

ЗБІРНИК ПРАЦЬ
X Міжнародної науково-технічної конференції
«ДАТЧИКИ, ПРИЛАДИ ТА СИСТЕМИ – 2023»,
присвяченої пам'яті професора Шарапова В.М.

Головний редактор - д.т.н., професор Бондаренко М.О.

Відповідальний за випуск - к.т.н., професор Бондаренко Ю.Ю.

Редакційна колегія:

Bożena Gajdzik – *Dr hab. inż., Professor PS, Silesian University of Technology, Poland*
Cristian Barz – *PhD, Associate Professor Eng., TU of Cluj-Napoca, North University Center of Baia Mare, Romania*
Dorota Wójcicka-Migasiuk – *Dr hab. inż., Professor, Politechnika Lubelska, Poland*
Michał Bembenek – *D.Sc.Tech., Professor, AGH USTK, Poland*
Mykhaylo Pashechko – *Dr hab. inż., Professor, Politechnika Lubelska, Poland*
Oleksandra Notra – *Dr hab. inż., Professor, Politechnika Lubelska, Poland*
Ryszard Machnik – *D.Sc.Tech., Professor, AGH USTK, Poland*
Аксьонов В.В – *ЧНДЕКЦ МВС України, Черкаси*
Алпатов А.П. – *д.т.н., професор, ІТМ НАНУ та НКАУ, Дніпро*
Антонюк В.С – *д.т.н., професор, НТУУ «КПІ», Київ*
Бондаренко М.О. – *д.т.н., професор, ЧДТУ, Черкаси*
Броварець О.О. – *к.т.н., доцент, ККІБП, Київ*
Гордієнко В.І. – *д.т.н., с.н.с., ЧДТУ, Черкаси*
Гриджук Я.С. – *д.т.н., професор, ІФНТУНГ, Івано-Франківськ*
Єременко В.С. – *д.т.н., професор, НТУУ «КПІ», Київ*
Квасніков В.П. – *д.т.н., професор, НАУ, Київ*
Кветний Р.Н. – *д.т.н., професор, ВНТУ, Вінниця*
Кошовий М.Д. – *д.т.н., професор, НАКУ «ХАІ», Харків*
Кучук Г.А. – *д.т.н., професор, НТУ «ХПІ», Харків*
Можасв О.О. – *д.т.н., професор, ХНУВС, Харків*
Мусієнко М.П. – *д.т.н., професор, ЧНУ ім. Б. Хмельницького*
Нікольський В.В. – *д.т.н., професор, НУ «ОМА», Одеса*
Присяжнюк П.М. – *к.т.н., доцент, ІФНТУНГ, Івано-Франківськ*
Роп'як Л.Я. – *д.т.н., професор, ІФНТУНГ, Івано-Франківськ*
Рудницький В.М. – *д.т.н., професор, ЧДТУ, Черкаси*
Смірнов О.А. – *д.т.н., професор, ЦНТУ, Кропивницький*
Ситніков В.С. – *д.т.н., професор, ДУ «ОП», Одеса*
Становський О.Л. – *д.т.н., професор, ДУ «ОП», Одеса*
Стрілецький Ю.Й. – *д.т.н., професор, ІФНТУНГ, Івано-Франківськ*
Тимчик Г.С. – *д.т.н., професор, НТУУ «КПІ», Київ*
Тристан А.В. – *д.т.н., професор, ДНДІ ВС ОБТ, Черкаси*
Халявко В.В. – *ЧНДЕКЦ МВС України, Черкаси*

У НОМЕРІ:

- МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ДАТЧИКІВ, ПРИЛАДІВ ТА СИСТЕМ**
- ТЕХНОЛОГІЇ ПРОЄКТУВАННЯ ТА ЕКСПЛУАТАЦІЇ ДАТЧИКІВ, ПРИЛАДІВ І СИСТЕМ ДЛЯ РОБОТОТЕХНІКИ ТА АВТОМАТИЗАЦІЇ**
- КОМП'ЮТЕРНА ІНЖЕНЕРІЯ**
- МІКРО- ТА НАНОТЕХНОЛОГІЇ У ПРИЛАДОБУДУВАННІ**
- ІНФОРМАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ У ЕКСПЕРТНИХ ДОСЛІДЖЕННЯХ**
- ІНФОРМАЦІЙНО-ВИМІРЮВАЛЬНА ТЕХНІКА ТА СИСТЕМИ ЕКОЛОГІЧНОГО МОНІТОРИНГУ**
- ІННОВАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ У МЕДИЧНОМУ ПРИЛАДОБУДУВАННІ**
- МЕТРОЛОГІЧНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ, ВИПРОБУВАННЯ ТА СЕРТИФІКАЦІЯ ТЕХНІКИ**
- ЕКОНОМІКА, МЕНЕДЖМЕНТ ТА МАРКЕТИНГ У ПРИЛАДОБУДУВАННІ**
- ШЛЯХИ РЕАЛІЗАЦІЇ ОСВІТНІХ ТЕХНОЛОГІЙ ЗА СПЕЦІАЛЬНОСТЯМИ ТЕХНІЧНОГО ПРОФІЛЮ**

АДРЕСА ОРГКОМІТЕТУ:

Україна, 18006, м. Черкаси, бул. Шевченка, 460,
ЧДТУ, кафедра ПМКТ
оргкомітет
МНТК «Датчики, прилади та системи - 2023»

Збірник праць X МНТК «Датчики, прилади та системи – 2023», Черкаси, вересень 2023.

Мета конференції: зустріч науковців в областях метрології, точного приладобудування, мікро- та наноелектроніки, наноінженерії, автоматизації, робототехніки, фахівців з проектування та конструювання датчиків, приладів та систем, а також фахівців з проведення експертних досліджень, випробувань та сертифікації для обміну ідеями, обговорення тенденцій та перспектив розвитку науки, профільних та суміжних галузей, встановлення контактів.

Статті друкуються в авторській редакції.

Точка зору редколегії не завжди збігається з позицією авторів.

Автори опублікованих матеріалів несуть повну відповідальність за підбір та точність наведених фактів і цитат, економіко-статистичних та технічних даних, власних імен та інших поданих відомостей.

Редколегія не несе відповідальності за достовірність поданого матеріалу, проте залишає за собою право скорочувати та редагувати подані матеріали з метою кращого подання читачам.

При повному або частковому передрукуванні матеріалів посилання на збірник праць конференції є обов'язковим.

ЗМІСТ

Секція 1.

МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ДАТЧИКІВ, ПРИЛАДІВ ТА СИСТЕМ

Lobunko O., Iskra O. Mathematical Modeling of the Thermal Conditions of Aerospace Products' Protection Systems.....	8
Гавриш О.С., Гончаров А.В., Костенко А.П., Баранов А.Д., Балакін О.М. Поліноміальні алгоритми спільного вимірювання амплітуди гармонічного сигналу та параметрів асиметричної завади 1-го типу.....	11
Гавриш О.С., Обруч Ю.Ю., Гринюк Д.О., Баранов А.Д., Балакін О.М. Розробка та чисельний розрахунок параметрів антен «хвильовий канал» для прийому сигналів FM-радіостанцій.....	13
Гавриш О.С., Обруч Ю.Ю., Немченкова О.Г., Баранов А.Д., Балакін О.М. Нелінійні алгоритми спільного вимірювання амплітуди гармонічного сигналу та параметрів ексцесної завади 1-го типу.....	16
Лобунько О.П., Казанцев Б.С. Моделювання параметрів і синтез систем малорозмірних безпілотних комплексів.....	19
Прилипко Д.О. Математичне моделювання датчиків концентрації рідких хімічних сполук.....	22
Тичков В.В., Гальченко В.Я., Трембовецька Р.В., Тичкова Н.Б. Ефективні оптимізаційні методи одночасного вимірювання профілів структурозалежних параметрів об'єктів засобами вихрострумового контролю.....	24
Фриз М.Є., Млинко Б.Б., Щербак Л.М. Моделювання процесу ресурсоспоживання з використанням авторегресії з випадковими коефіцієнтами..	32

Секція 2.

ТЕХНОЛОГІЇ ПРОЄКТУВАННЯ ТА ЕКСПЛУАТАЦІЇ ДАТЧИКІВ, ПРИЛАДІВ І СИСТЕМ ДЛЯ РОБОТОТЕХНІКИ ТА АВТОМАТИЗАЦІЇ

Bazilo S., Kurylenko Yu., Andronovych H. Ultrasonic Technology in the Production of Functional Beverages.....	34
Gajdzik Bożena, Роп'як Л.Я., Шурубайло Д.І. Електрохімічні методи оцінки ефективності покриттів для елементів пар тертя.....	37
Ovdiyuk Eu., Barsov V. Analysis of Methods for Determining Air Flow Velocity.....	39
Rashechko Mykhailo, Гридчук Я.С., Михайлів А.Б., Кондур Т.І., АльТанакчі Ахмед Деякі особливості застосування давачів для вимірювання параметрів коливань нафтогазового обладнання.....	42
Wójcicka-Migasiuk Dorota, Hotra Oleksandra, Стрілецький Ю.Й., Роп'як Л.Я., Шовкопляс М.В. Метод контролю рівномірності нанесення гальванічного покриття на внутрішню поверхню металевої довгої труби.....	45

Бандура А.І., Роп'як Л.Я., Присяжнюк Ю.Я. Удосконалення конструкції мікроелектрода для електрохімічних вимірювань.....	47
Биков В.М., Кожушко Я.М., Грічанюк О.М., Радзиховський В.М., Спирін Д.А. Використання радіометричних датчиків у кореляційно-екстремальних систем навігації.....	48
Богдан Г.А., Глущенко М.О. Оптичний датчик чадного газу.....	52
Бурова З.А., Ковтун С.І., Василевська В.В. Особливості проектування сенсорів теплового потоку для прецизійних досліджень теплопровідності теплоізоляційних матеріалів.....	54
Виноградов О.С., Зівенко О.В. Автоматизація картування вимірювальних каналів для систем дистанційного моніторингу суден.....	57
Власенко Н.П., Туз В.В. Використання технології INPUT SHAPING в 3D друці..	60
Гордієнко В.І., Васильченко В.Ю. Практичне використання тепловізійних приладів.....	62
Григоренко І.В., Андрєєв Д.А., Кондрашов В.С. Моделювання системи контролю технологічного процесу виготовлення господарського мила.....	64
Денисов Ю.О., Бурсала О.О. Мінімізація втрат потужності в електроприводах гвинтів квадрокоптера.....	66
Жуков Л.Ф., Петренко Д.О. Безперервний спектральний безконтактний та світловодний термоконтроль високотемпературних об'єктів.....	69
Жуков Л.Ф., Петренко Д.О., Сіренко К.А., Корнієнко А.Л. Теплофізичний експрес-контроль хімічного складу та структури металевих сплавів.....	72
Кошовий М.Д., Костенко О.М., Пилипенко О.Т., Ковшар Н.Є. Волоконно-оптична система вимірювання рівня рідини.....	75
Красвий С.А., Трембовецька Р.В., Тичков В.В., Гальченко В.Я. Вдосконалення автоматизованої системи управління технологічним процесом дозування сипучих речовин.....	78
Нікольський В.В., Оженко Є.М., Нікольський М.В., Слободянюк М.В. Використання п'єзоелектричного приводу для «цифрової» рідини.....	80
Отрош Ю.А., Рудаков С. В. Дослідження авіаційних датчиків, які забезпечують безпеку пасажиром при виникненні надзвичайної ситуації в літаку.....	82
Піскун М.О., Тичков В.В., Трембовецька Р.В., Гальченко В.Я. Вдосконалення системи автоматизації обробки зерна озоно-повітряною сумішшю.....	86
Тимошенко О.В., Трембовецька Р.В., Тичков В.В., Гальченко В.Я. Вдосконалення автоматизованої системи охолодження утфеля у виробництві цукру.....	88
Тичков Д.В., Сапожніков С.К. Сучасні підходи, вимоги, особливості конструювання та перспективи застосування безпілотних літальних апаратів.....	90
Філімонов С.О., Філімонова Н.В., Бачеріков Д.С. Розробка стенду для визначення характеристик гвинтового п'єзокерамічного двигуна на основі біморфних п'єзоелементів.....	93
Шуляр Б.Р., Роп'як Л.Я. Особливості розроблення технології виготовлення деталей машин зі зміцненням робочих поверхонь покриттями.....	96

Секція 3.

КОМП'ЮТЕРНА ІНЖЕНЕРІЯ

Биков В.М., Грічанюк О.М., Кожушко Я.М., Спирін Д.А. Оцінювання розмірів еталонних зображень кореляційно-екстремальних систем навігації.....	98
Гармаш В. В., Кириленко О. М. Дослідження методів реідентифікації осіб з декількох камер відеоспостереження.....	100
Мацак Б.В., Гальченко В.Я., Тичков В.В., Трембовецька Р.В Вдосконалення цифрової обробки зображень кольорової капілярної дефектоскопії.....	102
Ситніков Т.В., Войтов В.М., Лаврухін В.В., Молочков В.М., Ситніков В.С. Застосування однотипних смугових та режекторних фільтрів для підвищення порядку обробки сигналів.....	104

Секція 4.

МІКРО- ТА НАНОТЕХНОЛОГІЇ У ПРИЛАДОБУДУВАННІ

Wembenek Michał, Machnik Ryszard, Поп'як Л.Я., Романів М.М. Дослідження режимів алмазного шліфування плазмових електролітичних оксидних покриттів..	107
Demenskyi O. M., Yerochin S. Yu., Krasnov V. A., Shutov S. V. The Method of Obtaining of Double-Drift GaP Structures for Terahertz Emitters.....	109
Присяжнюк П.М., Тарас І.П., Присяжнюк Ю.Я., Молчанов А.О. Взаємозв'язок між електронною будовою та механічними характеристиками для деяких карбідів перехідних металів.....	111
Поп'як Л.Я., Barz Cristian, Назаренко С.К., Малінін В.Ю. Шляхи підвищення трибологічних показників плазмових електролітичних оксидних покриттів.....	114

Секція 5.

ІНФОРМАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ У ЕКСПЕРТНИХ ДОСЛІДЖЕННЯХ

Бичков А.В., Кошовий М.Д. Реалізація та порівняння алгоритмів пошуком зозулі та роєм світлячків для оптимізації планів чотирьохфакторних експериментів.....	116
Кураксін Д.В., Кошовий М.Д. Застосування та порівняння алгоритмів бджолоїної та мурашиної колоній для оптимізації планів чотирьохфакторних експериментів.....	119
Сідляренко А.І. Удосконалення організаційно-інформаційної взаємодії в автодорожній галузі.....	122

Секція 6.

ІНФОРМАЦІЙНО-ВИМІРЮВАЛЬНА ТЕХНІКА ТА СИСТЕМИ ЕКОЛОГІЧНОГО МОНІТОРИНГУ

Антоненко С.В., Бондаренко М.О. Система моніторингу та прогнозування рівня забруднення атмосферного повітря.....	126
Артеменко А.М., Тичков В.В., Трембовецька Р.В., Гальченко В.Я. Вдосконалення автоматизованої системи управління термічної переробки резини.	129
Григоренко І.В., Кондрашов С.І., Опришкін О.С., Григоренко С.М. Інформаційно-вимірювальна система для контролю режимів помелу зерна кави...	131
Стеннік О.Ю., Міхаль О.О. Вплив струмів зміщення на опір стовпа рідини у диференційних двохелектродних кондуктометричних комірках.....	133
Філімонов С.О., Яценко С.С. Метод визначення порід ґрунту за допомогою SMART плуга.....	136

Секція 7.

ІННОВАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ У МЕДИЧНОМУ ПРИЛАДОБУДУВАННІ

Клочко Т.Р. Інтегрований сенсорний модуль автоматизованого комплексу компенсації порушень функцій рухового апарату людини.....	139
Тітаренко О.С., Тичков В.В., Трембовецька Р.В., Гальченко В.Я. Вдосконалення вольтамперометричного визначення концентрації глюкози в сировотці крові.....	142

Секція 8.

МЕТРОЛОГІЧНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ, ВИПРОБУВАННЯ ТА СЕРТИФІКАЦІЯ ТЕХНІКИ

Бондаренко Ю.Ю., Соболєв В.В., Ясенко Л.С. Оцінювання ефективності застосування роботизованих комплексів (систем) в процесі випробувань.....	144
Кузьміч О.Є., Андрушко М.В., Аркушенко П.Л. Аналіз можливостей застосування акселерометрів та бортової вимірювальної системи для діагностування технічного стану газотурбінних двигунів бронетехніки.....	150
Потапов О.І., Садаєв А.Ю., Ратушний С.В., Гузій Є.О. Аналіз можливості застосування спроможностей штучного інтелекту при проведенні випробувань....	152
Тертишнік Є.М., Мішок А.А., Садаєв А.Ю., Гузій Є.О. Вивчення можливостей використання сучасної бортової реєструючої системи іноземного виробництва для випробування автомобільної та бронетехніки типу VBOX 3i RTK системи RACELOGIC ADAS.....	155
Хуторна М.Е., Чередніков О.М. Структура моделі оцінювання та прогнозування якості льотно-технічного обмундирування.....	158

Секція 10.

**ШЛЯХИ РЕАЛІЗАЦІЇ ОСВІТНІХ ТЕХНОЛОГІЙ
ЗА СПЕЦІАЛЬНОСТЯМИ ТЕХНІЧНОГО ПРОФІЛЮ**

Нмуґіа V., Romanovskyia L. National Security as an Integral Part of the Country's Independence.....	162
Демчук Я.В., Туз В.В. Розумна лабораторія.....	164
Ячна І.Г., Гайдак І.Г., Нікітченко А.О. Роль освіти в підготовці здобувачів за спеціальністю військової науки.....	166
АВТОРСЬКИЙ ПОКАЖЧИК	169

МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ДАТЧИКІВ, ПРИЛАДІВ ТА СИСТЕМ

UDC 536.24

Lobunko O., Candidate of Technical Sciences, Senior Research Officer,
Associate Professor at the Department of Space Engineering
University of Ukraine “Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute”

Iskra O.,

master’s student at the Department of Space Engineering
University of Ukraine “Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute”
e-mail: thermogasdynamics@gmail.com, тел. +38 (066) 031-92-02

MATHEMATICAL MODELING OF THE THERMAL CONDITIONS OF AEROSPACE PRODUCTS’ PROTECTION SYSTEMS

Abstract: *Mathematical models are widely used to evaluate efficiency of different thermal protection concepts for aerospace systems, and to solve essential problems in thermal protection systems designing. Mathematical modeling starts with a thermal scheme, which is a schematic representation of the investigated object’s nodes, essential thermal connections, external and internal thermal effects. Based on the thermal scheme, a calculation scheme is created, which contains a basic description of the structural elements’ thermal interactions and accepted assumptions. A common method of mathematical modeling in this case is the finite element method, in which the investigated object is divided into elements with a uniform temperature field. Mathematical modeling and analysis may be performed using specialized software, which is designed to prepare a finite element model and perform all of the necessary calculations.*

Key words: *aerospace systems; finite element method; mathematical modeling; thermal protection systems; thermal scheme*

Aerospace engineering development, which is accompanied by a qualitative difference between each new products’ series and the previous one, causes the necessity to use new principles and technical solutions in substantiation and constructional design of the protection systems. To evaluate efficiency of different thermal protection concepts for aerospace systems, and to solve essential problems in thermal protection systems designing, mathematical models are used. The main problems, that are solved using mathematical models during the life cycle of aerospace systems, based on the generalization of experience [1, 2, 3, 4, 5, 6], are the following:

- clarification of the possibility of creating protection systems with certain methods of external and internal heat exchange regulation;
- definition of those methods’ parameters and performing thermal engineering calculations in order to compare different variants and choose the optimal one;
- determination of the required surface area of heat exchange systems’ elements;
- selection of the radiative and optical characteristics for external surfaces;
- selection of requirements for structural elements’ thermal insulation from the outer environment;
- evaluation of spacecraft’s body and structural elements temperature field with chosen methods of ensuring the necessary thermal conditions;
- determination of heat-carrier agents’ consumption, locations of heat regulation elements and parameters of heat exchangers;
- determination of the characteristics of systems with the consumption of working masses;
- development of design requirements, accounting the requirements of other systems.

Mathematical modeling of the investigated object's thermal conditions $T = T(x, y, z, \tau)$ ("protection system" — "object of protection") makes it possible to present and quantifiable evaluate thermal interactions between elements, identify the main parameters of these interactions, verify their influence on the certain elements' temperatures and make dependencies that allow predicting possible temperature fields $T(F)$ accounting external and internal thermal factors' influence during the flight time τ .

Mathematical modeling starts with a thermal scheme, which is a schematic representation of the investigated object's nodes, accounting essential thermal connections, external and internal thermal effects.

Based on the thermal scheme, a calculation scheme is created, which contains a basic description of the structural elements' thermal interactions and certain assumptions, which was accepted in order to implement mathematical analysis of heat exchange processes. A common method of mathematical modeling for the aerospace systems' heat exchange is the finite element method, in which the investigated object is divided into elements (nodes) with a uniform temperature field.

The thermal interaction between these nodes and with the outer space is described by elementary heat balance equations, which are based on the thermal scheme. These model is a schematic representation of selected nodes accounting all significant thermal connections, external and internal thermal influence. The thermal scheme provides a demonstrable representation of analytically described interactions. Nodes' thermal balance equation may be expressed as:

$$(cm)_i \cdot \frac{dT_i}{d\tau} = q_i(\tau) \cdot F_i + \sum_{j=1, j \neq i}^N k_{i,j} (T_j - T_i) + \sum_{j=1}^N a_{i,j} \cdot \sigma T_j^4 + Q_i, \quad i = 1, 2, \dots, N,$$

where $(cm)_i$ is the heat capacity of the i -th node;

F_i is the surface area of the i -th node;

$q_i(\tau)$ is the average density of the external thermal flow, which is absorbed by the i -th surface node;

$k_{i,j}$ is the coefficient which describes thermal conduction between i -th and j -th elements (it may be product of gas-to-liquid thermal exchange coefficient of thermal exchange from gas or liquid to wall and the area of the surface involved in the heat exchange, or the inverse contact thermal resistance);

$a_{i,j}$ is the coefficient which depends on the blackness degree, surface area and orientation of all elements involved in the direct or indirect radiative heat exchange;

Q_i is the value of internal heat emission the i -th node величина внутрішньої тепловіддачі в i -му елементі.

At different stages of the development and creation of the aerospace products' protection systems, different tasks are solved, which require in-depth thermal analysis, so there is a need for mathematical models of various levels of complexity.

When the design and concept of the systems are not fully determined and the main task of the thermal calculation is to study the options and to substantiate the selection of the characteristics of the thermal operational conditions' ensuring methods, "first level models" with a minimum number of elements and thermal connections between them are used. Each of these models describes the heat exchange of a certain part of the system, which allows to perform heat engineering calculations of individual components independently of each other.

The need for universal, fast, reliable and user-friendly software that allow to implement a wide range of calculations (static, dynamic, thermal) caused the development of software packages for the finite element analysis by various companies. There are famous software products: ANSYS and DesignSpace from ANSYS Corporation; Cosmos/M Designer, Cosmos/DesignStar, Cosmos/Works from Structural Research & Analysis Corporation; DesignWorks from CADSI etc.

All of the finite element analysis programs may be conditionally divided into two groups. The first group is programs that are embedded at the menu level in well-known CAD packages

and have all the necessary tools for quick calculation of elements or components directly in their workspace. For the user's convenience, there are algorithms for the automatic breaking of the structure into finite elements, intuitive schemes for assigning boundary conditions and applying loads. The second group is programs focused primarily on the preparation of a full-fledged finite-element model with maximum modeling capabilities, accounting the geometric and force features, and performing various types of calculations.

Computational and analytical studies on the substantiation of the protection systems' concept using finite element analysis software involve the sequential implementation of the following stages and procedures:

1. Research of the statistical information about operating conditions, determination of calculated operating conditions of the main components that affect their reliability, analysis of prototypes' operating conditions, parameters and characteristics of typical flights.

2. Substantiation and verification of the methodology for calculation of the protection systems' elements and their main components, using modern software complexes for computational and experimental modeling of thermal, stressed and the limit state.

3. Development of a computational and experimental model. Based on the analysis of prototype designs and their operating conditions, the computational and experimental models with the passive thermal protection system elements are formed. Using the computer modeling, the methods of ensuring thermal operational conditions during the flight time τ are studied.

4. Study of the characteristics of the models of the protection systems' elements. Researching variants of models of the thermal and mechanical protection systems in order to choose the optimal variant, using computer modeling.

The optimal model's variant should meet the requirements of the necessary thermal conditions' ensuring, minimum mass $m_i \rightarrow \min$ and vulnerability $P_i \rightarrow \min$ by various ways in the expected operating conditions during the flight time τ .

References

1. Brociek, R., Hetmaniok, E., Słota, D. (2022). Reconstruction of aerothermal heating for the thermal protection system of a reusable launch vehicle. Applied Thermal Engineering, 219. <https://doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2022.119405>

2. Christiansen, E.L. (2009). Handbook for Designing MMOD Protection. Astromaterials Research and Exploration Science Directorate, Human Exploration Science Office, NASA Johnson Space Center.

3. Dang, D.Z. (2021). Thermal and Structural Response Modeling of a Woven Thermal Protection System. The University of Michigan.

4. Fortescue, P.W., Swinerd, G., Stark, J. (2011). Spacecraft systems engineering (4th ed.). John Wiley & Sons, Ltd.

5. Lobunko O.P., Iskra O.O. Substantion of the protection system's configuration for the reusable spacecraft. — III International Scientific and Practical Conference Science in the environment of rapid changes held on August 16-18, 2023 in Brussels, Belgium.

6. Xu, Q., Li, S., Meng, Y. (2021). Optimization and Re-Design of Integrated Thermal Protection Systems Considering Thermo-Mechanical Performance. Applied Sciences, 11. <https://doi.org/10.3390/app11156916>

Гавриш О.С., к.ф.-м.н., доцент

доцент кафедри робототехнічних і телекомунікаційних систем та кібербезпеки

Черкаський державний технологічний університет

e-mail: o.havrysh@chdtu.edu.ua

Гончаров А.В., к.т.н., професор, проректор

Черкаський державний технологічний університет

Костенко А.П., магістр,

Черкаський державний технологічний університет

Баранов А.Д., бакалавр,

Черкаський державний технологічний університет

Балакін О.М., бакалавр

Черкаський державний технологічний університет

ПОЛІНОМІАЛЬНІ АЛГОРИТМИ СПІЛЬНОГО ВИМІРЮВАННЯ АМПЛІТУДИ ГАРМОНІЧНОГО СИГНАЛУ ТА ПАРАМЕТРІВ АСИМЕТРИЧНОЇ ЗАВАДИ 1-ГО ТИПУ

Abstract. *The paper synthesizes polynomial computational algorithms for measuring the amplitude of a harmonic signal together with the parameters of asymmetric noise. The advantage of the developed polynomial algorithms for estimating the amplitude of a harmonic signal is that they adapt to a specific noise situation, within the framework of the selected model. Analytical expressions of accuracy characteristics were obtained. It is shown that as the degree of the polynomial increases, the accuracy of estimates can increase.*

Key words: *harmonic signal, non-Gaussian noise, polynomial maximization method, evaluation variance, measurement accuracy, coefficient of asymmetry, harmonic signal.*

При оцінюванні кутової координати об'єкту амплітудним методом пеленгації виникає необхідність вимірювати (статистично оцінювати) амплітуду корисного сигналу, що приймається на фоні завад. Традиційним підходом для розв'язку такої задачі було використання гауссівської моделі для реальних сигналів і завад, що одержала широке поширення завдяки своїм чудовим математичним властивостям. Однак використання такої моделі, у багатьох випадках, істотно обмежує потенційну точність вимірювачів, оскільки вона не завжди повно відбиває суть фізичних процесів, що спостерігаються. Негауссівські завади більш повно описують завади в реальних каналах зв'язку, тому проведення досліджень у даному напрямку є важливою науково-технічною задачею. Значення параметрів завади можуть бути сталими і апріорно відомими [1] або ж змінюватися в рамках вибраної моделі, в другому випадку їх доцільно вимірювати разом з інформативним параметром корисного сигналу.

В роботі розглядається випадок, коли гармонічний сигнал приймається на фоні негауссівської адитивної завади

$$x(t) = A \cos(\omega t + \varphi) + n(t),$$

де частота ω і початкова фаза φ гармонічного коливання вважаються відомими, а інформативною є амплітуда гармонічного сигналу A , яка підлягає вимірюванню (оцінці). Для спрощення обробки сигналу його представляють у вигляді дискретного процесу, тобто в розпорядженні спостерігача є вибірка неоднаково розподілених значень $\vec{X} = \{x_1, x_2, \dots, x_n\}$ обсягом n . Крок дискретизації δ вибирається згідно з теоремою Котельникова. Негауссівська завада n_v достатньо повно описується кумулянтном другого порядку (дисперсією χ_2) і кумулянтним коефіцієнтом третього порядку (коефіцієнтом асиметрії γ_3). В якості математичної моделі такої завади може бути взята асиметрична випадкова величина 1-го типу [2]. Причому завадова обстановка може постійно

змінюватися, тобто в загальному випадку апріорна інформація про значення параметрів завади відсутня. Якщо ж з генеральної сукупності значень випадкової величини взяти вибірку, то вона буде неklasифікованою (з невідомим законом розподілу), і для того щоб виміряти амплітуду гармонічного сигналу необхідно одночасно з цим виміряти параметри асиметричної завади 1-го типу. Таким чином, алгоритм вимірювання амплітуди гармонічного сигналу постійно буде налагоджуватися (адаптуватися) на конкретну заваду, тобто буде відбуватися самонавчання алгоритму.

Мета роботи: побудувати методом максимізації поліному обчислювальні алгоритми оцінки векторного параметру $\bar{\vartheta} = \{A, \chi_2, \chi_3\}$ при ступенях поліному $s = \overline{3,5}$ і проаналізувати їх точнісні характеристики.

При застосуванні метода максимізації поліному досліджувана випадкова величина описується кінцевою послідовністю моментів або кумулянтів. Це одна з корінних відмінностей даного методу від класичних, в яких використовується щільність розподілу імовірності. Оскільки використовується неповний імовірнісний опис, то оцінки, одержувані методом максимізації поліному, є оптимальними в класі поліноміальних перетворень s -го ступеня. Суть методу полягає в поліноміальному перетворенні вхідної послідовності, причому статистики, які отримують, множаться на вагові коефіцієнти, що забезпечують мінімальну дисперсію оцінок.

В якості алгоритму-прототипу розглянуто алгоритм спільної оцінки амплітуди гармонічного сигналу і дисперсії центрованої гауссівської завади. Класичних алгоритмів, які б дозволяли спільно знаходити амплітуду сигналу і обидва параметри асиметричної завади 1-го типу не існує.

Синтезовано степеневі алгоритми оцінювання амплітуди гармонічного сигналу спільно з дисперсією і коефіцієнтом асиметрії завади. Мінімальна степінь поліному, яку можна використати $s=3$. Відомо, що метод максимізації поліному володіє властивістю зменшувати дисперсію оцінок з ростом степені поліному, тому додатково побудовані алгоритми спільної оцінки трьох параметрів при ступенях $s=4$ і 5 .

Для аналізу точнісних властивостей синтезованих алгоритмів розраховано матрицю кількості добутої інформації та знайдено обернену матрицю, яка зветься варіаційною матрицею оцінок. Діагональні елементи останньої матриці характеризують дисперсії оцінок, отже описують якість розроблених алгоритмів. Проведене порівняння дисперсій оцінок, отриманих методом максимізації поліному, з дисперсіями оцінок методу максимальної правдоподібності. Показано, що нові алгоритми можуть бути більш точними за умови, якщо коефіцієнт асиметрії завади відмінний від нуля. З ростом степені поліному дисперсії оцінок можуть зменшуватися, а конкретна величина зменшення залежить від коефіцієнта асиметрії.

Висновки. Синтезовані поліноміальні алгоритми вимірювання амплітуди гармонічного сигналу адаптуються під поточну заводову обстановку каналу зв'язку в рамках асиметричної моделі завади 1-го типу, що дозволяє підвищити точність вимірювання порівняно з випадком, коли завада вважається гауссівською. З ростом степені поліному потенційна точність алгоритмів зростає за умови, що коефіцієнт асиметрії завади відмінний від нуля.

Список літератури

1. Гавриш О.С., Костюк С.І., Обруч Ю.Ю., Багрій М.О. Поліноміальні адаптивні алгоритми вимірювання неенергетичних параметрів гармонічного сигналу при негауссівських завадах // Збірка тез доповідей за матеріалами VII Міжнародної науково-технічної конференції «Датчики, прилади та системи – 2018». - Черкаси – Херсон - Лазурне, вересень 2018. – С.7-8

2. Кунченко Ю.П. Полиномиальные оценки параметров близких к гауссовским случайных величин. Часть 1. Стохастические полиномы, их свойства и применение для нахождения оценок параметров. – Черкассы: ЧИТИ, 2001. – 133 с.

Гавриш О.С., к.ф.-м.н., доцент

доцент кафедри робототехнічних і телекомунікаційних систем та кібербезпеки

Черкаський державний технологічний університет

e-mail: o.havrysh@chdtu.edu.ua

Обруч Ю.Ю.,

завідувач відділу комп'ютерно-технічних та телекомунікаційних досліджень
Черкаський науково-дослідний експертно-криміналістичний центр МВС України

Гринюк Д.О., магістр,

Черкаський державний технологічний університет

Баранов А.Д., бакалавр,

Черкаський державний технологічний університет

Балакін О.М., бакалавр

Черкаський державний технологічний університет

РОЗРОБКА ТА ЧИСЕЛЬНИЙ РОЗРАХУНОК ПАРАМЕТРІВ АНТЕН «ХВИЛЬОВИЙ КАНАЛ» ДЛЯ ПРИЙОМУ СИГНАЛІВ FM-РАДІОСТАНЦІЙ

Abstract. *The paper considers various construction variants of the five-element "wave channel" antenna designed to receive signals from FM radio stations. By means of computer modeling of antennas in the MMANA program, antenna parameters are numerically calculated and which elements of the antenna have the greatest influence on them are investigated.*

Key words: *MMANA program, "wave channel" antenna, passband, directivity diagram*

У діапазоні коротких і ультракоротких хвиль широке застосування знайшли антени, що складаються з багатьох вібраторів, так звані антени «хвильовий канал», які в англійській літературі часто називають за прізвищами їх розробників - антени Уда-Ягі. Ці антени завоювали широку популярність, оскільки характеризуються відносною простотою конструкції та гарними направленими властивостями.

При традиційному проектуванні антен «хвильовий канал» аналітичними методами необхідно проводити громіздкі математичні обчислення, тому на сучасному етапі проектування, для підвищення надійності і точності обчислень і істотного скорочення часу, що витрачається, доцільно використовувати чисельний розрахунок за допомогою прикладних комп'ютерних програм.

В останні декілька десятиріч розроблено велику кількість інструментальних засобів моделювання антен, які розраховані як на професійних розробників, так і на радіоаматорів. Серед них особливу популярність на теренах низки країн здобула програма MMANA та її подальші версії MMANA-GAL і GAL-ANA.

Ефективна конструкція антени «хвильовий канал» складається мінімум з п'яти елементів і чотирьох відстаней між ними, отже на кінцеві параметри і характеристики антени впливає не менше 9 параметрів, тому очевидно, що оптимальних результатів проектування антени можна досягти лише у випадку комп'ютерного моделювання. Програма використовує метод моментів, тому опис антени необхідно проводити як набір одиночних дротів.

Стандартні конструкції антен «хвильовий канал» мають відносну смугу частот, яка не перевищує 2-5% [1]. Для багатьох практичних завдань цього цілком достатньо, але бувають випадки, коли необхідно щоб антена мала ще більш широку смугу частот, наприклад для прийому сигналів стандарту CCIR з частотами від 87,5 МГц до 108,0 МГц, що складає понад 20% відносної смуги частот.

Розширення смуги частот вимагає конструктивних змін в антені та спричиняє погіршення підсилення порівняно з більш вузько смуговими антенами.

Метою роботи є аналіз впливу конструкції антени «хвильовий канал» для прийому сигналів FM-радіостанцій на її параметри та направлені властивості.

Відомо, що для забезпечення сталої форми діаграми направленості антени в широкій смузі частот має виконуватися принцип відсічки, який полягає в тому, що на низьких частотах працюють довгі елементи антени, а на високих – короткі. Конструктивно це досягається додатковим збільшенням розміру рефлектора і зменшенням директорів.

Через вимушене разлагодження елементів страждає підсилення антени. Крім того модифікації зазнає сама конструкція рефлектора, який має складатися з декількох проводів, рознесених у вертикальній площині.

Інша проблема при проектуванні ширококутових антен «хвильовий канал» полягає у складності узгодження. Стандартним розв'язком цієї проблеми є розміщення на близькій відстані від вібратора так званого паразитного вібратора, що дозволяє отримати стандартне значення опору антени 50 або 75 Ом або використовувати петльовий вібратор [1].

В даній роботі досліджувалися різні конструкції 5-елементної антени «хвильовий канал». Перша досліджувана антена враховує перелічені конструкційні особливості, що забезпечують ширококутовість антени (рис.1,а), а саме складається з 7 дротів, оскільки подвійний рефлектор і складний вібратор вважаються одиничними елементами.

Підсилення антени становить 8,31 dBi, а КСХ антени становить 1,26 при 75-омному фідері, тому додаткове узгодження не потрібне.

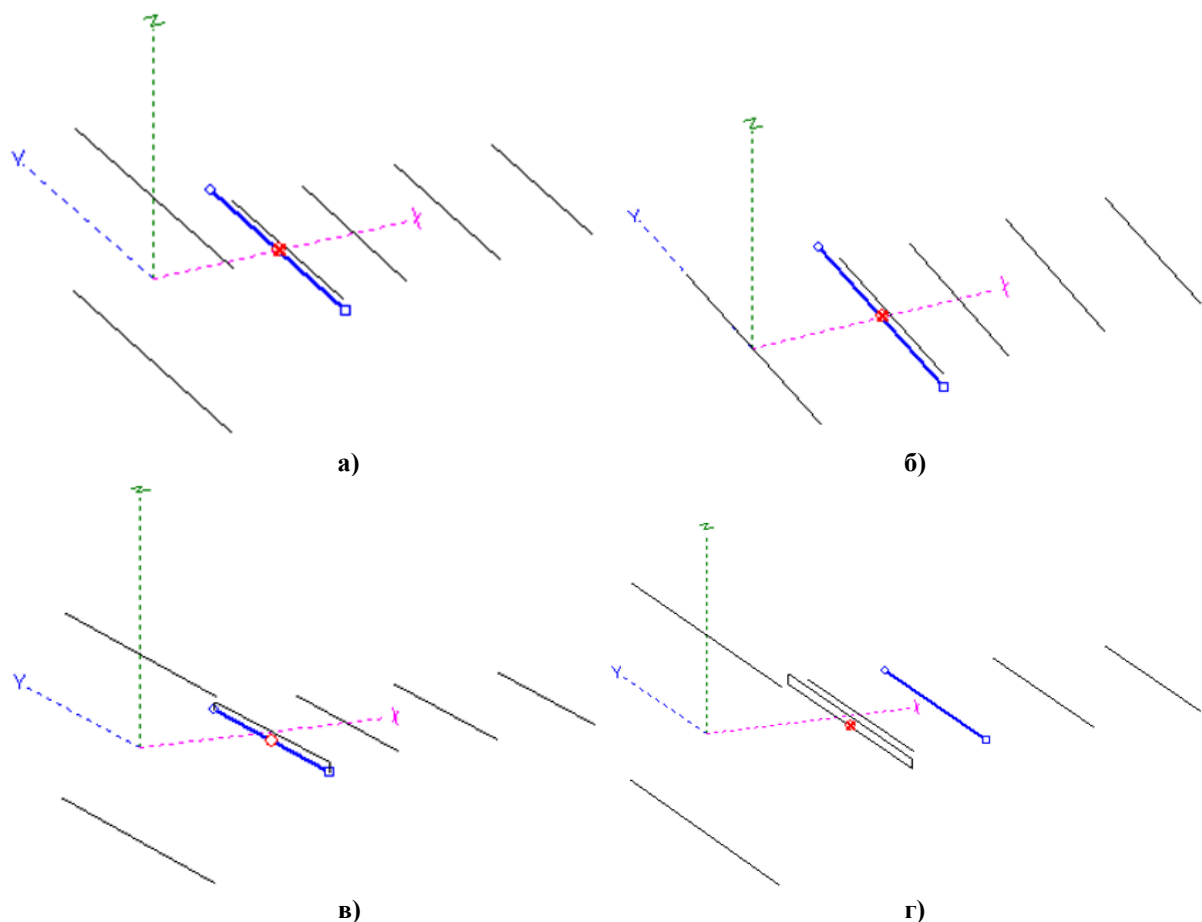


Рисунок 1 – Конструкція антени «хвильовий канал» зі складним вібратором і подвійним (а) та одинарним (б) рефлектором

Розглянемо, як змінюватимуться параметри антени «хвильовий канал», якщо нехтувати конструктивною модернізацією. Якщо замість складного рефлектора використовувати одинарний (рис.1,б), то на смузі пропуску і опір антени це майже не вплине, проте знизиться підсилення на 0,42 дБі.

Якщо замінити складний вібратор з двох наближених дротів (рис.1,а) на одинарний петльовий (рис.1,в) то це суттєво вплине на вхідний опір антени, який зросте до 300 Ом і не критично зменшиться смуга пропуску.

Якщо ж в антені рис.1,а залишити пасивний вібратор, а основний змінити на петльовий (рис.1,г), то це сприятливо позначиться на смузі частот, а опір зросте ще більше.

Висновки. Результати моделювання різних конструкцій 5-ти елементної антени «хвильовий канал», наведених на рис.1, вказують на те, що направлені властивості антен, що характеризуються діаграмами направленості антен майже однакові.

Також практично незмінними залишаються підсилення (близько 8 дБі) і КСХ. Помітний вплив конструкція має на вхідний опір антени, який може збільшуватися від 75 до 350 Ом.

Список літератури

1. Igor Gontcharenko. All materials. – Access mode: <http://dl2kq.de/>

Гавриш О.С., к.ф.-м.н., доцент

доцент кафедри робототехнічних і телекомунікаційних систем та кібербезпеки

Черкаський державний технологічний університет

e-mail: o.havrysh@chdtu.edu.ua

Обруч Ю.Ю.,

завідувач відділу комп'ютерно-технічних та телекомунікаційних досліджень
Черкаський науково-дослідний експертно-криміналістичний центр МВС України

Немченкова О.Г., магістр,

Черкаський державний технологічний університет

Баранов А.Д., бакалавр,

Черкаський державний технологічний університет

Балакін О.М., бакалавр

Черкаський державний технологічний університет

НЕЛІНІЙНІ АЛГОРИТМИ СПІЛЬНОГО ВИМІРЮВАННЯ АМПЛІТУДИ ГАРМОНІЧНОГО СИГНАЛУ ТА ПАРАМЕТРІВ ЕКСЦЕСНОЇ ЗАВАДИ 1-ГО ТИПУ

Abstract. *Power-law algorithms for the joint measurement of harmonic signal amplitude and excess interference parameters have been synthesized. Analytical expressions of the variances of the estimates of the sought parameters were found. It is shown that when the degree of the polynomial is increased, the accuracy properties of the algorithms can increase at certain values of the kurtosis coefficient.*

Key words: *polynomial maximization method, evaluation variance, measurement accuracy, coefficient of excess, harmonic signal, non-Gaussian noise.*

В сучасному світі для передачі інформації з високою швидкістю і на великі відстані використовуються електричні сигнали. Обмежуючим фактором, що негативно впливає на розповсюдження радіосигналу є завади різної природи походження. Сигнал, що приймається, частіше всього представляє собою адитивну (сумарну) суміш корисного сигналу і спотворюючої завади, а мультиплікативним впливом (добутком) часто можна нехтувати.

Оскільки завада є випадковим процесом, то і вимірювання параметрів сигналу необхідно здійснювати із застосуванням методів теорії ймовірності і математичної статистики. Результат опрацювання корисного сигналу, зокрема оцінка (вимірювання) його параметрів, у значній мірі залежить від повноти й адекватності математичної моделі, під яку оптимізована радіотехнічна система.

У багатьох випадках традиційна гауссівська модель завади, яка є зручною з математичної точки зору, недостатньо повно описує реальні фізичні процеси, що відбуваються в каналі зв'язку, що обумовлює необхідність використовувати більш повні, і як наслідок складні, негауссівські моделі.

Тому використання нових імовірнісних моделей представлення негауссівських завад і наступна розробка оптимальних поліноміальних алгоритмів оцінки параметрів прийнятого сигналу є актуальними задачами.

