get next ratio

$$\frac{U_l^*}{U_0} = \frac{I_l^*}{I_0} = \frac{e^{\alpha l}}{e^{\alpha p}} = e^{\alpha l - \alpha p} \quad (4)$$

Taking into account the results of ratios in last equations, we will define value of correction coefficients for calculation of real value of  $U_l$ :

$$K_C = \frac{1}{e^{\alpha l - \alpha p}} \quad (5)$$

## II CONCLUSION

Thus, the proposed correction factor when transporting electrical signals over the damaged ones allows not only correcting the measurement results, but also using certain wires of the cable lines with disturbance in homogeneities to transmit information.

## REFERENCES

- [1] Lin S., He Z.Y., Li X.P., Qian Q.Q. Travelling wave time-frequency characteristic-based fault location method for transmission lines // IET Generation, Transmission & Distribution. - 2012.- № 6 - С. 764-772.
- [2] Былина М.С., Глаголев С.Ф. Определение характера повреждения или неоднородности по рефлектограмме кабельной цепи. Труды учебных заведений связи № 168, СПб, 2008. - 11 с.
- [3] БРС-07.090Д001 РЭ. Микропроцессорное устройство определения места повреждения Бреслер-0107.090. Руководство по эксплуатации (редакция от 22 февраля 2013 года) // Научно-производственное предприятие «Бреслер», - Чебоксары, 2013.- 146 с.

# Автоматизация измерения теплового сопротивления для исследования свойств полупроводников

Сергей Новоселов, Оксана Сычева

Кафедра КИТАМ, Харьковский национальный университет радиоэлектроники, УКРАИНА, Харьков, пр. Науки. 14, email: oksana.sychova@nure.ua

**Аннотация:** В данной работе предложена конструкция лабораторной установки и методика автоматизированного исследования зависимости сопротивления полупроводника от температуры с возможностью управления ходом эксперимента с помощью персонального компьютера. Представлены структурные схемы устройства и алгоритм работы.

**Ключевые слова:** радиоэлектронные системы, полупроводники, температура, проводимость, сопротивление.

## I. ВВЕДЕНИЕ

Изменение теплового сопротивления полупроводников при воздействии на полупроводниковый компонент электрической схемы может привести к изменению заданных характеристик устройства или даже выходу самого компонента из строя. Поэтому измерение и контроль теплового сопротивления приобретает особую важность для мощных светодиодов, у которых большая рассеиваемая мощность может вызвать сильный перегрев кристалла с последующими негативными последствиями.

Целью данной работы является разработка структурной схемы лабораторной установки и алгоритма управления ходом эксперимента при помощи микроконтроллерного измерительного модуля, который позволит проводить исследования зависимости сопротивления полупроводников от температуры с использованием регулируемого источника питания и программного управления ходом эксперимента.

## II. ЗАВИСИМОСТЬ СОПРОТИВЛЕНИЯ ПОЛУПРОВОДНИКА ОТ ТЕМПЕРАТУРЫ

Полупроводники, у которых имеется равное количество носителей заряда – электронов проводимости и «дырок», называются полупроводниками с собственной проводимостью. Для возникновения собственной проводимости чистого полупроводника необходимо электрон перебросить из зоны  $B$  в зону  $C$ . Для этого необходимо затратить энергию, которая называется энергией активации собственной проводимости ( $\Delta W$ ) и определяется шириной запрещенной зоны.

Кроме полупроводников с собственной проводимостью существуют примесные полупроводники. Наличие примесей дает возможность менять свойства полупроводников и получать полупроводники, обуславливающие одностороннюю проводимость. Такие полупроводники используются в качестве выпрямителей и усилителей тока.

По величине удельной проводимости полупроводники занимают промежуточное положение между металлами и изоляторами (диэлектриками). Полупроводники имеют ряд общих свойств как с диэлектриками, так и с металлами.

Проводимость металлов имеет электронную природу. Диэлектрические кристаллы обладают ионной проводимостью. В этом отношении полупроводники схожи с металлами: как и в металлах, проводимость большинства полупроводников имеет электронное происхождение.

При нагревании проводимость металлов медленно падает, а проводимость полупроводников, также как и диэлектриков, наоборот, резко возрастает. Однако известны некоторые полупроводники, для которых зависимость проводимости от температуры имеет такой же характер, как и у металлов.