Оскільки для сигналу, що приймається, використовується моментно-кумулянтний опис, то для знаходження спільної оцінки параметрів доцільно використовувати метод максимізації поліному або метод Кунченка [1].

Припускається, що в розпорядженні спостерігача є вибірка неоднаково розподілених значень $\vec{X} = \{x_1, x_2, \dots, x_n\}$ з генеральної сукупності випадкової величини

$x_v = A \cos(\omega \delta v + \phi) + n_v$, що представляє собою адитивну суміш гармонічного сигналу і негауссівської завади.

Частота і початкова фаза гармонічного коливання вважаються відомими, а інформативною є амплітуда гармонічного сигналу, яка підлягає вимірюванню (оцінці).

Будемо вважати, що завада достатньо повно описується двома параметрами: дисперсією χ_2 і коефіцієнтом ексцесу γ_4 , але числові значення цих параметрів невідомі і змінюються.

В цьому разі доцільно розглядати адаптивний прийом, при якому передбачається попереднє визначення характеристик завад з метою вибору найбільш оптимальних процедур обробки сигналу.

Для ексцесної завади 1-го типу решта кумулянтних коефіцієнтів до 2s-го порядку строго дорівнюють нулю, а значення вищих кумулянтів можуть бути довільними. Іншими словами при збільшенні ступеня поліному s на обрану модель накладаються обмеження у вигляді вимоги, щоб додатково можливі в описі кумулянтні коефіцієнти приймали нульові значення.

Метою роботи є синтез алгоритмів вимірювання амплітуди гармонічного сигналу, що адаптуються до конкретної заводової обстановки, а саме до невідомих параметрів ексцесної завади 1-го типу (дисперсії χ_2 і коефіцієнта ексцесу γ_4) при опрацюванні основної некласифікованої вибірки, тобто синтез алгоритмів оцінювання векторного параметру $\vec{\mathcal{G}} = \{A, \chi_2, \gamma_4\}$.

Подібна задача вирішувалася в роботі [2], але для неенергетичного параметру. Скалярна оцінка параметра γ_4 методом максимізації поліному можлива при ступені поліному $s = 4$ і вище.

Це пов'язано з тим, що для ексцесних випадкових величин 1-го типу коефіцієнт ексцесу γ_4 як параметр входить до початкових моментів, починаючи лише з моменту четвертого порядку, або іншими словами похідні по параметру γ_4 від перших трьох початкових моментів випадкової величини x_v дорівнюють нулю. Очевидно, що спільна оцінка параметрів A , χ_2 і γ_4 також можлива лише за умови, що ступінь поліному $s \geq 4$.

В роботі отримано аналітичні вирази для оптимальних вагових коефіцієнтів рівнянь максимізації поліному при степенях $s = 4, 5, 6$, які використовуються як для знаходження самих оцінок так і для аналізу їх асимптотичних властивостей (точності).

Точність отриманих оцінок характеризується величиною дисперсії. Але при спільній оцінці не можна зразу знайти дисперсію. Спочатку знаходяться елементи матриці кількості добутої інформації з вибірки \vec{X} про параметр $\vec{\mathcal{G}}$, потім знаходять обернену матрицю, яка носить назву варіаційної матриці оцінок $V_{sn}(\vec{\mathcal{G}})$. При оцінці трьох параметрів матриця має розмір 3×3 , а її діагональні елементи є дисперсіями, а решта описує кореляційний зв'язок (взаємний вплив) між параметрами.

Знайдено аналітичні вирази для дисперсій оцінок параметра A , знайдених методом максимальної правдоподібності при гауссівській заваді і методом максимізації поліному при $s = 4, 5, 6$.

Побудовано графіки ефективності оцінки параметра $g_{(A)sr}$, які характеризують зміну (зменшення) дисперсії оцінки параметра A з ростом ступені поліному.

У разі, коли коефіцієнт ексцесу прагне до правої межі з інтервалу своїх допустимих значень коефіцієнт ефективності шуканих оцінок прагнуть до нуля.

Також побудовано графіки залежність коефіцієнтів ефективності оцінок параметрів χ_2 і γ_4 від істинного значення коефіцієнта ексцесу γ_4 .

Визначено, що для завад, які характеризуються від'ємними значеннями коефіцієнту ексцесу, можна несуттєво підвищити точність вимірювання дисперсії завади.

Висновки. Розроблені в роботі нелінійні алгоритми спільного вимірювання амплітуди гармонічного сигналу та параметрів ексцесної завади 1-го типу дозволяють враховувати поточну заводову обстановку каналу зв'язку і більш точно визначати значення інформативного параметру.

При цьому точність вимірювання може рости зі збільшенням ступеня поліному за рахунок уточнення моделі негауссівської завади (фіксація вищих кумулянтних коефіцієнтів нульовими значеннями).

Список літератури

1. Кунченко Ю.П. Полиномиальные оценки параметров близких к гауссовским случайных величин. Часть 1. Стохастические полиномы, их свойства и применение для нахождения оценок параметров. – Черкасы: ЧИТИ, 2001. – 133 с.
2. Гавриш О.С., Костюк С.І., Обруч Ю.Ю., Багрій М.О. Поліноміальні адаптивні алгоритми вимірювання неенергетичних параметрів гармонічного сигналу при негауссівських завадах // Збірка тез доповідей за матеріалами VII Міжнародної науково-технічної конференції «Датчики, прилади та системи – 2018». - Черкаси – Херсон - Лазурне, вересень 2018. – С.7-8

Лобунько О.П., к.т.н., с.н.с.,
 Національний технічний університет
 «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»
Казанцев Б.С., студент
 Національний технічний університет
 «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»
 e-mail: thermogasdynamics@gmail.com, тел. +38 (066) 031-92-02

МОДЕЛЮВАННЯ ПАРАМЕТРІВ І СИНТЕЗ СИСТЕМ МАЛОРОЗМІРНИХ БЕЗПЛОТНИХ КОМПЛЕКСІВ

Abstract: *The scientific work emphasizes the importance and relevance of the use of unmanned aerial vehicles in the modern technological world and their importance in various fields. Special attention is paid to the choice of engines and the importance of optimal design. The possibility of using mathematical models and software for modeling parameters of engine work processes and synthesis of control systems is considered. The conclusions emphasize the importance of taking into account aerodynamic, energy, mass and dimensional characteristics for the optimal operation of prospective unmanned aerial vehicles.*

Key words: *aircraft, turbojet engine, system, model, aerodynamics, autonomy, adaptability, synthesis, system integration.*

В сучасному високотехнологічному світі безпілотні літальні апарати (БПЛА) здійснили значний прорив у багатьох сферах. Їх використання розповсюджується з великою швидкістю, в багатьох випадках вони просто вкрай необхідні. Наприклад, для геодезистів піл час аналізу поверхні [1] або під час цивільного захисту [2, 3]. Це породжує потребу вдосконалення їх параметрів та конструктивного виконання для задоволення вимог замовників, досягнення більшої функціональності, надійності та ефективності.

Високі вимоги до технічних даних сучасних БПЛА обумовили їх перетворення в складні авіаційні комплекси при одночасному зростанні вартості створення [2]. Оптимізація технічних рішень і зменшення витрат на створення перспективних БПЛА вимагають на початкових етапах їх проектування ретельної оцінки зв'язків характеристик основних складових елементів бортового обладнання (рис.1).

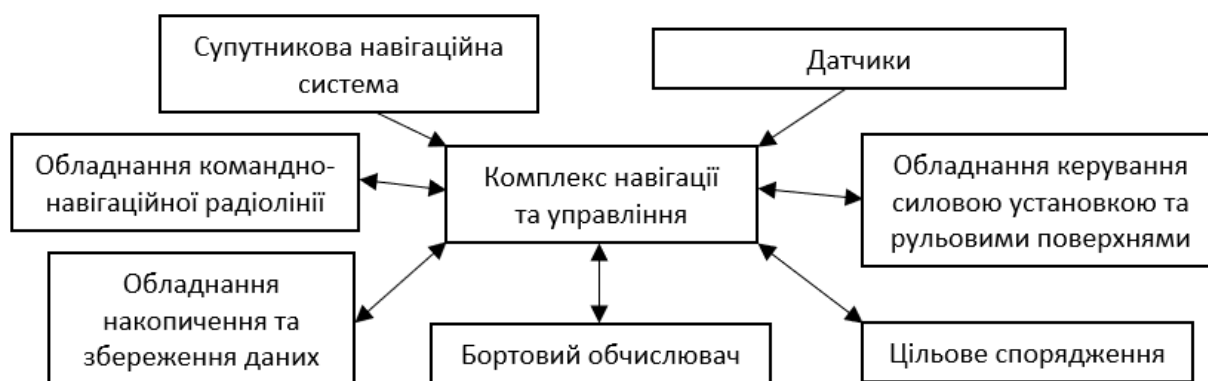


Рис.1. Узагальнена структура бортового обладнання БПЛА [2]

Вибір двигуна для БПЛА з множини можливих варіантів (поршневі, електричні, турбореактивні (ТРД) одно- або двоконтурні, турбогвинтові, прямоточні, твердопаливні, гібридні) ускладнюється необхідністю врахування параметрів і характеристик всієї силової установки в цілому. Турбореактивні двигуни БПЛА характеризуються великою різноманітністю конструктивно-компонувальних схем, що визначається широким

діапазоном їх застосування. Проблема максимального зниження вартості малорозмірного двигуна обумовила основні напрями її вирішення – максимальне спрощення конструкції двигуна та здешевлення технології його виготовлення [2]. При створенні ТРД для БПЛА необхідно вирішити ряд задач на етапах проєктування, випробувань і доведення двигунів:

вибір оптимальних значень параметрів термодинамічного циклу з урахуванням високого рівня відносних втрат у малорозмірних елементах двигуна і при відсутності інтенсивного охолодження газової турбіни;

ретельне погодження параметрів і характеристик елементів двигуна з урахуванням об'ємно-масових характеристик;

максимальне спрощення систем двигуна, перш за все, паливної системи, системи управління і системи змащування та інших науково-технічних і технологічних задач.

Головними вимогами, що висувуються до силової установки БПЛА є низька вага, вартість, ефективність та взаємозв'язок між іншими компонентами та системами в тому числі обладнанням, яке забезпечують моніторинг технічного стану і управління роботою.

Іншим важливим етапом є моделювання параметрів та синтез систем управління двигуна і БПЛА з метою оцінки і вдосконалення їх можливостей, адаптації до виконання різних польотних завдань [4, 5] (рис. 2). Актуальність досліджень обумовлена необхідністю подальшого розвитку та застосування безпілотних технологій в різних галузях.



Рис.2. Схема моделювання термодинамічних параметрів ТРД

В процесі польоту БПЛА взаємодіє з повітряним середовищем, забезпечуючи підйом, рух та стабільність апарата. Спільна робота всіх датчиків, приладів, системи БПЛА дозволяє контролювати висоту, швидкість, просторове положення та інші параметри польоту. Датчики вимірюють параметри, такі як тиск, температура, швидкість вітру, орієнтація апарата в просторі, а також включаються в контури моніторингу даних від камер, радарів, лазерних вимірювачів відстані тощо. Поточні значення параметрів і характеристик забезпечують адаптування БПЛА до змінних у часі умов навколишнього середовища та виконувати поставлені завдання.

Постійний інформаційний зв'язок ТРД та датчиків функціональних систем БПЛА визначає не лише безпечність та ефективність польоту, але й можливість виконання

специфічних завдань, таких як автономний політ, точна навігація, детектування перешкод та інші функції. Інтеграція цих систем дозволяє досягти високої автономності та адаптивності БПЛА до різних ситуацій, що є критичним для їх успішного застосування в різних галузях, включаючи дослідження, діагностику, пошук і рятування, збирання і документування інформації, картографію та багато інших. Для оптимального функціонування як ТРД так і всіх систем, приладів та датчиків БПЛА важлива відповідність конструкції аеродинамічним вимогам, врахування масо-габаритних характеристик та аеродинамічної стійкості.

На основі проведених досліджень пропонується використання математичних моделей і програмного забезпечення Mathcad [6] для моделювання параметрів робочих процесів малорозмірного ТРД та інших систем БПЛА з імітацією зміни зовнішніх умов за час польоту. Формування програмної реалізації моделі ТРД полягає у повузловому (рис. 2) формалізованому описі термодинамічних процесів (вхідний пристрій, компресор, камера згоряння, турбіна, реактивне сопло) і розрахунку усереднених значень параметрів у залежності від заданих зовнішніх умов польоту (M , H). Поелементне моделювання високого рівня для вирішення питань синтезу систем ТРД і БПЛА передбачає більш складне врахування зміни властивостей робочого тіла від температури T , а також моделювання роботи агрегатів систем і датчиків.

В частині компонентів систем силової установки і БПЛА такі моделі можливо використати на різних етапах (проектування, випробування, налаштування, експлуатація): моделювання вимірюваних параметрів для уточнення математичних моделей [4] і прогнозування реакції датчиків на різні умови польоту $M(t_F)$, $H(t_F)$;

оброблення та аналіз даних, які зібрані від датчиків, для виявлення залежностей параметрів у часі $X_k(t_F)$, аномалій та трендів контрольованих параметрів;

відпрацювання алгоритмів навігації та стабілізації на основі моніторингу даних від датчиків за час t_F польоту.

Використання запропонованого науково-методичного апарату дозволяє досягти оптимальної продуктивності БПЛА, його систем і агрегатів, забезпечити задану швидкість, маневреність та стійкість. Інтеграція датчиків в системи БПЛА забезпечує постійний збір інформації про навколишнє середовище, що є ключовим для автономності, точності та ефективності польоту. Крім того конструктивне виконання БПЛА передбачає раціональне розміщення компонентів силової установки та інших систем та датчиків з урахуванням аеродинамічних вимог, балансу та надійності.

Список літератури

1. Аналіз і перспективи аерознімання з безпілотного літального апарата / В. Глотов, А. Церклевич, О. Збруцький [та ін.] // Сучасні досягнення геодезичної науки та виробництва: зб. наук. пр. / Західне геодезичне т-во Українського т-ва геодезії і картографії, Нац. ун-т "Львівська політехніка". – Львів, 2014. – Вип. 1 (27). – С. 131-136.

2. Кулик М.С., Терещенко Ю.М. Двигуни безпілотних літальних апаратів. – К.: НАУ, 2014. – 252 с.

3. Застосування безпілотних авіаційних систем у сфері цивільного захисту: монографія / Д.В. Бондар, А.В. Гурник, А.О. Литовченко, В.В. Хижняк, В.Л. Шевченко, Д.М. Ядченко. – Київ, 2022. – 312 с.

4. Lobunko O.P. Simulation of degradation of individual characteristics of gas turbine engine components. XXXI International scientific and practical conference "Science, worldview and modern youth". – San Francisco, USA, 2023. – P. 118-123. ISBN – 979-8-89074-562-0, doi – 10.46299/ISG.2023.1.31.

5. Павленко, Г. В. Термогазодинамічний розрахунок газотурбінних двигунів та установок. – Харків: ХАІ, 2007. – 64 с.

6. Engineering with Mathcad Using Mathcad to Create and Organize your Engineering Calculations 1st Edition. October 9, 2006.

Прилипко Д.О.,
здобувач вищої освіти освітнього ступеня магістр,
кафедра приладобудування, мехатроніки та комп'ютеризованих технологій
Черкаський державний технологічний університет

МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ДАТЧИКІВ КОНЦЕНТРАЦІЇ РІДКИХ ХІМІЧНИХ СПОЛУК

Abstract. *Description of methods of mathematical modeling of sensors for concentration of chemical compounds in liquids and gases*

Key words: *mathematical modeling of sensors, determination of the concentration of chemical compounds, automated chemical control systems*

Основне завдання математичного моделювання датчиків концентрації рідких хімічних сполук полягає в розробці математичної моделі, яка відображає залежність між вимірюваннями, отриманими від датчика, та концентрацією хімічних сполук у рідині або середовищі.

Основні завдання цього процесу включають такі операції:

Прогнозування концентрації. Математичні моделі датчиків дозволяють прогнозувати концентрацію рідких хімічних сполук на основі вимірювань датчика. Це дуже важливо для контролю та вимірювання концентрації речовин у реальному часі в різних застосуваннях, таких як моніторинг забруднення повітря, води або біологічних процесів.

Підгонка параметрів. Завданням моделювання є визначення або налаштування параметрів моделі так, щоб вони краще відповідали реальним даним. Це може включати в себе визначення коефіцієнтів, зміщень або інших параметрів, які оптимально відображають залежність між вимірюваннями і концентрацією.

Оцінка точності та надійності. Важливим завданням є оцінка точності та надійності математичної моделі. Модель повинна бути спроможною точно передбачати концентрацію хімічних сполук у різних речовинах та за різних температурних, тискових та інших умов.

Калібрування та валідація. Після побудови моделі її необхідно піддати калібруванню та валідації. Калібрування включає в себе налаштування параметрів моделі, щоб забезпечити її відповідність реальним даним. Валідація передбачає перевірку точності та надійності моделі на незалежних даних.

Оптимізація роботи датчика. В процесі моделювання можуть виникнути ідеї щодо оптимізації роботи датчика або покращення його дизайну для забезпечення кращої відповідності моделі та підвищення точності вимірювань.

Застосування в практиці. Завершальним завданням є застосування розробленої математичної моделі в реальних умовах індустрії, досліджень або моніторингу. Модель може бути вбудована в програмне забезпечення для автоматичного контролю або вимірювань.

В цілому, основним завданням математичного моделювання датчиків концентрації рідких хімічних сполук є створення інструменту, який дозволяє точно і надійно вимірювати концентрацію речовин у реальному часі та в різних умовах

Метою дослідження є виокремлення математичних моделей, які найкраще відображають залежність між вимірюваннями датчика і концентрацією хімічних речовин.

Зазвичай це може бути лінійна або не лінійна функція залежності. Існує багато математичних моделей для датчиків концентрації, ось деякі з них:

а) Лінійна модель:

Проста лінійна модель може бути використана для датчиків, які демонструють лінійну залежність між вимірюваннями і концентрацією сполуки. Математично це може бути виражено як:

$$Y=mX+c$$

де Y - вимірювання датчика,
 X - концентрація сполуки,
 m - коефіцієнт усереднення,
 c - зміщення.

b) Нелінійна модель:

Деякі датчики можуть показувати нелінійну залежність між вимірюваннями і концентрацією. У цьому випадку використовуються нелінійні математичні моделі, такі як експоненціальні, логарифмічні або поліноміальні функції для опису залежності.

c) Модель Майкеліса-Ментен:

Ця модель широко використовується в біохімії для опису реакцій, де ферменти взаємодіють з речовинами. Модель Майкеліса-Ментен може бути адаптована для датчиків концентрації хімічних сполук.

d) Модель Друкера-Прейса:

Ця модель використовується для опису газових сенсорів, де концентрація газу зазвичай має лінійну залежність від логарифму опору або індуктивності сенсора.

e) Модель Гаскелла-Сігмоїд:

Ця модель використовується для опису насиченого зростання відповіді датчика зі збільшенням концентрації. Вона часто використовується в біології та хімії.

f) Модель нейронної мережі:

Для складних та неструктурованих даних, можна використовувати нейронні мережі для розробки математичних моделей. Мережі глибокого навчання можуть виявити складні залежності між вимірюваннями і концентрацією сполук.

Математичне моделювання датчиків концентрації рідких хімічних сполук - це процес створення математичної моделі, яка відображає функціонування таких датчиків. Датчики концентрації використовуються для вимірювання концентрації рідких хімічних сполук в рідині або середовищі.

Процес розробки математичної моделі може бути складним і вимагати великої уваги до деталей, але він дозволяє створити інструмент для передбачення концентрації рідких хімічних сполук на основі вимірювань датчика, що є важливим для різних галузей, таких як хімія, медицина та промисловість.

Список літератури

Диференційний метод виміру щільності рідин, газів та дисперсних систем/Ю.К.Тараненко// Вісник Національного технічного університету "КПІ". Серія: Приладобудування. — 2006. — № 32 с.

Фершал М.В. Аналітичні сенсорні системи: навчальний посібник / Укладач: М.В. Фершал. – Ужгород: Вид-во УжНУ «Говерла», 2022. – 220 с.

Зінчук В.К., Левицька Г.Д., Дубенська Л.О., Фізико-хімічні методи аналізу: Навчальний посібник. – Львів : Видавничий центр ЛНУ імені Івана Франка, 2008. – 362 с.

Інструментальні методи хімічного аналізу [Електронний ресурс] : навч. посіб. для студ. спеціальності 161 «Хімічні технології та інженерія» спеціалізації «Хімічні технології неорганічних керамічних матеріалів»/ КПІ ім. Ігоря Сікорського; уклад.: Л.М. Спасьонова, В.Ю. Тобілко, І.В. Пилипенко. – Електронні текстові дані (1 файл: 1,85 Мбайт). – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2019. – 69 с.

Тичков В.В., к.т.н., доцент,
доцент кафедри приладобудування, мехатроніки і комп'ютеризованих технологій
Черкаський державний технологічний університет
v.tychkov@chdtu.edu.ua

Гальченко В.Я., д.т.н., професор,
професор кафедри приладобудування, мехатроніки і комп'ютеризованих технологій
Черкаський державний технологічний університет
halchvl@gmail.com

Трембовецька Р.В., д.т.н., доцент,
доцент кафедри приладобудування, мехатроніки і комп'ютеризованих технологій
Черкаський державний технологічний університет
r.trembovetska@chdtu.edu.ua

Тичкова Н.Б., аспірантка кафедри приладобудування, мехатроніки і
комп'ютеризованих технологій
Черкаський державний технологічний університет
n.b.tychkova.asp21@chdtu.edu.ua

ЕФЕКТИВНІ ОПТИМІЗАЦІЙНІ МЕТОДИ ОДНОЧАСНОГО ВИМІРЮВАННЯ ПРОФІЛІВ СТРУКТУРОЗАЛЕЖНИХ ПАРАМЕТРІВ ОБ'ЄКТІВ ЗАСОБАМИ ВИХРОСТРУМОВОГО КОНТРОЛЮ

Abstract. *In this paper we have carried out studies on determination of electrophysical parameters profiles of a cylindrical testing object by an eddy-current probe by proxy- optimization in the latent search space of reduced dimensionality. The peculiarity of these studies is the consideration of previously collected information on the regularities caused by variations of electrophysical parameters profiles of the testing objects. The functions of accumulator and carrier of apriori information are performed by the metamodel obtained on the basis of deep neural networks with high computational efficiency. Numerical experiments demonstrated the reliability of the proposed approach to determining the magnetic permeability and electrical conductivity distribution along the near-surface layers of metallic objects with microstructural changes. The analysis of the solutions results of the inverse measurement problem shows that the accuracy of profile reconstruction is quite high.*

Keywords: *encircling and surface eddy-current probes, cylindrical and planar testing object, electrical conductivity, magnetic permeability, simultaneous measurement of electrophysical parameters profiles*

Вихрострумний контроль, як метод неруйнівного контролю матеріалів і конструкцій, полягає у збудженні вихрових струмів в об'єкті контролю (ОК) та аналізі реакції вихрових струмів з метою виявлення зміни структури та властивостей матеріалу.

Ефективні методи оптимізації для одночасного вимірювання профілів структурозалежних параметрів ОК (електричної провідності (ЕП) та магнітної проникності (МП) за допомогою вихрострумного контролю включають:

- метод інверсії моделі, що використовує математичну модель та описує взаємозв'язок між вихровими струмами та параметрами ОК. Порівнюючи експериментальні дані зі значеннями, отриманими з моделі, визначаються шукані параметри об'єкта [1];

- методи штучних нейронних мереж (ШНМ) дозволяють отримати зв'язок між сигналом вихрових струмів і параметрами ОК. Навчаючись на великих масивах даних, ШНМ можуть виявляти складні взаємозв'язки та точніше вимірювати параметри [2];

- методи оптимізації з використанням алгоритмів виявлення екстремальних значень також пов'язують сигнали вихрових струмів з параметрами ОК. Для ефективного пошуку

оптимальних значень параметрів використовуються такі алгоритми, як генетичні алгоритми та алгоритми резекції [3];

- методи обробки сигналів і статистичного аналізу, де вихроструміві сигнали піддаються різноманітним методам обробки, таким як фільтрація, деконволюція тощо, з метою вилучення інформації про параметри ОК. Статистичний аналіз також може допомогти виокремити корисну інформацію [4];

- методи синтезу моделей при якому одночасно використовують кілька різних моделей або методів для отримання точніших результатів. Наприклад, математичні моделі та нейронні мережі можуть бути об'єднані для отримання кращих результатів [5-6];

- метод комп'ютерної томографії, коли використовується реконструкція внутрішньої структури ОК на основі вимірювання сигналів вихрових струмів під різними кутами [7].

Одночасне вимірювання ЕП та МП вихрострумівими перетворювачами є важливим завданням для неруйнівного контролю та діагностики матеріалів і ОК. Для цього дослідниками використовуються кілька підходів для одночасного вимірювання обох параметрів. Так в роботі [8] запропоновано двочастотний метод, який заснований на вимірюванні вихрострумівіх сигналів на двох різних частотах. Частотна залежність вихрових струмів надає інформацію про ЕП і МП матеріалу. Метод частотного сканування, що запропоновано в роботі [9], використовує перетворювач частоти, який поступово змінює частоту збудження вихрових струмів. Аналізуючи частотну залежність амплітуди та фази вихрових струмів, досліджується ЕП і МП матеріалу. В методі багатоканального аналізатора [10] за допомогою багатоканальної системи одночасно вимірюються сигнали вихрових струмів різних частот. Це дозволяє одночасно отримувати інформацію про розподіл ЕП і МП. В роботі [11] досліджено методи з використанням комбінованих вихрострумівіх перетворювачів, в яких вони одночасно вимірюють амплітуду і фазу вихрових струмів, таким чином надаючи інформацію про розподіл електрофізичних параметрів. Із застосуванням методів обробки сигналів і аналізу даних [12] дослідники за допомогою поєднання різних характеристик вихрострумівіх сигналів визначали МП матеріалів.

Поєднання цих підходів забезпечує точніші та надійніші результати. Отже, важливо при одночасному вимірюванні структурозалежних параметрів ОК враховувати властивості матеріалу і технічні обмеження при виборі методу.

Отже, **метою досліджень** є розв'язання оберненої задачі одночасної реконструкції профілів електрофізичних параметрів циліндричних об'єктів при вихрострумівіх вимірюваннях на основі апріорного накопичення інформації, новітніх сурогатних стратегій та вдосконалених оптимізаційних технік, які забезпечують покращення ефективності та зниження ресурсозатратності розв'язків, баланс між обчислювальною складністю й точністю результатів.

Загальний вид електродинамічної моделі опису циліндричних ОК, що є відомою як модель Dodd-Deeds [13], наведений нижче та більш детально описано в [14] як модель Uzal-Cheng-Dodd-Deeds з врахуванням кусково-постійного представлення неперервних назагал профілів та їх апроксимацій за характерними для більшості практичних випадків типовими розподілами:

$$E = j\omega \oint_{l_{s-coil}} \vec{A} dl = j\omega 2\pi r_s A(r_s, z_s), \quad (1)$$

$$\text{де } A(r_s, z_s) = \frac{IN_d \mu_0 r_d}{\pi} \int_0^\infty \frac{Q1 Q2}{\alpha^3 (U_{22} V_{11} - U_{12} V_{21})} Q3 d\alpha,$$

$$Q1 = \sin(\alpha(z - l_{d1})) - \sin(\alpha(z - l_{d2})),$$

$$Q2 = V_{11} I_1(\alpha_n r) + V_{21} K_1(\alpha_n r),$$

$$Q3 = U_{12} I(r_{d2}, r_{d1}) + U_{22} K(r_{d2}, r_{d1}),$$

$$I(r_{d2}, r_{d1}) = \int_{\alpha r_{d1}}^{\alpha r_{d2}} t I_1(\alpha t) dt,$$

$$K(r_{d2}, r_{d1}) = \int_{\alpha r_{d1}}^{\alpha r_{d2}} t K_1(\alpha t) dt,$$

$$N_d = \frac{W}{(r_{d2} - r_{d1})(l_{d2} - l_{d1})},$$

$$V_{11}(n+1, n) = \left(K_0(\alpha_{n+1} r_n) I_1(\alpha_n r_n) + \frac{\beta_n}{\beta_{n+1}} I_0(\alpha_n r_n) K_1(\alpha_{n+1} r_n) \right) \alpha_{n+1} r_n,$$

$$V_{21}(n+1, n) = \left(I_0(\alpha_{n+1} r_n) I_1(\alpha_n r_n) - \frac{\beta_n}{\beta_{n+1}} I_0(\alpha_n r_n) I_1(\alpha_{n+1} r_n) \right) \alpha_{n+1} r_n,$$

$$U_{12}(n+1, n) = \left(K_0(\alpha_{n+1} r_n) K_1(\alpha_n r_n) - \frac{\beta_n}{\beta_{n+1}} K_0(\alpha_n r_n) K_1(\alpha_{n+1} r_n) \right) \alpha_{n+1} r_n,$$

$$U_{22}(n+1, n) = \left(I_0(\alpha_{n+1} r_n) K_1(\alpha_n r_n) + \frac{\beta_n}{\beta_{n+1}} K_0(\alpha_n r_n) I_1(\alpha_{n+1} r_n) \right) \alpha_{n+1} r_n,$$

$$\beta_n = \left(\frac{\mu_0}{\mu_n} \right) \alpha_n,$$

$$\alpha_n = \sqrt{\alpha^2 - j \mu_n \sigma_n}, \quad n = 1, 2, \dots, K,$$

$(K-1)$ – кількість умовних шарів розбиття приповерхневого прошарку,

$\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7}$ Гн/м – магнітна стала;

μ_i - абсолютна магнітна проникність,

$i = 1, 2, \dots, (N-2)$, N – загальна кількість регіонів спостереження, визначена радіусами умовних шарів,

$A(r_s, z_s)$ - азимутальна складова векторного потенціалу,

$I_0(), I_1()$ – модифіковані функції Бесселя першого роду нульового та першого порядків від комплексного аргументу;

$K_0(), K_1()$ – модифіковані функції Бесселя другого роду нульового та першого порядків від комплексного аргументу;

W – кількість витків котушки збудження,

r_{d1}, r_{d2} – внутрішній та зовнішній радіуси котушки збудження відповідно;

l_{d1}, l_{d2} – відстані до граней котушки збудження;

r_s – радіус вимірювального витка,

l_s – відстань від об'єкту до вимірювального витка,

I – синусоїдальний струм збудження з кутовою частотою ω .

Верифікація електродинамічної моделі (1) циліндричних ОК здійснена авторами в роботах [13-14].

Аналітична електродинамічна модель Uzal-Cheng-Dodd-Deeds [15-18] вихрострумове контролю пласких ОК надалі використовуватиметься в матричній формі запису в інтерпретації Theodoulidis [19]:

$$e_{\text{mod}} = -j \cdot \omega \cdot w_{\text{mes}} \cdot \oint_{Lc} A(P) dl_p, \quad (2)$$

$$\text{де } A(r_s, z_s) = \int_0^{\infty} J_1(kr_s) \cdot [C_s \cdot e^{kz_s} + D_{ec} \cdot e^{-kz_s}] dk,$$

$$C_s = \frac{\mu_0 \cdot i_0}{2} \cdot \frac{\chi(\kappa r_1, \kappa r_2)}{\kappa^3} \cdot (e^{-\kappa z_1} - e^{-\kappa z_2}),$$

$$i_0 = W \cdot I(r_2 - r_1)^{-1} \cdot (z_2 - z_1)^{-1},$$

$$\chi(x_1, x_2) = \int_{x_1}^{x_2} x \cdot J_1(x) dx,$$

$$\int_{x_1}^{x_2} x \cdot J_1(x) dx = \left\{ x_1 \cdot J_0(x_1) - 2 \cdot \sum_{m=0}^{\infty} J_{2m+1}(x_1) \right\} - \left\{ x_2 \cdot J_0(x_2) - 2 \cdot \sum_{m=0}^{\infty} J_{2m+1}(x_2) \right\},$$

$$V(1) = T(1, 2) \cdot T(2, 3) \cdots T(L-2, L-1) \cdot T(L-1, L),$$

$$T_{11}(t, t+1) = \frac{1}{2} \cdot e^{(-\lambda_{t+1} + \lambda_t) dt} \cdot \left(1 + \frac{\mu_t}{\mu_{t+1}} \cdot \frac{\lambda_{t+1}}{\lambda_t} \right),$$

$$T_{12}(t, t+1) = \frac{1}{2} \cdot e^{(\lambda_{t+1} + \lambda_t) dt} \cdot \left(1 - \frac{\mu_t}{\mu_{t+1}} \cdot \frac{\lambda_{t+1}}{\lambda_t} \right),$$

$$T_{21}(t, t+1) = \frac{1}{2} \cdot e^{(-\lambda_{t+1} - \lambda_t) dt} \cdot \left(1 - \frac{\mu_t}{\mu_{t+1}} \cdot \frac{\lambda_{t+1}}{\lambda_t} \right),$$

$$T_{22}(t, t+1) = \frac{1}{2} \cdot e^{(\lambda_{t+1} - \lambda_t) dt} \cdot \left(1 + \frac{\mu_t}{\mu_{t+1}} \cdot \frac{\lambda_{t+1}}{\lambda_t} \right),$$

$$\lambda_t = \left(\kappa^2 + j \cdot \omega \cdot \mu_0 \cdot \mu_t \cdot \sigma_t \right)^{1/2},$$

$$D_{ec} = \frac{(\kappa \cdot \mu_{t+1} - \lambda_t) \cdot V_{11}(1) + (\kappa \cdot \mu_{t+1} + \lambda_t) \cdot V_{21}(1)}{(\kappa \cdot \mu_{t+1} + \lambda_t) \cdot V_{11}(1) + (\kappa \cdot \mu_{t+1} - \lambda_t) \cdot V_{21}(1)} \cdot C_s,$$

$A(r_\delta, z_\delta)$ – азимутальна складова векторного потенціалу, Вб/м;

$V(1)$ – матриця, елементами якої є V_{11} , V_{21} ;

$T()$ – матриця з елементами $T_{11}()$, $T_{12}()$, $T_{21}()$, $T_{22}()$;

$J_0()$, $J_1()$, $J_m()$ – циліндричні функції Бесселя першого роду нульового, першого та m -го порядків;

r_δ, z_δ – координати точки спостереження P в циліндричній системі координат, м;

$(r_2 - r_1)$ – ширина перерізу котушки збудження ВСП, м;

$(z_2 - z_1)$ – висота перерізу котушки збудження ВСП, м;

w_{mes} – число витків вимірювальної котушки ВСП;

e_{mod} – ЕРС, індукована в вимірювальній котушці ВСП, В;

Lc – контур вимірювальної котушки ВСП.

Для плоских ОК авторами здійснена верифікація електродинамічної моделі (2) та представлена в роботах [25-26].

Отже, після проведення процедури вимірювання ВСП над плоским або циліндричним об'єктами, фіксації підлягають амплітуда та фаза сигналу відповідно до однієї з класичних схем вимірювання [20]. Математично вимірюваний сигнал e_{mes} може бути представлений в алгебраїчній формі у вигляді виразу $e_{mes} = C_{mes} + j \cdot D_{mes}$, де C_{mes} та D_{mes} є відповідно дійсною та уявною його частинами. Така математична форма представлення ЕРС дозволяє подальше ефективно створення цільової функції F для пошуку оптимальних значень шуканих параметрів моделі. Тоді задача реконструкції профілів ЕП та МП полягає в мінімізації наступної квадратичної функції:

$$F(\sigma, \mu, f, \dots) = (C_{mes} - G_{metamod})^2 + (D_{mes} - Z_{metamod})^2 \rightarrow \min, \quad (3)$$

де $e_{metamod} = G_{metamod} + j \cdot Z_{metamod}$ – значення ЕРС, яке обчислене з використанням нейромережевої проксі-моделі (метамоделі) на електродинамічну модель;

σ , μ - відповідні вектори електрофізичних параметрів, що визначають шукані профілі. Методологія досліджень детально розглядалася авторами та ілюструвалася прикладами в статтях [13-14, 24], основні етапи якої наступні:

- “точний” розв’язок прямої електродинамічної задачі взаємодії квазістаціонарного електромагнітного поля, яке згенеровано прохідним (накладним) ВСП, з феромагнітним циліндричним (пласким) ОК, що характеризується безперервними вздовж радіусу (товщини) профілями електрофізичних характеристик;

- планування обчислювального експерименту та побудова з використанням електродинамічної моделі на основі глибоких MLP-нейронних мереж моделі-замісника (метамоделі), яка є значно менш ресурсоємною та наближено з прийнятною точністю відтворює “точну”;

- розв’язок оберненої вимірювальної задачі оптимізаційним гібридним популяційним метаевристичним методом на основі проведених вимірювань із використанням ВСП та сурогатної моделі, створеної на попередньому етапі.

Внаслідок універсальності запропонованого підходу, використовуємо його, наприклад, до циліндричних об’єктів контролю.

Для побудови метамodelей створюється об’ємна вибірка для навчання глибоких повнозв’язних нейронних мереж (ГПНМ) у точках багатовимірного плану експерименту (ПЕ) на основі ЛП_τ-последовностей Соболя [21-24], що забезпечує високу точність відтворення поверхні відгуку. У межах зміни електрофізичних параметрів ($\sigma_{\min} = 3,494949 \cdot 10^6$ См/м, $\sigma_{\max} = 6,99 \cdot 10^6$ См/м, $\mu_{r \min} = 1$, $\mu_{r \max} = 10$) здійснено обчислення розподілу ЕП σ та розподілу МП μ_r за типовою апроксимацією «гіперболічний тангенс» для кількості точок ПЕ $N_{\text{profile}} = 5000$, що відповідає кількості профілів у загальній вибірці. Для прикладу варіанти деяких чотирьох профілів із можливих 5000 випадків розподілів електрофізичних параметрів в приповерхневому шарі циліндричного ОК, розрахованих за створеним ПЕ, наведено на рис. 1.

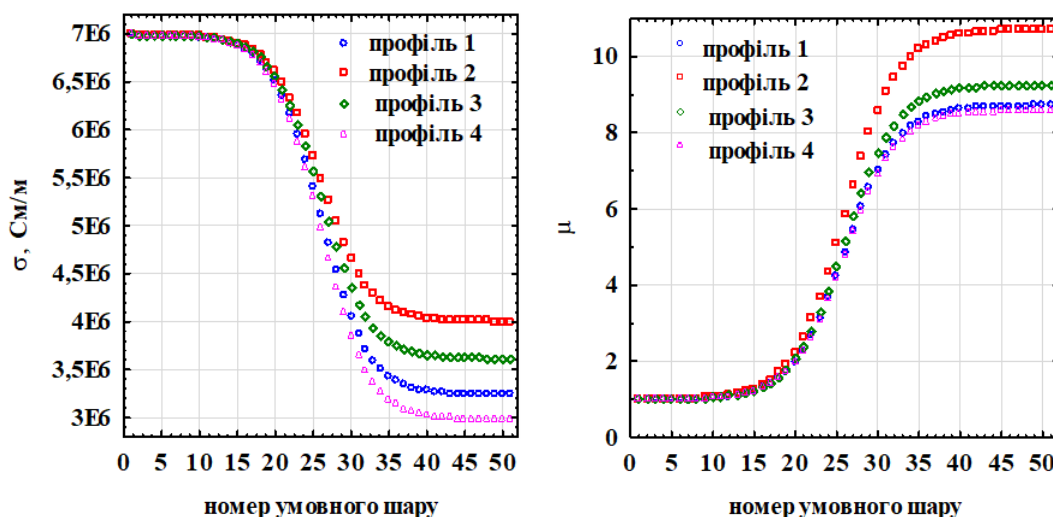


Рисунок 1 - Профілі електрофізичних параметрів за типовою апроксимацією «гіперболічний тангенс» в приповерхневому шарі ОК для деяких їх випадків: (а) – розподіл МП μ_r ; (б) – розподіл ЕП σ

В результаті навчання ГПНМ отримано метамоделі Re-MLP-4-13-13-12-10-1 для дійсної частини ЕРС та Im-MLP-4-13-13-12-10-1 – відповідно для уявної її частини.

Валідність отриманих метамodelей оцінено похибками MAPE, % (Mean Absolute Percentage Error) для дійсної частини ЕРС - 7.6440×10^{-4} і для уявної - 7.4207×10^{-4} при кількості точок навчальної вибірки $N_{\text{train}} = 3150$. Для крос-валідаційної вибірки MAPE, % складає для дійсної частини ЕРС 8.5828×10^{-4} та уявної її частини 7.5255×10^{-4} при

$N_{CV} = 525$. Ця ж похибка для тестової вибірки при $N_{test} = 525$ складає для дійсної частини - 8.4026×10^{-4} і для уявної - 7.4364×10^{-4} . Середня похибка апроксимації MAPE, % отриманих метамodelей за всіма профілями для складових ЕРС (дійсної та уявної частини) має значення 7.8565×10^{-4} та 7.4364×10^{-4} , відповідно. Гістограми розподілу похибок MAPE, % складових ЕРС, індукованих у вимірювальному витку ВСП, для отриманих метамodelей представлено на рис.2.

На завершальному етапі побудови метамodelей здійснено перевірку їх адекватності та інформативності за критерієм Фішера [21].

Так отримана метамodelь Re-MLP-4-13-13-12-10-1 має значення показника Фішера $F_{46;4153}^{total} = 6.225 \cdot 10^8$, а критичне значення цього критерію з рівнем значущості $\alpha = 5\%$ та числом степенів свободи $\nu_R = 4153$, $\nu_D = 46$ складає $F_{0,05;46;4153}^{table} = 1.368$, що задовольняє умові адекватності.

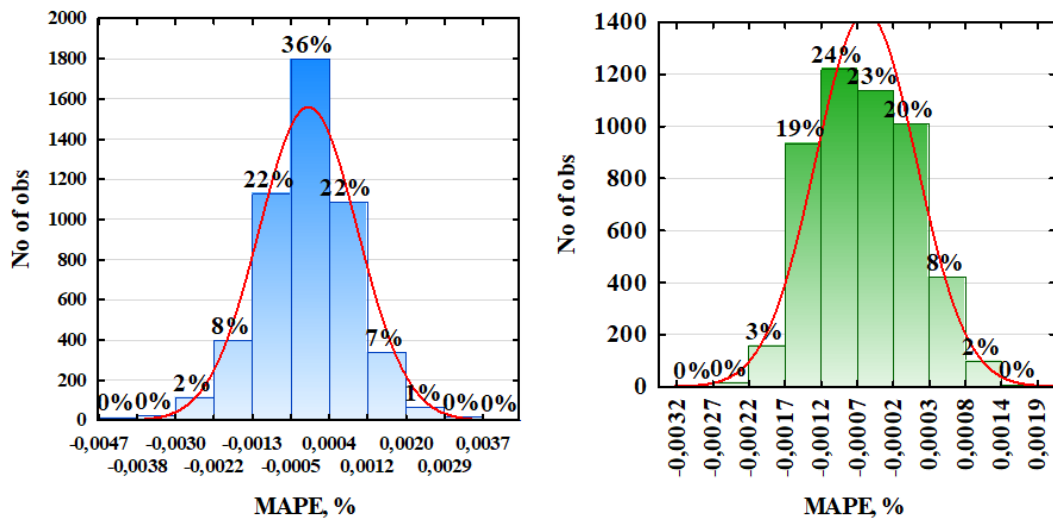


Рисунок 2 - Гістограми розподілу похибок MAPE, % складових ЕРС, індукованих у вимірювальному витку ВСП, для метамodelей: а – Re-MLP-4-13-13-12-10-1; б - Im-MLP-4-13-13-12-10-1

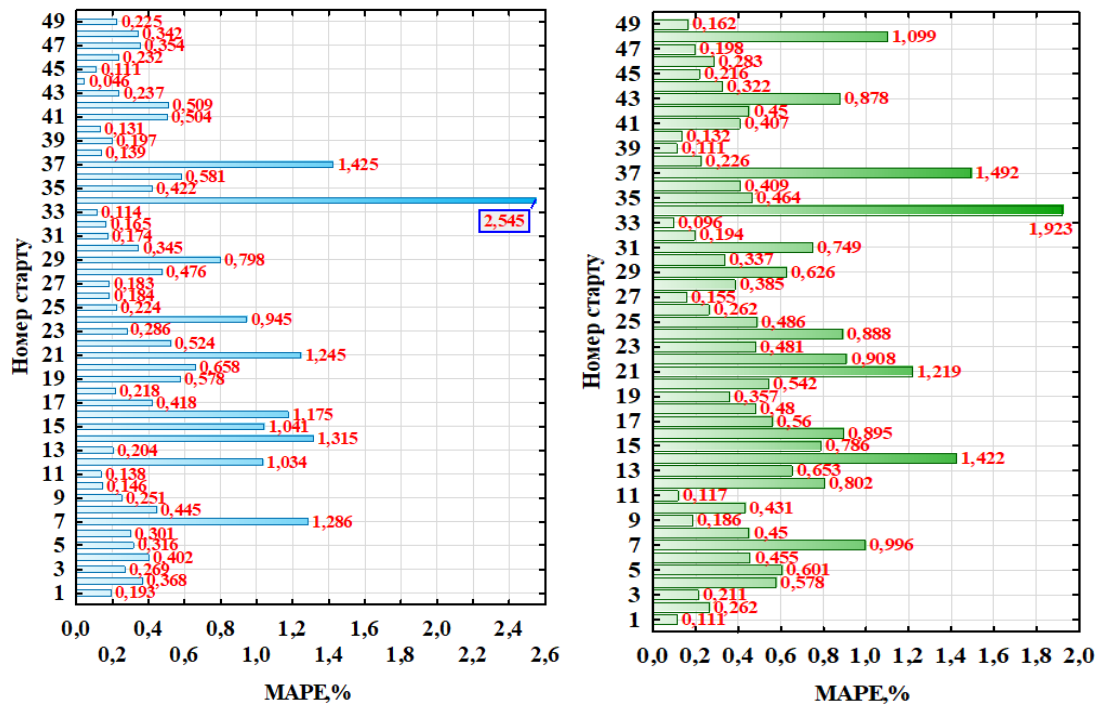


Рисунок 3 - Значення відносної похибки за результатами усереднення для реконструйованих профілів: а – МП; б - ЕП

Для метамоделі MLP-4-13-13-12-10-1 умова адекватності за цим критерієм також виконується, оскільки $F_{46;4153}^{total} = 6.144 \cdot 10^8$. Перевірка моделі на інформативність здійснювалася обчисленням коефіцієнта детермінації R^2 та перевіркою гіпотези про значущість цього коефіцієнту за критерієм Фішера. Коефіцієнт детермінації для обох метамоделей перевищує 0.999, що вказує на їх високу інформативність. Ці коефіцієнти значимо достовірні при рівні значущості 5 %, оскільки умова інформативності виконується для обох метамоделей ($F_{46;4153}^{total} = 1.8144 \cdot 10^5$).

Надалі здійснено старт евристичного біонічного гібридного алгоритму пошуку глобальної оптимізації [24-26], результати яких у вигляді середніх значень відносної похибки для реконструйованих профілів МП та ЕП представлені на рис. 3.

Висновки. Особливістю цих досліджень є запропоноване алгоритмічне та програмне забезпечення. Для мінімізації цільової функції застосовано евристичний біонічний гібридний алгоритм пошуку глобальних екстремумів у просторі пошуку зі зменшеною розмірністю. Це суттєво зменшує кількість змінних пошуку, що визначають профіль, в результаті чого скорочується час обчислень (майже втричі для розмірності простору - 46), спрощуються умови пошуку екстремумів у РСА-просторі та опосередковано позитивно впливає на точність їх визначення.

Цільова функція включає компоненти, розраховані за допомогою високопродуктивної метамоделі, які виступають носієм апріорно накопиченої інформації про ОК і точно апроксимують поверхню відгуку, та вимірювальний компонент, що імітується електродинамічною моделлю. Метамоделю побудовано на основі глибокої повнозв'язної нейронної мережі, а похибка апроксимації МАРЕ-метамоделі не перевищує $7,4364 \times 10^{-4}\%$ та $7,8565 \times 10^{-4}\%$ для дійсної та уявної частин ЕРС, відповідно.

Доведено валідність та інформативність побудованої метамоделі. За критерієм Фішера обидві метамоделі є адекватними при рівні значущості 5%, критеріальний показник не гірший за $F_{46;4153}^{total} = 6.144 \cdot 10^8$. Коефіцієнт детермінації є інформативним оскільки має значення більш ніж 0,999.

Чисельне моделювання продемонструвало надійність і прийнятну точність реконструкції профілю. Результати показали, що похибка МАРЕ не перевищує 0,346 % для профілю МП і 0,488 % для профілю ЕП.

Список літератури

1. Yi, Q., Wilcox, P., & Hughes, R. (2023). Modelling and evaluation of carbon fibre composite structures using high-frequency eddy current imaging. *Composites Part B: Engineering*, 248, 110343.
2. Dutta, C., Sagar, S. P., Kumar, A., Bhushan, R., Kadu, S., & Das, T. K. (2023). An Adaptive Sampling Protocol for Real-Time Defect Assessment Using Eddy Current Sensor and Machine Learning Algorithm. *IEEE Transactions on Industry Applications*.
3. Гальченко В.Я., Трембовецька Р.В., Тичков В.В. *Накладні вихрострумові перетворювачі з однорідною чутливістю*: монографія / В.Я.Гальченко, Р.В.Трембовецька, В.В.Тичков. – Харків: СГ НТМ «Новий курс», 2021. – 281 с.
4. Eslamlou, A. D., Ghaderiaram, A., Schlangen, E., & Fotouhi, M. (2023). A review on non-destructive evaluation of construction materials and structures using magnetic sensors. *Construction and Building Materials*, 397, 132460.
5. Wang, J., Wang, D., Wang, S., Tong, T., Sun, L., Li, W., ... & Sun, G. (2023, July). A Review of Recent Developments in Permanent Magnet Eddy Current Couplers Technology. In *Actuators* (Vol. 12, No. 7, p. 277). MDPI.
6. Halchenko, V., Trembovetska, R., Tychkov, V., Sapogov, M., Gromaszek, K., Smailova, S., & Luganskaya, S. (2021). Additive neural network approximation of multidimensional response surfaces for synthesis of eddy-current probes. *Przegląd Elektrotechniczny*, 97(9), 46-49.
7. Chen, X., Tian, G., Ding, S., Ahmed, J., & Woo, W. L. (2021). Tomographic reconstruction of rolling contact fatigues in rails using 3D eddy current pulsed thermography. *IEEE Sensors Journal*, 21(17), 18488-18496.

8. George, N., Ripka, P., & Grim, V. (2023). C-Shape Busbar With Frequency Invariant Points for Wideband Current Measurement. *IEEE Transactions on Industrial Electronics*.
9. Wang, C., Wang, T., Liu, B., Tian, F., & Lu, X. (2023). Metal thickness measurement system based on a double-coil eddy-current method with characteristic ratio detection. *IEEE Transactions on Industrial Electronics*.
10. Zheng, W., & Li, J. (2023). Multi-channel frequency difference noise analysis and cancellation method for the balanced field electromagnetic pipeline inspection gauge. *Review of Scientific Instruments*, 94(7).
11. Huang, P., Long, J., Jia, J., Liu, K., Yu, X., Xu, L., & Xie, Y. (2023). Measurement of conductivity and diameter of metallic rods using eddy current testing. *Measurement*, 113496.
12. Arnold, W., Goebels, K., & Kumar, A. (2023). Non-destructive Materials Characterization by Electromagnetic Techniques. In *Non-destructive Materials Characterization and Evaluation* (pp. 239-311). Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg.
13. Гальченко В. Я., Тичков В. В., Сторчак А. В., Трембовецька Р. В. Відновлення приповерхневих радіальних профілів електрофізичних характеристик циліндричних об'єктів при вихрострумових вимірюваннях із наявністю апріорних даних. Формування вибірки для побудови сурогатної моделі. *Український метрологічний журнал*. – 2020. – № 1. – С. 35-50.
14. Гальченко В. Я., Сторчак А. В., Тичков В. В., Трембовецька Р. В. Вимірювання приповерхневих радіальних профілів електрофізичних характеристик циліндричних об'єктів вихрострумовим методом із застосуванням апріорних даних. *Український метрологічний журнал*. - 2022. - № 1. – С. 5-11.
15. Bowler, N. (2019). *Eddy-current nondestructive evaluation*. Springer New York.
16. Lei, Y. Z. (2018). General series expression of eddy-current impedance for coil placed above multi-layer plate conductor. *Chinese Physics B*, 27(6), 060308.
17. Uzal, E. (1992). *Theory of eddy current inspection of layered metals*. Iowa State University.
18. Zhang, J., Yuan, M., Xu, Z., Kim, H. J., & Song, S. J. (2015). Analytical approaches to eddy current nondestructive evaluation for stratified conductive structures. *Journal of Mechanical Science and Technology*, 29, 4159-4165.
19. Theodoulidis, T. P., & Kriezis, E. E. (2006). *Eddy current canonical problems (with applications to nondestructive evaluation)*. Tech Science Press.
20. Xia, Z., Huang, R., Chen, Z., Yu, K., Zhang, Z., Salas-Avila, J. R., & Yin, W. (2022). Eddy current measurement for planar structures. *Sensors*, 22(22), 8695.
21. Douglas, C. M. (2009). *Design and analysis of experiments*. Wiley, London.
22. Research of quasi-DOE on Sobol's sequences with uniform 2D projections / Halchenko V.Ya., Trembovetska R.V., Tychkov V.V., Tychkova N.B. // *Applied Computer Systems*. – 2023. – vol. 28, no. 1, pp. 21–34. <https://doi.org/10.2478/acss-2023-0003>.
23. Creation of seven- and eight-factor uniform computer designs of experiment with low discrepancies / Halchenko V.Ya., Trembovetska R.V., Tychkov V.V., Tychkova N.B. // In: *Measurement and Control in Complex System (MCCS-2022)*. – 2022. – P. 1-5.
24. Solving multiparameter inverse problems of eddy current measurements of electrophysical parameters profiles of flat objects using the method of a priori information accumulation / Halchenko V.Ya., Trembovetska R.V., Tychkov V.V., Tychkova N.B. // In: *Information technologies and computer modelling: Proceedings of ITCM-2023*. 213-215. Ivano-Frankivsk. 2023.
25. Trembovetska, R., Halchenko, V., Bazilo, C. (2023). Inverse Multi-parameter Identification of Plane Objects Electrophysical Parameters Profiles by Eddy-Current Method. In: *Smart Technologies in Urban Engineering. STUE 2022. Lecture Notes in Networks and Systems*, vol 536. pp 411–424. Springer, Cham.
26. Halchenko, V., Trembovetska, R., Bazilo, C., Tychkova, N. (2023). Computer Simulation of the Process of Profiles Measuring of Objects Electrophysical Parameters by Surface Eddy Current Probes. In: *Information Technology for Education, Science, and Technics. ITEST 2022. Lecture Notes on Data Engineering and Communications Technologies*, vol 178. Springer, Cham.

Фриз М.Є., к.т.н., доцент,
доцент кафедри комп'ютерних наук
Тернопільський національний технічний університет ім. І. Пулюя
e-mail: mykh.fryz@gmail.com, тел. +380974605090

Млинко Б.Б., к.т.н., доцент,
доцент кафедри комп'ютерних наук
Тернопільський національний технічний університет ім. І. Пулюя
e-mail: mlynko@ukr.net

Щербак Л.М., д.т.н., професор,
провідний науковий співробітник
Інститут загальної енергетики НАН України
e-mail: prof_scherbak@ukr.net

МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСУ РЕСУРСОСПОЖИВАННЯ З ВИКОРИСТАННЯМ АВТОРЕГРЕСІЇ З ВИПАДКОВИМИ КОЕФІЦІЄНТАМИ

Abstract. *The primary objective of the paper is to establish a procedure for simulating the resource (energy, gas, water) consumption using the random coefficient periodic autoregressive model, which has periodic parameters and creates cyclostationary properties while also accounting for the investigated process conditional heteroscedasticity.*

Key words: *resource consumption, random coefficient periodic autoregressive model, cyclostationarity, mathematical model, computer simulation, white noise, digital filter.*

Сучасні проблеми та виклики в енергетичному секторі, які пов'язані з нестабільністю та частковою керованістю генераторів відновлюваної енергії, невизначеністю поведінки споживачів енергії, децентралізацією вимагають комплексних наукових прикладних досліджень у сфері енергетичної інформатики [1]. Важливими напрямками енергетичної інформатики є збір, аналіз, розгортання та використання даних про енергетичний стан, моделювання та прогнозування поведінки енергетичних об'єктів і процесів, включаючи математичне та комп'ютерне моделювання споживання енергії [2], а також інших ресурсів (водоспоживання, газоспоживання, тощо) [3, 4]. Математичні моделі, представлені у вигляді лінійних випадкових процесів (ЛВП) із неперервним чи дискретним часом [4, 5] є дуже корисними для розв'язання вищезазначених задач аналізу ресурсоспоживання. Вони, зокрема, дозволяють врахувати циклостаціонарність досліджуваних процесів, спричинену, наприклад, ритмічною поведінкою споживачів електроенергії, газу, води, тощо.

Для задач статистичного моніторингу, прогнозування, діагностики та комп'ютерного моделювання ЛВП із дискретним часом використовують здебільшого у вигляді авторегресійної послідовності, а для циклостаціонарних процесів – як періодичну авторегресію. Подібним чином, модель авторегресії з випадковими коефіцієнтами (АРВК) [6] є ефективним інструментом для статистичного аналізу умовних лінійних випадкових процесів (УЛВП) [7, 8].

Метою роботи є підвищення ефективності комп'ютерного моделювання стохастичних процесів, які характеризують динаміку ресурсоспоживання з використанням моделі періодичної авторегресії з випадковими коефіцієнтами (ПАРВК).

На першому етапі моделювання необхідно виконати генерування центрованих незалежних випадкових векторів із заданою коваріаційною матрицею. Ми рекомендуємо генерувати їх як нормально розподілені випадкові вектори. Метод багатовимірного моделювання нормально розподілених випадкових векторів є добре відомим, але слід врахувати те, що коваріаційна матриця є змінною в часі та періодичною.

На другому етапі потрібно здійснювати моделювання центрованого нормального білого шуму з періодичною дисперсією. При цьому необхідно враховувати змінну в часі періодичну дисперсію модельованого білого шуму.

Третій етап - моделювання послідовності ПАРВК з використанням випадкових об'єктів, отриманих на попередніх кроках. Беручи до уваги зв'язок між моделлю авторегресії з випадковими коефіцієнтами та цифровими фільтрами, даний етап моделювання здійснюється таким чином:

- спроектувати лінійний рекурсивний цифровий фільтр із випадковими коефіцієнтами;
- подати білий шум отриманий на другому етапі на вхід цього фільтра;
- вихідний сигнал цього фільтра тоді являє собою послідовність ПАРВК.

На четвертому етапі слід додати детерміновану компоненту, яка є періодичною функцією з дискретним часом. Ця функція є математичним сподіванням змодельованого часового ряду ресурсоспоживання.

Етапи верифікації та валідації моделі охоплюють перевірку комп'ютерного коду на наявність будь-яких програмних помилок, візуальне порівняння змодельованих і реальних даних та використання статистичних оцінок і тестів, тощо.

Висновки. Запропонований метод комп'ютерного імітаційного моделювання стохастичних шумових процесів ресурсоспоживання дозволяє врахувати їх циклостационарність та умовну гетероскедастичність.

Список літератури

1. Schmeck H., Monti A., Hagenmeyer V. Energy Informatics: Key Elements for Tomorrow's Energy System. Commun. ACM. New York, NY, USA: Association for Computing Machinery, 2022. Vol. 65, № 4. PP. 58–63.
2. Fryz M., Scherbak L. Properties of discrete-time conditional linear random process in the problems of energy informatics. System Research in Energy. 2023. № 1 (72). PP. 72-79.
3. Фриз М.Є., Михайлович Т.В. Обґрунтування математичної моделі водоспоживання у вигляді умовного лінійного випадкового процесу. Електроніка та системи управління. 2010. № 3(25). С. 137–142.
4. Марченко Б.Г., Мулик Н.В., Фриз М.Є. Обґрунтування математичної моделі газонавантажень. Вісник Тернопільського державного технічного університету ім. І.Пулюя. 2005. Том 10, № 2. С. 138–142.
5. Fryz M. Mixing property and ergodicity of linear random processes. 2009 IEEE International Workshop on Intelligent Data Acquisition and Advanced Computing Systems: Technology and Applications, Rende, Italy, 2009, pp. 343-346.
6. Regis M., Serra P., Edwin R. van den Heuvel. Random autoregressive models: A structured overview. Econometric Reviews. 2022. Vol. 41, Issue 2. PP. 207-230.
7. Fryz M., Mlynko B. Properties of Stationarity and Cyclostationarity of Conditional Linear Random Processes. Proceedings of the 2020 IEEE 15th International Conference on Advanced Trends in Radioelectronics, Telecommunications and Computer Engineering (TCSET). Lviv, Slavske, Ukraine, 2020. - PP. 166–170.
8. Fryz M., Scherbak L., Karpinski M., Mlynko B. Characteristic Function of Conditional Linear Random Process. Proceedings of the 1st International Workshop on Information Technologies: Theoretical and Applied Problems. CEUR Workshop Proceedings. Ternopil, Ukraine, November 16-18, 2021, pp. 129-135.

Секція 2
**ТЕХНОЛОГІЇ ПРОЕКТУВАННЯ
ТА ЕКСПЛУАТАЦІЇ ДАТЧИКІВ, ПРИЛАДІВ ТА СИСТЕМ
ДЛЯ РОБОТОТЕХНІКИ ТА АВТОМАТИЗАЦІЇ**

UDC 663.81:663.03

C. Bazilo, D.Sc., Professor,

Professor at the Department of Instrumentation, Mechatronics, and Computerized Technologies,
Cherkasy State Technological University
e-mail: b_constantine@ukr.net

Yu. Kurylenko,

Senior Lecturer at the Department of Food Technologies,
Cherkasy State Technological University
e-mail: jujulia19@ukr.net

H. Andronovych, Ph.D.,

Associate Professor at the Department of Food Technologies,
Cherkasy State Technological University
e-mail: h.andronovych@chdtu.edu.ua

**ULTRASONIC TECHNOLOGY IN THE PRODUCTION OF FUNCTIONAL
BEVERAGES**

***Abstract.** The study investigates the utilization of ultrasound technologies in the food industry. It includes the determination of optimal technological parameters for enhancing concentrated functional beverages with bioactive substances. The resulting functional beverage, obtained through the proposed method, preserves the bioactive compounds present in the initial components, presenting a promising health-focused product that has the potential to improve public health and strengthen immune functions.*

***Keywords:** ultrasonic technology, food industry, functional beverages, bioactive substances.*

Introduction. With growing consumer demand for natural products, greener extraction techniques are found to be potential alternatives especially for pharmaceutical, nutraceutical, and cosmetic manufacturing industries. Cavitation-based technology has drawn immense attention as a greener extraction method, following its rapid and effective extraction of numerous natural products compared to conventional techniques. The advantages of cavitation-based extraction are to eliminate the application of toxic solvents, reduction of extraction time and to achieve better extraction yield, as well as purity [1].

Food processing plays a crucial role in coping up with the challenges against food security by reducing wastage and preventing spoilage. The ultrasound technology has revolutionized the food processing industry with its wide application in various processes, serving as a sustainable and low-cost alternative. This non-destructive technology offers several advantages such as rapid processes, enhanced process efficiency, elimination of process steps, better quality product and retention of product characteristics (texture, nutrition value, organoleptic properties), improved shelf life [2].

The **aim** of the work is to determine the possibilities of applying ultrasound technologies in the production of functional beverages and to develop a method for manufacturing a functional beverage.

To achieve the set goal, the following tasks need to be addressed:

- explore the specifics of using ultrasound technologies in the food industry.
- develop a method for producing a functional beverage.

Methods and Materials. Sound waves exceeding the audible frequency range i.e. greater than 20 kHz are termed as 'Ultrasound'. When the acoustic waves propagate through a medium,

they generate compressions and rarefaction (decompressions) in the medium particles. This, in turn, produces a high amount of energy, due to turbulence, and increase in mass transfer. The underlying principle is the reflection and scattering of sonic waves analogous to light waves [3]. Ultrasound is an emerging sustainable technology that enhances the rate of several processes in the food processing industry, and their efficiency. It can also be applied in combination with temperature and pressure to produce a synergistic effect, which further enhances its efficacy [2, 4].

Therefore, the use of an ultrasonic system to intensify the process of plant raw material extraction is advisable.

The peculiarity of extracts from medicinal plants lies in the fact that their bioactive substances are present in a specific ratio, which promotes an optimal impact on the human body. Some components of these plant extracts share chemical structural similarities with physiologically active substances in the body, such as hormones, vitamins, enzymes, and more. Therefore, such natural remedies more actively participate in the biochemical processes of the human body when consumed along with juices.

The extraction of plant material with a cellular structure is a complex physicochemical process influenced by various factors such as the nature of the extracting agent, the degree of plant material comminution, process temperature and duration, concentration differences of substances within the system, hydrodynamic conditions, anatomical structure of the plant material, and the raw material-extractant ratio [5].

Experimental sample of the developed ultrasonic system is shown in Fig. 1.



Fig. 1. Experimental sample of an ultrasonic system for extraction

The authors have also developed a method for producing a functional beverage by utilizing natural plant extracts and wild berry juice, aiming to create a beverage with an enhanced content of bioactive substances that contribute to immune system reinforcement and provide stimulating and invigorating effects on the body [6].

The set objective is achieved by additionally enriching the functional beverage with extracts of black chokeberry, melissa, and rosemary, where the extraction of plant raw materials is carried out using the maceration method and purified water as the extracting agent. The plant materials are extracted for 60 minutes at a water temperature of 60°C.

The proposed inclusion of black chokeberry juice and extracts of melissa and rosemary in the composition of the functional beverage contributes to the creation of a beverage with functional preventive and therapeutic properties, as well as an expansion of the product range. In ripe black chokeberries, the content of dry matter is 19.5%. The berries contain 16.75% soluble substances in terms of raw material. This group includes sugars, nitrogenous compounds (protein), mineral substances, organic acids, pectin, and tannins. As plant raw materials, medicinal melissa and rosemary were selected.

The possibility of implementation of the method is confirmed by the given example of a concrete preparation of a functional beverage.

Apple juice and black chokeberry juice are obtained using traditional technology. The method of maceration is employed to extract plant raw material, allowing the retrieval of bioactive substances from rosemary and melissa. Preparation of samples for research requires prior drying and grinding using a mortar, enabling increased contact surface area between raw material particles and the liquid phase during extraction. Purified water is used as the extracting agent, which is safer and more readily available compared to other solvents. This solvent provides the potential for the transfer of components such as compounds (polysaccharides, organic acids, cyclic alcohols, pigments), as well as antioxidants (tanning substances, bioflavonoids, vitamins, and trace elements). Considering the rapid transition of extractive substances into the extract, one of the main influencing factors is the temperature of the extracting agent. Therefore, optimal extraction parameters were chosen, with a water temperature of 60°C and a process duration of 60 minutes. The duration of the extraction process can be reduced by employing ultrasound as an intensification method.

Semi-finished products are mixed according to the recipe and sugar syrup and citric acid are added in the following proportions: apple juice 70%, black chokeberry juice 15%, melissa extract 5%, rosemary extract 5%, sugar 4.5%, citric acid 0.5%.

The proposed use of black chokeberry juice, melissa extract, and rosemary extract contributes to the diversification of the range of finished products through the utilization of unconventional raw materials, while satisfying consumer demand for health-promoting products [6].

Conclusions. The paper examines the features of using ultrasound technologies in the food industry. The study involved selecting optimal technological parameters for enriching concentrated functional beverages with bioactive substances. The functional beverage obtained through the proposed method retains the bioactive compounds from the original components, making it a promising health-oriented product that can contribute to enhancing population health and boosting immune functions.

References

1. Panda D, Manickam S. Cavitation Technology – The Future of Greener Extraction Method: A Review on the Extraction of Natural Products and Process Intensification Mechanism and Perspectives. *Applied Sciences*. 2019; 9(4):766.
2. Nitya Bhargava, Rahul S Mor, Kshitiz Kumar, Vijay Singh Sharanagat, Advances in application of ultrasound in food processing: A review, *Ultrasonics Sonochemistry*, Vol. 70, 2021, 105293.
3. Jambrak A.R. Application of high power ultrasound and microwave in food processing: extraction, *J. Food Process. Technol.* 2012 (2012) 3.
4. Condón-Abanto S., Arroyo C., Álvarez I., Condón S., Lyng J.G. Application of ultrasound in combination with heat and pressure for the inactivation of spore forming bacteria isolated from edible crab, *Int. J. Food Microbiol.* 223 (2016) 9–16.
5. Бондарчук З.В., Куриленко Ю.М., Андронович Г.М. Використання рослинної сировини як комплекс біологічно активних речовин для напоїв функціонального призначення [Use of Plant Raw Materials as a Complex of Biologically Active Substances for Functional Beverages]. *Інновації та технології в сфері послуг і харчування. ЧДТУ: Видавничий дім «Гельветика»*. 2022. №2(6). С. 38-43.
6. Базіло К.В., Куриленко Ю.М., Андронович Г.М. Спосіб виготовлення напою функціонального призначення [Method for Producing a Functional Beverage]. Патент України на корисну модель № 153659, МПК А23L 2/02, А23L 33/00 по заявці № u202204598 від 05.12.2022, опубл. 09.08.2023, бюл. № 32.

Gajdzik Bożena, Dr hab. inż., Professor,
Department of Industrial Informatics, Silesian University of Technology, Poland
e-mail: bozena.gajdzik@polsl.pl, tel. 322371000

Роп'як Л.Я., д.т.н., професор,
професор кафедри комп'ютеризованого машинобудування
Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу
e-mail: L_gorjak@ukr.net, тел. +38 (050) 540-80-07

Шурубайло Д.І.,
аспірант кафедри комп'ютеризованого машинобудування
Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу
e-mail: rolslot2@gmail.com, тел. +38 (099) 379-10-14

ЕЛЕКТРОХІМІЧНІ МЕТОДИ ОЦІНКИ ЕФЕКТИВНОСТІ ПОКРИТТІВ ДЛЯ ЕЛЕМЕНТІВ ПАР ТЕРТЯ

Abstract. *To ensure the tightness of the moving joints of reciprocating friction pairs, it is promising to apply coatings to steel parts. To evaluate the protective effect of coatings on steel, it is proposed to apply electrochemical measurements. Development of laboratory equipment for their implementation. The contribution of mechanical and electrochemical components to the amount of wear is established and measures to increase the wear resistance of coatings by alloying them are proposed.*

Key words: *coating, wear, corrosion, sealing, electrochemical measurements, doping*

Проблема герметичності є актуальною для багатьох машин та механізмів у багатьох галузях промисловості, особливо в нафтогазовій. З розвитком мехатроніки, де гідравліка і пневматика займають провідні позиції, роль і значення надійності ущільнень для рухомих з'єднань зворотньо-поступальних пар тертя невідносно зростають.

Одним з ефективних способів підвищення надійності роботи машин і механізмів є застосування під час їх виготовлення зміцнювальних технологій, зокрема нанесення на робочі поверхні деталей захисних покриттів. Ріст складності конструкторських рішень із забезпечення експлуатаційних властивостей виробів робить особливо актуальним раціональне застосування багатофункціональних покриттів, які можуть працювати в різних умовах навантажень в абразивних і корозійних середовищах.

Під час проведення трибологічних випробовувань покриттів в основному визначають величину зносу (лінійний/ваговий), коефіцієнт тертя, силу тертя/момент тертя тощо, але при цьому не враховують внесок корозійних процесів на зношування. Тому для оцінки ефективності захисної дії покриттів в парах тертя досить перспективним є застосування електрохімічних методів вимірювань. У літературі практично відсутні відомості про результати таких досліджень під час тертя.

Мета дослідження – оцінка захисної дії покриттів на сталі в абразивних та корозивних середовищах для елементів зворотньо-поступальних пар тертя із застосуванням електрохімічних вимірювань і розроблення обладнання для їх проведення.

Для досягнення поставленої мети вивчили вплив умов зношування на електрохімічну поведінку покриттів і розробили обладнання для проведення електрохімічних вимірювань під час випробовування ущільнень зворотньо-поступальних пар тертя.

Об'єкт дослідження – ущільнення для зворотньо-поступальних пар тертя на сталеві деталі яких нанесені покриття.

Предмет дослідження – закономірності зношування деталей з покриттями із урахуванням механічної та електрохімічної складових зношування в абразивних і

корозивних середовищах за різних кінематичних, силових та температурних параметрів експлуатації.

Розроблене лабораторне обладнання дозволяє проведення електрохімічних вимірювань під час випробовування ущільнень зворотньо-поступових пар і забезпечує неперервну реєстрацію електродного потенціалу деталі та водневого показника середовища в зоні тертя, а також зняття поляризаційних кривих.

Вперше встановлено внесок механічної та електрохімічної складових на величину зношування покриттів за різних концентрацій абразиву та водневого показника електроліту, і на цій основі запропоновано заходи щодо підвищення зносостійкості покриттів шляхом їх легування для підвищення пасивуючої здатності.

Eugene Ovdiyuk, graduate student,
assistant of the Dep. 301,
National Aerospace University “Kharkiv Aviation Institute”
e-mail: ovdiyuk@gmail.com, тел. +38 (097) 580-56-56
Valery Barsov, Doctor of Technical Science, Professor,
professor of the Dep. 301,
National Aerospace University “Kharkiv Aviation Institute”
e-mail: v.i.barsov@gmail.com, тел. +38 (050) 343-81-35

ANALYSIS OF METHODS FOR DETERMINING AIR FLOW VELOCITY

Abstract. *Results of a comparative analysis of methods for determining air flow velocity using various physical principles. The purpose is to analyze the results of determining the speed of the air flow by the considered methods.*

Key words: *aircraft, air flow rate, air speed, anemometer, Pitot tube.*

Based on conclusions from commissions created to investigate the causes of air crashes, one of the reasons for the pilot's erroneous decisions was the receipt of false results of measuring the air speed, which were related to the structural defects of Pitot tube, caused by the influence of the environment [1].

There are a number of methods for measuring the speed of air flow implemented by direct or indirect methods: mechanical, pressure drop, thermoelectric, ultrasonic, laser and vortex. Inductive (electromagnetic) flow meters. Float and Coriolis flow meters are not considered because air does not have the necessary properties for measurement physical characteristics.

To analyze the mechanical method abilities, a vane anemometer Davis Vane Anemometer [2] was chosen as a device for research. The anemometer gives significant deviations from the true wind speed at speeds below 3 m/s. After individual calibration of the device, results can be obtained with an error of less than 10% in the range of 7-40 m/s. It exists a more precise anemometers that allow measuring within $\pm 1\%$ deviation in the range of values 3-25 m/s.

An extended analysis of the test results of the Vostas Cup sample was performed. The tested sample showed that the average calibration error for the range of test speeds 4-26 m/s is 1.2% [3]. The analysis of the mechanical method showed that it is absolutely unsuitable on board of modern aircraft based on its capabilities and structural design.

Analysis of the accuracy of measurement method based on pressure drop measuring, using results of measurements from Pitot tube, was performed in horizontal flight modes and according to the average data of six flights results.

Data were taken from three Pitot tubes as part of KBO-17- 1 complex installed on helicopter MI-171A2. In the range from 30-75 m/s, the tests showed that deviations do not exceed $\pm 5\%$. With further speed increase, deviation also increases far from the true value of wind speed. At low speeds, below 25 m/s, accuracy decreases, and deviations exponentially increase from the true value.

But continuing of using Pito tube further, considering the reliability of this device, can cause a danger situation during flight in adverse external conditions [1, 5]. Also, researched devices, designed based on such methods, are quite bulky and require additional attention during operation and maintenance, that makes hardly to use them on board small aircrafts.

The results of measurements of several samples were used for the analysis of the thermoelectric method. In the first experiment, three different versions of thermoelectric “hot wire” anemometers made of tungsten wire with a platinum coating, measuring 1.2 mm in length and 5 μm in diameter, were used. The experiments were performed at various average velocities ranging from 0.05 to 0.30 m/s [6].

In the second experiment, a Constant Temperature Anemometer (CTA) DANTEC with a thermopile probe manufactured by Thermo-Systems Inc. was used [7]. Based on the analysis of the measurement results, it can be concluded that this type anemometers assembled in laboratory conditions have low accuracy and require additional calibration and corrections within ambient environment parameters. Industrial sensors (MAF), commonly used in automotive closed systems, able to measure air velocity in 0.1-30 m/s speed range with an accuracy of $\pm 3\%$ [8]. The fragility of device, tuning and calibration challenging causes doubts about the thermoelectric method applicability to measure aircraft air velocity at high speed ranges.

To analyze the realistic capabilities of ultrasonic measurement devices, experiments were performed in several metrology laboratories in different countries. The following organizations took part in the testing process: PTB (Germany), LNE-CETIAT (France), VSL (Netherlands), E+E (Austria), NMIJ/AIST (Japan), NIM (China), CMS/ITRI (China, Taipei), NIST (USA), and INRIM (Italy).

The ultrasonic anemometer was manufactured by SONIC CORPORATION and the probe has three pairs of ultrasonic transducers, measuring three-dimensional velocity vectors [9]. Devices based on this method have more accurate characteristics, its deviations from the true value does not exceed $\pm 2\%$ across the entire measurement range of 0-40 m/s.

In comparison to previous measurement methods, a significant advantage is the acceptable accuracy at a wind speed close to zero. It can be assumed that ultrasonic method may be suitable for medium and high speeds ranges of aircraft. The advantage of using this method is that it has no structures which effects on air flow and thus no ice formation on the device's surfaces.

The results of next tests were taken from the same nine different laboratories as in the previous tests of ultrasonic anemometer. The researched Laser Doppler Anemometry (LDA) system was manufactured by ILA GmbH.

The measurements were performed in a speed range of 0.5-40 m/s [9]. The Laser Doppler Anemometer demonstrated the best performance with minimal results discrepancies. The error was $\pm 1\%$. Unlike other methods, the main advantage of the laser method is its very high accuracy. However, a disadvantage of laser-based sensor is the inability to use it in a transparent environment because the beam is not scattered by the flow. So, it makes the method not applicable for aircraft board to measure air speed.

The analysis of the vortex measurement method showed that the Karman vortex street is formed when transitioning from laminar to turbulent flow in a limited velocity range, which depends on the size of the flow body. Thus, this method has a narrow measurement range of 1:10 for a constant body geometry [10].

Expanding the measurement range is potentially possible by using multiple sensors setup. However, it is important to note that the flow body of the sensor on aircraft surface will be at risk of icing, which can lead to failures.

Therefore, the search for an optimal method that allows improving air flow velocity reliability measurement remains an important goal, required further research in this direction.

References

1. Newman, Richard. 2020. "Pitot-Static Blockages." Aviation Safety Magazine, (October). <https://www.aviationsafetymagazine.com/avionics/pitot-static-blockages/>.
2. Purtell, L. P. 1978. "Low Velocity Performance of a High Speed Vane Anemometer," Task Report. Washington, D.C.: National Bureau of Standards. <https://www.govinfo.gov/content/pkg/GOVPUB-C13-dfe6dad52fca55485c08418960c4d4d2/pdf/GOVPUB-C13-dfe6dad52fca55485c08418960c4d4d2.pdf>.
3. Coquilla, Rachael C., John Obermeier, and Bruce R. White. 2007. "Calibration Procedures and Uncertainty in Wind Power Anemometers." www.multi-science.co.uk.

https://www.researchgate.net/publication/229043614_Calibration_Procedures_and_Uncertainty_in_Wind_Power_Anemometers.

4. Sorokin, Mikhail Y. 2017. Development and research of air pressure receivers for helicopter avionics systems. pp.133-134: ULSTU. <http://asudiss.ulstu.ru/wp-content/uploads/212/Diser28.pdf>.

5. Simon, Jeff. 2019. "AIRCRAFT MAINTENANCE: PITOT-STATIC SYSTEM FAILURES." AOPA. <https://www.aopa.org/news-and-media/all-news/2019/april/10/pitot-static-system-failures>.

6. Melikov, Arsen K., Zbigniew Popiolek, and Finn E. Jørgensen. 1997. "Impact of Natural Convection on the Accuracy of Low-Velocity Measurements by Thermal Anemometers with Omnidirectional Sensor." AIVC. https://www.aivc.org/sites/default/files/airbase_11069.pdf.

7. Simpson, Roger L. n.d. "HOT-WIRE AND HOT-FILM ANEMOMETRY." AOE Dept., Virginia Tech. Accessed July 3, 2023. <https://archive.aoe.vt.edu/simpson/aoe4154/hotwirelab.pdf>.

8. TES Electrical Electronic Corp. n.d. "Hot-Wire Anemometer TES-1340." Product Detail. Accessed June 13, 2023. https://www.tes.com.tw/en/product_detail.asp?seq=309.

9. Müller, Harald, and Isabelle Caré. 2017. "Final Report on CCM.FF-K3.2011," CIPM Key Comparison of Air Speed, 0.5 m/s to 40 m/s. https://ila-rnd.com/wp-content/uploads/2019/05/Lit_CCM.FF-K3.2011.pdf.

10. Silver Automation Instruments. 2023. "Advantages and disadvantages of vortex flowmeter - SILVER AUTOMATION INSTRUMENTS LTD." Technical Reference. <https://www.silverinstruments.com/blog/advantages-and-disadvantages-of-vortex-flowmeter.html>.

Pashechko Mykhaylo Doctor of Technical Sciences, Professor,
Wydział Podstaw Techniki
Politechnika Lubelska, Poland

e-mail: mpashechko@hotmail.com, тел. +38 (097) 143-39-25

Гриджук Я.С., д.т.н., доцент,
професор кафедри технічної механіки
Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу
jaroslav.gridzhuk@gmail.com, +38 (067) 936-81-70

Михайлів А.Б.,
аспірант кафедри нафтогазових машин та обладнання
Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу
no@nung.edu.ua, +38 (097) 859-04-09

Кондур Т.І.,
аспірант кафедри нафтогазових машин та обладнання
Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу
tkondur@gmail.com, +38 (050) 739-65-41

АльТанакчі Ахмед,
аспірант кафедри буріння свердловин
Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу
drill@nung.edu.ua, +38 (063) 647-92-39

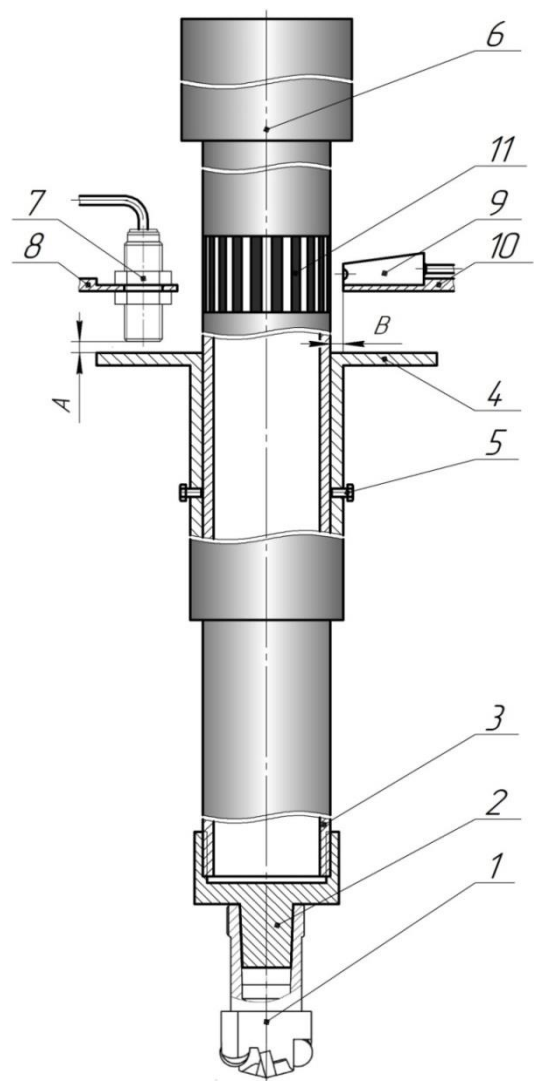
ДЕЯКІ ОСОБЛИВОСТІ ЗАСТОСУВАННЯ ДАВАЧІВ ДЛЯ ВИМІРЮВАННЯ ПАРАМЕТРІВ КОЛИВАНЬ НАФТОГАЗОВОГО ОБЛАДНАННЯ

***Abstract.** The question of the features of the selection and installation of inductive sensors for measuring the parameters of longitudinal and torsional vibrations of the drilling tool in experimental conditions is considered. Their rational use as part of hardware complexes will make it possible to obtain an extensive system with high characteristics for digital analysis of vibrations in arbitrary sections of a drilling tool in real time.*

***Key words:** drill string, sensor, measurement, vibration movement, oscillations*

Ефективне використання апаратного програмного комплексу для вимірювання й аналізу коливань бурильного інструменту можливе за наявності нарощуваної системи з високими характеристиками і можливістю використання цифрових методів для аналізу вібросигналів. Важливими для такого комплексу також є багатоканальність з можливістю з'єднання в єдину моніторингову мережу, робота в режимі реального часу, широкий частотний діапазон, локалізація подій методом тимчасової локації, автоматизація спостереження за контрольованими елементами механічного обладнання, ведення історії вимірювання [1, 2]. Для ефективного розв'язку поставлених задач вібродіагностики на сучасному технічному рівні використовуються апаратні засоби, які мають різну структуру і включають різноманітні функціональні модулі [3, 4]. В залежності від потрібних термінів отримання результатів, обсягів та складності обчислювальних робіт і реалізації алгоритмів, а також інтенсивності інформаційних потоків, що поступають на обробку, комплекс засобів для збору та обробки даних може базуватися на одному або декількох комп'ютерах з розподілом їх функцій за етапами обробки [5, 6]. Для сучасних систем обробки, які базуються на потужних комп'ютерах, найбільш раціональним режимом застосування є режим розподілу за часом, який дає можливість обробляти одночасно кілька "багатоточкових" експериментів при використанні оперативної пам'яті, достатньої для проміжного накопичення, обробки та зберігання даних.

Основними кінематичними параметрами, що вимірюються в процесі експериментальних досліджень коливань бурильного інструменту є його осьове вібропереміщення та частота обертання. Діапазони зміни цих параметрів для поздовжніх коливань становлять: частота $5 \div 500$ Гц, амплітуда $1 \div 10$ мм; для крутильних коливань: частота обертання $60 \div 600$ об/хв., амплітуда $\pm 2 \div 10$ рад/с. Проте під час вибору давачів, крім вказаних числових значень параметрів, слід враховувати низку зовнішніх факторів, умов експлуатації та принципів, оговорених в [4, 5, 6]. Тому для безконтактного вимірювання вібропереміщення можна обрати індуктивний давач типу ISB A4B-43N-5-L, який вимірює відстань від фотодіода до поверхні вимірювальної платформи, а для вимірювання частоти обертання – давач, який вимірює частоту відбивання променів від світловідбивної смуги, наклеєної на поверхню бурильної труби (рис. 1). Індуктивний давач вібропереміщення типу ISB A4B-43N-5-L володіє високою надійністю в широкому діапазоні дії зовнішніх факторів та високою стабільністю нормалізованого коефіцієнта перетворення при дії зовнішніх факторів. Невеликий герметичний корпус виготовлений з нержавіючої сталі забезпечує високу міцність давача. Кріпильний елемент, що нагвинчується на різбову частину давача, забезпечує його надійне кріплення поблизу об'єкта дослідження. Передача імпульсів від давача до блоку попередньої обробки сигналу відбувається по спеціальному трьохжильному антивібраційному кабелі, регулюючи довжину та точки кріплення якого можна вимірювати вібрацію з різною тривалістю та частотою.



- 1 – долото; 2 – конус Морзе; 3 – бурова труба;
 4 – вимірювальна платформа;
 5 – болт для фіксації платформи;
 6 – переводник;
 7, 9 – давач переміщення та частоти обертання відповідно;
 8, 10 – кронштейни кріплення давачів;
 11 – світловідбивна смуга;
 А, В – монтажні зазори

Рисунок – Схема розташування давачів для вимірювання параметрів поздовжніх та крутильних коливань бурильного інструменту

Для вимірювання частоти обертання бурильного інструменту можна реалізувати безконтактний метод. Він базується на реєстрації змін інформаційного сигналу відбивання світлових променів від поверхні бурильної труби, швидкість обертання якої визначають. В процесі вимірювання контрольована поверхня бурильної труби направлено освітлюється джерелом інфрачервоного оптичного випромінювання, а сигнали отримані в результаті відбиття світла реєструються та перетворюються в електричний сигнал за допомогою інфрачервоного фотодіода. Відбивна смуга, прикріплена на зовнішній поверхні труби, забезпечує необхідні для реєстрації зміни кількості відбитого світла під час їх обертання.