Проводимость металлов уменьшается при введении примесей. Проводимость диэлектриков, наоборот, при введении примесей возрастает. В этом отношении полупроводники похожи на диэлектрики: включение примесей приводит к резкому увеличению проводимости полупроводников.

Наиболее типичными широко применяемыми на практике полупроводниками являются бор (B), углерод (C), кремний (Si), фосфор (P), сера (S), мышьяк (As), селен (Se), олово (Sn), сурьма (Sb), теллур (Te), йод (I). При не слишком высоких напряжениях поля (менее 1000 В/см) в полупроводниках выполняется закон Ома:

$$j = \gamma E, \quad (1)$$

где  $j$  – плотность тока;  $\gamma$  – удельная проводимость;  $E$  – напряженность поля.

Так как в полупроводнике имеются носители заряда двух типов – электроны и дырки, то

$$j = e(n_{-}v_{-} + n_{+}v_{+}), \quad (2)$$

где  $n$  и  $v$  – концентрация и скорость упорядоченного движения носителей заряда соответственно.

Вводя подвижность носителей заряда  $b = v / E$ , т.е. скорость их направленного движения в поле единичной напряженности, получим для удельной проводимости

$$\gamma = e(n_- b_- + n_+ b_+). \quad (3)$$

Температурная зависимость проводимости полупроводника связана с изменением концентрации и подвижности электронов и дырок с температурой

$$\gamma = \gamma_0 \exp\left(-\frac{W}{2kT}\right). \quad (4)$$

Так как  $R = 1 / \gamma$ , то

$$R_T = R_0 \cdot e^{+\frac{\Delta W}{2kT}} = A \cdot e^{\frac{B}{T}}, \quad (5)$$

где  $A = R_0$  – сопротивление при  $T = 0$  К, а  $B = \frac{\Delta W}{2k}$ .

Логарифмируя выражение (5), получим

$$\ln R_T = \ln A + B \frac{1}{T}. \quad (6)$$

Если продифференцировать уравнение (6), то окажется, что температурный коэффициент сопротивления полупроводника  $\alpha$ , равный

$$\alpha = \frac{1}{R} \cdot \frac{dR}{dT} = -B \frac{1}{T^2} = \alpha(T), \quad (7)$$

является отрицательной величиной.

Следовательно, откладывая по оси ординат  $\ln R$ , а по оси абсцисс  $1/T$ , получим в области относительно низких температур прямую, угловой коэффициент которой определяет энергию активации примеси  $\Delta W$  (область I на рис. 1).

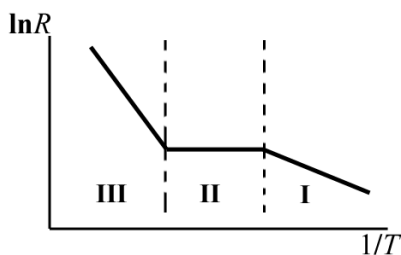


Рис. 1. Температурная зависимость концентрации электронов в полупроводнике n-типа

Исходя из анализа свойств полупроводника, и схем, позволяющих снимать вольт-амперную характеристику диода, была разработана структурная схема установки.

На рис. 2 приведена структурная схема установки. В состав устройства входят следующие блоки: блок управления; вольтметр; датчик тока; регулируемый источник напряжения; нагреватель; датчик температуры; полупроводниковый диод, свойства которого исследуются.

Для того чтобы построить вольт-амперную характеристику необходимо сделать несколько измерений силы тока в зависимости от поданного напряжения. Для этого в установке есть датчик тока и регулируемый источник напряжения.

Вольтметр предназначен для контроля напряжения на диоде при измерении силы тока.

Управляет процессом построения вольт-амперной характеристики блок управления. Согласно алгоритму, положенного в работу микроконтроллера, формируется двоичный код на его выходе, который дальше переводится в напряжение с помощью цифро-аналогового преобразователя.

После каждого цикла изменения напряжения на выходе ЦАП происходит измерение тока и передача полученных значений на персональный компьютер для построения вольт-амперной характеристики.