Таким чином, реалізація вимірювань параметрів поздовжнього та обертового руху поверхні бурильної труби з використанням вказаних датчиків дозволяє забезпечити низький рівень перешкод і зводить до мінімуму вплив на результати вимірювань інших джерел світла. Основними перевагами при цьому є: відображення значення частоти обертання на LCD-дисплеї пристрою та на моніторі комп'ютера (передача даних з вимірювального пристрою в персональний комп'ютер через USB-інтерфейс); широкий діапазон вимірюваних частот; роздільна здатність 1 оберт/хвилина; можливість калібрування вимірювального каналу пристрою для забезпечення достовірності вимірювань для різних розмірів об'єкту обертання; можливість зміни параметрів дільника за різних умов вимірювань; можливість програмної реалізації різних режимів усереднення результатів вимірювань.

Список літератури

1. Б. Д. Борисевич, В. М. Мойсишин, Р. Б. Щербій, Б.В. Долішній. Буровий стенд для дослідження процесу руйнування гірських порід і динаміки бурильного інструменту. Розвідка та розробка нафтових і газових родовищ. 2009. № 3(32). С. 23-29.
2. I. Chudyk, P. Raiter, Ya. Grydzhuk, L. Yurych. Mathematical model of oscillations of a drill tool with a drill bit of cutting-scraping type. *Naukovi Visnyk Natsionalnoho Hirnychoho Universytetu*, 2020, № 1, P. 52-57.
3. В. І. Артım, П. М. Райтер, О. М. Мандрик, В. Р. Осадца. Удосконалення засобів тензометрування для підвищення безпеки експлуатації відповідального великогабаритного обладнання. *Нафтогазова енергетика*. 2012. № 2 (18). С. 37-45.
4. К. А. Bashmur, E. A. Petrovsky, V. V. Bogachev, E. V. Tsygankova, V. S. Tynchenko, V. V. Bukhtoyarov. Method of measuring vibratory condition of a drill string. *International Conference "Complex equipment of quality control laboratories"*. *Journal of Physics: Conference Series*. 1384 (2019), P. 49-60. 012005. IOP Publishing doi:10.1088/1742-6596/1384/1/012005.
5. P. McCluskey, R. R. Grybowski, L. Condra, D. Das, J. Fink, J. Jordan, Torri T. *Proceedings of the High-Temperature Electronic Materials. Devices and Sensors Conference*. 1998. P. 199-206.
6. G. Dong, P. Chen. A Review of the Evaluation, Control, and Application Technologies for Drill String Vibrations and Shocks in Oil and Gas Well. *Shock and Vibration*. 2016. Vol. 2016(1), P. 92-96. Article ID 7418635. <http://dx.doi.org/10.1155/2016/7418635>.

Wójcicka-Migasiuk Dorota, Dr hab. inż., Professor,
Wydział Podstaw Techniki
Politechnika Lubelska, Poland

e-mail: d.wojcicka-migasiuk@pollub.pl, tel. + (81) 538 44 89 lub 538 46 74

Hotra Aleksandra, Dr hab. inż., Professor,
Katedra Elektroniki i Technik Informatycznych
Politechnika Lubelska, Poland

e-mail: keiti@pollub.pl, tel. (+48) (+81) 53 84 309

Стрілецький Ю.Й., д.т.н., професор,
професор кафедри інформаційно-телекомунікаційних технологій та систем
Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу
e-mail: momental@ukr.net, тел. +38 (099) 200-77-40

Роп'як Л.Я., д.т.н., професор,
професор кафедри комп'ютеризованого машинобудування
Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу
e-mail: L_ropyak@ukr.net, тел. +38 (050) 540-80-07

Шовкопляс М.В.,
аспірант кафедри комп'ютеризованого машинобудування
Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу
e-mail: maks.shovkoplias@gmail.com, тел.+38 (067) 165-23-24

МЕТОД КОНТРОЛЮ РІВНОМІРНОСТІ НАНЕСЕННЯ ГАЛЬВАНІЧНОГО ПОКРИТТЯ НА ВНУТРІШНЮ ПОВЕРХНЮ МЕТАЛЕВОЇ ДОВГОЇ ТРУБИ

Abstract. *The method for investigating the uniformity of electrochemical coating on the inner wall of a thin metal tube is proposed based on the determination of the parameters of the tube's own oscillations, clamped on one side. Non-uniform coating of the tube wall leads to change in the frequencies of transverse modes and the shape of the tube axis bending line. Excitation of the tube's own oscillations is achieved by the interaction of an external magnetic field with Ampere's force generated by the flow of alternating current through the tube. An adaptive step-by-step adjustment method of spectral components of the exciting current has been developed through the modification of digital filter coefficients, based on the analysis of the signal spectrum obtained in response to excitation in the previous step.*

Key words: *electroplating, non-destructive coating inspection, own oscillation frequencies, excitation of mechanical waves, adaptive adjustment of digital filter coefficients*

Гальванічні покриття широко використовуються в техніці та дозволяють значно покращити фізико-механічні властивості поверхні деталі. Їх наявність запобігає контакту металевої поверхні з компонентами агресивних середовищ або хімічними речовинами та забезпечує захист від корозії. Вони допомагають попередити корозію та забезпечити довговічність деталі. Також гальванічні покриття можуть підвищити міцність поверхні деталі, роблячи її менш вразливою до подряпин і зношування. Деякі гальванічні покриття, такі як хромові або нікелеві, можуть покращити фрикційні властивості поверхні, що зменшить коефіцієнт тертя між деталями у вузлах тертя, які контактують одна з одною та запобігають абразивному зношуванню. Загалом, гальванічні покриття відіграють важливу роль у покращенні властивостей поверхонь деталей, роблячи їх більш стійкими, міцними та функціональними.

Контроль товщини покриттів на зовнішніх поверхнях деталей здійснюють різного типу товщиномірами [1, 2]. Завдання контролю товщини та рівномірності шару гальванічного покриття на внутрішній поверхні тонкої довгої труби може бути надзвичайно складним. Це стосується переважно обмеженого доступу до внутрішньої поверхні та

особливостей процесу гальванічного осадження покриттів у важкодоступних місцях. Під час нанесення покриття можливі ділянки із відсутнім чи нерівномірним за товщиною шаром покриття, що робить контроль якості покриття ще більш важливим завданням. Традиційні методи контролю якості покриттів не забезпечують надійний та ефективний контроль гальванічного покриття в таких умовах, тому виникає потреба в розробленні спеціалізованих методів контролю та технологічних рішень.

Нами розроблено метод дослідження рівномірності нанесення гальванічного покриття на внутрішню стінку тонкої довгої металеві труби за результатом визначення параметрів власних поперечних коливань цієї труби, нерухомо защемленої з однієї сторони [3].

Дослідження параметрів здійснюється за аналізом частот власних коливань труби. Нерівномірне покриття внутрішньої стінки труби призводить до нерівномірного розподілу ваги за довжиною труби та спричиняє зміну частоти поперечних мод і форму лінії згину осі цієї труби.

Через малу товщину шару гальванічного покриття на внутрішній поверхні труби зміна частот вільних коливань труби є незначною. Для досягнення заданої роздільної здатності результату дослідження потрібне збільшення тривалості оцінки цих частот. Збільшення тривалості оцінки власних коливань труби досягається підтриманням вільних механічних коливань у поперечному напрямку до поздовжньої осі труби за допомогою системи автозбудження. Частото задаючим елементом такої системи є досліджувана труба, яка здійснює механічні коливання під впливом електричного сигналу. Збудження механічних коливань труби здійснюється внаслідок взаємодії зовнішнього магнітного поля із силою Ампера, що виникає під час протікання по трубі електричного струму.

Розроблено метод адаптивного налаштування спектральних складових збуджуючого струму, шляхом модифікації коефіцієнтів цифрового фільтра через який проходить сигнал пропорційний до величини механічних коливань труби. Коефіцієнти цифрового фільтра змінюються на основі аналізу спектру сигналу, отриманого у відповідь на сигнал збудження. Збудження коливань відбувається змішуванням шумоподібного сигналу та сигналу отриманого у відповідь на збудження в попередньому кроці після усереднення ковзним «вікном», коефіцієнти якого отримано із резонансної характеристики узагальненої механічної коливальної системи. Запропонований метод дозволяє збуджувати в тонкій довгій металевій трубці поперечні коливання, частота яких залежна від товщини і суцільності гальванічного покриття на поверхні внутрішньої стінки цієї труби.

Список літератури

1. Jones, A., Uggalla, L., Li, K., Fan, Y., Willow, A., Mills, C.A., Copner, N. Continuous In-Line Chromium Coating Thickness Measurement Methodologies: An Investigation of Current and Potential Technology. *Sensors* 2021, 21, 3340. <https://doi.org/10.3390/s21103340>
2. Meng, X., Lu, M., Yin, W., Bennecer, A., Kirk, K.J. Evaluation of Coating Thickness Using Lift-Off Insensitivity of Eddy Current Sensor. *Sensors* 2021, 21, 419. <https://doi.org/10.3390/s21020419>
3. Striletskyi, Y.Y., Melnychuk, S.I., Gryga, V.M., Pashkevych, O.P. Using broadband signals for structural change detection in metal details [Використання широкосмугових сигналів для виявлення структурних змін металевих деталей]. *Naukovyi Visnyk Natsionalnoho Hirnychoho Universytetu* 2020, 2020 (3), P. 19-26. <https://doi.org/10.33271/nvngu/2020-3/019>

Бандура А.І., д.фіз.-мат.н., професор,
професор кафедри вищої математики
Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу
e-mail: andriukoranytsia@gmail.com, тел. +38 (066) 361-90-48

Роп'як Л.Я., д.т.н., професор,
професор кафедри комп'ютеризованого машинобудування
Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу
e-mail: L_ropjak@ukr.net, тел. +38 (050) 540-80-07

Присяжнюк Ю.Я.,
аспірантка кафедри комп'ютеризованого машинобудування
Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу
e-mail: yuliia.prysiazhniuk@gmail.com, тел. +38 (050) 434-76-82

УДОСКОНАЛЕННЯ КОНСТРУКЦІЇ МІКРОЕЛЕКТРОДА ДЛЯ ЕЛЕКТРОХІМІЧНИХ ВИМІРЮВАНЬ

Abstract. *Microelectrodes are used for corrosion studies of metals, coatings and for bioelectrochemical studies of cells. An important characteristic of a microelectrode is its electrical resistance. To reduce the electrical resistance of the glass microelectrode, it is proposed to sharpen its conical part at an angle. An analytical calculation of the electrical resistance of the cut microelectrode was carried out.*

Key words: *glass microelectrode, electrolyte, electrical resistance, electrode potential, hydrogen pH indicator*

Мікроелектроди широко використовуються в складі мікроприладів для проведення досліджень процесів корозії на структурних складових металів і покриттів, кінетики розвитку корозійних мікротріщин, а також під час біоелектрохімічних дослідження клітини. Скляні мікроелектроди виготовляють із трубок з спеціального боросилікатного скла марки Ругех шляхом локального нагрівання посередині трубки та подальшим динамічним розтягуванням і розривом. Після цього проводять вимірювання їх геометричних розмірів, алмазне заточування та заповнення електролітом. Далі заповнений мікрокапіляр вставляють в державку із хлорсрібним електродом порівняння і герметизують. Оскільки електричний опір мікроелектродів істотно впливає на точність виконання електрохімічних вимірювань, тому до вхідного опору вимірювальної апаратури пред'являються підвищенні вимоги.

Мета дослідження – аналітична оцінка електричного опору скляного мікроелектрода заповненого електролітом та удосконалення його конструкції.

Для досягнення поставленої мети розглядається задача про електричний опір мікроелектрода з робочою частиною у вигляді похилого зрізаного конуса. Для розрахунку електричного опору використали методи чисельного інтегрування. Знайдено аналітичний вираз для повного електричного опору скляного мікроелектрода як суми дробово-раціональної функції та двох інтегралів. Як функція, так й інтеграли залежать від геометричних параметрів мікроелектрода: радіуса основи меншого конуса, висоти, кута нахилу січної площини до основи меншого конуса та кута між твірною конуса та вертикальною віссю. Досліджено задачу мінімізації цих сум інтегралів за кутом нахилу січної площини для конкретних значень решти параметрів мікроелектрода. Два з цих інтегралів виявилися невласними інтегралами другого роду, які не можна взяти в скінченних квадратах.

Наведено результати розрахунку електричного опору мікроелектродів різної конструктивної конфігурації. Виявлено явище різкого зменшення електричного опору мікроелектрода, коли зріз його робочої конічної частини виконано похилою площиною. Результати досліджень послужили основою для вдосконалення конструкції скляного мікроелектрода.

Биков В.М., д.т.н., с.н.с.,

професор кафедри

Харківський національний університет імені В.Н. Каразіна

e-mail: bykov@karazin.ua, тел. +38 (097) 337-93-93

Кожушко Я.М., к.т.н., ст. досл.,

п.н.с. – провідний інженер-випробувач

Державний науково-дослідний інститут випробувань і сертифікації озброєння та
військової техніки

Грічанюк О.М., к.т.н.

старший науковий співробітник НДВ НЦ ПС

Харківський національний університет Повітряних Сил ім. І. Кожедуба

Радзиховський В.М., к.ф.-м.н.

провідний науковий співробітник

Державний науково-випробувальний центр “Айсберг”, м. Київ

Спірін Д.А.

н.с. – інженер-випробувач

Державний науково-дослідний інститут випробувань і сертифікації озброєння та
військової техніки

ВИКОРИСТАННЯ РАДІОМЕТРИЧНИХ ДАТЧИКІВ У КОРЕЛЯЦІЙНО- ЕКСТРЕМАЛЬНИХ СИСТЕМАХ НАВІГАЦІЇ

Abstract. *The possibility of forming and processing radiometric images on high-speed aircraft using multi-channel matrix radiometric systems is considered. The possibility of creating radiometric systems in the millimeter range that meet the requirements of accuracy, high probability of sighting, and identification of ground objects is shown. The advantages of passive and passive-active radiometric systems are indicated, in particular their stealth and immunity to interference. The requirements for antenna systems and the complexity of creating matrix antennas are presented. The principles of matrix radiometric sensors and their components, including antennas and receivers, are described.*

Key words: *correlation-extreme system, estimation, navigation, radiometric image, radiometric sensor.*

Формування і обробка радіометричних зображень (РМЗ) на борту високошвидкісних літальних апаратів (ЛА) можливе завдяки застосуванню багатоканальних, так званих, матричних радіометричних (МРМ) КЕСН. Перерахованим вимогам у тому мірою відповідають пасивні чи пасивно-активні радіометричні (РМ) системи міліметрового діапазону (ММД). Створення РМ систем за принципом кореляційно-екстремальної навігації дозволяє забезпечити необхідну точність місцевизначення та високу ймовірність візування, виявлення та ідентифікації наземних об'єктів, а матрична побудова РМ КЕСН дозволяє забезпечити необхідну високу швидкість, при цьому реалізується максимальна флюктуаційна чутливість окремих парціальних РМ приймачів, що входять до складу матричного РМ датчика; знижується ймовірність виходу візованого об'єкта із зони видимості системи при еволюціях ЛА по куту тангажу та крену. Створення пасивних, пасивно-активних МРМ КЕСН забезпечує високу скритність та перешкодозахисність функціонування КЕСН. Застосування пасивно-активних систем підвищує дальність функціонування КЕСН. Створення КЕСН в ММД забезпечує всепогодність функціонування, апаратурну надійність, мінімальні габаритно-масові та вартісні характеристики.

Отримання плоских двовимірних зображень об'єктів на борту високошвидкісного ЛА можливе завдяки застосуванню скануючих, або багатопроменевих апертурних антенних систем (лінзових або параболічних антен). Створення багатопроменевих, зокрема матричних, антен, з зазначених вище причин, є більш привабливим. Складність створення матричних антен пов'язана з труднощами технічного і технологічного характеру, які обумовлені необхідністю компоновання великої кількості опромінювачів у фокусі антени за умови збереження необхідних електричних характеристик антени. До антенного пристрою РМ КЕСН пред'являються такі вимоги:

- максимально можливий коефіцієнт спрямованої дії (КСД) та коефіцієнт використання розкриття антени;
- голчаста парціальна діаграма спрямованості антени (ДСА);
- мінімальний рівень бічних пелюсток ДСА;
- високий коефіцієнт корисної дії антенно-фідерного тракту;
- можливість формування багатопроменевої (лінійної або матричного типу) групової ДСА;
- невеликі габарити та маса.

Вибір оптимального значення коефіцієнту перекриття парціальних ДСА є визначальним при формуванні групової ДСА для оцінки рівня бічних пелюсток ДСА, коефіцієнта спрямованої дії антени, амплітудних, фазових та інших викривлень ДСА.

Принципи побудови матричних радіометричних датчиків складаються наступному:

- Матричний радіометричний датчик (РМД) являє собою багатоканальну (матричну) систему, кожен канал якої забезпечує вимірювання протягом заданого часу спостереження радіояскравісної температури, що здається, візованої поверхні в межах одного дозволеного елемента поверхні.

- Сукупність каналів РМД паралельно чи послідовно у часі формує кадр (зображення).

- МРМ включає два принципово необхідні елементи: – багатопроменеву антену (підсистему просторово-часової обробки сигналу), що забезпечує огляд і просторову селекцію поля радіотеплового випромінювання, та його перетворення на безпосередньо вимірювану величину – антенну температуру;

- матричний радіометричний приймач (підсистему первинної обробки сигналу), що дозволяє системі вимірювати антенну температуру з необхідною чутливістю і точністю;

- радіометричний датчик доповнюється підсистемою вторинної обробки сигналів
- спеціалізованим обчислювачем, що здійснює формування та обробку зображень.

Охарактеризуємо основний елемент матричного РМД ММД, який може бути основою для кореляційно-екстремальних систем навігації високошвидкісних літальних апаратів.

Функціональна схема радіометричного приймача прямого підсилення 8-міліметрового діапазону розробки ВАТ НВП «Сатурн», м. Київ, представлена на рис. 1, основні характеристики наведено у табл. 1.

Таблиця 1 - Характеристики радіометричного приймача прямого посилення 8мм діапазону

Коефіцієнт посилення, дБ	>60
Смуга пропуску, ГГц	≈25-35
Коефіцієнт шуму, дБ	>2
Флуктуаційна чутливість, К/с	≈0,03
Габаритні розміри, ммЗ	≈65x26x15

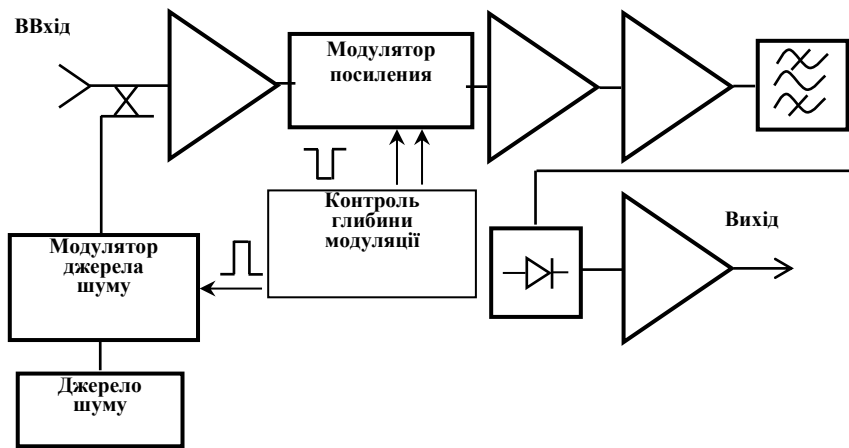


Рис. 1. Функціональна схема РМ приймача прямого посилення ММД

Як підсилювач високої частоти на використовується 3-каскадний підсилювач на польових транзисторах. Модулятор посилення та підсилювачі на виконані на монолітних мікросхемах ММІС. Перед квадратичним детектором стоїть семикаскадний фільтр. Підсилювач низької частоти на виході квадратичного детектора, виконаний на інтегральній мікросхемі ІС.

На рис. 2 показаний зовнішній вигляд РМ приймача прямого посилення 3мм діапазону, розроблення ДНІЦ «Айсберг», м. Київ.



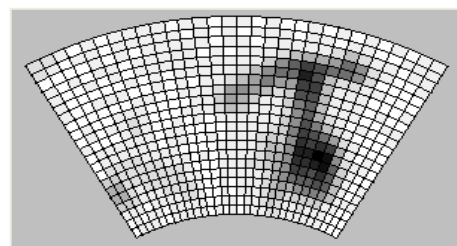
Рис. 2. Зовнішній вигляд РМ приймача прямого посилення 3мм діапазону

За допомогою розробленого у Харківському національному університеті імені В.Н. Каразіна радіометричного вимірювального комплексу отримані радіометричні зображення (РМЗ) наземних об'єктів в інфрачервоному та ММД електромагнітних хвиль.

На рис.3 наведено зображення штучного об'єкта, складеного з металокопункції (труби, обрізки металу). Фоном є трав'яний покрив. Висота візування складає приблизно 15 метрів. На радіометричному зображенні добре видно геометричні складові штучного об'єкта та особливості його форми.



а)



б)

Рис.3. Штучний об'єкт, споруджений із металокопункції

На Рис.4 наведено фото та РМІ тенісного корту:

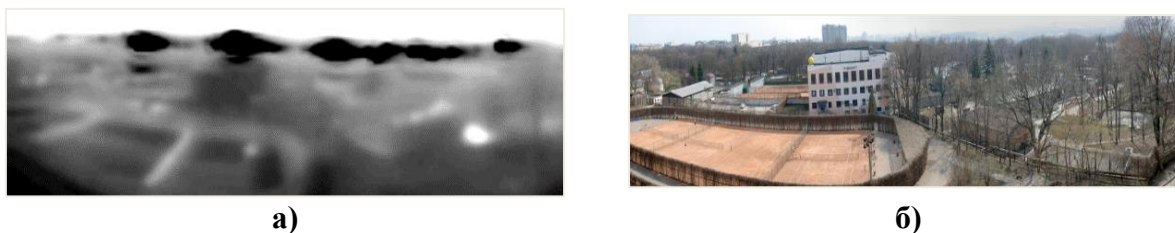


Рис.4. Фото та РМЗ тенісного корту

Знімок зроблено навесні. Праворуч від корту видно будівлі. На корті видно металеві огорожі і сітка, що огороджує корт. Також помітна будівля, що знаходиться за кортом. У правій частині корту помітний освітлювальний ліхтар.

На Рис.5 наведено фото та РМЗ (у 8-мм діапазоні) стоянки легкових автомобілів.



Рис.5. Фото та РМЗ стоянки легкових автомобілів.

Практика показує, що формування двовимірних РМЗ за малий час експозиції (частки секунди) можливе як завдяки застосуванню матриці РМ інформаційних датчиків, так і за рахунок застосування багатоканальних РМД на основі ущільнення каналів.

На зображеннях, що отримані за допомогою експериментального макету побудови РМЗ добре помітні як металеві частини об'єктів, так і водойми, а при відповідному калібруванні - інші складові частини об'єктів (асфальтове, бетонне покриття, бітумне покриття дахів і т.д.).

Висновки. Результати кількісних оцінок показують, що точність визначення координат об'єктів простої і складної геометричної форми, що забезпечується матричними РМ системами ММД, може складати одиниці метрів, що обґрунтовує більш високу надійність роботи КЕСН ММД в несприятливих погодних умовах, в умовах слабкого освітлення, порівняно із системами видимого та інфрачервоного діапазонів хвиль, відзначає високу скритність роботи зазначених систем з огляду на малий час роботи на випромінювання, швидкодію роботи матричних РМ КЕСН (матричного РМД ММД й спецобчислювача), та таке, що може задовольняти специфічним вимогам та становитиме частки секунди.

Богдан Г.А., к.т.н.,
доцент кафедри автоматизації та систем неруйнівного контролю
Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»
e-mail: bogdangalya@gmail.com
Глущенко М.О., аспірант,
Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

ОПТИЧНИЙ ДАТЧИК ЧАДНОГО ГАЗУ

Abstract. *The article proposes the construction of an optical sensor for determining the concentration of carbon monoxide in the air. It can be used, both in residential buildings and in automated systems at industrial enterprises.*

Key words: *optical sensor, carbon monoxide, automated system, measurement accuracy.*

Постановка проблеми. Контроль концентрації СО є важливим завданням для забезпечення безпеки людей, тому що даний газ токсичний та може спричинити отруєння. Проведені дослідження [1] показали, що сукупна смертність від отруєння чадним газом у 2017 році по всьому світу становила 4,6 смертей на мільйон. Одним з основних компонентів автоматизованих систем, що дозволяють своєчасно визначити підвищення концентрації чадного газу у повітрі, є датчики. На сьогоднішній день актуальним є завдання щодо проектування датчиків, які б відрізнялися дешевизною, мініатюрністю, простою конструкції й при цьому забезпечували високу надійність та достовірність отриманих даних.

Аналіз останніх джерел досліджень і публікацій. При розробці датчиків СО використовують різні методи [2-3]. Серед них найбільш перспективним є оптичний метод лазерної абсорбційної спектрометрії [4]. Даний метод використовує лазер, як джерело світла, і вимірює концентрацію в повітрі, на основі виявлення зміни інтенсивності лазерного променя після проходження вздовж оптичного шляху. Шляхи вдосконалення існуючих прототипів полягають в розробці більш досконалої конструкції, що дозволить з одного боку спростити виготовлення таких датчиків, з іншого – підвищить точність вимірювань за рахунок оптимізації розміщення компонентів.

Мета роботи - розробка оптичного датчика для вимірювання концентрації чадного газу, який реалізує метод лазерної абсорбційної спектрометрії, має просту конструкцію та високу чутливість.

Основні матеріали дослідження. Конструкція розробленого датчика визначення концентрації чадного газу показана на рис. 1.

Датчик працює наступним чином: оптичний випромінювач (4) генерує випромінювання, із довжиною хвилі, яка відповідає абсорбції чадного газу, що проходить через повітряне середовище всередині датчика, що ідентичне повітрю у місці проведення контролю. Приймачі випромінювання (1,2) приймають даний сигнал. Перший приймач випромінювання (1) є основним. Він прикритий оптичним смуговим фільтром, що пропускає випромінювання з довжиною хвилі 2300 нм (12), та вимірює інтенсивність сигналу, що проходить через повітряне середовище. Основний приймач реєструє зменшення інтенсивності випромінювання і передає цю інформацію для подальшого аналізу.

Другий приймач (2) є референсним і також прикритий оптичним смуговим фільтром, налаштованим на довжину хвилі 2000 нм (11) (довжина хвилі випромінювання, яке не поглинається чадним газом). Його головна функція полягає у визначенні початкового рівня інтенсивності випромінюваного сигналу. Він слугує для компенсації впливу змін

інтенсивності світла, які можуть виникнути в результаті факторів, не пов'язаних з присутністю чадного газу.

Силіконові прокладки (5, 10) призначені: для відведення тепла випромінювача, що виділяється при роботі та забезпечення герметичності системи, що дозволяє захистити компоненти датчика від попадання вологи та тим самим зменшити кількість помилкових спрацьовувань; компенсації неточності виготовлення елементів датчика. Запропонована форма дзеркала (6) збільшує рівномірність розсіювання випромінювання усередині вимірювальної камери датчика.

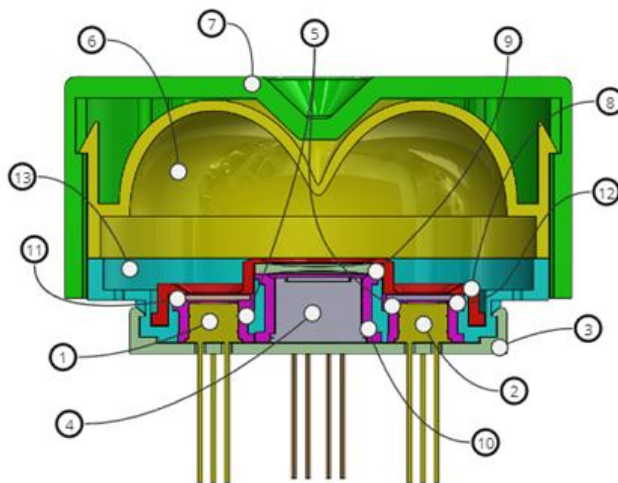


Рис. 1. Конструкція оптичного датчика для визначення концентрації СО в повітрі:
1,2 – приймачі випромінювання; 3 – фіксатор активних оптичних елементів; 4 – випромінювач;
5 – силіконова прокладка для приймача; 6 – дзеркало; 7 – захисний корпус; 8 – фіксатор пасивних оптичних елементів; 9 - лінза, що розсіює; 10 – силіконова прокладка для випромінювача; 11 – смуговий фільтр, 2000 нм; 12 - смуговий фільтр, 2300 нм; 13-корпус

Для визначення технічних можливостей розробленого датчика було проведено моделювання в середовищі Ansys SPEOS, яке показало, що мінімальна концентрація СО в повітрі, яку здатний вловлювати даний датчик дорівнює 0.3 ppm.

Висновок. Запропонована конструкція оптичного датчику чадного газу суттєво спрощує його виготовлення, не погіршуючи точність вимірювань.

Список літератури

1. Janík M, Ublová M, Kučerová Š, Hejna P. Carbon monoxide-related fatalities: A 60-year single institution experience. *J Forensic Leg Med.*, vol. 48 pp. 23-29, 2017.
2. Chen, H., Karion, A., Rella, C. W., Winderlich, J., Gerbig, C., Filges, A., Newberger, T., Sweeney, C., and Tans, P. P.: Accurate measurements of carbon monoxide in humid air using the cavity ring-down spectroscopy (CRDS) technique, *Atmos. Meas. Tech.*, 6, pp. 1031–1040, 2013.
3. Bohdan H, Hlushchenko M, Bohdan I, The automated smoke detection system *International Journal «NDT Days»*, Volume V, Issue 5, pp. 264-268, 2022.
4. Du, Z.H.; Zhang, S.; Li, J.Y.; Gao, N.; Tong, K.B. Mid-Infrared Tunable Laser-Based Broadband Fingerprint Absorption Spectroscopy for Trace Gas Sensing: A Review. *Appl Sci-Basel*. №9, pp. 338, 2019

Бурова З.А., к.т.н., доцент,
доцент кафедри процесів і обладнання переробки продукції АПК
Національний університет біоресурсів і природокористування України
e-mail: z_burova@ukr.net, тел. (067) 2951156

Ковтун С.І., д.т.н., старший дослідник,
зав. відділу моніторингу і діагностики об'єктів енергетики
Інститут загальної енергетики НАН України

Василевська В.В.,
інженер відділу моніторингу і діагностики об'єктів енергетики
Інститут загальної енергетики НАН України

ОСОБЛИВОСТІ ПРОЕКТУВАННЯ СЕНСОРІВ ТЕПЛООВОГО ПОТОКУ ДЛЯ ПРЕЦИЗІЙНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ ТЕПЛОПРОВІДНОСТІ ТЕПЛОІЗОЛЯЦІЙНИХ МАТЕРІАЛІВ

Abstract. *The methodical error factors of the thermal conductivity measurement by a symmetrical scheme using two identical heat flow sensors were estimated and design features of specialized primary measuring sensors were considered in this paper.*

Keywords: *heat insulation, thermal conductivity, heat flux sensors, methodical error.*

Для зменшення тепловтрат і підвищення енергоефективності в промисловості, енергетиці, будівельній галузі традиційно використовують теплоізоляційні матеріали, головним показником якості яких є їх теплофізичні характеристики (далі – ТФХ), зокрема, низька теплопровідність. Вимірювання теплопровідності теплоізоляційних матеріалів в Україні наразі регламентовано рядом державних і міжнародних стандартів.

Розробці методів та засобів досліджень теплопровідності в області низьких значень від 0,02 до 0,2 Вт/(м·К) та метрологічному забезпеченню цієї галузі вимірювань присвячено роботи багатьох українських та закордонних вчених [1-3].

Як відомо, низькотеплопровідні матеріали є неомогенними, включають волокна, порожнини тощо, тому згідно з вимогами діючих нормативних документів розміри дослідних зразків таких матеріалів мають бути не менше 250×250×(10...100) мм, при цьому похибка вимірювань не повинна перевищувати ±3%, що є фактично нездійсненним, оскільки такі показники наразі мають робочі еталони теплопровідності. Тому вирішення питання підвищення точності вимірювань теплопровідності в області її низьких значень потребує комплексного підходу як до оцінення факторів методичної похибки відповідної інформаційно-вимірювальної системи в цілому, так і до проектування спеціалізованих первинних вимірювальних сенсорів.

Для прецизійних вимірювань доведено доцільність застосування стаціонарного метода пластини, реалізованого у вимірювальній комірці приладу із симетричною схемою вимірювання коефіцієнта теплопровідності і теплового опору плаского зразка, встановленого між двома ідентичними сенсорами (перетворювачами) теплового потоку (далі – ПТП) співвісно з нагрівником та холодильником [4].

Для мінімізації бокових тепловтрат запропоновано застосовувати активну теплоізоляцію – екран. Розглянуто два варіанти термостатування бокового екрану вимірювальної комірки приладу: 1 – температура бокового екрану дорівнює температурі нагрівника або холодильника, 2 – температура бокового екрану дорівнює середньоарифметичному значенню температур нагрівника і холодильника.

Встановлено, що для другого варіанту термостатування бокового екрану, коли розподіл температури симетричний відносно висоти зразка і по його середньому перерізу проходить ізотерма, зона неспотвореного теплового потоку в радіальному напрямку ширша

в порівнянні з першим варіантом, а складова методичної похибки на порядок менша. Тому в тепловому блоці сучасної інформаційно-вимірювальної системи доцільно використовувати саме такий режим термостатування екрану вимірювальної комірки.

Якість та достовірність вимірювань ТФХ дослідних зразків обумовлена, в першу чергу, відповідними характеристиками первинних перетворювачів – сенсорів теплового потоку і температури. В теплотричних приладах застосовують ПТП типу допоміжної стінки, які складаються з ідентичних термоелементів, з'єднаних послідовно за генерованим електричним сигналом і паралельно за визначеним тепловим потоком.

У багатоелементному біметалічному ПТП батарею термоелементів виготовляють у вигляді плоскої спіралі з дроту основного термоелектрода, навитої на каркасну електроізоляційну стрічку, з періодично нанесеним гальванічним парним покриттям, при цьому межі переходу від основного термоелектрода до покритих ділянок є спаями термоелементів [1, 4].

Для надання монолітності спіраль термоелементів формують у вигляді диска або квадратної пластини і заливають електроізоляційним матеріалом, у якості якого використовують: епоксидні компаунди для ПТП, що працюють при помірних та низьких температурах, для ПТП з термостійкістю до 500 К – український полімер УП-610, до 1000 К – цементи та емалі. Застосування різних наповнювачів епоксидних смол при варіюванні їх концентрацій дозволяє забезпечити широкий діапазон значень коефіцієнта теплопровідності ПТП від 0,3 до 1,2 Вт/(м·К).

У вимірювальній комірці теплового блоку системи дослідження теплопровідності та теплового опору, де реалізовано симетричну схему вимірювань, тепловий потік, що проходить крізь дослідний зразок, є односпрямованим з рівномірною поверхневою густиною і одночасно пронизує центральну зону зразка та зону чутливого елемента двох ідентичних ПТП. Одним з основних джерел методичної похибки вимірювання коефіцієнта теплопровідності у даному випадку є неузгодженість ТФХ чутливого елемента і охоронної зони ПТП, що призводить до спотворення температурного і теплового полів як в дослідному зразку, так і в ПТП.

Для мінімізації впливу вказаного чинника проведено дослідження для другого режиму термостатування бокового екрану шляхом розв'язання задачі теплообміну, розглядаючи ПТП як об'єкт, встановлений в необмеженій пластині. Результати обчислювального експерименту показують, що при конструюванні ПТП, призначених для використання в прецизійних приладах для вимірювання теплопровідності, необхідно забезпечити максимально близькі значення ефективної теплопровідності чутливої і охоронної зон, особливо при дослідженні нестандартних зразків, товщиною понад 50 мм.

Ця задача вирішується підбиранням параметрів і характеристик вихідних матеріалів при проектуванні ПТП за умови дотримання однакової технології виготовлення його чутливої і охоронної зон.

Дослідження термоелектричних матеріалів, що традиційно застосовуються для виготовлення ПТП, – пар константан-мідь і константан-нікель, показало явну перевагу пари константан-нікель, оскільки для неї характерна незначна температурна залежність коефіцієнтів перетворення при більшому значенні товщини гальванічного покриття, що більш технологічно у виготовленні та одночасно забезпечує температурну і часову стабільність коефіцієнта перетворення ПТП [5].

Це дозволяє не проводити процедуру калібрування приладу по робочих еталонах до і після кожного експерименту, як рекомендується в стандартах, що значно економить витрати енергії і часу. З урахуванням усіх наведених результатів досліджень і розрахунків для використання в системах вимірювання теплопровідності розроблено два типи конструкції ПТП розміром у плані 300×300 мм з однаковою чутливою зоною діаметром 120 мм, виконаною із стрічкоподібної спіралі з пари константан-нікель, та різною структурою захисної зони:

- спеціалізований ПТП (тип А) з захисною зоною із заливочного компаунда;

- прецизійний ПТП (тип Б) з кільцевою захисною зоною із зовнішнім діаметром 260 мм, утвореною з тієї ж спіралі термоелементів, що й чутливий елемент, для максимального вирівнювання їх теплопровідності та підвищення точності вимірювань.

Обидва типи ПТП також оснащені сенсорами температури на основі платинових термометрів опору, вмонтованих у загальний конструктив. Один такий сенсор розташований у центрі чутливої зони ПТП для вимірювання різниці температур між гранями досліджуваного зразка, як це рекомендовано в нормативних документах. Для контролю розсіювання температури в чутливій зоні сенсорів у розроблених конструкціях ПТП встановлюється один (тип А) або два (тип Б) додаткові сенсори температури. Різниця між їх сигналами і центрального сенсора вимірюється і враховується як поправка при обробці вимірювальної інформації, що дозволяє зменшити сумарну похибку вимірювання теплопровідності зразка неоднорідного матеріалу.

Далі кожен ПТП із виготовленої партії проходить попереднє оцінення свого коефіцієнта перетворення, і для використання у вимірювальній системі для забезпечення симетричної схеми обирають пару сенсорів з максимально близькими характеристиками. Остаточне калібрування ПТП у складі вимірювальної комірки теплового блоку виконується за «методом двох вимірювань» [6]. У результаті для кожної з двох ідентичних ПТП буде визначена індивідуальна функція перетворення і сигнали від них будуть передані в модуль статистичної обробки даних.

ПТП на основі константан-нікелевої пари є основою вимірювальних блоків сучасних інформаційно-вимірювальних систем для прецизійних досліджень теплопровідності твердих низькотеплопровідних матеріалів [4]. Високоточні ПТП типу Б є частиною системи метрологічного забезпечення, яка може бути використана для атестації еталонних зразків та робочих еталонів, що використовуються для атестації робочих приладів для вимірювання теплопровідності в діапазоні від 0,02 до 1,5 Вт/(м·К) у при діапазоні температур від 240 К до 400 К [7].

Список літератури

1. Теплометрия: теория, метрология, практика. Монография у трьох книгах / За ред. д.т.н. Грищенко Т.Г. К.: ТОВ «Наш формат», 2018. 433 с. ISBN 978-966-02-8639-9
2. Uncertainty analysis of thermal conductivity measurements in materials for energy-efficient buildings. L. Laghi, F. Pennechi and G. Raiteri. *Int. J. Metrol. Qual. Eng.*, 2 2 (2011) 141-151 DOI: <https://doi.org/10.1051/ijmqe/2011102>
3. Zarr, Robert & Carvajal, Sergio & Filliben, James. (2019). Sensitivity Analysis of Factors Affecting the Calibration of Heat-Flow-Meter Apparatus. *Journal of Testing and Evaluation*. 47. 20170588. 10.1520/JTE20170588.
4. Information Measurement System for Thermal Conductivity Studying. Zaporozhets A., Burova Z., Dekusha O. ets. *Studies in Systems, Decision and Control*, Springer, Cham. 2022, 395, pp. 1–19.
5. Апаратно-програмне забезпечення моніторингу об'єктів генерування, транспортування та споживання теплової енергії / За ред. чл.-кор. НАН України В.П. Бабака. К.: ІТТФ НАН України, 2016. 299 с.
6. Methodology for Designing Precision Sensors Which Using in Thermal Conductivity Measurement Systems. Burova Z., Kovtun S., Dekusha L. ets. *Studies in Systems, Decision and Control*. Springer, Cham. 2023, 454, pp. 223–238.
7. Information-Measuring Technologies in the Metrological Support of Thermal Conductivity Determination by Heat Flow Meter Apparatus. Dekusha O., Burova Z., Kovtun S. ets. *Studies in Systems, Decision and Control*. Springer, Cham. 2020, 298, pp. 217–230.

Виноградов О.С., студент
кафедра морського приладобудування,
Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова, Миколаїв
al.vynogradov1987@gmail.com
Зівенко О.В., к.т.н., доцент,
кафедра морського приладобудування,
Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова, Миколаїв
oleksii.zivenko@nuos.edu.ua

АВТОМАТИЗАЦІЯ КАРТУВАННЯ ВИМІРЮВАЛЬНИХ КАНАЛІВ ДЛЯ СИСТЕМ ДИСТАНЦІЙНОГО МОНІТОРИНГУ СУДЕН

***Анотація.** Для оцінки та оптимізації ефективності роботи судна необхідно використання спеціалізованих вимірювальних систем та моніторингу як окремих систем/пристроїв так і судна в цілому. Актуальною проблемою є картування сенсорів та розробка засобів, що автоматизують процес картування як під час первинного впровадження систем моніторингу, так і на інших етапах життєвого шляху судна.*

***Ключові слова:** система моніторингу, автоматизація, sensor mapping.*

Аналіз та постановка проблеми. Сучасні системи моніторингу суден надають можливість збирати та аналізувати дані про стан судна та його окремих механізмів практично у реальному масштабі часу [1-4]. До таких систем можна віднести Triton Remote Ship Monitoring від Damen Digital Solutions [5], Poseidon від Oceanic Systems [6] та ін.

Системи надають можливість отримувати операторам (власникам) об'єктивну інформацію про покази окремих датчиків, використання ресурсів, будувати звіти заданої форми та робити окремі види прогнозів чи будь-якої аналітики. Широке впровадження таких систем пов'язане із інтеграцією багатьох інформаційних потоків, зокрема об'єднанням даних від систем різних виробників, побудовою так званих «сенсорних карт» (“sensor mapping”).

Бортові вимірювальні комплекси (або їх частини) здійснюють комплексування вимірювальної інформації – тобто збір даних від окремих вимірювальних каналів, первинну обробку, перетворення у різні типи і формати зручні для обміну і т. ін. Такі комплекси мають модульну структуру та універсальні модулі вводу/виводу, що здатні сприймати сигнали різних типів, програмовані логічні контролери для керування процесом вимірювання та розрахунків, візуалізації даних та стану механізмів. Прикладом таких вимірювальних комплексів можуть бути системи Emerson або Praxis [7].

Проектант та будівник судна завчасно визначають обладнання, що буде використовуватися, організує вибір вимірювальних комплексів та узгоджує питання постачання і налагодження обладнання. Оскільки процес побудови судна є доволі тривалим, виникає велика кількість змін. Необхідно замінити вимірювальні перетворювачі, модулі вводу, канали в цілому і т.д. Це призводить до реконфігурування вимірювальних комплексів, що подалі впливає на всі пов'язані ланки обробки інформації. Не виключаються також можливості з помилкової конфігурації датчиків як джерел вимірювальної інформації.

На прикладі рівнемірів [8], що можуть бути налаштовані таким чином, що на виході можуть мати оцінку декількох величин (як приклад вихідна змінна може обиратися - скоригований рівень зрідженого газу або дані про його тиск чи температуру [9]). Окрім того, не завжди існує єдиний наскрізний інформаційний простір [6] між проектантами, постачальниками «заліза», підприємствами-підрядниками що виконують розробку програмного забезпечення, або монтаж, налагодження, обслуговування.

Потрібно зазначити, що навіть за наявності гарної комунікації підрядників, виробників та наявності стандартів щодо обміну інформацією, наявні процеси верифікації

та узгодження документації, програмного забезпечення, - виключення помилок у створенні карт джерел інформації (sensor mapping process) у процесі життєвого шляху судна практично неможливе. Тому, виникає завдання автоматизації створення карт сенсорів, їх верифікації та процесу постійного моніторингу і актуалізації. В даній роботі викладена частина, що спрямована на автоматизацію створення карт за даними різних постачальників.

На практиці постачальники систем моніторингу надають переліки-описи вимірювальних каналів (“sensors list” або “channels list”) що містять назву, короткий опис датчика, деякі відомості щодо адреси та типів вихідного сигналу, його позначення і т.ін. Окремі постачальники – генерують ці переліки у різних форматах, що обмежують подальшу роботи з ними. При будь-яких змінах, наприклад додавання датчиків або зміні адреси у процесі побудови або використання судна це викликає ланцюг змін, що торкається подальших пов’язаних ланок обробки інформації, однією з яких є система моніторингу. Окремо потрібно відзначити, що таких переліків-описів може бути декілька десятків, вони можуть мати різні формати в залежності від системи та її призначення. Загальна кількість вимірювальних каналів може становити до 20000, з яких для системи дистанційного моніторингу обирають до 2000 величин. Саме тому процес створення карт потрібного формату – докладна робота, дуже витратна з точки зору використання часу інженерів.

Для вирішення поставленого завдання з автоматизації картування вимірювальних каналів для подальшого використання у системі віддаленого моніторингу було створено додаток що базується на внутрішньому стандарті опису датчиків системи Triton. Це фактично стандарт, що описує правила опису сенсорних карт незалежно від виробника обладнання та типу сенсора. Вхідною інформацією для роботи такої програми є переліки вимірювальних величин, що необхідні для обробки у системі онлайн-моніторингу. Тому додаток у автоматичному режимі знаходить найбільш вірогідні джерела вимірювальної інформації (сенсори) що відповідають величинам, що вимірюються. Додаток аналізує переліки від постачальників обладнання, у випадку некоректних позначень або адрес – пропонує зміни та ставить відповідні маркування у результуючу карту. Отриманий проміжний файл аналізується інженером, а після позитивної оцінки чи коригування перевіряється інженерами безпосередньо під час використання у системі.

Потрібно відзначити, що задля навчання системи та використання у подальшому дані вимірювальних каналів класифікуються за вимірювальними величинами та відомими властивостями – для підвищення точності автоматизації картування. Оскільки для суден одного й того ж проекту але різних років побудови може використовуватися різне вимірювальне обладнання або різні конфігурації, кожен проект цілком унікальний, навіть якщо ступінь співпадіння із складу обладнання досягає 99 %.

Історична інформація – попередньо сформовані карти сенсорів для подібних проектів може бути використана як для підвищення точності картування, так і для формування підказок – планується застосовувати методи машинного навчання, зокрема навчання на матеріалах попередніх позитивних ітераціях картувань, або історії змін карт для подібних проектів.

Окремо також необхідно виділити можливість автоматизації наступного кроку – автоматичної перевірки картування на коректність. Програма подальшого автоматичного тестування результатів картування або моніторингу актуальності карт може бути побудована із використанням двійників моніторингової системи (симулятора) або промаркованих історичних даних від систем та сенсорів.

Висновки. Розглянуто практичне завдання створення переліків сенсорів для використання у системах віддаленого моніторингу стану судна. Розроблений програмний засіб виконує автоматичне картування сенсорів на базі даних від постачальників обладнання, пропонує мітки сенсорів на базі використання внутрішніх стандартів.

Розроблене рішення дозволяє зекономити час інженерів більше ніж у 20 разів у порівнянні із традиційним способом, значно зменшити кількість помилок зумовлених «людським фактором». Також необхідно відзначити, що розроблене рішення дозволяє

зробити процес більш інформативним для користувачів, гнучким із точки зору можливості навчання чи налаштування (зміна стандарту іменування сенсорів чи величин що вимірюються).

Недоліком запропонованого рішення є можливість невірної класифікації вимірювальних каналів, але у порівнянні із традиційним підходом помилки такого типу є значно менш розповсюдженими.

Література

1. Zeng, Xiangming & Chen, Mingzhi. (2021). A Novel Big Data Collection System for Ship Energy Efficiency Monitoring and Analysis Based on BeiDou System. *Journal of Advanced Transportation*. 2021. 10.1155/2021/9914720.
2. Kim, Seongwan & Kim, Heemoon & Jeon, Hyeonmin. (2023). Development of a Simplified Performance Monitoring System for Small and Medium Sized Ships. *Journal of Marine Science and Engineering*. 11. 1734. 10.3390/jmse11091734.
3. Lim, Serena & Pazouki, Kayvan & Murphy, Alan. (2021). Monitoring Systems in Design of Ships. 10.1007/978-981-15-4680-8_24.
4. Li, Guiqin & Deng, Xuechao & Zhou, Maoheng & Zhu, Qiuyu & Lan, Jian & Xia, Hong & Mitrouchev, Peter. (2020). Research on Data Monitoring System for Intelligent Ship. 10.1007/978-981-15-2341-0_29.
5. Triton by Damen [URI] дата доступу: 01.09.2023, <https://www.damen.com/services/lifecycle-support/digital-services/damen-triton>
6. Poseidon. Vessel Alarm Monitoring and Control System [URI] Дата доступу: 01.09.2023, <https://osukl.com/vessel-alarm-monitoring-and-control-system/>
7. Praxis Automation Technology B.V. Mega-Guard Ship Automation Systems [URI] Дата доступу 01.09.2023, <https://www.praxis-automation.eu/index.php/products/category/mega-guard-ship-automation>
8. Zivenko A.V. Level measurement principles & sensors [Text] / A.V. Zivenko, A.G. Nakonechniy, D.Y. Motorkin // *Materialy IX mezinarodni vedecko-practicka conference "Veda a technologie: krok do budoucnosti - 2013"*. – Dil. 28. Technicke vedy. Prague - 2013. pp. 85-90.
9. Zivenko, Oleksiy [LPG Accounting Specificity During ITS Storage and Transportation. Measuring Equipment and Metrology](#). **80** (3): 21–27. doi:10.23939/istcmtm2019.03.021.
10. Зивенко А.В. Применение концепции единого информационного пространства для анализа процессов на предприятиях морской инфраструктуры [Текст] / Зивенко А.В., Грешнов А.Ю. // *Матеріали X Міжнародної конференції «Сучасні інформаційні технології на транспорті»*, Херсон, 2018. – с. 204-207.

Власенко Н.П., здобувач освітнього ступеня магістра,
кафедра приладобудування, мехатроніки та комп'ютеризованих технологій
Черкаський державний технологічний університет
e-mail: tk123.724@gmail.com, тел. +38 (067) 467-95-21

Туз В.В., к.т.н., доцент,
доцент кафедри приладобудування, мехатроніки та комп'ютеризованих технологій
Черкаський державний технологічний університет
e-mail: v.tuz@chdtu.edu.ua, тел. +38 (093) 525-47-62

ВИКОРИСТАННЯ ТЕХНОЛОГІЇ INPUT SHAPING В 3D ДРУЦІ

***Abstract.** In an era where manufacturing demands precision, speed, and efficiency, industrial 3D printing emerges as a game-changing technology. This comprehensive study explores the transformative aspects of industrial 3D printing, detailing its methodology, the vast applications, inherent challenges, and its undeniable benefits to the manufacturing sector. The Department of Advanced Manufacturing Technologies of Cherkasy State Technological University serves as a central case study to illustrate these points.*

***Keywords:** Industrial 3D Printing, Additive Manufacturing, Rapid Prototyping, Layer-by-layer Fabrication, Material Science, Advanced Manufacturing Technologies, Cherkasy State Technological University, Sustainable Manufacturing, Cost-efficiency, Supply Chain Management, Customization.*

У сфері 3D-друку, що постійно розвивається, досягнення балансу між збільшенням швидкості друку та зменшенням помилок друку є складним завданням. В ході поетапного проходження процесу 3D-друку (від сегментації моделі та створення STL-файлу до кінцевого друку) і подальшої постобробки, помилки мають тенденцію накопичуватися. Ці розбіжності часто є наслідком безлічі факторів, що охоплюють механічні властивості 3D-принтера, особливості використовуваної технології друку, нюанси, пов'язані з програмним забезпеченням, а також кваліфікацією оператора.

Яскравим прикладом таких розбіжностей є деформації, що проявляються на надрукованій моделі, які часто виникають через ненавмисні вібрації або ненавмисні зміщення столу принтера та сопла. Наслідки цих вібрацій не обмежуються лише візуальною естетикою; вони впливають на структурну цілісність, довговічність і функціональність надрукованого об'єкта. У прагненні оптимізувати дизайн і функціональність 3D-принтерів виникає потреба зрозуміти і згодом пом'якшити фізичні реверберації, які виникають під час роботи принтера. Мета цього процесу полягає не лише в тому, щоб отримати бездоганний на вигляд відбиток, але й у тому, щоб кожен шар ідеально прилягав, кожен контур був точним, а кінцевий продукт резонував з початковим дизайном.

На цьому етапі варто відзначити та оцінити належним чином функцію "Input Shaping". Зазначена функція була розроблена для боротьби з ефектом "дзвінкості" – тобто дефектом, що виникає коли відбитки відображають "відлуння" через вібрації принтера, особливо під час швидкої зміни напрямку. В цьому випадку функція "Input Shaping" забезпечує гармонійну синхронізацію роботи кожного компонента принтера.

Щоб підкреслити глибокий вплив механічних збурень, розглянемо резонансні вимірювання, ретельно зафіксовані за допомогою акселерометра. На рис.1 наведені механічні збурення, що дозволяють оцінити рівень існуючої проблематики.

Графічні дані (рис. 1) підкреслюють важливість надійного вирішення та виправлення наявних вібрацій. Завдяки використанню технології Input Shaping сфера 3D-друку отримає безліч переваг.

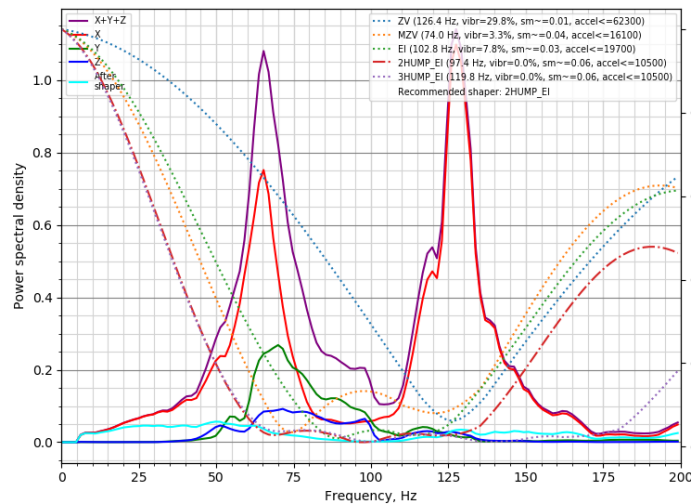


Рис.1 Механічні збурення

Завдяки стратегічній протидії вібраціям і коливанням, кінцевий 3D-друк стає майже повністю вільним від механічних артефактів, таких як дзвін, в результаті чого друк не тільки виглядає бездоганно, але і є структурно міцним, точно відображаючи свій цифровий дизайн. Звільнившись від цих механічних перешкод, 3D-принтери можуть працювати на своїх природних пікових швидкостях, скорочуючи тривалість друку і відкидаючи побоювання, що помилки увійдуть в історію. Це не лише підвищує експлуатаційну надійність, особливо в специфічних режимах, таких як stealthChop, що використовується в деяких крокових драйверах, а й обіцяє тривалий термін служби принтерів, меншу потребу в обслуговуванні та незмінну якість друку.

Оскільки спектр помилок, спричинених вібрацією, зменшується, тому значно розширюються можливості щодо спектру матеріалів для друку, а також для застосування нових революційних програм та новаторських продуктів.

Висновки: Прагнення щодо досконалості 3D-друку вимагає поєднання передових технологій, постійних інновацій в апаратному забезпеченні та ітеративних удосконалень у програмному забезпеченні. Виклики 3D-друку вимагають гармонійного поєднання технологічних досягнень, інноваційних стратегій та глибокого розуміння механіки, що лежить в його основі. Як було показано, такі технології, як Input Shaping, дозволяють досить ефективно боротися з механічними збуреннями, які вже давно заважають 3D-друку. Майбутнім 3D-друку є не просто створення об'єктів, а створення еталонів точності, функціональності та естетичної досконалості.

Список літератури

1. Волерс, Т., та Кефрі, Т. (2017). Звіт Wohlers Report 2017: Стан галузі 3D-друку та адитивного виробництва. Форт-Коллінз: Wohlers Associates.
2. Гібсон, І., Розен, Д. та Стакер, Б. (2015). Технології адитивного виробництва: Від швидкого прототипування до прямого цифрового виробництва. Нью-Йорк: Springer.
3. Ліпсон, Х. та Курман, М. (2013). Fabricated: Новий світ 3D-друку. Wiley.
4. Chua, C.K., Leong, K.F., & Lim, C.S. (2010). Швидке прототипування: Принципи та застосування. Сінгапур: World Scientific.
5. Ventola, C. L. (2014). Медичне застосування 3D-друку: Поточне та прогнозоване використання. Фармація і терапія, 39(10), 704-711.

Гордієнко В.І., д.т.н., с.н.с., професор,
професор кафедри технології та обладнання машинобудівних виробництв,
Черкаський державний технологічний університет
e-mail: v.hordiienko@chdtu.edu.ua, тел. +38(066) 370-58-12

Васильченко В.Ю.

ст. викладач кафедри технології та обладнання машинобудівних виробництв
Черкаський державний технологічний університет

ПРАКТИЧНЕ ВИКОРИСТАННЯ ТЕПЛОВІЗІЙНИХ ПРИЛАДІВ

***Abstract.** The results of the use of thermal imaging devices in various fields of science and technology in Ukraine are given in theses.*

***Key words:** Thermal imaging devices, diagnosis, medical practice, thermographic studies, detection and recognition of mines.*

Теплове випромінювання, яке лежить за червоною границею видимого спектра, було відкрито в 1800 році англійським ученим Уліамом Гершелем.

Джерелом інформації в тепловаченні являється власне випромінювання нагрітих тіл, а задача тепловізійних систем – це обробка цієї інформація і перетворення її у видиме зображення. Успіхи в створенні сучасної елементної бази для тепловізійних приладів дозволили їх використовувати в різних областях науки і техніки.

В медицині тепловізійні прилади використовують у термографічній діагностиці. Аналіз температурних полів людського тіла з використанням тепловізійних техніки є одним із сучасних методів діагностики захворювань, оскільки зміна температури людського тіла є однією з ознак порушень в організмі. За допомогою тепловізійних приладів можна діагностувати понад 150 захворювань. В медичній практиці використовують тепловізійні прилади, які працюють у спектральних діапазонах від 3 до 5 мкм та від 8 до 14 мкм, за умови температурної чутливості не гірше 0,1 °С.

Термографія в медицині має множинні застосування при діагностиці різноманітних захворювань. Так, наприклад, вона дозволяє виявляти процес утворення пухлин молочних залоз на початкових стадіях, коли пухлини мають ще невеликі розміри. Термографічні дослідження дозволили встановити нерівномірність розподілу температури у відповідних зонах хребта у спортсменів, у яких проявлялися вертеброгенні болі. Різниця температур в різних відділах хребта таких спортсменів досягала 2 °С.

Термограми нижніх кінцівок чітко реєструють судинні патології за різницею температури здорової та хворої кінцівки або ділянок кінцівки. При проведенні термографічних досліджень травмованих суглобів також було виявлено підвищення їх температури, що полегшило встановлення діагнозу та прискорило процес лікування.

Має термографія своє застосування і в офтальмології. Так, під час проведення термографічних досліджень було виявлено відмінність температури лівої та правої очної западини, що стало приводом для подальших обстежень і встановлення точного діагнозу при щелепо-лицьовій патології.

В промисловості тепловізійні прилади також використовуються для вирішення цілої низки різноманітних задач, а саме: для виявлення людей під час аварійно-пошукових робіт, для контролю теплового режиму енергетичних установок і промислового обладнання, в процесі дефектоскопії, для виявлення протікань в нафто і газопроводів та теплотрасах, для раннього виявлення пожеж та моніторингу навколишнього середовища.

За рахунок специфічних властивостей низки матеріалів в певних спектральних діапазонах тепловізійні прилади знайшли своє використання і у військових цілях.

Наявність в атмосфері вікон прозорості спектральних діапазонів від 3 до 5 мкм та від 8 до 12 мкм і оптичних матеріалів цих діапазонів (таких як: германій, селенід цинку, лейкосапфір, арсенід галію, оптична кераміка), а також створення багатоелементних чутливих мікроболометричних фотоприймальних матриць дозволило досягти виявлення об'єктів на відстані до 2500 метрів. В разі використання охолоджуваних матриць спектральних діапазонів від 3 до 5 мкм та від 8 до 12 мкм дозволило забезпечити виявлення об'єктів на відстані до 10 км. Що активно застосовується у приладах нічного бачення.

Інше застосування, яке має на сьогодні дуже актуальне значення, це використання тепловізійних приладів та систем у виявленні та розмінуванні ділянок ґрунту. Тепловізійні системи для виявлення та розпізнавання мін використовують різницю у випромінюванні, створеному ділянками установки мін і навколишнього незайманого ґрунту. Цей фактор чітко спостерігається в спектральних діапазонах від 8,5 до 9,5 мкм і від 10 до 11 мкм, а ймовірність виявлення мін близька до 1,0.

Висновок. Сфери застосування тепловізійних техніки продовжують розширюватись. Отримувані нові результати досліджень тепловізійних приладів використовується в різних областях науки і техніки.

Список літератури

1. Венгер Є.Ф., Гордієнко В.І., Дунаєвський В.І Котовський В.Й., Маслов В.П. Застосування термографії в Україні. //ISSN1815-2006/ Nauka innou/ 2015.11(6): 5-15
2. Забудський В.В., Маслов В.П., Кравченко С.Л., та ін..Дослідження отримання та обробки тепловізійних зображень злякисних новоутворень/ Праці 4-ї міжнародної науково практичної конференції «СИЭТ 2003». Одеса, 2003. – С. 360.
3. Сізов Ф.Ф., Бехтір О.В., Білевич Є.О. та ін. Багатоелементний тепловізор з високою температурною чутливістю та тепловізійною частотою кадрів// Наука та інновації. – 2005.- ТИ.1,№3-С.22-33.

Григоренко І.В., к.т.н., доцент,

професор кафедри інформаційно-вимірювальних технологій і систем
Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут»
e-mail: grigmaestro@gmail.com, тел. +38 (050) 642-75-02

Андрєєв Д.А.,

магістр кафедри інформаційно-вимірювальних технологій і систем
Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут»
e-mail: Denys.Andriciev@infiz.khpi.edu.ua, тел. +38 (095) 195-23-25

Кондрашов В.С.,

магістр кафедри інформаційно-вимірювальних технологій і систем
Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут»
e-mail: viktorkondrashov@ukr.net, тел. +38 (096)-223-96-58

МОДЕЛЮВАННЯ СИСТЕМИ КОНТРОЛЮ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ ВИГОТОВЛЕННЯ ГОСПОДАРСЬКОГО МИЛА

Abstract. *The result of the computer simulation of the control system of the technological process of the production of laundry soap using the Lab VIEW software package is presented for conducting research related to the determination of optimal metrological operating modes of the system that affect the quality of finished products.*

Key words: *household soap, measurement, temperature, sensor, error.*

Математичне моделювання інформаційно-вимірювальних систем (ІВС) є одним з основних методів проектного дослідження, що використовується на стадії розробки таких систем. На сьогодні ІВС використовуються практично на усіх складних виробництвах, де потрібний контроль технології з метою запобігання аварійним ситуаціям. Приклади ІВС різної структури побудови наведено у [1]. Не обходиться без ІВС і технологія виробництва господарського мила – як одного з важливих продуктів забезпечення гігієни у життєдіяльності людини. Розробці структурної та електричної схем такої системи присвячені роботи [2, 3], однак ці схеми не дають можливості проводити дослідження характеристик ІВС. Для вирішення задачі дослідження, яка пов'язана із визначенням оптимальних з точки зору метрології режимів роботи системи, що впливають на якість готової продукції, використано програмний пакет *Lab VIEW*.

На рис. 1 представлено модель системи контролю, що призначена для контролю температури води, рівня суміші рН, маси розчину каустичної соди та сала. Система має п'ять каналів вимірювання – два канали вимірювання температури (*temp*), два канали вимірювання ваги (*weight*), канал вимірювання рівню рН.

У якості датчиків температури було обрано *DS18B20-3M-TUBE-IP67*. У якості датчика ваги був обраний аналоговий тензодатчик компанії *Zemic L6E3-C3-50*. Датчиком рівню рН був обраний аналоговий електрод компанії *ADWA – AD1131B*.

На панелі прибору, в лівій його половині можемо побачити п'ять відповідних потенціометрів, якими регулюються задані значення параметрів контролю. На правій половині панелі прибору представлено п'ять індикаторів зі шкалами та стрілками, які показують поточні значення по кожному з каналів вимірювання, а також п'ять індикаторів відповідних датчиків, які виконують функцію світлової сигналізації.

У випадку, якщо значення величин, що контролюються, входять у задані межі – індикатор світить зеленим кольором, якщо виходить за межі – відповідно червоним. Після отримання сигналу про вихід за встановлені межі, вмикається зворотній зв'язок для того, щоб повернути значення у нормальний режим.

Представлена ІВС контролює: рівень рН у діапазоні від 10 до 13 одиниць, температуру розчину каустичної соди у діапазоні та розплавленого сала від 0 °С до 125 °С,

і масу до 20 кг.

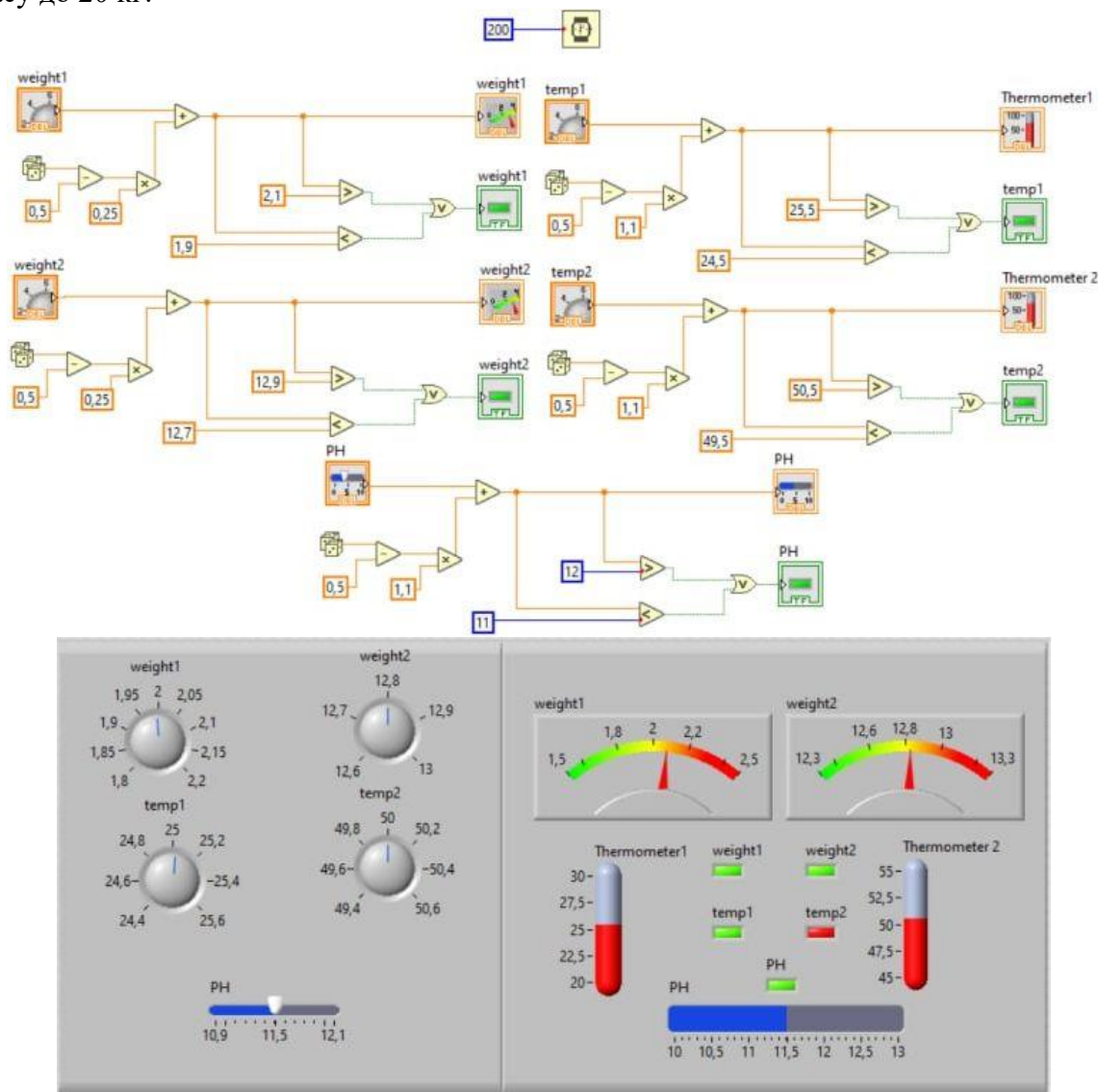


Рис. 1 - Модель системи контролю

Висновок. Розроблена модель дозволяє здійснювати контроль та управління процесом виготовлення господарського мила, а також реалізовувати дослідження характеристик ІВС. У подальших дослідженнях планується за допомогою моделі визначити оптимальні режими роботи системи для підвищення якості господарського мила.

Список літератури.

1. Інформаційно-вимірювальні технології та системи : навчальний посібник / І. В. Григоренко, С. І. Кондрашов, С. М. Григоренко. – Харків : НТУ «ХПІ», 2023. – 254 с.
3. Григоренко І. В., Андреев Д. А. Розробка систем контролю технологічного процесу виготовлення господарського мила. VII Міжнародна науково-технічна конференція з проблем вищої освіти і науки ТК-2022 «Прогресивні напрямки розвитку технологічних комплексів». Луцьк, Україна, 2022. – С. 63, 64.
2. Григоренко І. В., Андреев Д. А. Система контролю технологічного процесу виготовлення господарського мила / Вісник НТУ «ХПІ». Сер. Нові рішення в сучасних технологіях. – 2022. – № 3 (13). – С. 35–40. DOI:10.20998/2413-4295.2022.03.06.

Денисов Ю.О., д.т.н., професор;
Національний університет «Чернігівська політехніка»;
e-mail: den711td@gmail.com, тел. +38(067)460-08-81

Бурсала О.О.

Державний науково-дослідний інститут випробувань і сертифікації
озброєння і військової техніки
e-mail: elena.burs1964@gmail.com, тел. +38(067)575-58-69

МІНІМІЗАЦІЯ ВТРАТ ПОТУЖНОСТІ В ЕЛЕКТРОПРИВОДАХ ГВИНТІВ КВАДРОКОПТЕРА

***Abstract.** A means of compensating for current, supply voltage and counter-emf ripples is proposed. brushless DC motor for electric drive systems of quadcopter propellers. A condition for compensation of pulsations based on the results of control of their derivatives has been obtained, which leads to a decrease in power losses in the electric motor and increases the time of use of the energy resource of the battery. The conditions of subharmonic stability of the current loop of the electric drive system with ripple compensation circuits have been found.*

***Ключові слова:** quadcopter, pulsations, power loss, compensation, subharmonic stability*

Постановка проблеми. Відомості про застосування безпілотних літальних апаратів (БПЛА) свідчать про неухильне зростання їх ролі в тому числі, і в сучасних бойових операціях. Серед різних видів БПЛА малогабаритні і відносно нескладні у виконанні квадрокоптери знайшли широке застосування. Водночас, у квадрокоптерів існує певний недолік, який полягає в обмеженні часу польоту. В свою чергу, це обмеження обумовлене величиною ємності бортового акумулятора.

Аналіз основних досліджень і публікацій. В останні роки тема створення, використання і вдосконалення БПЛА різних класів є предметом ґрунтовних досліджень і публікацій [1-4]. Функціональні спроможності та межі впливу на успішний розвиток ситуації на полі бою квадрокоптерів, як виду БПЛА, постійно розширюються.

Системи електроприводів гвинтів квадрокоптеру зазвичай виконують на основі безколекторних двигунів постійного струму (БДПС), які працюють в імпульсному режимі. Причина –присутність в їх складі дискретних ланок: автономних інверторів напруги (АІН).

Внаслідок цього виникають пульсації напруги живлення, проти-е.р.с БДПС та його струму, які негативно впливають на к.к.д. електродвигуна, на якість динамічних характеристик системи електроприводу та на тривалість використання енергетичного ресурсу бортового акумулятора.

Постає актуальна проблема щодо необхідності розробки методів зменшення негативного впливу пульсацій БДПС на енергетичні та динамічні показники систем електроприводів гвинтів квадрокоптеру.

Час польоту можна збільшити за рахунок економного витрачання існуючого енергоресурсу. Існуючі системи керування польотом квадрокоптерів в основному виконуються за одноконтурними схемами з пропорційно-інтегрально-диференціальним або ж пропорційно-інтегральним регулятором.

Метою даної роботи є розробка двоконтурної системи електроприводу гвинта квадрокоптера, в якій реалізується якісне управління режимами польоту квадрокоптера і економне використання енергоресурсу бортового акумулятора.

Досягнення цієї мети можливе не тільки за рахунок якості комплектуючих елементів, але й значною мірою – за рахунок якості процесів формування струму електродвигунів [5].

Викладення основного матеріалу. Відомі роботи приділяють основну увагу створенню надійних алгоритмів та їх програмній реалізації для управління

електроприводом гвинта квадрокоптера [9]–[10], який виконується за одноконтурною схемою з ПД або ж П-регулятором. Вхідний сигнал регулятора формує інерційний модуль, до складу якого входять гіроскоп і аксельометр. Їх спільне використання дозволяє забезпечити стійкий політ квадрокоптера за результатами контролю кутових швидкостей вздовж трьох осей шляхом інтегрування кутів крену, тангажу, рискання.

Результати цього контролю реалізує одноконтурна система електроприводу гвинта зі зворотним зв'язком по швидкості обертання.

Недоліком одноконтурної системи є те, що вона астатична лише за керуючим впливом. Цей недолік ускладнює якісне виконання квадрокоптером своїх функцій при здійсненні пуску, при прийомі і скиданні навантаження, при гальмуванні і змінюванні швидкості.

Для збільшення цього часу і якості управління польотом квадрокоптера система електроприводу гвинта повинна мати контур струму, підпорядкований головному контуру швидкості.

В такій системі можна забезпечити астатизм за швидкістю не тільки при збуреннях за управлінням, але й при збуреннях за навантаженням, а також здійснювати контроль параметрів струму, який споживається від бортового акумулятора, що призведе до збільшення часу використання його енергоресурсу.

Очевидно, що введення контуру струму до системи електроприводу гвинта квадрокоптера вносить додаткове збурення, яке порушує умову його стійкого польоту. Це небажане випередження, яке спричиняє різкі коливання швидкості, в двократноінтегруючій системі компенсують за допомогою додаткової інерційності – включення аперіодичної ланки згладжування сигналу, що задається, з передавальною функцією

$$K_A(p) = \frac{1}{1 + 4pT_c}.$$

З урахуванням цього зображення перехідної характеристики за відносною швидкістю:

$$\bar{U}_u(p) = \frac{1}{(1 + 2pT_c)(4p^2T_c^2 + 2pT_c + 1)}.$$

Як і у попередньому випадку, з використанням теореми розкладання отримуємо перехідну характеристику за відносною швидкістю:

$$\bar{U}_u(t) = 1 - e^{-\frac{t}{2T_c}} - \frac{2}{\sqrt{3}} e^{-\frac{t}{4T_c}} \cdot \sin \frac{\sqrt{3}}{4T_c} t.$$

Щоб до кінця скасувати перерегулювання при стрибках навантаження і сигналу, що задається, і досягти при цьому високого і рівномірно наростаючого темпу зміни перехідної характеристики за швидкістю, ланку згладжування на вході сигналу, що задається, за струмом запропоновано шунтувати послідовно поєднаними диференціюючою і аперіодичною ланками з невеликою інерційністю.

Висновки.

1. Для забезпечення якісного управління режимами польоту квадрокоптера і збільшення часу використання енергоресурсу бортового акумулятора систему електроприводу гвинта квадрокоптера доцільно виконувати за двократноінтегруючою структурною схемою, яка астатична за управляючим і збурюючим впливами.

2. Для усунення різких змін швидкості, струму та їх похідних під час перехідних процесів на вході двократноінтегруючої системи електроприводу необхідно передбачити згладжування і диференціювання сигналу, що задається.

3. Отримані перехідні характеристики системи електроприводу, які показують, що запропоновані рішення дозволяють процеси регулювання струму і швидкості здійснювати з нульовим перерегулюванням без різких змінювань їх величини і похідної, що підвищує якість управління режимом польоту квадрокоптера і збільшує час використання енергоресурсу бортового акумулятора.

Список літератури

1. Фетисов В.С. Беспилотная авиация: Терминология, классификация, современное состояние / В.С. Фетисов. – Уфа: Фотон, 2014. – 217 с.
2. Zubu A., John S. A review of control algorithms for autonomous quadrotors / A. Zubu, S.A. John. – New York: Arxiv, 2016. – 11 pp.
3. M. Saad, C. Rajhans and S. Kannaiyan, "Application of PID and Sliding Mode Control on Quadcopter for Autonomous Optimized Flight," 2021 IEEE 18th India Council International Conference (INDICON), 2021, pp. 1-6, doi: 10.1109/INDICON52576.2021.9691680.
4. H. Fesenko, I. Kliushnikov, V. Kharchenko, S. Rudakov and E. Odarushchenko, "Routing an Unmanned Aerial Vehicle During NPP Monitoring in the Presence of an Automatic Battery Replacement Aerial System," 2020 IEEE 11th International Conference on Dependable Systems, Services and Technologies (DESSERT), 2020, pp. 34-39, doi: 10.1109/DESSERT50317.2020.9125080.
5. Оптимізація енергодинамічних процесів у системі керування приводом стабілізації польоту безпілотного літального апарату / Ю.О. Денисов та ін. / Технічні науки та технології: зб. наук. праць Чернігівського нац. технологічного ун-ту. - 2018 - №3(13). - с.187-193.

Жуков Л.Ф., д.т.н., с.н.с.,

п.н.с. відділу моніторингу та діагностики об'єктів енергетики
Інститут загальної енергетики НАН України
e-mail: l.zhukov42@gmail.com; тел.: +38(050)475-07-45

Петренко Д.О.,

м.н.с. відділу безперервного лиття та деформаційних процесів
Фізико-технологічний інститут металів та сплавів НАН України
e-mail: dima-petrenko@meta.ua; тел.: +38(050)629-95-71

БЕЗПЕРЕРВНИЙ СПЕКТРАЛЬНИЙ БЕЗКОНТАКТНИЙ ТА СВІТЛОВІДНІЙ ТЕРМОКОНТРОЛЬ ВИСОКОТЕМПЕРАТУРНИХ ОБ'ЄКТІВ

***Abstract.** Innovative methods and means of the most effective continuous spectral (multicolor) contactless and light-guide temperature control of the high-temperature melts in metallurgical furnaces and aggregates are presented in this article.*

***Keywords:** spectral (multicolor) and light-guide thermometry, microspectrometer, light-guide unit.*

Оптична термометрія є безальтернативною та найефективнішою для безперервного термоконтролю високотемпературних, в тому числі металургійних, виробничих процесів [1]. Перші оптичні термометри створювались та впроваджувались в металургію практично одночасно з розробкою теорії теплового випромінювання.

В той час були впроваджені поняття «умовних температур» чи «псевдотемператур». Вони не відповідають фізичному сенсу й визначенню температури в термодинаміці, молекулярно-кінетичній теорії та статистичній фізиці. Наприклад, якщо розглядати фундаментальний для визначення температури напрям теплообміну шляхом випромінювання, то об'єкт з нижчою «псевдотемпературою» за певних умов може передавати енергію об'єкту з вищою «псевдотемпературою» та нагрівати його. Це суперечить визначенню температури в термодинаміці як такому, що задає напрям передачі тепла. Тому Жуковим Л.Ф. запропоновано використовувати в оптичній термометрії фізично обґрунтоване поняття «температури випромінювання». Тут автори також дотримуються цієї концепції.

Класична енергетична однокольорова й спектрального відношення двокольорова пірометрія випромінювання за інструментальними похибками не поступається термоелектричній термометрії й широко використовується для еталонних вимірювань, в тому числі для побудови температурних шкал [1]. Без використання температурних поправок вона використовується на чорному тілі для енергетичної та чорному й сірому тілах – для спектрального відношення пірометрії випромінювання. З поправками – на будь-яких забарвлених тілах з відомою та стабільною випромінювальною здатністю.

Однак реальні умови вимірювань температури в металургії, як правило, характеризуються невідомою випадково змінною випромінювальною здатністю, а також пропусканням супутнього проміжного середовища. При жорсткому дотриманні вимог термоконтролю, високій кваліфікації експерта й використанні температурної поправки за термоелектричним термометром граничні похибки класичної енергетичної пірометрії випромінювання залізобутлецевих розплавів в струмені чи потоці знижуються до 0,5 та 0,6%, відповідно. В інших випадках, без температурних поправок, похибки сягають 8% та більше, що неприйнятно для технологічних вимірювань в металургії [2].

Мета роботи полягає в зниженні методичних похибок оптичної безконтактної термометрії і, за рахунок цього, розширення її області застосування, а також в створенні

технології безперервного вимірювання температури закритих високотемпературних об'єктів.

Авторами розроблено наступні спектральні (багатокольорові) методи вимірювань температури й випромінювальної здатності, які забезпечують підвищення точності оптичної термометрії за умов випадково змінних оптичних характеристик об'єкта контролю:

- симетрично-хвильової пірометрії випромінювання [3]. Принцип вимірювання ґрунтується на залежності вимірюваної температури об'єкта T від температур його випромінювання S_1, S_2, S_3 на довжинах хвиль $\lambda_1, \lambda_2, \lambda_3$ (за умови лінійності спектрального розподілу випромінювальної здатності $\varepsilon=f(\lambda)$), відповідно до наступного рівняння

$$\frac{\lambda_2}{C_2} \ln \left(\frac{e^{-\frac{C_2(T-S_1)}{T\lambda_1 S_1}} + e^{-\frac{C_2(T-S_3)}{T\lambda_3 S_3}}}{2} \right) - \frac{1}{T} + \frac{1}{S_2} = 0,$$

де $C_2 = 1,4388 \cdot 10^{-2}$ [К·м] – друга радіаційна стала;

- двокольорової компенсаційної пірометрії випромінювання [4]. Принцип вимірювання ґрунтується на залежності T від двокольорових температур $S_{2ц}$ и $S_{2ц}'$ випромінювання для реального та дзеркального $\varepsilon=f(\lambda)$, тобто

$$T = \frac{2}{\frac{1}{S_{2ц}} + \frac{1}{S_{2ц}'}};$$

- вимірювань випромінювальної здатності за рівнянням нелінійності $\varepsilon=f(\lambda)$ [2]. Принцип вимірювання ґрунтується на взаємозв'язку коефіцієнта нелінійності K_{H_2} $\varepsilon=f(\lambda)$ об'єкта зі значенням ε_3 на правій граничній довжині хвилі λ_3 через вимірювані S_1, S_2, S_3 на $\lambda_1, \lambda_2, \lambda_3$

$$K_{H_2} = e^{\frac{2 \cdot C_2}{2 \cdot \lambda_1 \cdot S_3} - \frac{C_2}{\lambda_2 \cdot S_2} + \frac{C_2}{2 \cdot \lambda_3 \cdot S_3}} \cdot \varepsilon_3^{\frac{1}{2} + \frac{\lambda_3}{2 \cdot \lambda_1}} - e^{\frac{C_2}{\lambda_1 \cdot S_3} - \frac{C_2}{\lambda_1 \cdot S_1}} \cdot \varepsilon_3^{\frac{\lambda_3}{\lambda_1}} - \frac{\varepsilon_3 - e^{\frac{C_2}{\lambda_1 \cdot S_3} - \frac{C_2}{\lambda_1 \cdot S_1}} \cdot \varepsilon_3^{\frac{\lambda_3}{\lambda_1}}}{\lambda_3 - \lambda_1} \cdot (\lambda_2 - \lambda_1).$$

З використанням отриманого рівняння нелінійності розроблено лінійний, дводіапазонний та параболічний методи вимірювань випромінювальної здатності.

За умов випадково змінної випромінювальної здатності методичні похибки вимірювань температури запропонованими спектральними (багатокольоровими) методами менше похибок відомої спектральної, а також класичної енергетичної та спектрального відношення термометрії відповідно в 2,3; 11,7-20,0 й 6,1-7,6 рази [2].

Запропоновані методи технічно реалізовані на базі сучасної оптоелектронної техніки, в тому числі з використанням мікроспектрометрів Ocean Insight (США) [5].

В багатьох випадках об'єкт екрановано від оптичного термометра. Наприклад, в умовах металургії метал в індукційній печі знизу та збоку екранований її конструкціями, а зверху – шлаком. Метод світловодної термометрії в таких випадках не має альтернативи.

Принцип вимірювання світловодної термометрії ґрунтується на світловодному формуванні й передачі через футерівку металургійного агрегату теплового випромінювання, термометричні параметри якого однозначно пов'язані з температурою об'єкта контролю [5]. Основним елементом при цьому є вогнетривкий корозійностійкий світловодний пристрій, який стаціонарно встановлений в футерівці й забезпечує стабільний оптичний контакт первинного пірометричного перетворювача з розплавом. Для технічної реалізації світловодного термоконтролю розроблено методики досліджень металургійного обладнання з позицій світловодної термометрії в умовах отримання, обробки й розливання рідкого металу. На основі виконаних досліджень створено кілька типів й модифікацій світловодних систем безперервного контролю температури розплавів в металургійних агрегатах, в тому числі в індукційних тигельних та каналних, плавильних, міксерних й розливних печах.

Базова світловодна термометрична система [5] складається зі світловодного пристрою (СП), пристрою оптичного зчленування, фокуруючого пристрою, волоконно-оптичного кабелю, детектуючого пристрою, вторинного вимірювального перетворювача, виносного цифрового індикаторного й виконавчого пристроїв. СП є головним елементом системи й призначений для стабільного формування й передавання через футерівку теплового випромінювання об'єкта. До матеріалів та конструкції СП висуваються дуже високі вимоги, оскільки воно працює в умовах тривалого механічного, температурного й хімічного впливу футерівки й продуктів плавки. СП визначає надійність та метрологічні характеристики світловодного термоконтролю. Воно містить світловод, армований силовою конструкцією, яка виконана, наприклад, з павленої кераміки на основі ZrO_2 , Al_2O_3 або SiO_2 . Світловод є головним елементом СП та виготовляється з монокристалічних чи аморфних SiO_2 , Al_2O_3 або BeO . Світловод має зберігати стабільне, в робочому спектральному діапазоні первинних пірометричних перетворювачів термометричної системи, пропускання електромагнітного теплового випромінювання розплаву на протязі всієї кампанії футерівки за технологічних температур металургійного обладнання. Світловод розміщений на осі керамічної несучої труби. Кільцевий зазор між ним та трубою ущільнено армувальним матеріалом, розробленим, наприклад, на базі сфероїдального Al_2O_3 , AlN або BN з використанням керамічних нанотехнологій.

Промислова експлуатація показала, що світловодні технології вперше в світовій практиці забезпечують безперервний термоконтроль високотемпературних розплавів безпосередньо в тигельних й каналних, плавильних, міксерних та розливних індукційних печах в температурному діапазоні 1200...1750 °С з граничними похибками відповідно 12,8; 9,8 та 8,6 °С при $P_{\text{дов}}=0,95$.

Представлені термометричні технології захищені 32 патентами в Австралії, Болгарії, Німеччині, Франції, Канаді, США, Швеції, Японії й 5 міжнародними заявками, опублікованими відповідно до Договору про патентну кооперацію (РСТ). Технології можуть використовуватися для безперервного термоконтролю сольових та керамічних розплавів, газових середовищ та футерівки в металургії, металургії машинобудування, енергетиці, а також в коксохімічному, вогнетривкому, керамічному, скляному, цементному й інших виробництвах.

З метою подальшого розвитку розробок планується підвищення характеристик світловодних пристроїв та їх адаптація до умов проміжних ковшів та конвертерів в металургії, а також котлоагрегатів – в енергетиці.