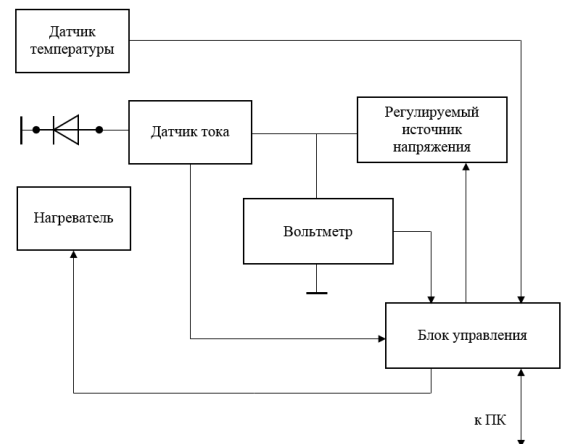


Рис. 2. Структурная схема установки для исследования сопротивления полупроводника

Для исследования зависимости проводимости полупроводника от температуры в устройстве применяется нагреватель и датчик температуры.

В данном режиме работы блок управления повторяет цикл шагов по измерению вольт-амперной характеристики, но каждый раз задает различную температуру нагревателя. В данном случае на персональный компьютер передаются следующие данные: температура нагрева полупроводника, полученная с помощью датчика температуры; напряжение, полученное с помощью соответствующего датчика; и измеренное значение тока.



Таким образом, программа, которая получает все указанные данные, может построить вольт-амперную характеристику полупроводника, которая будет отличаться в зависимости от температуры.

Чтобы исследовать, как ведет себя полупроводник при подаче на него обратного напряжения в данную структурную схему (рис. 2) надо добавить блок изменения полярности подключения полупроводника. Это можно сделать с помощью реле с двумя группами контактов.

На рис. 3 приведена измененная структурная схема с блоком изменения полярности подключения полупроводника.

В данной схеме добавлен блок «Реле». Управление реле осуществляется с помощью выходных сигналов с блока управления. Режим работы реле отображается в блоке индикации.

В нормальном режиме, когда реле выключено его контакты K1.1 и K1.2 подключают полупроводник к напряжению, как показано на рис. 3. То есть это прямое включение диода. Если нужно изменить режим тестирования, то на реле подается сигнал, приводящий к его включению. Тогда контакты реле включают диод к схеме в обратном направлении.

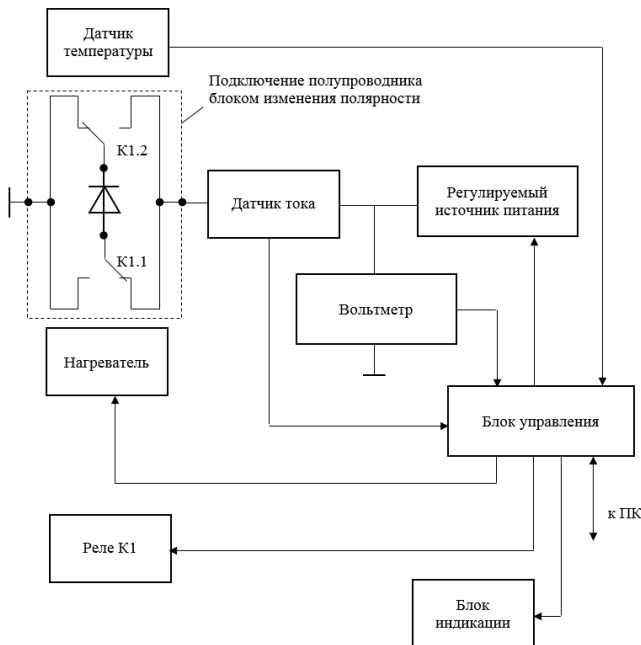


Рис.3. Структурная схема установки с блоком изменения полярности подключения полупроводника

### III. РАЗРАБОТКА АЛГОРИТМА РАБОТЫ БЛОКА УПРАВЛЕНИЯ

Алгоритм работы блока управления показан на рис. 4.