Список використаної літератури

1. Снопко В. Н. Основы методов пирометрии по спектру теплового излучения / В. Н. Снопко // Минск: Институт физики им. Степанова НАН Беларуси, 1999. – 224 с.
2. Жуков Л. Ф. Методи опосередкованих вимірювань випромінювальної здатності вольфраму і залізобуглецевих сплавів / Жуков Л. Ф., Петренко Д. О. // Український метрологічний журнал. – 2022. – №1. – С.20–27.
3. Жуков Л. Ф. Новые технологии многоцветовой симметрично-волновой термометрии / Л. Ф. Жуков, А. Л. Корниенко. – Саарбрюккен, Германия: LAP, 2014. – 161 с.
4. Жуков Л. Ф. Двухцветовая компенсационная термометрия металлических сплавов и ее инструментальные погрешности. / Жуков Л. Ф., Петренко Д. А., Корниенко А. Л. // Процессы литья. – 2016. – №5. – С.48–58.
5. Zhukov L. Innovative technologies for continuous thermal control of Thermal Power Plants boilers / L. Zhukov, D. Petrenko, O. Kharchenko, S. Kharchenko // «Systems, Decision and Control in Energy V» / ed. by A. Zaporozhets. – Springer, 2023. – P. 285–326.

Жуков Л.Ф., д.т.н., с.н.с.,

п.н.с. відділу моніторингу та діагностики об'єктів енергетики
Інститут загальної енергетики НАН України
e-mail: l.zhukov42@gmail.com; тел.: +38(050)475-07-45

Петренко Д.О.,

м.н.с. відділу безперервного лиття та деформаційних процесів
Фізико-технологічний інститут металів та сплавів НАН України
e-mail: dima-petrenko@meta.ua; тел.: +38(050)629-95-71

Сіренко К.А.,

м.н.с. відділу безперервного лиття та деформаційних процесів
Фізико-технологічний інститут металів та сплавів НАН України
e-mail: thermoexp.metal@gmail.com; тел.: +38(067)214-75-81

Корнієнко А.Л.,

н.с. відділу безперервного лиття та деформаційних процесів
Фізико-технологічний інститут металів та сплавів НАН України
andreika@rambler.ru; тел.: +38(050)694-34-31

ТЕПЛОФІЗИЧНИЙ ЕКСПРЕС-КОНТРОЛЬ ХІМІЧНОГО СКЛАДУ ТА СТРУКТУРИ МЕТАЛЕВИХ СПЛАВІВ

Abstract. *The methods and means of the thermographic, thermoelectric and thermodynamic express-control of metal alloys chemical composition and structure are presented in this article.*

Keywords: *thermographic, thermoelectric and thermodynamic express-control, chemical composition, structure, cast iron.*

В процесах отримання, обробки і розливання рідкого металу, крім вимірювань температури, актуальною задачею є також контроль та витримка в необхідних межах хімічного складу та пов'язаних з ним параметрів сплавів. Так, наприклад, в структурі метрологічного забезпечення японських металургійних підприємств JFE Holdings Inc. (раніше Kawasaki Seitetsu) на засоби контролю хімічного складу припадає 5,2 % [1].

На сьогодні основним ливарним матеріалом є чавун. Обсяг виробництва чавуну досягає 70% від загального обсягу виробництва литва в металургії машинобудування й в абсолютному вимірі складає 73,9 млн т станом на 2020 р. [2]. В чавуноливарному виробництві необхідно експресно (по ходу плавки) контролювати вміст *C*, *Si* та *Mn*, а також форму графіту.

В виробничих умовах хімічний склад, структура та газовміст сплавів контролюють термографічними, рентгенофлуоресцентними, оптичними, спектральними, термоелектричними та ультразвуковими методами [3].

Відомі термографічні методи зазвичай дозволяють вимірювати вміст *C* та *Mn*, а також вуглецевий еквівалент. При цьому точність вимірювань по *C* не досяжна для інших відомих методів експрес-аналізу, а по *Si* – не задовольняє вимоги виробництва.

До найбільш суттєвих недоліків термоелектричних методів відносять використання мідних гарячих електродів, разові, без статистичної обробки, вимірювання термо-ЕРС [4]. Через це результати аналізу обтяжені значною випадковою складовою похибки.

Ультразвукові технології традиційно використовуються для контролю форми графіту в чавуні. Довірча ймовірність контролю при цьому не перевищує 60 % [3].

Мета роботи полягає в підвищенні метрологічних характеристик термографічного, і термоелектричного контролю хімічного складу залізвуглецевих сплавів, а також в обґрунтуванні й створенні термодинамічної технології контролю форми графіту в чавуні.

В результаті виконаного комплексу досліджень, спрямованого на розширення області застосування, підвищення точності й експресності, а також зниження вартості контролю, розвинено й розроблено технології термографічного, термоелектричного й термодинамічного експрес-контролю хімічного складу та структури залізвуглецевих сплавів

Технологія термографічного експрес-аналізу заснована на залежностях температур фазових перетворень «ліквідус» та «солідус» від хімічного складу чавуну. Термографічний аналіз дозволяє вимірювати вміст наступних елементів й визначати наступні технологічні характеристики:

- *C* та *Si* – в чавунах;
- *C* – в сталях;
- *Al* та *Cu* – в цинкових сплавах;
- *Fe*, *Al* та *Zn* – в мідних сплавах;
- *Si*, *Fe*, *Mg*, *Ni*, *Cu*, *Mn*, *Zn* і *Ti* – в алюмінієвих сплавах;
- ступінь модифікування; кількість неметалевих включень; пористість; об'єм усадкової раковини; протяжність границь зерен з наступною оцінкою пов'язаних з нею параметрів.

Для термографічного експрес-контролю вмісту *C* та *Si* в чавунах виготовлено установку УТГЕА-Ч. В ній реалізовано метод порівняння форми зареєстрованої термограми охолодження з референсними термограмами, отриманими раніше для сплавів з відомим хімічним складом [5].

Установка включає металеву пробницю, пробовідбірник, вторинний вимірювальний перетворювач, а також комп'ютер з відповідним програмним забезпеченням. Комплектується занурюваними або наливними, одноразовими графітовими чи піщаними, чи наливними багаторазовими (до 1000 проб) фарбованими металевими виливницями, термоелектричними чи оптоелектронними первинними перетворювачами. Абсолютна похибка вимірювання вмісту *C* не перевищує 0,1 %.

В основу термоелектричного експрес-контролю покладено залежності термоелектричних характеристик залізвуглецевих сплавів у контакті з копелевим (*Cu-Ni*) гарячим електродом від хімічного складу цих сплавів [4].

Виготовлено установку УТЕА-Ч для термоелектричного визначення вмісту *C*, *Si* та *Mn*, а також вуглецевого еквівалента в чавунах. УТЕА-Ч містить гарячий (ГЕ) і холодний електроди (ХЕ), між якими розміщено досліджуваний зразок чавуну. В контактуючих зі зразком частинах електродів встановлено диференціальний термоелектричний перетворювач, підключений до входу регулятора температури, вихід якого з'єднано з нагрівачем термостату. Вимірювальний термоелектричний ланцюг «ГЕ–зразок–ХЕ» замикається через вхідний ланцюг вторинного вимірювального перетворювача (ВВП). ВВП автоматично нагріває ГЕ до заданої робочої температури. Зразок за допомогою привідного механізму затискається між ГЕ і ХЕ. В результаті замикається вимірювальний ланцюг і термо-ЕРС, що виникла, вимірюється ВВП. За отриманою вибіркою значень термо-ЕРС ВВП, використовуючи відповідні регресійні залежності, обчислює масовий вміст *C*, *Si* і *Mn*, а також вуглецевий еквівалент. Абсолютна похибка вимірювань УТЕА-Ч для вказаних параметрів не перевищує 0,1 %.

Порівняно з аналогами, в УТЕА-Ч усунуто недоліки, пов'язані з застосуванням мідних гарячих електродів, а також відсутністю статистичної обробки виміряних значень термо-ЕРС. Розроблено спеціальну методику отримання й підготовки зразків для аналізу, що мінімізує випадкові похибки. В результаті порівняльних досліджень підтверджено більш високу, порівняно з іншими методами, в тому числі спектральним і термографічним, точність термоелектричного експрес-контролю чавунів [6].

Термодинамічний експрес-контроль форми графіту заснований на залежності температуропровідності від структури, в тому числі – температуропровідності від форми графіту в чавуні. Температуропровідність найбільш сильно залежить від форми графіту.

Наприклад, при зміні ступеню сфероїдизації графіту від 30 до 70% температуропровідність чавуну змінюється майже в 2 рази, в той час як швидкість ультразвуку в ньому – лише на 10 % [3]. Таке зростання крутизни залежності вимірюваного параметра дозволяє підвищити довірчу ймовірність контролю з 60 до 95%. Розроблена установка термодинамічного експрес-контролю дозволяє визначати пластинчасту, вермикулярну та кулясту форму графіту в попередньо відібраних зразках чавуну або виливках.

Таким чином, розроблені технології термографічного, термоелектричного і термодинамічного експрес-контролю хімічного складу й структури металевих сплавів дозволяють суттєво підвищити точність та експресність контролю, а також знизити його вартість. Перевагами термографічної технології є інноваційна конструкція занурюваної пробниці, застосування статистичних алгоритмів розпізнавання термограм охолодження, а також можливість адаптації для кольорових сплавів. Абсолютні похибки вимірювань термоелектричного експрес-контролю знижено до 0,1%. Термодинамічний експрес-контроль підвищує довірчу ймовірність контролю форми графіту в чавунах до 95 %.

Представлені методи й засоби експресного контролю захищені авторськими свідоцтвами й патентами України.

Наявні розробки забезпечують перспективу для розширення області застосування термоелектричного й термодинамічного експрес-аналізу для інших сплавів та структур.

Використана література

1. Iwamura T. Survey on Sensing Technology in Steel Industry / Iwamura T. // Journal of The Society of Instrument and Control Engineers. – 1990. – Vol. 29, Iss. 6. – P.508–517.

2. Гнатуш В. А. Світовий ринок металевих виливків 2018–2020: виробництво, країни, технології / Гнатуш В. А., Дорошенко В. С. // Процеси лиття. – 2021. – №1(143). – С.57–64.

3. Жуков Л. Ф. Новые технологии температурного и экспрессного теплофизического контроля для металлургии и металлургии машиностроения / Жуков Л. Ф. // Литейное производство. – 2006. – №3(39). – С.50–56.

4. Гиниятуллин И. Н. Контроль состава чугуна термоэлектрическим методом / Гиниятуллин И. Н. // Заводская лаборатория. – 1976. – Т. 42, №10. – С.1207-1209.

5. Zakharchenko E. New Computer Method of Derivative Thermal Express Analysis of Cast Iron for Operational Prediction of Quality of Melts and Castings [Електронний ресурс] / Zakharchenko E., Sirenko A., Goncharov A., Bogdan A., Burbelko M., Kawalec M. // Journal of Casting & Materials Engineering. – 2019. – Vol. 3, No. 2. – P.31–42. – Режим доступу: <https://journals.agh.edu.pl/jcme/article/download/3109/2280>. – Назва з екрана.

6. Жуков Л. Ф. Инновационные технологии экспрессного контроля температуры и химического состава железоуглеродистых сплавов / Жуков Л. Ф., Гончаров А. Л., Петренко Д. А., Захарченко Э. В., Сиренко Е. А. // Металл и литье Украины. – 2018. – №11-12. – С.43–53.

Кошовий М.Д., д.т.н., професор,
професор кафедри інтелектуальних вимірювальних систем та інженерії якості,
Національний аерокосмічний університет ім. М.Є. Жуковського
«Харківський авіаційний інститут»,

e-mail: m.koshovyi@khai.edu, тел. +38(050)769-09-29

Костенко О.М., д.т.н., професор,
проректор, Полтавський державний аграрний університет,
e-mail: kostenko@pdaa.edu.ua, тел. +38(050)217-51-76

Пилипенко О.Т.,

аспірант кафедри інтелектуальних вимірювальних систем та інженерії якості,
Національний аерокосмічний університет ім. М.Є. Жуковського
«Харківський авіаційний інститут»,

e-mail: sawashy@gmail.com, тел. +38(050)622-44-73

Ковшар Н.Є.,

аспірант кафедри інтелектуальних вимірювальних систем та інженерії якості,
Національний аерокосмічний університет ім. М.Є. Жуковського
«Харківський авіаційний інститут»,

e-mail: kovshar.nata@ukr.net, тел. +38(068)366-97-78

ВОЛОКОННО-ОПТИЧНА СИСТЕМА ВИМІРЮВАННЯ РІВНЯ РІДИНИ

Abstract. *In order to simplify the construction and expand the functionality of the prototype, a fiber-optic liquid level measurement system is proposed.*

Key words: *a fiber-optic system, liquid level, a construction, functionality.*

Постановка проблеми. Широке застосування в промисловості знаходять інформаційно-вимірювальні системи фізичних величин з волоконно-оптичними перетворювачами. Проектування і розробка волоконно-оптичних систем вимірювання рівня рідини пов'язані з проблемами спрощення їх конструкцій та розширення функціональних можливостей.

Аналіз останніх джерел дослідження і публікацій. Недоліками відомої волоконно-оптичної системи вимірювання рівня рідини [1] є складність конструкції та обмежені функціональні можливості.

Мета роботи. Розробити волоконно-оптичну систему вимірювання рівня рідини, яка дозволяє спростити конструкцію та розширити функціональні можливості прототипу [1].

Основні матеріали дослідження.

З метою спрощення конструкції та розширення функціональних можливостей прототипу [1] запропонована волоконно-оптична система вимірювання рівня рідини [2].

На рис. 1 приведена спрощена конструкція волоконно-оптичної системи вимірювання рівня рідини, а на рис. 2 – фрагмент розміщення входних та вихідних оптичних волокон для отримання інформації про рівень рідини в одиничному та у двійковому кодах.

Волоконно-оптична система вимірювання рівня рідини (рис. 1) містить ємкість для рідини 1, джерело 2 випромінювання, входне 3 та вихідні 4 оптичні волокна, трубу 5, поперечний перетин якої може бути круглим або прямокутним. В трубі 5 розміщені поплавки 6 та лінійка 7, на якій закріплені входні торці вихідних оптичних волокон 4 та обернені до вихідного торця входного оптичного волокна 3 вмонтованого в поплавок 6. Вихідні торці вихідних оптичних волокон 4 під'єднанні до приймачів 8 випромінювання згідно з відповідним кодом (рис. 2). Приймачі 8 випромінювання підключені до послідовно з'єднаних блоку 9 обробки цифрових сигналів та блоку 10 відображення інформації про

рівень рідини. Поплавок 6 має можливість переміщуватися по направляючих в трубі 5, а вхідне 3 оптичне волокно має достатній запас по довжині для переміщення по глибині ємкості 1 для рідини.

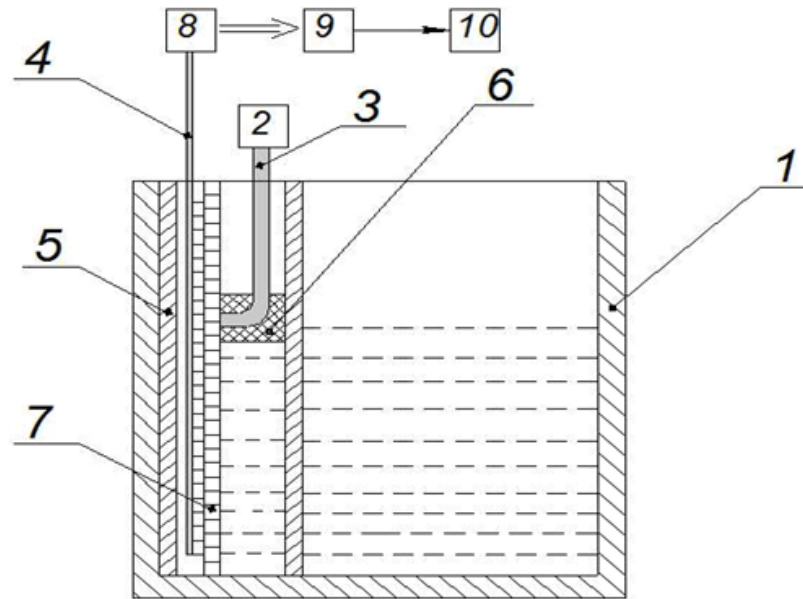


Рис. 1. Конструкція волоконно-оптичної системи вимірювання рівня рідини

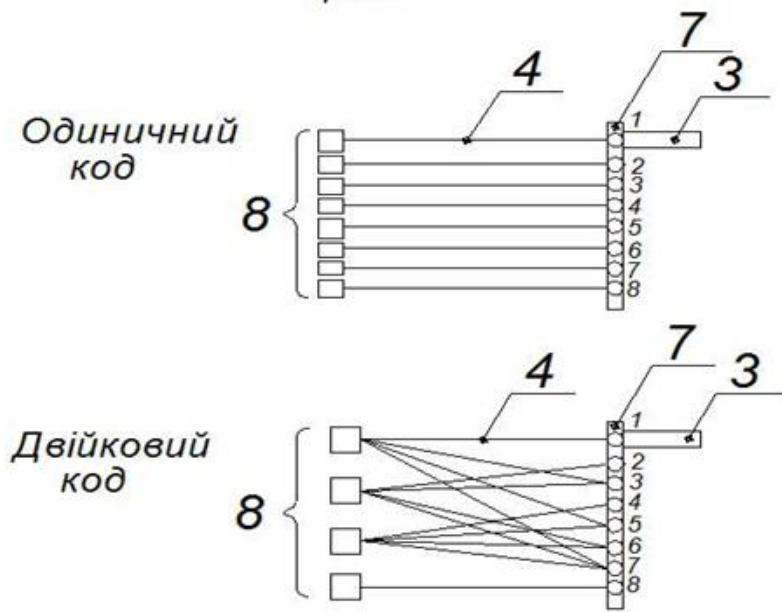


Рис. 2. Фрагмент розміщення вхідних та вихідних оптичних волокон для отримання інформації про рівень рідини в одиничному та у двійковому кодах

Волоконно-оптична система вимірювання рівня рідини працює наступним чином.

В початковому стані (коли вся ємкість 1 заповнена рідиною) поплавок 6 знаходиться у верхній частині труби 5. Оптичний сигнал від джерела 2 випромінювання через вхідне 3 оптичне волокно потрапляє на вхідний торець першого вихідного 4 оптичного волокна та поступає по цьому волокну на перший приймач 8 випромінювання. Електричний сигнал із виходу приймача 8 поступає на послідовно з'єднані блок 9 обробки цифрових сигналів та блок 10 відображення інформації, які формують сигнал індикації про рівень рідини (ємкість повністю заповнена рідиною).

При зміні рівня рідини поплавок 6 по направляючим опускається по трубі вниз, а вихідний торець вхідного 3 оптичного волокна зупиняється навпроти відповідного вхідного торця вихідних 4 оптичних волокон, закріплених на лінійці 7. У цьому випадку оптичний сигнал, що передається від джерела 2 випромінювання, потрапляє через відповідні вихідні 4 оптичні волокна (рис. 2) на відповідні приймачі 8 випромінювання. Електричні сигнали із виходів приймачів 8 випромінювання (рис. 2) у блоці 9 обробки цифрових сигналів формуються у вигляді двійкових кодів. В блоці 10 відображення інформації формується сигнал індикації про рівень рідини.

Висновок. Запропонована волоконно-оптична система вимірювання рівня рідини дозволяє спростити конструкцію та підвищити її технологічність, а також розширити функціональні можливості. Крім того, вона має абсолютну іско-, вибухо-, пожежобезпечність.

Перспективами розвитку даного напрямку є подальше спрощення конструкції системи, підвищення її надійності та технологічності.

Список літератури

1. Модернизированная волоконно-оптическая система измерения уровня жидкости / И.Т. Назарова, Д.И. Серебряков, Т.Ю. Бростилова, Т.И. Мурашкина // Надежность и качество сложных систем. – 2013. – № 4. – С. 54-59.

2. Волоконно-оптична система вимірювання рівня рідини: пат. № 152268 Україна: МПК (2006.01) G01F 23/22 / Костенко О.М., Кошовий М.Д., Пилипенко О.Т., Малкова Г.В., Дрожжана О.У. № U202201323; заявл. 22.04.22; опубл. 11.01.2023, Бюл. № 2. – 3 с.

Красвий С.А.,

магістрант кафедри приладобудування, мехатроніки і комп'ютеризованих технологій
Черкаський державний технологічний університет

Трембовецька Р.В., д.т.н., доцент,

доцент кафедри приладобудування, мехатроніки і комп'ютеризованих технологій
Черкаський державний технологічний університет

r.trembovetska@chdtu.edu.ua

Тичков В.В., к.т.н., доцент,

доцент кафедри приладобудування, мехатроніки і комп'ютеризованих технологій
Черкаський державний технологічний університет

v.tychkov@chdtu.edu.ua

Гальченко В.Я., д.т.н., професор,

професор кафедри приладобудування, мехатроніки і комп'ютеризованих технологій
Черкаський державний технологічний університет

halchvl@gmail.com

ВДОСКОНАЛЕННЯ АВТОМАТИЗОВАНОЇ СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ ТЕХНОЛОГІЧНИМ ПРОЦЕСОМ ДОЗУВАННЯ СИПУЧИХ РЕЧОВИН

Abstract. *The development and study of an automatic control system for a technological complex for batch weight dosing of bulk materials, which guarantees high productivity with high dosing accuracy, is relevant today. The aim of this study was to increase the productivity of vertical batch dosing of bulk materials using an efficient control algorithm and an asynchronous electric drive of the screw feeder.*

Keywords: *batchers, feeders, measuring systems, control systems*

Вступ. Дозування є одним із важливих технологічних процесів металургійної, хімічної та харчової промисловості, ключовими показниками якості, якого є точність та продуктивність.

Проведений аналіз існуючих технологічних процесів дозування сипучих речовин [1-2] показав, що підвищення точності дозування істотно знижує продуктивність технологічного процесу, а в свою чергу підвищення продуктивності знижує точність технологічного процесу дозування [3]. Для вирішення цієї проблеми в дослідженні було розроблено технологічний процес для високоточного порційного дозування сипучих речовин.

Рішення, необхідні для досягнення необхідної точності дозування при незначному зниженні продуктивності, є зміна конструкції дозуючої установки, застосування розробленого алгоритму управління та забезпечення плавності та точності дозування.

Отже, **метою досліджень** є вдосконалення автоматизованої системи управління технологічним процесом дозування сипучих речовин.

Конструкція була вдосконалена наступним чином - додано другий дозуючий бункер зі шнековим живильником та розроблено алгоритм управління для забезпечення синхронної роботи двох дозуючих бункерів.

Перший бункер-дозатор забезпечує завантаження сипучої речовини при максимально можливій швидкості в ємність на 90 % від еталонної маси, виставленої оператором, а другий бункер-дозатор в той же час забезпечує завантаження сипучої речовини в ємність на 10 % від еталонної маси, після чого система проводить контрольне зважування. Контрольне зважування наводиться для порівняння даних з даними, виставленими оператором. Таким чином, була розроблена система дозування з необхідними показниками точності та мінімальною втратою продуктивності.

Для управління електроприводом шнекового живильника використовується система векторного управління, яка може керувати величиною і частотою напруги, а також фазою. Векторне управління має вищу продуктивність, ніж скалярне, і має наступні переваги

- висока точність регулювання швидкості.
- плавний пуск і плавне обертання двигуна у всьому діапазоні частот;
- швидка реакція на зміну навантаження.
- розширений діапазон регулювання.

У цій роботі досліджено можливість використання системи предиктивного управління для електроприводу шнекових живильників. Цей метод все частіше використовується в промислових системах управління [4-5]. Однією з основних причин цього є мінімізація параметрів, які необхідно регулювати. Для успішного застосування предиктивного управління було запропоновано модель об'єкта з необхідною достовірністю та точністю.

Висновки. За допомогою моделі об'єкта управління стає можливим прогнозування майбутньої поведінки системи управління технологічним процесом дозування сипучими речовинами відповідно до типу керуючого впливу. В результаті було створено структурну схему системи предиктивного управління дозатором та проаналізовано всі елементи цієї структури. Визначено координати входу/виходу для роботи системи.

Список літератури

1. Teżyk, M., Milanowski, B., Ernst, A., & Lulek, J. (2016). Recent progress in continuous and semi-continuous processing of solid oral dosage forms: a review. *Drug development and industrial pharmacy*, 42(8), 1195-1214.
2. Voicea, I., Neagoe, M., Persu, C., Găgeanu, I., Oprescu, R., Nițu, M., ... & Popescu, C. (2019). Construction types of technical equipment for dosing, weighing, packaging and procedures used in milling units. *Annals of the University of Craiova-Agriculture, Montanology, Cadastre Series*, 48(2), 457-464.
3. Algitta, A. A., Mustafa, S., Ibrahim, F., Abdalruof, N., & Yousef, M. (2015). Automated packaging machine using PLC. *International Journal of Innovative Science, Engineering & Technology*, 2(5), 282-288.
4. Kriswanto, K., Karsan, K., Al-Janani, D. H., Roziqin, A., Hangga, A., Fathoni, K., & Wijayanto, B. (2021). Design and performance of the raspberry pi control system on packaging machine capacity 2400 Pcs/h. *Rekayasa: Jurnal Penerapan Teknologi Dan Pembelajaran*, 19(1), 1-10.
5. Salah, B., Alsamhan, A. M., Khan, S., & Ruzayqat, M. (2021). Designing and Developing a Smart Yogurt Filling Machine in the Industry 4.0 Era. *Machines*, 9(11), 300.

Нікольський В.В., д.т.н., професор,
професор кафедри технічної експлуатації флоту
Національний університет «Одеська морська академія»

Оженко Є.М., к.т.н.,
ст. викладач кафедри автоматизації суднових енергетичних установок
Національний університет «Одеська морська академія»

Нікольський М.В., к.т.н.,
ст. викладач кафедри автоматизації суднових енергетичних установок
Національний університет «Одеська морська академія»

Слободянюк М.В., к.т.н.,
ст. викладач інституту ВМСУ
Національний університет «Одеська морська академія»

ВИКОРИСТАННЯ П'ЄЗОЕЛЕКТРИЧНОГО ПРИВОДУ ДЛЯ «ЦИФРОВОЇ» РІДИНИ

Abstract. *Use of piezoelectric drive for "digital" liquid. The operation of modern marine diesel engines with electronic fuel supply is accompanied by interruptions due to the use of a drive based on an electromagnetic solenoid. The conducted studies proved the possibility of replacing the elements of the fuel system with a "digital" liquid using a piezoelectric actuator. However, modern electronic environments for simulation modeling do not allow this to be done for various reasons. Therefore, it is considered a promising direction to create prerequisites for simulation modeling.*

Key words: *marine diesel engines; FIVA – valve; fuel system; DFCU; Piezoelectric actuator.*

Сучасні системи подачі палива суднових малообертових двигунів з електронним управлінням подачею палива від MAN-B&W (серія ME) та Wärtsilä (серія RT-Flex) широко використовують клапани різної продуктивності з приводом на електромагнітному соленоїді, в процесі експлуатації яких спостерігаються перебої [1 – 3].

В дослідженні [4] було запропоновано використання «цифрової рідини» при заміні одного клапану подачі газу з великим отвором шістьма «елементарними» клапанами (DFCU) у відповідності до принципу «мінімізації». Це дозволило у разі порушень у роботі одного клапану, відмикати його без зупинки двигуна.

В дослідженнях, які проводилися на кафедрах автоматизації суднових енергетичних установок і технічної експлуатації флоту Національного університету «Одеська морська академія» [5 – 7] був запропонований перехід від пропорційного клапану FIVA – valve на декілька «цифрових» клапанів з п'єзоприводом.

Однак, за великою кількістю переваг п'єзоприводу ховається один суттєвий недолік – невелика відстань, на яку складальний стовп пересуває рухомий кінець. Тому для збільшення відстані запропоновано використання досягнень, які були здобуті в виробництві автомобільних дизельних двигунів, а саме форсунок з п'єзоелектричним приводом на складальному стовпі з важелем (мультиплікатором), що дозволяє суттєво збільшити відстань, на яку здатний переміститися вільний кінець п'єзоелектричного складального стовпа, та тиск робочої рідини.

На початку 2000-х років спільним підприємством Volkswagen Mechatronic GmbH & Co. KG з фірмою Siemens VDO Automotive AG (м. Штольберг, Саксонія) були розроблені насос-форсунки з п'єзоелектричним приводом на базі насос-форсунки з електромагнітним клапаном, що дозволило збільшити швидкодію і поліпшити керованість процесами впорскування. Це дозволило підвищити ККД робочого циклу форсунки за рахунок зменшення обсягів палива, що стискається під високим тиском.

Нами запропонована заміна FIVA – valve на шість насос-фосунок з мультиплікаторами [8], оскільки гідравлічна рідина за своїми властивостями близька до дизельного палива, зокрема – динамічна в'язкість.

Для оцінки спроможності запропонованої схеми необхідно було провести імітаційне моделювання, яке стикнулося з деякими перешкодами.

Так, SimuLink не дозволяє проведення моделювання з великою кількістю однотипних елементів – виявилось, що не більше трьох. В той же час SimInTech, який дозволяє поєднати в одному проєкті електро-механічні та гідравлічні системи і для якого в період з 2015 по кінець 2021 було створено бібліотеку п'єзоелектричних стовпів з 3, 5, 10, 50 і 100 елементарних шарів з початку повномасштабної війни не використовується для проведення імітаційного моделювання.

Тому є необхідність вдосконалення існуючих або створення інших середовищ для проведення імітаційного моделювання.

Список літератури.

1. Нікольський В.В., Платонов А.В. Паливна система суднового дизель-генератора з п'єзопривідним клапаном подачі газу // Матеріали науково-технічної конференції «Суднові енергетичні установки: експлуатація і ремонт», 21.11.2019. – Одеса: НУ «ОМА», 2019. – С. 303-305.

2. Никольский В.В., Никольский М.В., Лысенко В.Е. Модель пьезоэлектрического преобразователя клапана подачи газа в судовой дизель-генератор // Вісник Черкаського державного технологічного університету: технічні науки. – Черкаси: ЧДТУ, 2019. – №3. – С. 25 – 30.

3. Нікольський В.В., Лысенко В.Е., Никольский М.В. Конструктивные решения клапана подачи газа с пьезопреобразователями // Матеріали науково-технічної конференції «Суднові енергетичні установки: експлуатація і ремонт», 21.11.2019. – Одеса: НУ «ОМА», 2019. – С. 306-310.

4. JUSSI PEURALA Model-based design, modelling and simulation of digital hydraulic GAS admission valve / Master of Science Thesis, 132 pages, 12 Appendix pages May 2014. [Internet]. Available from: <https://core.ac.uk/download/pdf/250162574.pdf>.

5. Лук'янюк А.А., Нікольський В.В. Підвищення надійності системи подачі палива суднового дизеля з електронним управлінням // Матеріали науково-технічної конференції «Суднові енергетичні установки: експлуатація і ремонт», 18.11.2020. – Одеса: НУ «ОМА», 2020. – С. 85 - 92.

6. Нікольський В.В., Оженко Є.М., Вовкович С.О., Кукузей Р.І. Оцінка можливості використання п'єзоелектричного приводу для управління випускним клапаном суднового малообертового двигуна // Матеріали міжнародної науково-технічної конференції «Суднова електроінженерія, електроніка і автоматика», 24.11.2020 - 25.11.2020. – Одеса: НУ «ОМА», 2020. – С. 193 – 196.

7. Нікольський В.В., Оженко Є.М., Нікольський М.В., Коваль М.А., Євсєєв М.Д. Оцінка можливостей використання «цифрової рідини» в суднових дизелях / Суднові енергетичні установки: науково-технічний збірник. Вип. 43. - Одеса: НУ «ОМА», 2021. – С. 234 - 247.

8. Сарамотін Є.О., Нікольський В.В. Підвищення працездатності системи електронного управління подачею палива суднового малообертового дизеля MAN-B&W серії ME / Матеріали науково-технічної конференції молодих дослідників "Суднові енергетичні установки: експлуатація та ремонт", 16.11.2022. – Одеса: НУ «ОМА», 2022. – С. 160-161.

Отрош Ю.А. д.т.н., професор,
начальник кафедри пожежної профілактики в населених пунктах
Національний університет цивільного захисту України
e-mail: yuriyotrosh@gmail.com, тел. +38 (063) 794-56-21

Рудаков С. В. к.т.н., доцент,
доцент кафедри пожежної профілактики в населених пунктах
Національний університет цивільного захисту України
e-mail: serg_266@ukr.net, тел. +38 (067) 417-47-85

ДОСЛІДЖЕННЯ АВІАЦІЙНИХ ДАТЧИКІВ, ЯКІ ЗАБЕЗПЕЧУЮТЬ БЕЗПЕКУ ПАСАЖИРАМ ПРИ ВИНИКНЕННІ НАДЗВИЧАЙНОЇ СИТУАЦІЇ В ЛІТАКУ

***Abstract.** The article describes ways to increase the safety of aircraft passengers in an emergency situation of high-altitude flight through the development of a complex of technical means of collective information of passengers.*

***Key words:** Emergency situation. Barometric pressure sensor*

Статистика авіаційних інцидентів свідчить про наявність ризику виникнення надзвичайних ситуацій (НС) при польотах на великій висоті через розгерметизацію салону. Швидкість розвитку таких надзвичайних ситуацій вказує та визначає необхідність удосконалення різноманітних датчиків, методів і прийомів забезпечення безпеки пасажирів повітряного судна в надзвичайних ситуаціях.

Науково-технічний прогрес призвів до появи технічних засобів (ТЗ) для розрахунку та надання пасажиром літака оцінок часу утримання, необхідного для збереження свідомості під час надзвичайних ситуацій польоту на великій висоті.

Таким чином, існує суперечність між можливістю оповіщення пасажирів повітряного судна у разі надзвичайної ситуації та відсутністю комплексу ТЗ, які б дозволили реалізувати таке інформування. Тому актуальним стає питання розробки ефективних комплексних технічних засобів інформування пасажирів повітряних суден у разі виникнення НС.

Проведений аналіз літератури [1-3] дозволяє зробити висновок, що основними причинами авіаційних катастроф є людський фактор та технічні несправності літаків. Тому, створення ТЗ інформування пасажирів при НС висотних польотів представляється актуальним напрямом досліджень. В роботах [4,5] були запропоновані засоби індивідуального інформування пасажирів літака на основі кисневих масок, які забезпечує можливість оцінки величини резервного часу збереження свідомості пасажиром літака з відображенням інформації в цифровому вигляді або з допомогою колірної кодування. У зв'язку з обмеженими можливостями застосування таких датчиків на борту літака стає проблема обґрунтування обрання засобу колективного інформування пасажирів.

Метою роботи є підвищення безпеки пасажирів повітряних судів при виникненні НС висотного польоту за рахунок вдосконалення та подальшого застосування комплексу технічних засобів колективного інформування пасажирів.

Комплекс призначений для інформування пасажирів і екіпажу літака про величини граничного резервного часу збереження свідомості в випадку розгерметизації салону.

Під засобами колективного інформування розуміються датчики, відображення інформація на яких актуальна для всіх пасажирів, що знаходяться всередині салону.

У випадку розгерметизації салону пасажир не має інформації про стан навколишнього газового середовища, що не дозволяє оцінити реальну небезпека життя і наводить до зайвою нервозності, і, особливо в початковий момент часу, до паніці.

Аналогічні проблеми існують і в інших ситуаціях, пов'язаних із перебуванням людини в умовах гіпоксичної гіпоксії.

Для забезпечення безпеки людини в випадку аварійних (нештатних) ситуацій, наприклад, при розгерметизації салону (кабіни), відмові кисневого обладнання, пропонується використовувати індикатор резервного часу збереження свідомості, представлений на рис. 1.

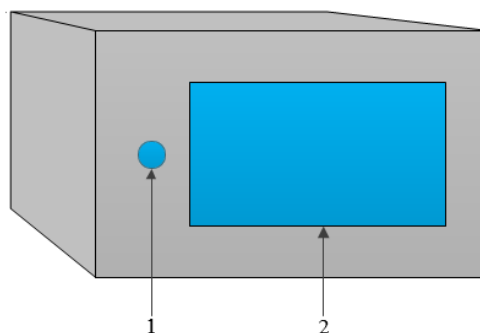


Рис. 1. Загальний вигляд індикатора резервного часу

Запропонований індикатор включає корпус, в стінки якого вбудовані датчик барометричного тиску (1) та табло (2) для відображення резервного часу збереження свідомості людини.

Вихід датчика барометричного тиску індикатора підключений до накопичувача інформації (4), з'єднаного з обчислювачем (5), вихід якого підключений до компаратору (6), з'єднаному з табло (2) і з блоком бездротового інтерфейсу (7) з допомогою шини (8) (рис.2).

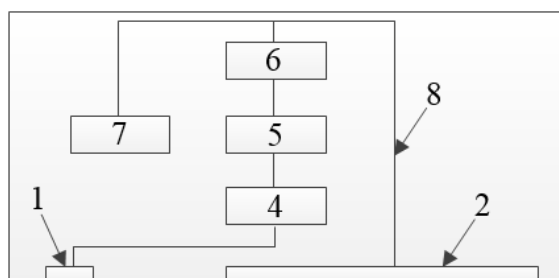


Рис. 2. Структурна схема індикатора резервного часу

Функціонування індикатора резервного часу збереження свідомості людиною в умовах гіпоксичною гіпоксії полягає в наступному:

- Індикатор з допомогою кріплення розміщується і закріплюється таким чином, щоб його показання було видно якнайбільшому числу людей, а датчик барометричного тиску навколишнього газового середовища не був закритий сторонніми предметами, здібними спотворити вимірювані показники барометричного тиску.

- Після включення індикатора здійснюють знімання показань з датчика барометричного тиску з частотою 1 Гц (1 раз на секунду).

- Розрахована оцінка резервного часу збереження свідомості за інформаційно-керівною шиною надходить в компаратор, де її порівнюють з величиною 300 с. Якщо розрахована оцінка резервного часу збереження свідомості менше 300 с, то видається сигнал на увімкнення табло. У цифрових розрядах табло індикатора відображається оцінка резервного часу збереження свідомості людини, яка вимірюється в реальному часі з дискретністю, що дорівнює частоті вимірювання барометричного тиску в навколишнього середовищі (1 Гц).

В аспекті застосування в індикаторі резервного часу збереження свідомості проаналізовано можливість використання наступних датчиків барометричного тиску:

- CAREL SPKT0031D0. Діапазон вимірюваного тиску - 0...3 МПа; габаритні розміри - довжина - 51 мм, діаметр - 21 мм, напруга живлення - 10 ... 36 В; робоча температура -25 °С ... 80 °С; похибка вимірювань - 4 %; матеріал виготовлення - сталь;

- ІЗМЕРКОН ДІР-23. Діапазон вимірюваного тиску – -0,1 ...2,4 МПа; габаритні розміри – довжина – 101 мм, діаметр – 30 мм; напруга живлення - 8 ... 28 В; робоча температура -40 °С ... 100 °С; похибка вимірювань - 0,5%.

Сам корпус індикатора резервного часу та елементна база повинні бути виконані з сучасних якісних матеріалів, що забезпечують його мінімальні масогабаритні показники і необхідну міцність для роботи в умовах перевантажень при перельотах (рис.3.).



Рис. 3. - Макетний зразок індикатора резервного часу

Аналіз можливих варіантів розміщення індикатора резервного часу збереження свідомості людини, виконаного по викладеній типовій схемі в різних варіантах та компоновках, дозволив визначити безліч можливих рішень, наприклад (рис.4.).



Рис. 4. Варіант розміщення індикатора резервного часу збереження свідомості людини в салоні літака над рядами

Вибір місця встановлення індикатора резервного часу збереження свідомості для колективного інформування пасажирів в салоні літака залежать від габаритів літака і чийх інтересах відображається інформація: пілотів чи пасажирів. У всіх випадках основний критерій вибору місця розміщення індикатора і розмірів табло висновку величини резервного часу збереження свідомості - візуальна доступність відображається інформації для всіх пасажирів і членів екіпажу.

Технічні засоби колективного інформування пасажирів повітряних суден у надзвичайних ситуаціях висотного польоту слід реалізувати за рахунок встановлення в салоні повітряного судна стаціонарних або інформаційних табло з вбудованими цифровими або звуковими індикаторами небезпеки, заснованими на величині резервного часу збереження свідомості пасажирами повітряного судна, розраховується в реальному часу за величиною барометричного тиску в салоні повітряного судна.

Список літератури

1. Правила виконання польотів державної авіації України: Наказ Міністерства оборони України № 2 від 5 січня 2015 р., зареєстрований в Міністерстві юстиції України 26 січня 2015 р. за № 82/26527
2. Safety Management Manual Doc 9859 [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.unitingaviation.com/publications/9859/> (10.11.2018 р.).
3. Катастрофа літака на Хмельниччині: Прокуратура розслідує порушення правил польотів [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.pravda.com.ua/news/2017/09/29/7156814>.
4. Adrian T., Crump R.K., Vogt E. Nonlinearity and flight-to-safety in the risk-return trade-off for stocks and bonds // The Journal of Finance. 2019. Vol. 74. № 4. Pp. 1931-1973
5. Рудаков С. В., Кулаков О. В., Миргород О. В., Петухова О. А. Ефективність технічних засобів інформування пасажирів повітряних суден при надзвичайних ситуаціях. Проблеми надзвичайних ситуацій. Харків: НУЦЗУ. 2022 вип. 36. С. 133-146.

Піскун М.О.,

магістрант кафедри приладобудування, мехатроніки і комп'ютеризованих технологій
Черкаський державний технологічний університет

Тичков В.В., к.т.н., доцент,

доцент кафедри приладобудування, мехатроніки і комп'ютеризованих технологій
Черкаський державний технологічний університет

v.tychkov@chdtu.edu.ua

Трембовецька Р.В., д.т.н., доцент,

доцент кафедри приладобудування, мехатроніки і комп'ютеризованих технологій
Черкаський державний технологічний університет

r.trembovetska@chdtu.edu.ua

Гальченко В.Я., д.т.н., професор,

професор кафедри приладобудування, мехатроніки і комп'ютеризованих технологій
Черкаський державний технологічний університет

halchvl@gmail.com

ВДОСКОНАЛЕННЯ СИСТЕМИ АВТОМАТИЗАЦІЇ ОБРОБКИ ЗЕРНА ОЗОНО-ПОВІТРЯНОЮ СУМІШШЮ

Abstract. *When preparing the seed, it is necessary to use all means and methods that improve the sowing quality of raw materials or at least reduce the harmful effects of the working bodies of agricultural machinery. At the same time, treatment with an ozone-air mixture is one of the most promising solutions for improving the sowing qualities of grain raw materials and does not cause air pollution. The ozonation of corn grain stored in silos increases the number of ears by more than 5.9%, the weight of 1000 grains by more than 12.0%, the yield of large grains by more than 7.0% and the yield of corn by more than 12.9% at a seeding rate of up to 10 seeds/m. At the same time, the biological mass of plants increased by 27.9%.*

Keywords: *corn grain, ozone-air mixture, processing, grain dryer*

Вступ. Аналіз низки досліджень показує, що для отримання високоякісного насіння зернових культур вітчизняному сільськогосподарському машинобудуванню необхідно продемонструвати щадну технологію післязбиральної обробки та зберігання зернової сировини. Ця технологія має базуватися на використанні процесу озono-повітряної обробки, який мінімізує механічний вплив робочого органу на зерно, шляхом удосконалення технічних засобів для реалізації цієї технології.

Озонування покращує якість насіння за рахунок зменшення споживання шкідливих для здоров'я людини пестицидів, одночасно покращуючи процес сушіння зерна та подовжуючи термін безпечного зберігання сировини. На сучасному рівні розвитку технологій запропонований відносно недорогий варіант обробки озонуванням може бути реалізований без значних ризиків для здоров'я людини.

Тому **метою дослідження** є вдосконалення технології, заснованої на застосуванні озонування, та підвищення ефективності післязбиральної обробки і зберігання зернової сировини шляхом розробки технічних засобів для реалізації цієї технології.

Раціональним методом озонування для накопичення та утримання озону в зерновому вороху є встановлення концентрації озону в озono-повітряній суміші, що подається, на рівні до 25 мг/м³ і проведення обробки в кілька етапів по 15 хвилин кожен, з перервою між обробками не більше 10 хвилин, при тривалості обробки не менше 30 хвилин. Фактором, що визначає наявність озону в зерновій суміші після вимкнення озонатора, є не вологість зерна і не кількість циклів, а концентрація газу в сировинній суміші.

Для підвищення ефективності сушіння зернового матеріалу вологий ворох попередньо озонували перед подачею в зерносушарку безперервної дії. Залежно від початкового стану матеріалу, що висушується, і культури, інтенсивність втрати вологи в попередньо озонованому зерні протягом перших 30-90 хвилин процесу в 1,18-3,4 рази була вища, ніж у контрольних зразках. Вологі зернові купи обробляли озоном протягом 1,5-2 год я та 60-90 хв сушіння.

Висновки.

Сушіння насінневого зерна в шахтних зерносушарках не рекомендується через зниження енергії проростання та лабораторної схожості до 15,0%. Однак попередня озонна обробка вологого вороху в буферних ємностях перед зерносушарками збільшує енергію проростання насіння до 3,0% і лабораторну схожість до 4% порівняно зі звичайним сушінням.