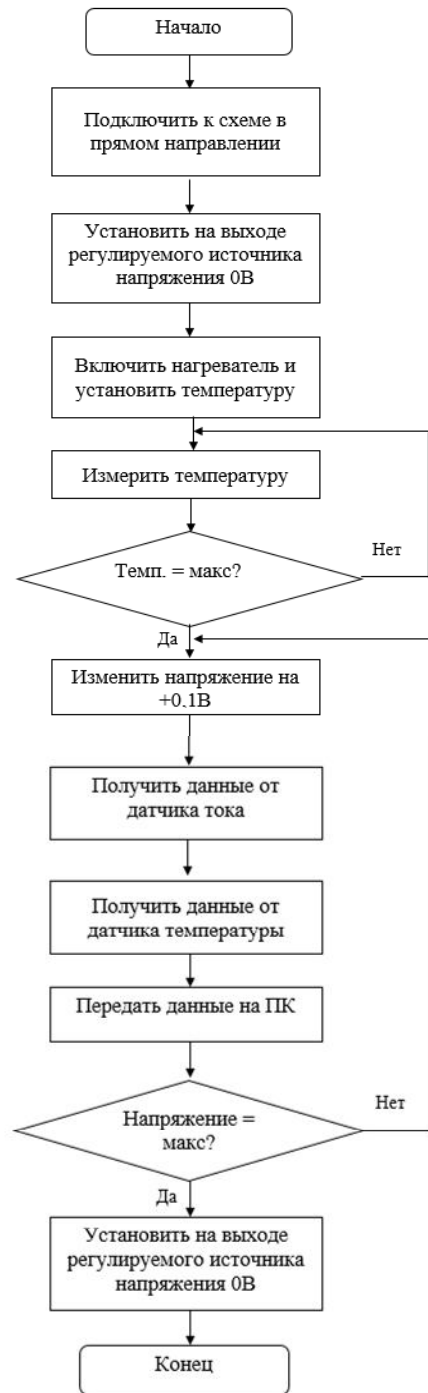


Рис.4. Алгоритм работы устройства в режиме исследования зависимости проводимости полупроводника от температуры.

Исходя из разработанной структурной схемы, алгоритм работы устройства будет следующим:

1. При включении питания реле K1 выключено. Его контакты подключают диод к схеме в прямом направлении.
2. Блок управления дает команду регулируемому источнику напряжения установить напряжение 0 В.

3. Для проведения исследования необходимо включить нагреватель и задать температуру.

4. Блок управления ожидает, пока температура не достигнет установленного значения.

5. После стабилизации температуры выполняется изменение напряжения на диоде на +0,1 В.

6. После изменения напряжения, блок управления считывает данные с датчика тока и температуры.

7. После получения данных измерения они передаются на ПК для дальнейшей обработки и построения вольт-амперной характеристики.

8. Шаги 3-5 повторяются до тех пор, пока не будет достигнуто максимально допустимое напряжение на диоде.

9. После получения характеристики диода блок управления дает команду регулируемому источнику напряжения установить напряжение 0 В.

Таким образом, приведенный алгоритм позволяет получить различные вольт-амперные характеристики полупроводника в зависимости от температуры.

#### IV. ВЫВОДЫ

В данной работе были проанализированы физические основы полупроводников, показана зависимость сопротивления полупроводника от температуры. Приведены структурные схемы установок для исследования зависимости сопротивления металлов и полупроводников от температуры. Разработан алгоритм работы устройства в режиме исследования зависимости проводимости полупроводника от температуры.

#### ПЕРЕЧЕНЬ ССЫЛОК

- [1] Галушак, М. О. Автоматизированный комплекс для вимірювань термоелектричних параметрів напівпровідників / М. О. Галушак, Б. С. Дзундза, А. І. Ткачук, Д. М. Фреїк // Методи та прилади контролю якості. – 2013. – №1(30). – С. 79-83.
- [2] Зайцев, Р. В. Автоматизированный измерительный комплекс вольт-амперных характеристик полупроводниковых приборов / Р. В. Зайцев, М. В. Кириченко, Д. С. Прокопенко // VI Международная Интернет-конференция молодых ученых, аспирантов и студентов «Инновационные технологии: теория, инструменты, практика» (InnoTech 2014) 1-30 ноября 2014 г., Тезисы докладов. – Пермь: ПНИПУ, 2014 г.
- [3] Зимин, А.М. Учебная Интернет-лаборатория «Испытания материалов» / А.М. Зимин, Б.В. Букетин, А.П. Почуев, А.В. Шумов, О.А. Щепетинщиков // Информационные технологии. – 2006. – № 10. – С. 58-65.
- [4] Бутырин И. А., Васильковская Т. А., Каратаева В. В., Материкин С. В. Автоматизация физических исследований и эксперимента: компьютерные измерения и виртуальные приборы на основе Lab VIEW 7. – М.: ДМК Пресс, 2005, – 264 с.
- [5] Зюбин В. Е. «Си с процессами»: язык программирования логических контроллеров // Мехатроника. – 2006. – № 12. – С. 31-35.
- [6] Зюбин В. Е. Программирование информационно-управляющих систем на основе конечных автоматов: Учеб.-метод. пособие. Новосибир. гос. ун-т, Новосибирск. – 2006. – 96 с.
- [7] Дворников О.В., Чеховский В.А., Дятлов В.Л., Прокопенко Н.Н. Особенности аналоговых интерфейсов датчиков. Современная электроника. – 2013. – № 2, 3.
- [8] Baker B. Temperature Sensing Technologies. Microchip Technology Inc. AN679.

# Розробка технології створення параметричної моделі торгового обладнання у САПР Autodesk Inventor

В.М. Тігарев<sup>1</sup>, В.І. Салій<sup>2</sup>, П.В. Зайцев<sup>3</sup>

1. Канд. техн. наук, доц., кафедра ІТІМ, Одеський національний політехнічний університет, Одеса, УКРАЇНА, email: volodymyr\_t@ukr.net
2. Асистент, кафедра ІТІМ, Одеський національний політехнічний університет, Одеса, УКРАЇНА, email: svi099svi@gmail.com
3. Бакалавр., кафедра ІТІМ, Одеський національний політехнічний університет, Одеса, УКРАЇНА, email: pava77mu@gmail.com

**Анотація:** Розробка технології створення адаптивної параметричної моделі торгового обладнання. Розглянуто загальний підхід створення та аналізу торгового обладнання, а саме взуттєвого столу за допомогою САПР Autodesk Inventor Professional. Представлено технологію комп'ютерного моделювання торгового обладнання.

**Ключові слова:** торгове обладнання, параметрична модель, взуттєвий стіл.

## I. ВСТУП

Форма та конструкція торгового обладнання дуже важлива для підвищення об'єму продаж. Вона повинна враховувати всі ергономічні норми. Торгове обладнання призначене для розміщення товару. Взуттєвий стіл повинен відповідати певним вимогам. Він повинен мати по 2 полки з кожної сторони, які повинні витримувати вагу коробок з взуттям. Верх столу призначений для виставлення лівих півпар моделей взуття (по 4 з кожної сторони столу, взуття для малюків – по 6). 1 секція взуттєвого столу має певну максимальну місткість через відмінності в розмірі коробок:

- малюки 1-3 роки - мах 70 коробок
- дорослі і діти старше 5 років - мах 20 - 24 коробки.

Висота столу повинна бути на рівні очей покупця для більшої комерційної вигоди. Стіл повинен бути безпечним для покупців та співробітників магазину.

## II. ПОСТАНОВКА ЗАВДАННЯ

Проектування торгового обладнання з використанням сучасних комп'ютерних технологій дозволяє скоротити час, підвищити точність та безпеку покупців та співробітників, створити комп'ютерну модель для проведення аналізу механічних навантажень.

Проектування обладнання можливо у різних САД системах. Основою столу є рамна конструкція. На створену раму додаються інші компоненти столу. Проектування рамних конструкцій для електричного скутера та автомобіля Formula Student розглянуто у роботах [1-3]. Запропоновану методику та технологію створення рамних конструкцій використаємо для створення рами взуттєвого столу. Дану задачу зручніше вирішити за допомогою САПР Autodesk

Inventor Professional, яка дозволяє створити параметричну тривимірну модель столу для взуття в розділі «Створення деталі». Модель столу складається з декількох нестандартних та типових деталей. Після створення окремих частин столу виконується «Збірка деталей» в однойменному розділі. Параметризація дозволяє провести аналіз створеної моделі в середовищі «Аналіз рам» для різноманітних профілів елементів конструкції.

Побудова взуттєвого столу має деякі особливості порівняно зі звичними збірками, зібраними зі звичних змодельованих деталей. По-перше, для того щоб модель можна було тестувати в середовищі «Аналіз рам», вона повинна бути створена зі спеціальних профільних елементів. По-друге, для завдання стандартного профілю необхідно попередньо створений ескіз, введений в середовище збірки у якості компоненту (профіль задається лише в середовищі збірки). По-третє, для моделі необхідна наявність декількох підрівнів деталізації (збірки в збірках), що надасть певну свободу контролю над різними компонентами та рівнями деталізації.