Концентрація озону 5-15 мг/м³ протягом 1 години може вбити 97% гігантської тютюнової молі, всіх зернових молі та близько 3/4 їх гусениць. Для знищення більшості шкідників зернових обробку озоном потрібно проводити від кількох годин до кількох днів, коли вміст цього газу в озono-повітряній суміші знаходиться в діапазоні до 70 мг/м³.

При збільшенні концентрації озону до 200 мг/м³ час обробки скорочується в 2-10 разів. Якщо вміст цього газу в озono-повітряній суміші перевищує 1 г/м³, час впливу скорочується в 100-200 разів до декількох десятків хвилин.

У всіх випадках час обробки озоном повинен зменшуватися зі збільшенням концентрації озону. Для забезпечення безпеки процесу і продовження терміну служби обладнання режим роботи озонатора повинен бути менш жорстким, але час експозиції повинен бути довшим, якщо є достатньо часу.

Список літератури

1. Smirnov, A., Ukhanova, V., Ershova, I. G., & Koshoeva, B. (2020). Optimization of Processing Modes of Disinfection of Vegetable Storehouses With the Use of Ozone. In *Handbook of Research on Smart Computing for Renewable Energy and Agro-Engineering* (pp. 27-52). IGI Global.
2. Ksenz, N., Leont'ev, N., Belousov, A., & Sidortsov, I. (2014). Usage of ozone-air mixture for drying of grain. *Mezhdunarodnyĭ Sel'skokhozyaĭstvennyĭ Zhurnal*, (4), 49-50.
3. Vasilyevich, B. I., Ivanovich, O. V., Anatolyevich, G. V., & Nikolaevich, K. R. (2019). To the study of the process of ozonation when grain ventilation. *Agrarnyy nauchnyy zhurnal*, (2), 66-72.
4. Normov, D. A., Samarin, G. N., Vasilyev, A. N., Shevchenko, A. A., & Goldman, R. B. (2020, March). Energy intensity decrease in chlorella growth technology by electro ozonation. In *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering* (Vol. 791, No. 1, p. 012068). IOP Publishing.
5. Budnikov, D. A. (2022). Study of the Ratio of Heat and Electrical Energy Expended in Microwave-Convective Drying of Grain. In *Sustainable Agriculture: Circular to Reconstructive, Volume 1* (pp. 391-401). Singapore: Springer Singapore.
6. Khosravi Ardakani, H., Gerami, M., Chashmpoosh, M., Omidifar, N., & Gholami, A. (2022). Recent progress in nanobiosensors for precise detection of blood glucose level. *Biochemistry Research International*, 2022.
7. Zhang, J., Kuang, Z., Li, H., Li, S., & Xia, F. (2022). Electrode surface roughness greatly enhances the sensitivity of electrochemical non-enzymatic glucose sensors. *Journal of Electroanalytical Chemistry*, 919, 116541.

Тимошенко О.В.,

магістрант кафедри приладобудування, мехатроніки і комп'ютеризованих технологій
Черкаський державний технологічний університет

Трембовецька Р.В., д.т.н., доцент,

доцент кафедри приладобудування, мехатроніки і комп'ютеризованих технологій
Черкаський державний технологічний університет

r.trembovetska@chdtu.edu.ua

Тичков В.В., к.т.н., доцент,

доцент кафедри приладобудування, мехатроніки і комп'ютеризованих технологій
Черкаський державний технологічний університет

v.tychkov@chdtu.edu.ua

Гальченко В.Я., д.т.н., професор,

професор кафедри приладобудування, мехатроніки і комп'ютеризованих технологій
Черкаський державний технологічний університет

halchvl@gmail.com

ВДОСКОНАЛЕННЯ АВТОМАТИЗОВАНОЇ СИСТЕМИ ОХОЛОДЖЕННЯ УТФЕЛЯ У ВИРОБНИЦТВІ ЦУКРУ

Abstract. *The dependence of vapor elasticity of sucrose solutions on concentration and temperature is described with high accuracy. The improved formulas for determining the physical and chemical properties of pure and production sugar solutions have errors close to or less than the errors of experimental data, cover the range of temperature, concentration and purity of solutions typical for sugar beet production and provide the possibility of calculating these characteristics on computers. Nonlinear, probabilistic mathematical models of the rate of dissolution and growth of sugar crystals have been improved. Their application for optimization of the process of yellow sugar production is shown. A mathematical model of the process of obtaining yellow sugar by functional change of utfel temperature is developed.*

Keywords: *utfel, mathematical model, yellow sugar*

Вступ. Завдання оптимізації процесу отримання жовтого цукру охолодженням утфелю за час його проходження через вертикальний кристалізатор полягає, за виконання технологічних і конструкційних апаратурних обмежень, у максимальному виснаженні меляси до оптимального вмісту цукру в ній шляхом регулювання температури змішаного середовища.

Зважаючи на велику обчислювальну складність, завдання щодо вдосконалення автоматизованої системи охолодження утфеля у виробництві цукру розбивається і вирішується у два етапи:

- 1) визначається оптимальний профіль температури утфеля, що максимізує відкладення твердої фази;
- 2) для реалізації оптимального профілю позонно розраховується витрата і вхідна температура води.

Отже, **метою досліджень** є вдосконалення автоматизованої системи охолодження утфеля у виробництві цукру.

Для реалізації досліджень з насичення меляси вдосконалено пристрій для швидкого її насичення. Прилад насичує аналізовану мелясу за заданої температури до 2 годин і дає змогу перед виділенням жовтого цукру на центрифугах визначити коефіцієнт насичення та доброякісність розчину.

Прилад складається з двох частин: механічного пристрою та електронного блоку, призначеного для генерації електромагнітних імпульсів.

За допомогою електромагнітних імпульсів і жорсткості поворотної пружини ситчастий циліндр із наважуванням кристалів приводиться у зворотно-поступальний рух з амплітудою 6 мм. Частота коливань регулюється в межах до 4 Гц. Ступінь насичення контролюється рефрактометром або кондуктометром за опором розчину.

Розроблене технічне рішення щодо автоматизації процесу підготовки утфелю до виділення у вертикальному кристалізаторі жовтого цукру в процесі його охолодження. Воно дає змогу більш якісно стабілізувати концентрацію на вході до вертикального кристалізатора, що веде до зменшення втрат цукру з меляси.

Удосконалено функціональну схему автоматизації процесу політермічної кристалізації утфелю останнього продукту. Розроблено DFD-діаграму потоків даних буряко-цукрового виробництва, визначено основні контрольовані та регульовані параметри. Найбільш значущим технологічним блоком з точки зору втрат цукру та економіки виробництва є політермічна кристалізація цукру у вертикальних кристалізаторах, що мають високу температуру.

Висновки.

Створено узагальнену математичну модель розчинності сахарози в чистих і нечистих водних цукрових розчинах. Для кількох зразків нечистих розчинів з різними видами нецукрів, два з яких невідомої природи, визначено регресійні коефіцієнти узагальненої математичної моделі, які дають змогу з високою точністю розраховувати розчинність сахарози.

Розроблений підхід може бути використаний при визначенні розчинності не тільки сахарози в нечистій воді, а й інших речовин в інших нечистих розчинниках. Створено формули для розрахунку координаційного числа гідратації та поверхневого натягу на межі розчин-кристал для цукрових розчинів. Отримано і досліджено універсальну структуру залежності коефіцієнта насичення нечистих цукрових розчинів від відношення несахароза/вода і температури.

Список літератури

1. El-Sayed, M. I., Aly, E., & El-Deeb, A. M. (2023). Improving the physicochemical and antioxidative properties of fermented goat milk using carob molasses and some probiotic strains. *Food Science and Biotechnology*, 1-10.
2. Huang, J., Wang, X., Chen, X., Li, H., Chen, Y., Hu, Z., & Yang, S. (2023). Adaptive laboratory evolution and metabolic engineering of *Zymomonas mobilis* for bioethanol production using molasses. *ACS Synthetic Biology*, 12(4), 1297-1307.
3. Venkatesh, T., AM, N. L., Silpa, V., Dharmalingam, B., Reshma, M. V., Sajeev, M. S., ... & Kothakota, A. (2023). Current production strategies and sustainable approaches towards the resurgence of non-centrifugal cane sugar production—a review. *Sustainable Food Technology*.
4. Al-Dhumri, S. A., Al Mosallam, M. S., Zhang, W., Alharbi, S., & Abou-Elwafa, S. F. (2023). Application of Molasses as an Eco-Innovative Approach Substitutes Mineral Nitrogen Fertilization and Enhances Sugar Beet Productivity. *Waste and Biomass Valorization*, 14(1), 287-296.
5. Ahammad, S. H., Madhav, B. T. P., & Pande, S. D. (2023). Design and Analysis of Rule-Based Fuzzy Logic Controller for Performance Enhancement of the Sugarcane Industry. *Operational Research in Engineering Sciences: Theory and Applications*.

Тичков Д.В.,

науковий співробітник НДВ ЛХДО РК(С) НДУ В РАТС,
Державний науково-дослідний інститут випробувань і
сертифікації озброєння та військової техніки

Сапожніков С.К.,

науковий співробітник НДВ В РК(С) НДУ В РАТС,
Державний науково-дослідний інститут випробувань і
сертифікації озброєння та військової техніки

СУЧАСНІ ПІДХОДИ, ВИМОГИ, ОСОБЛИВОСТІ КОНСТРУЮВАННЯ ТА ПЕРСПЕКТИВИ ЗАСТОСУВАННЯ БЕЗПЛОТНИХ ЛІТАЛЬНИХ АПАРАТІВ

Abstract. *The article analyzes the main features of drone manufacturing and the prospects for the development of military drones. Drone design is a complex technological process that combines knowledge from various fields, from mechanics and electronics to programming and aerodynamics. Design features determine both the capabilities of the drone and its limitations. With the growing popularity of drones, it is important to pay attention to both the quality of construction and safety when using them.*

Keywords: *drone, manufacturing features, technological innovations*

Вступ. Вимоги сьогодення та бурхливий розвиток сучасних технологій створили передумови для розробки, конструювання та виробництва безпілотних літальних апаратів (БпЛА) або дронів. Сучасні БпЛА здатні виконувати найрізноманітніші завдання від аерофотозйомки до вантажних перевезень завдяки своїм унікальним конструктивним і технологічним рішенням.

Метою цієї публікації є огляд основних конструктивних складових, технологічних вимог і особливостей виготовлення та перспектив застосування БпЛА.

До основних конструктивних складових БпЛА, що, на думку авторів, заслуговують уваги в цій публікації є:

- каркас (корпус);
- лопаті та двигуни;
- автоматизована система зльоту, польоту та посадки;
- цільове споряддя;
- джерело живлення.

Однією з визначальних конструктивних складових БпЛА є його каркас (корпус). Форма та характеристики каркасу обумовлюють структуру апарату, його аеродинамічні властивості, міцність і стійкість під час польоту. Вибір матеріалу впливає на загальну вагу дрона та його вантажопідйомність. При виборі матеріалу для каркаса керуються різними чинниками: призначенням та задачами, які покладаються на виріб, цільовими споживачами тощо. Тому можуть бути обрані і різні матеріали, від легких композитних матеріалів до міцних металів, таких як титан або алюміній.

Лопаті та двигуни відіграють важливу роль в утриманні БпЛА в повітрі. Вони створюють потік повітря, що забезпечує підйомну силу. Вибір кількості пропелерів впливає на стійкість дрона в повітрі. Більшість побутових дронів вертикального зльоту та посадки мають чотири гвинти, але для більшої стабільності, можливості виконувати фігури вищого пілотажу та підняти більшу вагу моделі оснащують більшою кількістю гвинтів (шістьома, вісьмома тощо).

Головною перевагою дронів вважається можливість літати без пілота, що досягається завдяки наявності автоматизованої система зльоту, польоту та посадки (функції автопілоту) та системи стабільності. Автопілот — це комп'ютерна система, яка керує рухом дрона на

основі даних, що передаються різними датчиками, такими як: гіроскопи, акселерометри та GPS. Система стабілізації регулює рух дрона, щоб зберегти рівновагу та уникнути небезпечних зіткнень з іншими об'єктами (наприклад, з деревами або об'єктами в повітрі).

Крім основних невід'ємних елементів конструкції БпЛА, як правило, мають додаткове оснащення (цільове споряддя), що визначає їх призначення та сприяє виконанню ними різних завдань. Наприклад, БпЛА оснащений цифровою фото-, відеокамерою можна використовувати для аерофотозйомки або відеозйомки. В разі встановлення на дрон тепловізійної камери можна проводити дослідження теплових втрат будівель в зимовий період або здійснювати охорону територій в нічний час.

Для виконання польотів БпЛА має бути оснащений джерелом живлення. Зазвичай, в якості такого джерела живлення використовують літій-полімерний акумулятор, але все частіше в конструкцію БпЛА додаються сонячні панелі для збільшення часу та дальності польоту.

Окремої уваги наразі заслуговує розвиток БпЛА військового призначення. Впровадження сучасних технологій в процеси розробки, конструювання та виробництва БпЛА військового призначення має суттєвий вплив на спосіб планування, підготовки та виконання ними завдань в ході ведення операцій (бойових дій).

Серед перспектив розвитку військових дронів варто виділити збільшення автономності та різноманітності БпЛА, підвищення рівня їх інтегрування та кооперації при виконанні поставлених завдань, покращення спроможностей щодо протидії впливу кібератак та засобів радіоелектронної боротьби (РЕБ).

Збільшенню автономності БпЛА сприяє застосування технологій штучного інтелекту та машинного навчання. Завдяки ним військові дрони підвищують здатність до самостійного прийняття рішень в реальному часі, що дозволяє їм виконувати складні завдання (такі як тактична розвідка, атака та оборона) без постійного керування з боку оператора.

Різноманітність форм та розмірів БпЛА (рис. 1) від мініатюрних дронів - шпигунів до великих безпілотників - бомбардувальників дозволяє адаптувати їх для виконання специфічних завдань (від розвідки та складання ортофотопланів до коригування вогню та безпосереднього нанесення ударів).



Рис. 1. Конструкції військових БпЛА, згенеровані за допомогою ChatGPT

Застосування ройових технологій розширює можливості БпЛА щодо спільного застосування у великих групах із забезпеченням координованої дії для досягнення стратегічних цілей. Що суттєво підвищує ефективність розвідки, протиповітряної оборони та ведення масштабних атак.

Завдяки передовим технологіям дрони можуть забезпечувати точніше наведення на ціль та мінімізацію випадкових цивільних жертв у військових операціях.

Розвиток військових безпілотників також вимагає підвищеної уваги до забезпечення їх захисту від кібератак та підвищення стійкості і протидії засобам РЕБ.

Зважаючи на сучасну ситуацію в Україні, з метою подолання військової агресії РФ та її наслідків наразі найбільш перспективним є застосування БПЛА під час бойових дій та в складних умовах, небезпечних для людей (наприклад, у зоні радіоактивного забруднення або природних катастроф).

Також дрони можуть бути використані з гуманітарною місією для розповсюдження харчових продуктів або медичних препаратів для цивільного населення на тимчасово окупованих територіях або в районах бойових дій.

Висновки.

Конструювання безпілотних літальних апаратів – це складний технологічний процес, який потребує поєднання та інтегрування знань та навичок з різних галузей: від механіки та електроніки до програмування та аеродинаміки. Конструктивні особливості БПЛА визначають як його можливості, так і обмеження його застосування. Забезпечення якості конструювання БПЛА передбачає виконання вимог щодо відповідності тактико-технічних характеристик БПЛА, визначених замовником, та безпеку їх використання споживачами.

Список літератури

1. The Future of Drones: Exciting Innovations and Emerging Trends // <https://www.xdynamics.com/blog/the-future-of-drones-exciting-innovations-and-emerging-trends/>. Posted August 15, 2023.
2. The Future Of Drones: Top Trends To Watch In 2023 // <https://www.linkedin.com/pulse/future-drones-top-trends-watch-2023-christopher-guarnera/>. Posted 4 April 2023.
3. 6 Ways Drones in Construction Are Changing the Industry // <https://www.bigrentz.com/blog/drones-construction>. Posted February 16, 2022
4. 4 technologies that will be actively used in construction industry in future // <https://tech.news.am/eng/news/1044/4-technologies-that-will-be-actively-used-in-construction-industry-in-future.html>. Posted March 28, 2023

Філімонов С.О., к.т.н., доцент
Черкаський державний технологічний університет
e-mail: s.filimonov@chdtu.edu.ua

Філімонова Н.В., к.т.н., доцент
Черкаський державний технологічний університет
e-mail: nv.filimonova2015@gmail.com

Бачеріков Д.С., Ph.D., аспірант
Черкаський державний технологічний університет
e-mail: ababka94@gmail.com

РОЗРОБКА СТЕНДУ ДЛЯ ВИЗНАЧЕННЯ ХАРАКТЕРИСТИК ГВИНТОВОГО П'ЄЗОКЕРАМІЧНОГО ДВИГУНА НА ОСНОВІ БІМОРФНИХ П'ЄЗОЕЛЕМЕНТІВ

Abstract. *In the work, a stand was developed, with the help of which the main metrological and other characteristics of the screw piezoceramic motor were determined. Determination of the specified characteristics of piezoelectric motors in the process of their development and design will allow to significantly expand the limits of their further application and speed up their industrial production.*

Keywords: *piezoelectric motor, stand, characteristics.*

Вступ. Для прецизійного переміщення об'єктів із заданою точністю все частіше в системах управління використовують п'єзоелектричні двигуни або актюатори. Завдяки простоті конструкції та ряду технічних переваг, п'єзоелектричні двигуни забезпечують точне переміщення, та координацію рухів. Це обумовлено широким діапазоном частот обертання і моментів на валу (0.1...1.0 Нм) та великою точністю позиціонування порядку 0.5 μm [1]. П'єзоелектричні двигуни разом з системою керування є високоефективними в використанні в усіх галузях промисловості [2].

На рис. 1 представлена конструкція гвинтового п'єзокерамічного двигуна з використанням біморфних п'єзоелементів [3].

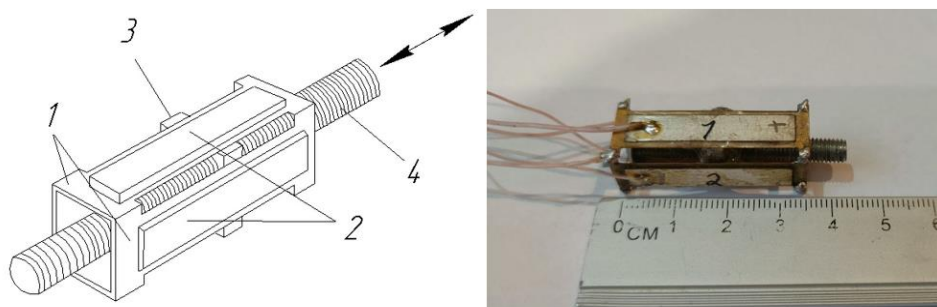


Рис.1. Конструкція п'єзоелектричного двигуна з використанням біморфних п'єзоелементів:
1 - латунієві пластини; 2- п'єзоелементи; 3 - чотиригранна металева гайка, 4 – ходовий вал

Принцип роботи двигуна полягає в наступному. При подачі змінної двофазної електричної напруги, одна з яких подається на пару протилежних пластин біморфних п'єзоелементів, а інша з фазою, що зсунута на 90° , на другу пару протилежних аналогічних біморфних п'єзоелементів [4,5]. Загальний «мінус» сигналів під'єднаний до латунієвих пластин. Такий спосіб збудження призводить до виникнення механічних коливань, які передаються металевій гайці. В результаті ходовий вал обертається і лінійно переміщується відносно металевої гайки. Змінюючи зсув фаз напруги можна змінювати напрямок руху

гвинта.

Однією з проблем при виробництві п'єзокерамічних двигунів є визначення їх метрологічних (таких як точність позиціонування) та інших характеристик.

Мета роботи – визначення характеристик гвинтового п'єзокерамічного двигуна, розробленого на основі біморфних п'єзоелементів.

Авторами розроблено стенд для визначення метрологічних та інших характеристик гвинтових п'єзокерамічних двигунів, який представлено на рис. 2.

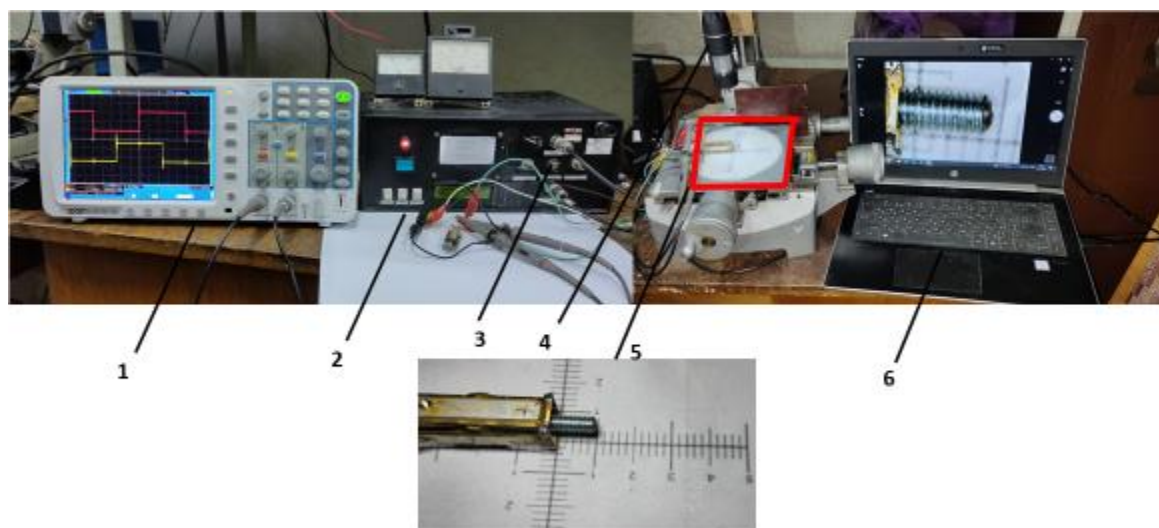


Рис.2. Стенд для визначення метрологічних та інших характеристик гвинтових п'єзокерамічних двигунів: 1 – цифровий осцилограф OWON SDS7102E; 2 – частотомір; 3 – генератор; 4 – мікроскоп; 5 – дослідний зразок п'єзокерамічного двигуна; 6 – персональний комп'ютер з програмним забезпеченням

За допомогою розробленого стенду визначено метрологічні та інші характеристики гвинтового п'єзокерамічного двигуна, які приведені в таблиці 1.

Таблиця 1 – Характеристики гвинтового п'єзокерамічного двигуна на основі біморфних п'єзоелементів, отримані за допомогою розробленого стенду

Параметр	Значення
Розмір двигуна	36×12×12 мм
Розмір біморфного п'єзоелемента	31×6×0,4 мм
Швидкість переміщення	1 мм/с
Швидкість обертання	0,5 об/с
Точність позиціонування валу	0,023°
Кількість кроків двигуна на один оберт	15384
Напруга живлення	100В
Резонансна частота	7000 - 7300 Гц
Марка п'єзокераміки	PZT-5H (ЦТС-19)

Висновки

Таким чином, в роботі запропоновано та розроблено стенд, за допомогою якого визначено основні характеристики гвинтового п'єзокерамічного двигуна на основі біморфних п'єзоелементів. Визначення зазначених характеристик п'єзоелектричних двигунів в процесі їх розробки та проектування дозволить значно розширити межі їх подальшого застосування та прискорить їх промислове виготовлення.

Також отримані дані можна використовувати при проектуванні пристроїв на основі лінійних п'єзоелектричних двигунів, зокрема як складових дозаторів в агросфері.

Список літератури

1. Increase the Efficiency of the Linear Piezoelectric Motor / V.Ya. Halchenko, S.A. Filimonov, A.V. Batrachenko, N.V. Filimonova // J. Nano- Electron. Phys. 10 No 4, 04025 (5pp) (2018), **doi: 10.21272/jnep.10(4).04025**.
2. С.О. Філімонов, Н.В. Філімонова, Д.С. Бачеріков, "Використання п'єзоелектричного двигуна в агросфері", *Всеукраїнська науково-практична Інтернет-конференція «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології у виробництві та освіті: стан, досягнення, перспективи розвитку»* – 2020. – С. 15-17
3. Sharapov V. Piezoceramic sensors. – Springer Verlag, Heidelberg, Dordrecht, London, New York, 2011. – 498 p., **doi: 10.1007/978-3-642-15311-2**.
4. A precise rotary positioner driven by piezoelectric bimorphs: Design, analysis and experimental evaluation / Hongpeng Yu, Yingxiang Liu, Xinqi Tian, Shijing Zhang, Junkao Liu // Sensors and Actuators A Physical, Volume 313, 1 October 2020, 112197, **doi: 10.1016/j.sna.2020.112197**.

Шуляр Б.Р., к.т.н.,

докторант кафедри комп'ютеризованого машинобудування
Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу
e-mail: Bogdan.shuliar@gmail.com, тел. +38 (098) 648-99-13

Роп'як Л.Я., д.т.н., професор,

професор кафедри комп'ютеризованого машинобудування
Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу
e-mail: L_ropyak@ukr.net, тел. +38 (050) 540-80-07

ОСОБЛИВОСТІ РОЗРОБЛЕННЯ ТЕХНОЛОГІЇ ВИГОТОВЛЕННЯ ДЕТАЛЕЙ МАШИН ЗІ ЗМІЦНЕННЯМ РОБОЧИХ ПОВЕРХОНЬ ПОКРИТТЯМИ

Abstract. *A critical analysis of the technological processes of coating formation is carried out and the promising use of plasma electrolytic oxidation for aluminum and electrochemical chromium plating for steel is shown. A systematic approach to the development of technological processes for the production of parts with coatings is proposed.*

Key words: *coating, plasma electrolytic oxidation, electrochemical chromium plating, aluminum, steel, technological process*

Однією з основних задач сучасного машинобудування є підвищення надійності та довговічності машин і механізмів та зниження собівартості виготовлення. Використання традиційних конструкційних матеріалів (середньовуглецевих і низьколегованих сталей) для виготовлення деталей обладнання, яке експлуатується в середовищах із високим вмістом агресивних компонентів та абразивних частинок, не є ефективним, оскільки в таких середовищах відбувається інтенсивне корозійно-механічне руйнування сталей внаслідок дії механічних навантажень, високих температур і протікання процесів наводнення, а також їх зношування. Зазвичай для підвищення корозійної тривкості та зносостійкості деталей машин використовують зміцнюючі технології.

Проведений критичний аналіз технологічних процесів зміцнення показав перспективність застосування різних видів покриттів (металевих, оксидних і композиційних тощо), які забезпечують раціональне поєднання фізико-механічних властивостей матеріалу основи та покриття. Слід відзначити, що «товсті» покриття характеризуються високою твердістю і нерівномірністю товщини шару, тому зазвичай потребують подальшої механічної обробки лезовим чи абразивним інструментом для забезпечення одержання необхідної шорсткості робочої поверхні та точності геометричних розмірів деталей. Механічна обробка твердих покриттів потребує значних затрат часу та технічних ресурсів. Тому перспективним напрямком підвищення рівня ефективності експлуатаційних характеристик робочих поверхонь деталей обладнання є комплексна технологічна дія на вказані поверхні, а саме:

формування на робочих поверхнях сталевих деталей захисних покриттів раціональної товщини шляхом напилення, наплавлення, електрохімічного хромування зміцнюючого шару та його подальше механічне оброблення різанням;

формування на робочих поверхнях алюмінієвих деталей оксидних покриттів раціональної товщини шляхом плазмового електролітичного оксидування та подальше механічне оброблення різанням.

Наразі ще недостатньо дослідженим і тому не зовсім зрозумілим є механізм формування шарів покриття, вплив шорсткості основи, технологічних режимів нанесення покриттів на фізико-механічні властивості покриття, вплив режимів механічної обробки покриття та складу мастильно-охолоджуючих рідин на роботоздатність деталей машин у різноманітних умовах експлуатації. На тепер ще немає достатньо обґрунтованих наукових

і технологічних основ розроблення технологічних процесів одержання заготовок і формування поверхневого зміцненого шару на деталях та їх подальшої механічної обробки.

Мета роботи – розроблення науково-технологічних основ виготовлення деталей зі зміцненням робочих поверхонь покриттями та механічної обробки задля підвищення ресурсу їх роботи під час експлуатації в агресивних і абразивних середовищах нафтогазової промисловості.

Для досягнення поставленої мети вирішували такі задачі:

1) розробити технологічні основи формування і теоретично обґрунтувати конструкції покриттів для захисту сталевих/алюмінієвих деталей від корозії та зношування в агресивних абразивовмісних середовищах та силові чинники під час механічної обробки різанням, а також встановити механізм захисної дії покриттів;

2) розробити уніфікований технологічний процес, обладнання для формування покриттів, інструмент, склади мастильно-охолоджувальних рідин, а також режими різання для забезпечення заданих показників якості поверхні та точності деталей;

3) сконструювати технологічне обладнання і розробити методики для дослідження експлуатаційних властивостей деталей із покриттями після механічної обробки;

4) дослідити вплив технологічних параметрів процесу на будову покриттів, їх властивості, залишкові напруження та зміну геометричних розмірів і шорсткості поверхні з урахуванням технологічної спадковості відповідних поверхонь заготовок і деталей;

5) побудувати багатофакторну математичну модель процесу формування покриттів і дослідити вплив технологічних параметрів на формування покриттів, механічної обробки на властивості й показники точності форми та якості зміцнених поверхонь деталей;

6) встановити емпіричні залежності шорсткості, силових параметрів різання та питомої витрати алмазів від складових технологічних режимів різання під час обробки покриттів і розробити математичну модель процесу алмазного точіння/шліфування, котрі забезпечують необхідну шорсткість поверхні за максимальної продуктивності та мінімальної собівартості механічної обробки деталей;

7) задля удосконалення технологічних процесів складання виробів зі зміцненими деталями покриттями дослідити розподіл напружень в елементах різьбових з'єднань;

8) провести стендові та промислові випробовування деталей і виробів, виготовлених за розробленою технологією, та впровадити результати досліджень у виробництво та в навчальний процес.

Висновки. На основі теоретичних та експериментальних досліджень, стендових випробовувань та дослідно-промислових перевірок розроблено і впроваджено технологічні процеси формування металевих та оксидних покриттів на деталях у виробництво.

Секція 3
КОМП'ЮТЕРНА ІНЖЕНЕРІЯ

УДК 629.058

Биков В.М., д.т.н., с.н.с.,

професор кафедри

Харківський національний університет імені В.Н. Каразіна

e-mail: bykov@karazin.ua, тел. +38 (097) 337-93-93

Грічанюк О.М., к.т.н.

старший науковий співробітник НДВ НЦ ПС

Харківський національний університет Повітряних Сил ім. І. Кожедуба

Кожушко Я.М., к.т.н., ст. досл.,

п.н.с. – провідний інженер-випробувач

Державний науково-дослідний інститут випробувань і сертифікації озброєння та
військової техніки

Спірін Д.А.

н.с. – інженер-випробувач

Державний науково-дослідний інститут випробувань і сертифікації озброєння та
військової техніки

**ОЦІНЮВАННЯ РОЗМІРІВ ЕТАЛОННИХ ЗОБРАЖЕНЬ КОРЕЛЯЦІЙНО-
ЕКСТРЕМАЛЬНИХ СИСТЕМ НАВІГАЦІЇ**

Abstract. *The presentation addresses issues related to determining the necessary projection dimensions of the reference image onto the Earth's surface, which are utilized on board matrix correlation-extremal navigation systems. A mathematical framework has been developed and demonstrated, based on well-known mathematical expressions. Using this framework, calculation results have been obtained that take into account various system characteristics, utilizing the relationship between the radius of the navigation system's coverage area and the inertial navigation system's aiming error.*

Key words: *reference image, offset, frame, correlation-extreme system, navigation, estimation, current image.*

Матричні кореляційно-екстремальні системи навігації (КЕСН) знаходять широке застосування в високоточних системах навігації різних класів літальних апаратів (ЛА) для визначення їх місцезнаходження над наземними ділянками місцевості, високоточної доставки ЛА до різних районів земної поверхні.

Діапазон, що в них використовується, відрізняється від короткого і видимого діапазонів світла більшою стійкістю до погодних умов, що дозволяє йому надійно функціонувати при несприятливих погодних умовах. Функціонування радіоліній субміліметрового діапазону обмежується нерівномірністю ослаблення радіохвиль цього діапазону під час їх поширення в прозорій атмосфері.

Визначення місцезнаходження КЕСН відповідно до загальних принципів, описаних у попередніх роботах, може бути виконане у такий спосіб:

Розробляється модель поточного зображення, яке формується матричною КЕСН під час огляду земної поверхні, здійснюваного в процесі руху ЛА з певною швидкістю та під певним кутом до поверхні. Встановлюються вимоги до її інформаційних сенсорів.

Визначаються розміри видимого "кадру", що створюється антеною, параметри окремих елементів на земній поверхні, визначені розмірами проєкцій діаграм спрямованості, законами руху виділених елементів та законами зміни вихідних сигналів матричного сенсора.

Задається представлення видимого об'єкта – об'єкта прив'язки та фону, робляться припущення щодо наявності або відсутності апріорної інформації про оцінювані параметри та обмежуючі параметри.

Розробляється модель еталонного зображення, і визначаються лінійні розміри його проекції на земну поверхню. Необхідно оцінити необхідні розміри проекції еталонного зображення на земну поверхню з урахуванням вищезгаданих вимог та обмежень.

Далі, в загальному випадку, вибирається критерій оптимальності, і знаходиться система рівнянь, яка описує алгоритм оптимальної обробки сигналів матричної КЕСН. Рішення цієї системи дозволяє знайти глобальний екстремум критерію оптимальності та дисперсію оцінок аналізованих параметрів.

Мета полягає в оцінці необхідних розмірів проекції еталонного зображення на земну поверхню під час синтезу еталонного зображення з метою подальшого використання його матричними радіометричними кореляційно-екстремальними системами навігації у міліметровому діапазоні хвиль.

Один із ключових параметрів еталонного зображення, який безпосередньо впливає на ймовірність правильної прив'язки кореляційно-екстремальних систем навігації - це лінійні розміри проекції еталонного зображення на земну поверхню. Щоб оцінити цей параметр, можна встановити зв'язок між розмірами проекції еталонного зображення на землю та ймовірністю пошкодження об'єкта прив'язки під час посадки.

Враховуючи припущення, представлена геометрія візування КЕСН земної поверхні, яка задовольняє вимогам високої ймовірності попадання наземного орієнтира (об'єкта прив'язки) в зону огляду КЕСН ЛА. Представлено, що в розглянутому випадку, коли поточна помилка інерційної системи навігації є максимальною, а інформаційність зображень обмежена (кількість пікселів невелика), щоб максимально використовувати інформацію від ПЗ, розміри еталонного зображення не повинні бути меншими за ПЗ. Це означає, що ПЗ повинно повністю поміщатися в межах еталонного зображення.

У протилежному випадку можливий збій роботи спеціалізованого бортового обчислювача КЕСН ЛА через відсутність вихідних даних для обчислення значень критеріальної взаємно-кореляційної функції.

Показано, що радіус проекції еталонного зображення на земну поверхню на послідовних кадрах прив'язки повинен бути вдвічі більшим за радіус зони огляду відповідного кадру.

Використовуючи відношення між радіусом зони огляду системи самонаведення та похибкою наведення інерційної системи навігації, отримано та представлено результати обчислення ймовірності пошкодження об'єкта прив'язки. В кінцевому випадку, це дозволяє оцінити необхідні розміри проекції еталонного зображення на земну поверхню з урахуванням вищезгаданих факторів.

Об'єкти такої форми, які були проаналізовані, можуть служити навігаційними орієнтирами для літальних апаратів, координати яких можна точно визначити матричною кореляційно-екстремальною системою навігації.

Гармаш В. В., к.т.н.,

доцент кафедри автоматизації та інтелектуальних інформаційних технологій
Вінницький національний технічний університет
vv2211@ukr.net

Кириленко О. М.,

асистент кафедри комп'ютерних систем управління
Вінницький національний технічний університет
sasha.kyrylenko@gmail.com

ДОСЛІДЖЕННЯ МЕТОДІВ РЕІДЕНТИФІКАЦІЇ ОСІБ З ДЕКІЛЬКОХ КАМЕР ВІДЕОСПОСТЕРЕЖЕННЯ

Abstract. *The analysis of re-identification approaches is carried out. An overview of existing methods for re-identifying objects in video sequences is provided. The purpose is to study the re-identification methods for their further refinement and extension, for further use in computer vision systems.*

Keywords: *person re-authentication, object detection, multi-object tracking, deep neural networks, machine learning.*

Вступ. Проблема точного розміщення об'єкту у відеопотоці чи з колекції камер під різними кутами є актуальною темою у дослідженні комп'ютерного зору.

Повторна ідентифікація має багато корисних практичних задач. Ці задачі можуть варіюватися від систем безпеки та спостереження до автоматичного розпізнавання людей на фотографіях в соціальних мережах.

Повторна ідентифікація також може використовуватися для моніторингу діяльності клієнтів у магазині, щоб допомогти впорядкувати геопросторовий макет продуктів магазину. У поєднанні з аналітикою даних реідентифікація може бути потужним інструментом для осіб, які приймають рішення та планують.

Метою дослідження є аналіз методів реідентифікації осіб для систем відеоспостереження з використанням нейронних мереж.

Результати дослідження. Повторна ідентифікація - це процес пошуку окремого об'єкта у зображенні або у відеокадрах протягом певного часу. Модель реідентифікація повинна точно відслідковувати та визначати об'єкт у режимі реального часу. Процес реідентифікації фокусується на правильному зіставленні об'єкта з набором даних та пошуку його в іншому зображенні незалежно від будь-яких. Ці зміни можуть варіюватися від зміненого освітлення, положення або позиції об'єкту, масштабу, зміни фону та обертання камери або орієнтації камери.

Зазвичай методи повторної ідентифікації включають два компоненти: метод вилучення ознак із вхідних даних зображення та показник для порівняння цих ознак у всіх зображеннях. Дослідження щодо реідентифікації зазвичай зосереджено або на пошуку вдосконаленого набору ознак, пошуку вдосконаленої метрики подібності для порівняння ознак, або на комбінації обох [1].

Основна ідея пошуку кращих ознак полягає у пошуку особливостей, що принаймні частково інваріантні для зміни освітлення, пози та точки зору. Особливості, які були використані, включають варіанти кольорових гістограм, локальні бінарні візерунки, особливості Габора, назви кольорів та локальні патчі [2].

Основна ідея метричних підходів до навчання полягає у пошуку зіставлення від простору функцій до нового простору, у якому вектори функцій із одних і тих же пар зображень ближче, ніж функції векторів з різних пар зображень. Метричні підходи до навчання, які застосовуються для повторної ідентифікації, включають метричне навчання

маханобіса, функціонально адаптивне рішення рішення, відстань, зважене вбивці, аналіз дискримінантного аналізу місцевого рибалки, маргінальний аналіз Фішера та атрибут послідовного узгодження [3].

Висновки.

Проведений аналіз літературних джерел показав, що існує велике розмаїття методів реідентифікації об'єктів в системах відеоспостереження, але їх ефективність залежить від багатьох чинників, таких як умови: освітлення, роздільна здатність зображення, орієнтація об'єкту відносно камери, та ін.

Кожен із методів має як свої переваги, так і недоліки. Тому проблема повторної ідентифікації об'єкту повністю не вирішена до сьогодні.

Отже, враховуючи всі чинники, доцільно комбінувати різноманітні методи для створення нових методів та інформаційних технологій, для збільшення швидкодії роботи алгоритмів реідентифікації.

Список використаної літератури

1. Marsico, A. A comparison of approaches for person re-identification. / Distasi, R., Ricciardi, S., Riccio, D. International Conference on Pattern Recognition Applications and Methods, At ESEO (Angers, Loire Valley), France. – 2014.
2. Matthew Millar. Review of current methods for re-identification in computer vision / Open Science Journal 4. – 2019.
3. Ejaz, A. An improved deep learning architecture for person re-identification. / Wu, G., Costeira, J. P., & Moura, J. M. // In Computer Vision (ICCV), IEEE International Conference. – 2015. pp. 3908-3916.

Мацак Б.В.,

магістрант кафедри приладобудування, мехатроніки і комп'ютеризованих технологій
Черкаський державний технологічний університет

Гальченко В.Я., д.т.н., професор,

професор кафедри приладобудування, мехатроніки і комп'ютеризованих технологій
Черкаський державний технологічний університет

halchvl@gmail.com

Тичков В.В., к.т.н., доцент,

доцент кафедри приладобудування, мехатроніки і комп'ютеризованих технологій
Черкаський державний технологічний університет

v.tychkov@chdtu.edu.ua

Трембовецька Р.В., д.т.н., доцент,

доцент кафедри приладобудування, мехатроніки і комп'ютеризованих технологій
Черкаський державний технологічний університет

r.trembovetska@chdtu.edu.ua

ВДОСКОНАЛЕННЯ ЦИФРОВОЇ ОБРОБКИ ЗОБРАЖЕНЬ КОЛЬОРОВОЇ КАПІЛЯРНОЇ ДЕФЕКТОСКОПІЇ

Abstract. *Penetrant inspection (capillary inspection or capillary flaw detection) is primarily aimed at the industrial sector to inspect metal objects such as oil and gas pipelines, as well as various components of machinery to prevent malfunctions and accidents. Among the defects that can be detected using this method are fatigue cracks, hairlines, pores, and pore clusters. An analytical review of technical literature sources and major publications on the topic of algorithms for digital image processing of indicator traces in capillary flaw detection was carried out. As a result of the analysis of the obtained digital images, the color features of indicator traces in capillary flaw detection were revealed, which led to the development of an algorithm for binary conversion of the digital image of the indicator trace.*

Keywords: *color capillary flaw detection, automatic digital processing, algorithm*

Вступ. Щороку фахівцям неруйнівного контролю доводиться стикатися з колосальними обсягами одноманітної та циклічної роботи, і саме автоматизація деяких технологічних стадій контролю дозволила б не лише прискорити процес контролю, а й привести його до певного уніфікованого вигляду.

Алгоритми автоматичної цифрової обробки та аналізу зображень можуть застосовуватись у різних галузях неруйнівного контролю: у візуальному вимірювальному, капілярному, магнітно-порошковому та цифровому радіографічному. Безперечним плюсом алгоритмів цифрової обробки є також можливість зберігання отриманих результатів у цифровому вигляді.

Алгоритми автоматичної обробки цифрових зображень можуть бути реалізовані у вигляді програмного пакета та задіяні як у обробці результатів, отриманих у польових умовах, так і в цехових автоматизованих конвеєрних виробництвах.

Слід також зазначити, що надалі алгоритми можуть бути адаптовані до індивідуальних особливостей тих чи інших об'єктів контролю та враховувати їх форму у процесі ідентифікації індикаторних слідів та визначення їх максимальної протяжності, яка нормується.

Алгоритми можуть бути задіяні в процесі визначення якості дефектоскопічних матеріалів і при порівнянні різних дефектоскопічних наборів для капілярної дефектоскопії, що дозволить зробити порівняльний аналіз більш об'єктивним.

Отже, метою досліджень є вдосконалення цифрової обробки зображень кольорової капілярної дефектоскопії.

В результаті проведеного дослідження в ході порівняльного візуального аналізу отриманих зображень тестових зразків для капілярної дефектоскопії було встановлено, що оптимальною світлочутливістю матриці при «теплій» освітленості є ISO 1600, а при холодній освітленості – від ISO 400 до ISO 800. Також було встановлено наявність великої кількості шумів при світлочутливості матриці ISO3200.

У ході експерименту було розроблено алгоритм бінаризації кольорового цифрового зображення тестового зразка для кольорової капілярної дефектоскопії. В результаті вимірювання параметрів бінаризованого індикаторного сліду (локальна ширина в перерізах, протяжність) було встановлено, що отримані результати відхиляються від вимірів, зроблених за допомогою оптичного мікроскопа не більше ніж на 10 %, що для капілярної дефектоскопії є більш прийнятним показником.

Також було розроблено логічний алгоритм розпізнавання фрагментів індикаторних слідів на бінарному зображенні з подальшим аналізом на можливий взаємозв'язок сусідніх фрагментів. Розроблена блок-схема алгоритму щодо визначення форми індикаторного сліду та надання йому статусу «округлий» або «протяжний» з подальшим чисельним обчисленням його площі та максимальною протяжністю.

На завершення були проаналізовані можливі джерела виникнення похибок в ході цифрової обробки зображень, в результаті чого була складена зведена таблиця найбільш важливих факторів, що впливають, і побудовані залежності величини похибки від дозволу зображення і величини світлочутливості матриці ISO.