## III. РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕННЯ

Розглянемо детально етапи розробки моделі взуттєвого столу. При створенні моделі ми переходимо від двовимірних параметричних ескізів до тривимірних параметричних каркасно-векторних об'єктів моделі. При проектуванні об'єктів за допомогою САПР Autodesk Inventor Professional створюємо тривимірну модель на основі каркасно-векторної моделі.

Ціллю даної роботи є розгляд методики та технології створення тривимірної параметричної каркасно-векторної моделі секції взуттєвого столу. Технологія створення параметричної моделі столу складає п'ять послідовних етапів проектування і моделювання.

Збірна модель столу повинна складатися з наступних елементів: каркас секції столу, полка, дерев'яна стільниця та верх стільниці.

На першому етапі створюємо тривимірну каркасно-векторну модель верхньої частини профілю секції взуттєвого столу, яка створена з

ескізів моделі профілю каркасу секції столу, ескізів горизонтальних елементів рами рис. 1. Також на першому етапі відбувається видавлювання профілю. Всі розміри задаємо параметрично. В результаті ми отримуємо двовимірний параметричний ескіз верхнього елемента столу. За рахунок параметризації можливо створювати конструкцію, яка дозволяє отримати параметричний ряд моделей для різноманітних варіантів конструкції столу.

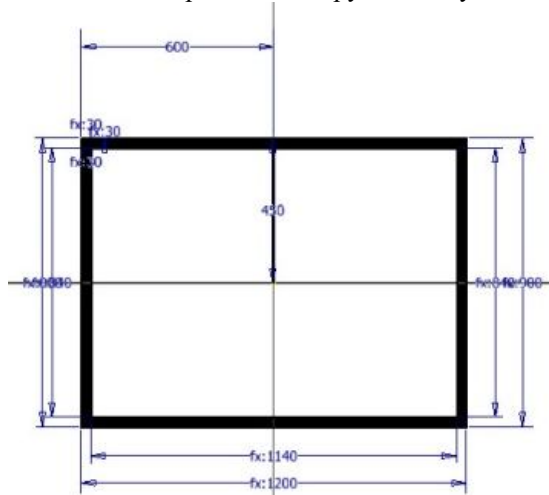


Рис. 1. Перший ескіз моделі

На другому етапі створюємо вертикальний каркас деталі. Для цього створюємо ескіз в новій площині, розміри задаємо параметрично та видавлюємо ескіз рис.2.

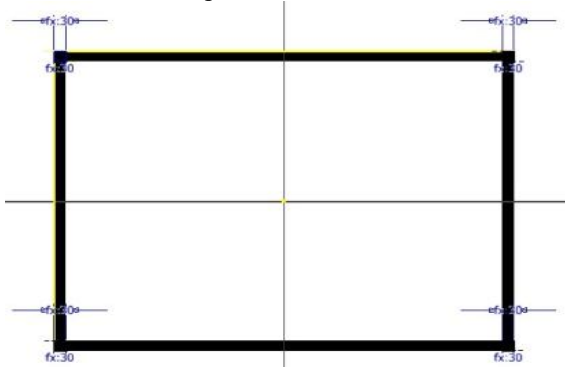


Рис. 2. Другий ескіз моделі.

На третьому етапі створюємо нижню горизонтальну частину каркасу секції взуттєвого столу. В новій площині створюємо ескіз, зберігаючи розміри першого горизонтального ескізу. Розміри вказуємо параметрично та видавлюємо ескіз рис.3.

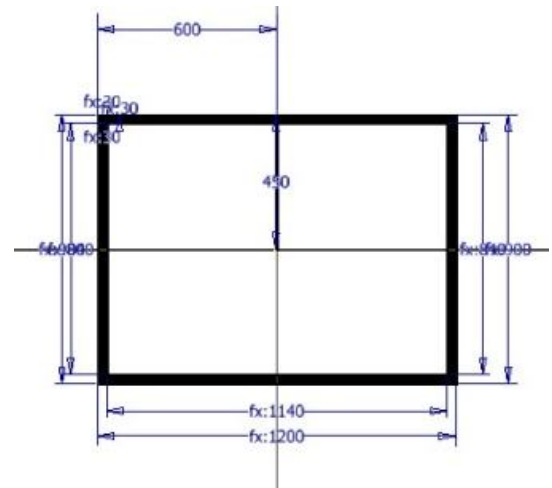


Рис. 3. Третій ескіз моделі.

На четвертому етапі створюємо паралельні ребра жорсткості на торцях секції столу. Ребра роблять конструкцію столу більш безпечною та цілісною. Для цього в новій площині створюємо новий ескіз рис. 4. Після цього видавлюємо ребра на висоту столу, розміри задаємо параметрично.

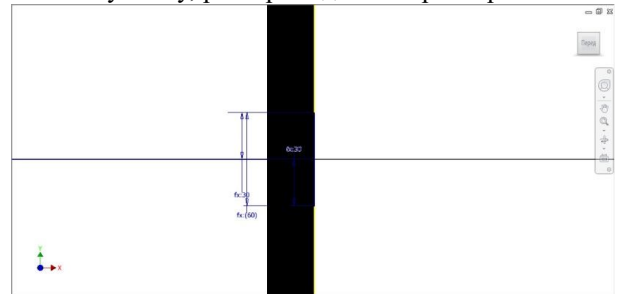


Рис. 4. Четвертий ескіз моделі.

Після цього залишається останній та найбільш масивний етап створення профілю секції взуттєвого столу – створення поперечної решітки. Для цього створюємо в новій площині ескіз клітини решітки та за допомогою масиву розмножуємо клітину на всю довжину и ширину поперечного розрізу столу рис. 5. Всі розміри вказуються параметрично. Потім видавлюємо ескіз.

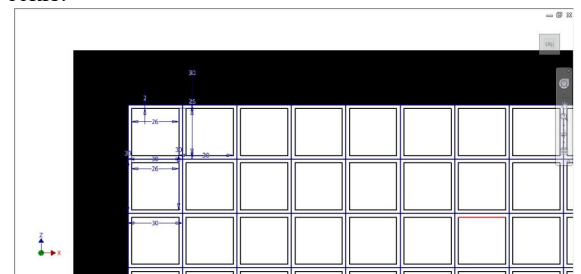


Рис. 5. П'ятий ескіз моделі.

Після видавлювання отримали готовий каркас секції взуттєвого столу рис. 6.

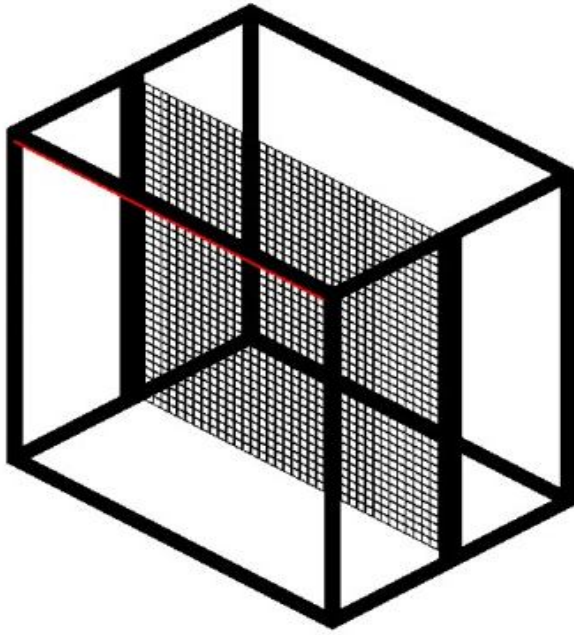


Рис. 6. Остаточний вигляд каркасу секції столу.

За тією ж технологією створюємо інші, більш прості деталі столу рис. 7, 8, 9.

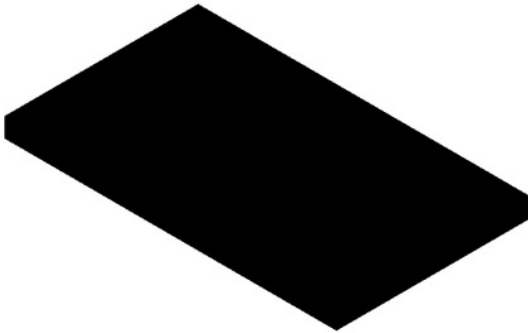


Рис. 7. Верх стільниці.



Рис. 8. Дерев'яна стільниця.

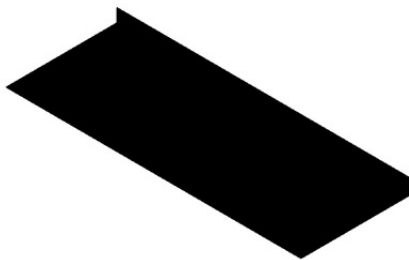


Рис. 9. Полка 1200 мм.

Після створення 4-х компонентів столу створюємо адаптивно-параметричну збірку та об'єднуємо ці деталі в один збірний вузол рис. 10.



Рис. 10. Збірний вузол столу.

#### IV. ВИСНОВКИ

Розроблена адаптивно-параметрична модель дозволяє оптимізувати розміщення столів з урахуванням навантажень та конфігурацій. Було створено 24 опитних зразків секції столу для обладнання магазину «Адідас» в місті Одеса за адресою вул. Пантелеймонівська, 97. Економічний ефект від використання зразків столів дозволив підняти продажі на 4000 грн. в день в середньому з кожної секції столу. Наприклад, у вересні 2018 року товар з взуттєвих столів приносить в середньому 96000 грн. в день, хоча столи вважаються додатковим обладнанням магазину.

У роботі розглянуто загальний підхід до аналізу та створення моделі секції взуттєвого столу. Докладно представлена методика та технологія створення тривимірної параметричної каркасно-векторної моделі взуттєвого столу у САПР Autodesk Inventor Professional. При створенні моделі використовувалися параметричні 2D- та 3D- ескізи. Запропонована методика дозволяє створити основу для розробки комп'ютерної програми вибору найбільш оптимального варіанту конструкції взуттєвого столу. Задачу можливо вирішити за допомогою САПР Autodesk Inventor Professional у середовищі iLogic. Використовуючи створену комп'ютерну модель можливо провести тестування моделі рами в середовищі «Аналіз рами» за допомогою методу скінченних елементів. Запропонована технологія створення конструкції торгового обладнання дозволяє проводити дослідження для параметричних моделей різних деталей та збірок торгового обладнання, які створені у САПР Autodesk Inventor Professional. Розвитком роботи є проведення симуляції механічних навантажень на

елементи столу, а також розробка конструкцій іншого торгового обладнання.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ:

- [1] В.М. Тонконогий, В.М. Тігарев, К.В. Козирева. Розробка параметричної тривимірної моделі просторової рами автомобіля. Сучасні технології в машинобудуванні. — Вип. 9, ХАРЬКІВ НТУ "ХПІ", 2014, — с. 216-228.
- [2] В.М. Тігарев, А.А Гончаренко. Методика создания трёхмерной параметрической модели рамы электроскутера. // VIII Міжнародна наукова конференція студентів та молодих вчених «Modern Information Technology 2018»; ОНПУ; ІКС. — Одеса :Екологія, 2018. — 146-147 с.
- [3] В.М. Тігарев, А.О.Гончаренко, А.А. Медведєв. Розробка технології створення та аналізу параметричної моделі рами электроскутера. // VIII міжнародна науково-практична конференція. — Чернігів : ЧНТУ, 2018. — Т.2. — 128-129 с.
- [4] Том Трембли Autodesk Inventor 2013 и Inventor LT 2013. Основы. Официальный учебный курс /. — М.: ДМК-Пресс, 2013. — 348 с.
- [5] Curtis Waguespack. Mastering Autodesk Inventor 2014 and Autodesk Inventor LT 2014. — Sybex, 2013. — 1032 p.
- [6] [http://www.usconsult.ru/b\\_052.html](http://www.usconsult.ru/b_052.html)  
«Мерчендайзинг» Рубен и Кира Канаян. — 2001.



**Наукове видання**

**НЕВЛЮДОВ Ігор Шакирович,  
ФИЛИПЕНКО Олександр Іванович,  
ЦИМБАЛ Олександр Михайлович,  
ЄВСЄЄВ Владислав В'ячеславович**

**II-а Міжнародна Конференція  
«Виробництво & Мехатронні Системи»**

(укр., англ., рос. мовою)

**Відповідальний редактор – Невлюдов І.Ш.**

Харківський національний університет радіоелектроніки  
Кафедра комп'ютерно-інтегрованих технологій, автоматизації та мехатроніки (КІТАМ)  
61166, Харків, проспект Науки, 14  
корпус "А"  
ауд. 162-1  
тел .: +38 (057) 702-14-86  
e-mail:m\_ms@nure.ua

Підписано до друку 10.10.2018  
Формат А4 (210x297мм). Папір 80г/м<sup>2</sup> .  
[електронний друк]