Висновки.

В результаті виконаної роботи були реалізовані експерименти щодо отримання цифрових зображень контрольних зразків для капілярної дефектоскопії. Проведено аналітичний огляд джерел технічної літератури та основних публікацій, присвячених темі алгоритмів цифрової обробки зображень індикаторних слідів у капілярній дефектоскопії. В результаті аналізу отриманих цифрових зображень були виявлені колірні особливості індикаторних слідів у капілярній дефектоскопії, внаслідок чого був розроблений алгоритм бінарного перетворення цифрового зображення індикаторного сліду.

Зважаючи на те, що бінарне зображення може містити в собі кілька індикаторних слідів, незалежних один від одного, було розроблено алгоритм автоматичного пошуку та архівування фрагментів зображення, що містять окремі індикаторні сліди.

Встановлено необхідність визначення форми індикаторного сліду, внаслідок чого було розроблено алгоритм визначення форми індикаторного сліду, обчислення його площі та визначення максимальної протяжності.

Проведена оцінка величини похибок, що виникають у процесі отримання цифрових зображень та подальшої їхньої цифрової обробки.

Список літератури

1. Jacintha, V., Karthikeyan, S., & Sivaprakasam, P. (2023). Plug Valve Surface Defects Identification through Nondestructive Testing and Fuzzy Deep-Learning Algorithm for Metal Porosity and Surface Evaluation. *Journal of Engineering*, 2023.
2. Kade, A., Shete, S., Kulkarni, M., & Kunte, A. Automatic Crack Detection. *International Journal of Innovations in Engineering Research and Technology*, 1-4.

Ситніков Т.В., аспірант,
Національний університет “Одеська політехніка”
Войтов В.М., аспірант,
Національний університет “Одеська політехніка”
Лаврухін В.В., аспірант,
Національний університет “Одеська політехніка”
Молочков В.М., аспірант,
Національний університет “Одеська політехніка”
Ситніков В.С., д.т.н., професор,
професор кафедри комп'ютерних систем
Національний університет “Одеська політехніка”
sitnikov@op.edu.ua, тел. +380(67) 456-71-65

ЗАСТОСУВАННЯ ОДНОТИПНИХ СМУГОВИХ ТА РЕЖЕКТОРНИХ ФІЛЬТРІВ ДЛЯ ПІДВИЩЕННЯ ПОРЯДКУ ОБРОБКИ СИГНАЛІВ

Abstract. *The issue of increasing the slope of the amplitude-frequency characteristic (AFC) series connected same basic bandpass filters of the second order is considered. A new the cutoff frequencies approach for a new connection based on the known AFC of the main filter is proposed. Application of this approach in practice is possible when using FPGA or software.*

Key words: *bandpass digital filters, AFC, characteristic slope, series connection, basic filters of the same type, calculation*

Розвиток мобільних автономних робототехнічних систем на сучасному рівні обумовлений концепцією Індустрія 4.0. Відповідно до цієї концепції системи їх апаратно-програмні компоненти повинні відповідати вимогам за мобільністю, гнучкістю, адаптивністю, пристосованістю до умов функціонування [1]. Для досягнення цього системи оснащуються багатофункціональними датчиками, апаратними та програмними компонентами обчислювальної техніки, які повинні працювати у реальному часі. Подальший розвиток подібних систем йде в напрямку гуманізації прийняття рішення та дружного контакту з людиною, відповідно до концепції Індустрія 5.0 [2].

Таким чином, компоненти робототехнічних систем повинні мати можливість перебудовувати власні характеристики програмними, або апаратними засобами в залежності від умов функціонування, а у тракту обробки сигналів датчиків - від перешкодо-сигнальної обставини для підвищення надійності на ефективності роботи у цілому [3-5].

Цифровий тракт обробки сигналів датчиків в основному включає різні частотно-залежні компоненти. Їх побудова у автономних мобільних системах виконується на основі компонентів низького порядку, оскільки це обумовлено малими витратами на обчислення коефіцієнтів передавальної функції та кількості коефіцієнтів, простотою налагодження або перебудови, помірним енергоспоживанням та часу обробки. Слід відмітити, що при роботі у реальному часі є обмеження на обчислення, перебудову та перехідний процес роботи нової конфігурації тракту. Тому, в якості компонент низького порядку частіше використовують компоненти першого та другого порядку. В такому випадку типовими задачами є зміна частоти зрізу або смуги пропускання (затримки) компоненти, підвищення крутизни амплітудно-частотної характеристики (АЧХ).

При послідовному з'єднанні передавальних функцій однотипних компонент їх передавальні функції перемножується. Оскільки передавальні функції складаються з амплітудно-частотної (АЧХ) та фазо-частотної (ФЧХ) характеристик, а компоненти однотипні, то при послідовному з'єднанні однотипних компонент їх перемноження перетворюється у возведення у ступень, а їх характеристики АЧХ и ФЧХ відповідно

трансформуються таким чином: АЧХ возводиться у ступень, а ФЧХ помножується на показник ступеня. Тоді при такому з'єднанні основні зміни відбуваються з АЧХ.

Тому **метою роботи** є аналіз змін АЧХ смугових та режекторних фільтрів, удосконалення підходу до розрахункових формул послідовного з'єднання однотипних фільтрів для підвищення крутизни АЧХ.

При послідовному з'єднанні однотипних смугових передавальних функцій їх основна АЧХ стискається, при цьому частоти зрізу зсуваються до центральної частоти, яка не зрушується, і зростає крутизна АЧХ.

Передавальна функція основного смугового фільтру математичне описується п'ятьма коефіцієнтами

$$H(z) = \frac{a_0 + a_1 z^{-1} + a_2 z^{-2}}{1 + b_1 z^{-1} + b_2 z^{-2}} \quad (1)$$

два у знаменнику та три у чисельнику, однак $a_2 = a_0$ та $a_1 = 2$. Це дозволяє розраховувати тільки три коефіцієнта a_0, b_1, b_2

$$H(z)_{BP} = \frac{a_0 + 2z^{-1} + a_0 z^{-2}}{1 + b_1 z^{-1} + b_2 z^{-2}}$$

На підставі формул Ейлера та перетворень одержуємо математичне описання АЧХ. Звичайно, рівень на котрому визначають частоту зрізу дорівнює 0.707. При перемноженні однотипних АЧХ або возведення у ступень цей рівень залишається попереднім, але тоді для визначення частот зрізу нових АЧХ необхідно добувати корінь відповідного порядку з цього рівня.

В цьому випадку по АЧХ основного фільтру можна визначити частоти зрізу нової АЧХ на рівні добутого кореня з початкового рівня.

Для визначення частот зрізу нової АЧХ після з'єднання n однотипних фільтрів по основній АЧХ необхідно вирішити рівняння на основі АЧХ основного фільтру при старих частотах зрізу та невідомих для нового з'єднання.

Режекторні фільтри, як відомо не пропускають необхідні частоти, а їх вирізають. Здається, що і в цьому випадку буде стискання АЧХ. Але при послідовному з'єднанні АЧХ не звужується, а розширюється відповідно до передавальної функції цього фільтру, який описується повною формулою (1).

Математичне описання АЧХ режекторного фільтру має такий вигляд

$$H(\bar{\omega})_{NF} = \sqrt{\frac{(a_1 + 2a_0 \sin(\bar{\omega}))^2}{(1 - b_2)^2 + b_1^2 + 2b_1(1 + b_2) \cos(\bar{\omega}) + 4b_2 \cos(\bar{\omega})^2}}$$

У даному випадку, при розширенні АЧХ її крутизна теж зростає з поширенням частот, які вирізаються зі спектру сигналу. Це в деяких задачах не зручно, так як ми б хотіли звужувати смугу вирізання зі зростанням крутизни АЧХ.

Тоді можна запропонувати інше рішення. Формувати режекторний фільтр на основі смугового таким чином

$$H(z)_{NF} = 1 - H(z)_{BP},$$

де відповідно передавальна функція режекторного фільтру $H(z)_{NF}$ та смугового фільтру $H(z)_{BP}$.

В такому випадку режекторний фільтр буде стискатися при послідовному з'єднанні смугових фільтрів низького порядку.

Таким чином, цей аналіз показав, що послідовне з'єднання однотипних смугових фільтрів дозволяє підвищити крутизну АЧХ дискретно на величину яка дорівнює кількості з'єднаних однотипних фільтрів низького порядку. Підвищення крутизни приводить і до "стискання" АЧХ та звуження смуги пропускання. На підставі аналізу отримані нові формули для точного розрахунку нових частот зрізу. Це дозволяє оперативно обчислити необхідне дискретне "стискання" АЧХ, а при обмежених обчислювальних можливостях на борту автономної мобільної системи скористатися попередніми розрахунками у вигляді таблиць значень. Такий підхід дає можливість у автоматичному режимі підвищити захищеність обробки сигналів датчиків при наявності перешкод.

Крім того, аналіз показав, що аналогічне з'єднання режекторних фільтрів не дозволяє отримати аналогічний результат для обробки сигналів з метою вирізання не бажаних частот у вузької смуги частот. Як показано, це приводить не до звуження смуги вирізання, а до поширення цієї смуги, що не зовсім бажано у таких системах.

Але автори запропонували інший підхід на основі смугових фільтрів одержати режекторний фільтр, який при послідовному з'єднанні смугових теж стискається с підвищенням крутизни АЧХ.

Використана література

1. The Industry 4.0 Standards Landscape from a Semantic Integration Perspective Conference Paper (PDF Available) September 2017 with 4,699 Reads DOI: 10.1109/ETFA.2017.8247584 Conference: Conference: 2017 IEEE 22nd International Conference on Emerging Technologies and Factory Automation (ETFA), At Limassol, Cyprus, available: https://www.researchgate.net/publication/318208930_The_Industry_40_Standards_Landscape_from_a_Semantic_Integration_Perspective

2. Adel Amr. Future of industry 5.0 in society: human-centric solutions, challenges and prospective research areas. Journal of Cloud Computing volume 11, Article number: 40 (2022), available at: <https://journalofcloudcomputing.springeropen.com/articles/10.1186/s13677-022-00314-5>

3. Zhuravska, I., Musyienko, M., Tohoiev, O. "Development the heat leak detection method for hidden thermal objects by means the information- measuring computer system". CEUR Workshop Proceedings, 2353, pp. 350-364, 2019.

4. Ukhina, H., Sytnikov, V., Streltsov, O., Stupen, P., Kudria, V. "Application of the Computer System Component with Adjustment Elements for Processing Sensor Signals" Proceedings of the 11th IEEE International Conference on Intelligent Data Acquisition and Advanced Computing Systems: Technology and Applications, IDAACS 2021, 2021, 1, pp. 12–17; 22-25 September 2021; Cracow, Poland. DOI: 10.1109/IDAACS53288.2021.9660992

5. Afanasyev, I., Sytnikov, V., Strelsov, O., Stupen, P. "The Applying of Low Order Frequency-Dependent Components in Signal Processing of Autonomous Mobile Robotic Platforms". Lecture Notes in Networks and Systems, 2022, 507 LNNS, pp. 882-891. DOI: 10.1007/978-3-031-10464-0_61

Секція 4

МІКРО- ТА НАНОТЕХНОЛОГІЇ У ПРИЛАДОБУДУВАННІ

УДК 620.19

Bembenek Michal, Dr Hab. Inż., Professor,

Department of Manufacturing Systems, Faculty of Mechanical Engineering and Robotics,
AGH University of Science and Technology, Krakow, Poland

e-mail: bembenek@agh.edu.pl, tel. +48602621603

Machnik Ryszard, Dr Hab. Inż., Professor,

Head of the Department of Manufacturing Systems, Faculty of Mechanical Engineering and
Robotics, AGH University of Science and Technology, Krakow, Poland

e-mail: machnik@agh.edu.pl, tel +48126173101

Роп'як Л.Я., д.т.н., професор,

професор кафедри комп'ютеризованого машинобудування

Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу

e-mail: L_ropjak@ukr.net, тел. +38 (050) 540-80-07

Романів М.М.

аспірант кафедри комп'ютеризованого машинобудування

Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу

e-mail: romaniv2809@ukr.net, тел. +38 (050) 233-08-48

ДОСЛІДЖЕННЯ РЕЖИМІВ АЛМАЗНОГО ШЛІФУВАННЯ ПЛАЗМОВИХ ЕЛЕКТРОЛІТИЧНИХ ОКСИДНИХ ПОКРИТТІВ

Abstract. *The change in the geometric dimensions of the aluminum part after plasma electrolytic oxidation was studied. To study the influence of cutting modes during circular grinding on the roughness of the surface of the coating, the cutting force and the consumption of the diamonds of the wheel, a full-factor experiment was conducted. A high wear resistance of friction pair oxide coating – rubber is established.*

Key words: *coating, plasma electrolytic oxidation, aluminum, diamond grinding*

Серед металевих покриттів найбільш розповсюдженими є електрохімічні хромові покриття, а серед неметалевих – оксидні покриття. Плазмове електролітичне оксидування займає провідне місце серед технологій формування оксидних керамічних покриттів на алюмінії та інших металах і сплавів вентильної групи.

Ця технологія в останні роки інтенсивно розвивається і все ширше знаходить застосування в машинобудуванні для зміцнення алюмінієвих деталей завдяки відносній простоті технологічного обладнання та доброму екологічному сліду виробництва.

Специфічні умови формування керамічних оксидних покриттів в електроліті під час протікання плазмохімічних реакцій призводять до зміни геометричних розмірів деталей та утворення зовнішнього розпушеного рихлого шару покриття, який у багатьох випадках необхідно видалити.

Результати розрахунку співвідношення об'ємів для складових алюмінієвих сплавів і компонентів електроліту наведені у таблиці 1.

Аналіз результатів таблиці 1 свідчить, що для більшості оксидів співвідношення об'ємів оксиду і металу перевищує 1, тобто:

$$V_o/V_{me} > 1.$$

Тому збільшуються розміри деталі після проведення плазмового електролітичного оксидування.

Таблиця 1 – Співвідношення об'ємів оксиду і металу.

Метал	Оксид	Співвідношення V_o/V_{me}
Al	Al ₂ O ₃	1,31
Cu	Cu ₂ O	1,67
Cu	CuO	1,74
Si	SiO ₂	1,88
Mg	MgO	0,79
Na	Na ₂ O	0,59
K	K ₂ O	0,48

Для забезпечення надійної роботи деталей в парах тертя необхідно проводити механічну обробку оксидного покриття. Оскільки оксиди характеризуються високою твердістю, то вибрали алмазне шліфування.

З використанням повнофакторного експерименту дослідили режими різання під час алмазного шліфування оксидного покриття, сформованого на зовнішній циліндричній поверхні деталей, виготовлених з деформованого алюмінієвого сплаву Д16Т.

Встановили вплив режимів різання під час кругового алмазного шліфування керамічного покриття на шорсткість обробленої поверхні, зусилля різання та витрату алмазу шліфувального круга.

Отримані залежності дозволяють розрахувати шорсткість поверхні, зусилля різання та питомої витрати алмазів шліфувального круга від складових режимів різання.

Встановлено, що всі складові режимів різання впливають на величину шорсткості обробленої поверхні оксидного покриття.

За величини шорсткості $R_a = 0,32$ мкм забезпечується висока зносостійкість пари тертя оксидне покриття – гума.

Demenskiy O. M., Junior Researcher

V. Lashkaryov Institute of Semiconductor Physics, National Academy of Sciences of Ukraine, Laboratory of Materials for Optoelectronics

Yerochin S. Yu., Researcher

V. Lashkaryov Institute of Semiconductor Physics, National Academy of Sciences of Ukraine, Laboratory of Materials for Optoelectronics

Krasnov V. A., Ph. D., Senior Researcher

V. Lashkaryov Institute of Semiconductor Physics, National Academy of Sciences of Ukraine, Laboratory of Materials for Optoelectronics

Shutov S. V., Ph. D., Senior Researcher

V. Lashkaryov Institute of Semiconductor Physics, National Academy of Sciences of Ukraine, Laboratory of Materials for Optoelectronics

Kherson 73008, Ukraine

E-mails: alex86_new@ukr.net, o_demenskiy@isp.kiev.ua

THE METHOD OF OBTAINING OF DOUBLE-DRIFT GaP STRUCTURES FOR TERAHERTZ EMITTERS

Abstract. *In this work the authors developed the method of obtaining of device structures based on GaP for IMPATT diodes operating in the terahertz spectrum range. The double-drift device structures of GaP IMPATT diodes were manufactured using the modified method of zone recrystallization in a temperature gradient. The method of structure obtaining allowed to improve the stoichiometry of the drift n and p layers of GaP in the double-drift device design. Basic parameters of experimental device samples are presented. It was shown that using this method it was possible to manufacture GaP diodes emitting at a stable frequency in the terahertz range and having increased radiation power at the near-room temperatures.*

Keywords: *terahertz radiation emitter, gallium phosphide, double-drift structure, IMPATT diode, liquid phase epitaxy.*

The energy sources of terahertz spectrum range are promising for many technical and scientific applications [1, 2].

The current trend of terahertz sources development is the transition to devices with increased power, which is generated and transmitted in terahertz range. As it was shown earlier, such sources were optimal if they were realized as IMPATT (Impact Avalanche Transit Time) diodes based on wide bandgap semiconductors [3, 4].

One of the most suitable semiconductor materials for development of IMPATT-type emitters of terahertz radiation is gallium phosphide. This semiconductor material successfully combines large energy gap (about 2.26 eV) at the room temperature, favorable transport properties of the charge carriers in strong electric fields, increased thermal stability and low leakage currents of diodes manufactured on its base. In addition, it should be noted that there are multiple earlier engineering designs of GaP device structures intended for application in optoelectronics, power semiconductor devices, and high-temperature thermometry. As it is expected, all of that will allow to design terahertz diode structures of high power, capable of working at the near-room temperatures.

Preliminary studies carried out have shown that the increase of the power of generated terahertz radiation in GaP diodes can be achieved by using diode chips of $n^+-n-p-p^+$ type which have double-drift structure (see, for example, [5]). The power generated in such diodes exceeds the output power of their analogs based on Si, GaAs, InP and others [5, 6].

However, their technology is based on growing of drift n and p GaP layers by the method of molecular-beam epitaxy (MBE) [7]. When obtaining the layers by this method it is difficult to

provide equilibrium crystallization conditions in the vacuum due to huge difference of partial pressures of gallium and phosphorus. In the layers obtained, there are high content of non-stoichiometric gallium inclusions. In turn, this leads to the intensification of charge carrier scattering processes in strong electric fields and, hence, to the degradation of frequency and power parameters of terahertz emitting devices.

To improve the stoichiometry of n and p layers of GaP in the double-drift structure, we developed the method of liquid phase epitaxy (LPE) of such layers from a thin slit in a separate process and in the temperature gradient at the lowered process temperature (<600 °C), using both gallium and gallium-bismuth solvents. Similar method was applied earlier in our previous research on the epitaxy of GaP structures for high-temperature thermal sensors [8].

The epitaxial n and p layers of GaP obtained in this work were characterized by less than 0.5 volume percent content of the solvent inclusions due to a high level of equilibrium of the crystallization process. In particular, this allowed to improve the frequency stability of the IMPATT diodes.

The basic parameters of experimental samples of the device structures are as follows:

- the thickness of n and p layers (d_n, d_p): (0.7 ± 0.1) μm ,
- doping impurities: Te, Si (n -type), Mg, Zn (p -type),
- concentrations of electrons ($n=N_D$) and holes ($p=N_A$) in the drift layers $N_D\approx 5\cdot 10^{16}$ cm^{-3} , $N_A\approx (7-8)\cdot 10^{16}$ cm^{-3} ,
- operating frequency of the diodes: (0.25 ± 0.05) THz at $T\leq 250$ K,
- output power (at the frequency 0.2 THz): $\sim(0.7-0.75)$ W.

Also it should be noted that the application of the LPE modifications for manufacturing of IMPATT diodes will allow to lower the device production costs in the conditions of experimental manufacture due to the usage of commercially implemented technologies of GaP optoelectronic devices production.

References

1. P. H. Siegel. Terahertz Technology. *IEEE Trans. Microwave Theory Tech.*, 2002, Vol. **50**, No. 3, 910–928.
2. G. Chattopadhyay. Technology, Capabilities, and Performance of Low Power Terahertz Sources. *IEEE Trans. Terahertz Sci. Technol.*, 2011, Vol. **1**, No. 1, 33–53.
3. L. Yuan, J. A. Cooper, M. R. Melloch, K. J. Webb. Experimental demonstration of a silicon carbide IMPATT oscillator. *IEEE Electron Device Lett.*, 2001, Vol. **22**, No. 6, 266–268.
4. K. V. Vassilevski, A. V. Zorenko, K. Zekentes, K. Tsagaraki, E. Bano, C. Banc, A. A. Lebedev. 4H-SiC IMPATT Diode Fabrication and Testing. *Mater. Sci. Forum*, 2002, Vol. **389-393**, 1353-1358.
5. A. Acharyya, A. Biswas, B. Sarkar, A. Banerjee, H. Inokawa. Terahertz Radiation from Gallium Phosphide Avalanche Transit Time Sources. *Emerging Trends in Terahertz Engineering and System Technologies: Devices, Materials, Imaging, Data Acquisition and Processing*, edited by A. Biswas, A. Banerjee, A. Acharyya, H. Inokawa. Springer, 2021, 49–58.
6. A. Acharyya. Gallium Phosphide IMPATT Sources for Millimeter-Wave Applications. *Iranian Journal of Electrical & Electronic Engineering*, 2018, Vol. **14**, No. 2, 143–152.
7. C. Ratcliff, T. J. Grassman, J. A. Carlin, S. A. Ringel. High temperature step-flow growth of gallium phosphide by molecular beam epitaxy and metalorganic chemical vapor deposition. *Appl. Phys. Lett.*, 2011, Vol. **99**, 141905.
8. V. A. Krasnov, S. V. Shutov, S. Yu. Yerochin. Temperature dependence of the lifetime of nonequilibrium charge carriers in GaP diodes under condition of recombination current domination. *Curr. Appl. Phys.*, 2015, Vol. **15**, 504-510.

Присяжнюк П.М., к.т.н., доцент,
доцент кафедри зварювання
Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу
e-mail: pavlo.prysiazhniuk@nung.edu.ua,

Тарас І.П., к.т.н., доцент,
доцент кафедри інженерної та комп'ютерної графіки
Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу
e-mail: iryna.taras@nung.edu.ua

Присяжнюк Ю.Я.,
методист інституту інженерної механіки
Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу
Молчанов А.О., аспірант
Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу
тел. +38 (099) 9163197

ВЗАЄМОЗВ'ЯЗОК МІЖ ЕЛЕКТРОННОЮ БУДОВОЮ ТА МЕХАНІЧНИМИ ХАРАКТЕРИСТИКАМИ ДЛЯ ДЕЯКИХ КАРБІДІВ ПЕРЕХІДНИХ МЕТАЛІВ

Abstract. *The analysis of four refractory carbides, namely NbC, TiC, VC, and MoC, with a NaCl crystal structure was investigated using the density functional theory approach. The objective was to evaluate the crystal orbital overlap population as a criterion for indicating interatomic bonding effects on the hardness of the selected carbides.*

Key words: *carbides, crystal orbital overlap population, hardness, density functional theory*

Розроблення нових матеріалів для складних наносистем передбачає, зокрема, пошук нових кореляційних зв'язків між різними характеристиками матеріалів є ключовим фактором, що забезпечує ефективність використання методів машинного навчання для пошуку конкретних значень цільової функції.

Зокрема, для розроблення деяких сучасних наноматеріалів, таких як *MXenes*, вихідними компонентами є сполуки за участю карбідних фаз перехідних металів, таких як *TiC*, *NbC*, *VC*, *Mo₂C* та ін. Таким чином, важливим завданням є пошук взаємозв'язку між фізичними, функціональними, механічними та іншими властивостями для таких сполук.

Дослідження кореляційного взаємозв'язку між параметрами електронної будови встановлено у роботі [1] для твердих розчинів формульного складу $(Ti_{1-x}Mo_x)_2AlC$, де було встановлено якісний кореляційний зв'язок між густиною електронних станів (*DOS*) на визначених енергетичних рівнях та модулями пружності. Схожі результати було також отримано для твердих розчинів на основі МАХ фази $(Zr_{1-x}Ti_x)_2AlC$ [2] та твердих розчинів на основі тетрагональних потрійних боридів $Mo_2(Fe_{1-x}Mn_x)B_2$ [3].

Однак, у всіх випадках взаємозв'язок між електронною структурою вираженою через *DOS* та конкретними фізико-механічними характеристиками має якісний характер, що ускладнює оптимізацію цільової функції. Більш інформативним параметром порівняно із *DOS* є параметр, що визначає величину заселеності перекриття електронних орбіталей (*COOP*), запропонований у роботі [4], оскільки його використання дає можливість отримати конкретні числові значення характеристик міцності міжатомного зв'язку, які можуть бути використані для співставлення із рівнем фізико-механічних характеристик.

Виходячи із цього **метою даного дослідження** було встановлення взаємозв'язку між параметром *COOP* та рівнем фізико-механічних характеристик для карбідних фаз *NbC*, *TiC*, *VC* та *MoC*, які є перспективними для розроблення нових наноматеріалів на основі *MXenes*.

Визначення параметру *COOP* для карбідних фаз було проведено в рамках теорії функціоналу електронної густини (*DFT*) із використанням *ab initio* коду *BAND*, що входить

до складу пакету *Amsterdam modelling suite (AMS)*. Розрахунки проводились методом лінійної комбінації атомних орбіталей (*LCAO*) в інтерпретації Слейтера із потрібною поляризованою ζ – функцією як базисного набору (*TZP*). Для розбиття першої зони Бріллюена (*BZ*) було вибрано сітку $9 \times 9 \times 9$, а всі решта параметрів було встановлено на рівні точності «good».

відповідно до розрахованих характеристик електронної зонної будови карбідних фаз вздовж шляху через точки високої симетрії зони Бріллюена $\Gamma \rightarrow X \rightarrow W \rightarrow K \rightarrow \Gamma \rightarrow L \rightarrow U \rightarrow W \rightarrow L \rightarrow K \rightarrow U \rightarrow X$ (рис.1) Результати порівняльного аналізу показують, що зв'язуючі стани формуються головним чином за рахунок гібридизованих *pd* орбіталей вклад яких є домінуючим у додатні значення *COOP*, які корелюють із експериментальними та розрахованими значенням *HV*, ГПа (*TiC* – 30 , *NbC* – 24, *VC* – 28, *MoC* – 10).

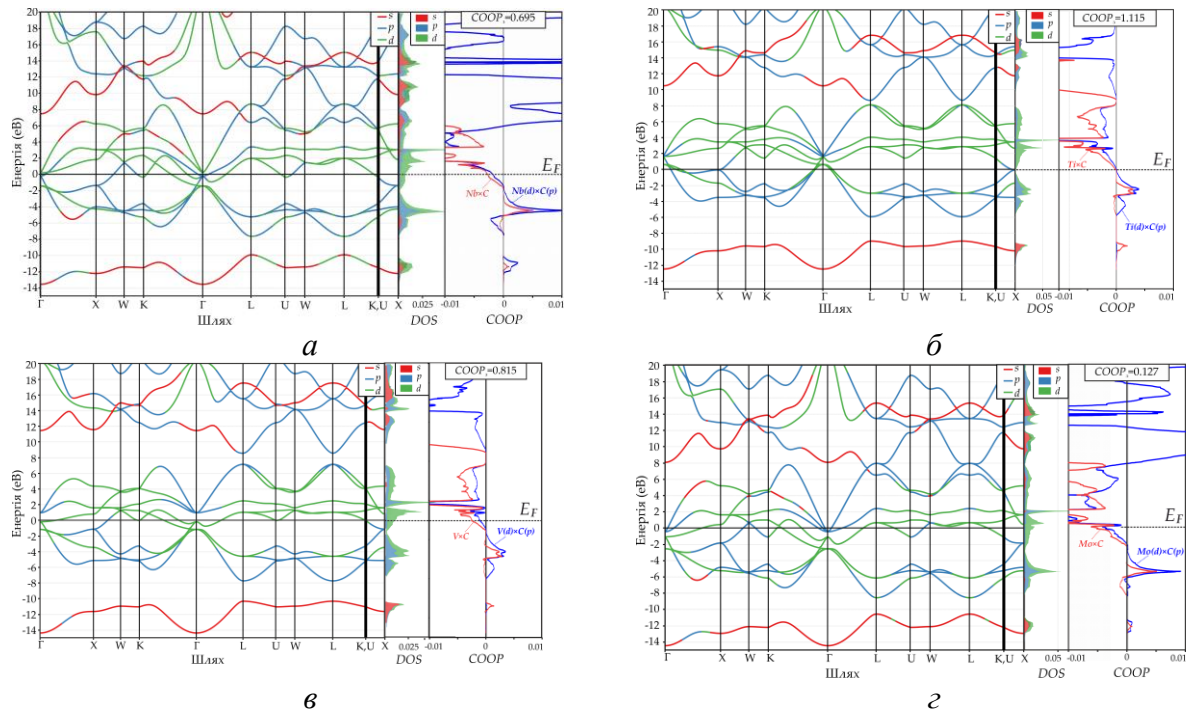


Рисунок 1 – Порівняльна характеристика електронної зонної структури та величин *COOP* для карбідних фаз: а – *NbC*; б – *TiC*; в – *VC*; г – *MoC*

Порівняльний аналіз топологічних характеристик поверхонь Фермі (*FS*), отриманих на основі електронної зонної будови, для монокарбідів із урахуванням їх кривизни поверхні показує, що у всіх випадках вони є ізотропними (рис. 2), що є свідченням рівномірності переносу заряду у різних кристалографічних напрямках.

Разом з цим спостерігаються відмінності вкладу електронної (поверхні виділено червоним) та діркової (поверхні виділено зеленим) провідностей. Карбіди *NbC* та *VC* характеризуються схожими топологічними ознаками *FS*, які полягають в її замкнутій формі та наявністю шести симетрично розташованих відносно напрямку ΓX витягнутих порожнин, що контактують із гранями зони Бріллюена (*BZ*).

В околі точки Γ наявна замкнута порожнина кубоїдної форми із дірковою провідністю. В околі точки *K* симетрично розташовані 12 листів електронної провідності, які для *VC* виражені значно слабше ніж для *NbC*.

На відміну від *NbC* та *VC* попри спільні топологічні ознаки *FS* для *TiC* характеризується розімкнутою формою а в околі точки Γ наявна замкнута порожнина характерна для електронної провідності. Топологія *FS* для *MoC* суттєво відрізняється від таких для *NbC*, *TiC* та *VC*, оскільки вона представлена замкнутим неперервним контуром із об'ємною порожниною у формі тетрагекаедра в околі точки Γ .

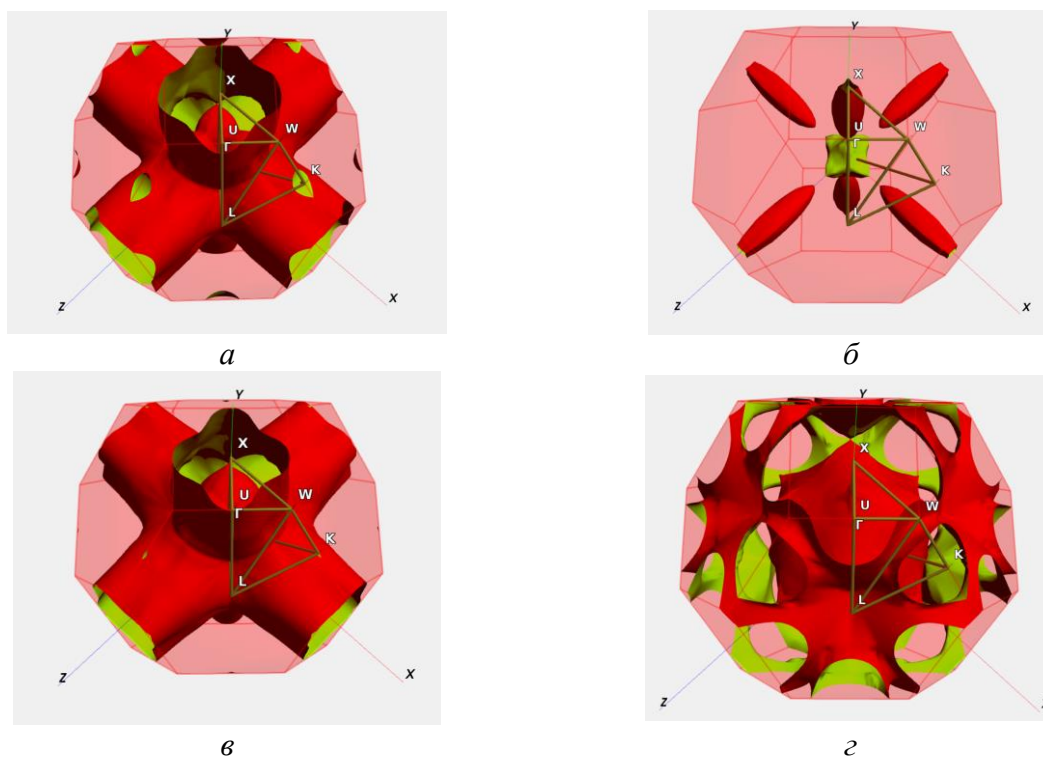


Рисунок 2 – Топології FS, розраховані для карбідних фаз: а – NbC; б – TiC; в – VC; г – MoC

Таким чином за результатами проведених теоретичних досліджень було встановлено що розраховані параметри *COOP* достатньо тісно корелюють із твердістю тугоплавких карбідів *TiC*, *NbC*, *VC* та *Mo₂C* при цьому якісний характер такої кореляції пояснений на основі прояву металічних властивостей на різних рівнях шляхом аналізу поверхонь Фермі для даних карбідних фаз.

Список літератури

1. Ali M.A., Naqib S.H. Recently synthesized $(\text{Ti}_{1-x}\text{Mo}_x)_2\text{AlC}$ ($0 \leq x \leq 0.20$) solid solutions: deciphering the structural, electronic, mechanical and thermodynamic properties via ab initio simulations // RSC Adv. The Royal Society of Chemistry, 2020. Vol. 10, № 52. P. 31535–31546.
2. Ali M.A. et al. Recently synthesized $(\text{Zr}_{1-x}\text{Ti}_x)_2\text{AlC}$ ($0 \leq x \leq 1$) solid solutions: Theoretical study of the effects of M mixing on physical properties // Journal of Alloys and Compounds. 2018. Vol. 743. P. 146–154.
3. Pryszyzhnyuk P., Di Tommaso D. The thermodynamic and mechanical properties of Earth-abundant metal ternary borides $\text{Mo}_2(\text{Fe}, \text{Mn})\text{B}_2$ solid solutions for impact-and wear-resistant alloys // Materials Advances. Royal Society of Chemistry, 2023. Vol. 4. P. 3822–3838.
4. Hughbanks T., Hoffmann R. Chains of trans-edge-sharing molybdenum octahedra: metal-metal bonding in extended systems // Journal of the American Chemical Society. ACS Publications, 1983. Vol. 105, № 11. P. 3528–3537.

Роп'як Л.Я., д.т.н., професор,
професор кафедри комп'ютеризованого машинобудування
Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу
e-mail: L_ropjak@ukr.net, тел. +38 (050) 540-80-07

Barz Cristian, PhD, Assoc. Prof. Eng.,
Technical University of Cluj-Napoca, North University Center of Baja Mare Technical
University of Cluj-Napoca, Baja Mare, Romania
e-mail: cristian.barz@cunbm.utcluj.ro, тел. +40 (407) 21329838

Назаренко С.К.,
аспірант кафедри комп'ютеризованого машинобудування
Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу
e-mail: 1314296@ukr.net, тел. +38 (066) 709-71-42

Малінін В.Ю., аспірант
Інститут металофізики ім. Г.В. Курдюмова НАН України
e-mail: malininvolodia777@gmail.com, тел. +38 (050) 156-81-60

ШЛЯХИ ПІДВИЩЕННЯ ТРИБОЛОГІЧНИХ ПОКАЗНИКІВ ПЛАЗМОВИХ ЕЛЕКТРОЛІТИЧНИХ ОКСИДНИХ ПОКРИТТІВ

Abstract. *Among the methods of strengthening aluminum alloys, plasma electrolytic oxidation in the electrolyte is intensively developing. The effect of current density, concentration of components and temperature of the electrolyte, the speed of its mixing and the introduction of solid particles into the composition of the electrolyte on the wear resistance of oxide coatings was established. In further research, it is planned to optimize the technological process of plasma electrolytic oxidation.*

Key words: *plasma electrolytic oxidation, coating, aluminum alloy, wear, technological process*

Однією з основних задач сучасного нафтогазового машинобудування є підвищення надійності та довговічності машин і механізмів та забезпечення конкурентноздатності виробів на ринку.

Алюмінієві сплави характеризуються високою питомою міцністю та корозійною стійкістю в наводнюючих середовищах, проте мають низьку зносостійкість, що стримує їх широке застосування для виготовлення деталей машин, які призначені для роботи в таких умовах.

Проведений аналіз технологічних методів зміцнення алюмінієвих сплавів показав перспективність застосування оксидних покриттів, які забезпечують раціональне поєднання властивостей матеріалу основи та покриття. Тому перспективним напрямком підвищення експлуатаційних характеристик поверхонь деталей нафтогазового обладнання є формування на робочих поверхнях деталей плазмовим електролітичним оксидуванням захисних покриттів.

Не дивлячись на розповсюдженість оксидних покриттів наразі ще недостатньо дослідженим і тому не зовсім зрозумілим є механізм формування поверхневого оксидного шару під час плазмового електролітичного оксидування, вплив технологічних режимів на фізико-механічні властивості покриттів і на роботоздатність деталей машин у різноманітних умовах експлуатації. Тому розроблення технологічних процесів формування плазмовим електролітичним оксидування зносостійких покриттів на робочих поверхнях алюмінієвих деталей є актуальною проблемою.

Мета дослідження – підвищення зносостійкості оксидних покриттів, сформованих на деталях з алюмінієвих сплавів плазмовим електролітичним оксидуванням в електроліті.

Для досягнення поставленої мети вивчили вплив технологічних режимів і складів електролітів для формування покриттів плазмовим електролітичним оксидуванням на алюмінієвому деформованому сплаві Д16Т.

Провели лабораторні випробовування на зношування оксидних покриттів.

Встановлено, що на зносостійкість оксидних покриттів впливає багато чинників:

- густина струму,
- концентрація компонентів електроліту,
- температура електроліту,
- швидкість перемішування електроліту
- введення у склад електроліту твердих частинок для армування оксидного покриття.

Висновки. Для оптимізації параметрів технологічного процесу необхідно провести багатфакторний експеримент, і на цій основі розробити заходи щодо підвищення зносостійкості алюмінієвих сплавів зміцненням оксидними покриттями, сформованими плазмовим електролітичним оксидуванням.

Секція 5
**ІНФОРМАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ У ЕКСПЕРТНИХ
ДОСЛІДЖЕННЯХ**

УДК 519.242

Бичков А.В.,

аспірант кафедри інтелектуальних вимірювальних систем та інженерії якості
Національний аерокосмічний університет ім. М.С. Жуковського
“Харківський авіаційний інститут”,
e-mail: a.v.bychkov@student.khai.edu, тел. +38(063)420-03-47

Кошовий М.Д., д.т.н., професор,
професор кафедри інтелектуальних вимірювальних систем та інженерії якості
Національний аерокосмічний університет ім. М.С. Жуковського
“Харківський авіаційний інститут”,
e-mail: m.koshovyi@khai.edu, тел. +38(050)769-09-29

**РЕАЛІЗАЦІЯ ТА ПОРІВНЯННЯ АЛГОРИТМІВ ПОШУКОМ ЗОЗУЛІ
ТА РОЄМ СВІТЛЯЧКІВ ДЛЯ ОПТИМІЗАЦІЇ ПЛАНІВ
ЧОТИРЬОХФАКТОРНИХ ЕКСПЕРИМЕНТІВ**

***Abstract.** To increase the efficiency and reduce the cost of conducting four-factor experiments with algorithms: searching for a cuckoo and a swarm of fireflies.*

***Key words:** method of search for zozuoi, swarm of fireflies method, cost reduction, optimization.*

Постановка проблеми. При дослідженні складних технологічних систем на етапах проектування, монтажу та проведення експериментів важливо, щоб загальна вартість була низькою, а час необхідний для реалізації, якомога коротшим. Тому необхідно знайти оптимальну процедуру проведення експериментів, яка мінімізує вартість і витрати часу.

Аналіз останніх джерел дослідження і публікацій. У роботах [1, 2] проаналізовано методи оптимізації планування експериментів з точки зору вартості та часу. Більшість з них вимагають велику кількість обчислювальних зусиль і продуктивність комп'ютера для знаходження оптимального плану експерименту.

Мета роботи. Використати методи зозулиного пошуку і роєм світлячків для оптимізації планів чотирьохфакторних експериментів та порівняти їх ефективності.

Основні матеріали дослідження. У роботі [2] із застосуванням методів аналізу перестановок та випадкового пошуку досліджено пристрій для контролю якості діелектричних матеріалів. У роботі [3] побудований оптимальний за вартісними витратами план експерименту з використанням методу зозулиного пошуку.

Доцільно побудувати план експерименту із застосуванням методу пошуку роєм світлячків. При дослідженні пристрою для контролю якості діелектричних матеріалів як критерій оптимізації було обрано абсолютну похибку пристрою Δ , %. Суттєвими факторами, що впливають на похибку були такі: X_1 - напруга живлення Ужив; X_2 – значення опору, підключеного до виходу операційного підсилювача; X_3 - кількість витків W основної обмотки магніточутливого перетворювача; X_4 - кількість витків W додаткової мультівібраторної обмотки 3 або 4.

У табл.1 наведено початковий план та оптимальний план повного факторного експерименту(ПФЕ), отриманий методом зозулиного пошуку [3].

План ПФЕ, отриманий з використанням алгоритму пошуку роєм світлячків, наведено у табл.2.

Таблиця 1 - Початковий та оптимальний плани ПФЕ

Початковий ПФЕ					Оптимізований зозулиним пошуком план ПФЕ				
№	X1	X2	X3	X4	№	X1	X2	X3	X4
1	-1	-1	+1	+1	4	+1	+1	+1	+1
2	-1	+1	+1	+1	2	-1	+1	+1	+1
3	+1	-1	+1	+1	3	+1	-1	+1	+1
4	+1	+1	+1	+1	1	-1	-1	+1	+1
5	-1	-1	-1	+1	5	-1	-1	-1	+1
6	-1	+1	-1	+1	7	+1	-1	-1	+1
7	+1	-1	-1	+1	8	+1	+1	-1	+1
8	+1	+1	-1	+1	6	-1	+1	-1	+1
9	-1	-1	+1	-1	14	-1	+1	-1	-1
10	-1	+1	+1	-1	16	+1	+1	-1	-1
11	+1	-1	+1	-1	15	+1	-1	-1	-1
12	+1	+1	+1	-1	13	-1	-1	-1	-1
13	-1	-1	-1	-1	9	-1	-1	+1	-1
14	-1	+1	-1	-1	10	-1	+1	+1	-1
15	+1	-1	-1	-1	12	+1	+1	+1	-1
16	+1	+1	-1	-1	11	+1	-1	+1	-1

Таблиця 2 – План ПФЕ, оптимізований за допомогою алгоритму пошуку роєм світлячків

№	X1	X2	X3	X4
1	-1	-1	+1	+1
3	+1	-1	+1	+1
2	-1	+1	+1	+1
4	+1	+1	+1	+1
6	-1	+1	-1	+1
8	+1	+1	-1	+1
7	+1	-1	-1	+1
5	-1	-1	-1	+1
13	-1	-1	-1	-1
15	+1	-1	-1	-1
14	-1	+1	-1	-1
16	+1	+1	-1	-1
10	+1	-1	+1	-1
12	+1	+1	+1	-1
11	+1	-1	+1	-1
9	-1	-1	+1	-1

Вартості змін значень рівнів факторів, які враховувалися при дослідженні точності пристрою, представлені в табл.3.

Таблиця 3 – Вартості змін значень рівнів факторів

Вартість змін значень рівнів факторів, ум. од.	Фактор			
	X1	X2	X3	X4
від «-1» до «+1»	0,5	0,7	5,5	6,7
від «+1» до «-1»	0,5	0,7	1,4	2,4
від «0» до «-1»	0,5	1,0	3,0	4,0
від «0» до «+1»	0,5	0,4	1,4	2,4

Вартості реалізації початкового та оптимізованих планів для дослідження точності пристрою представлені в табл.4.

Таблиця 4 - Вартості реалізації початкового та оптимізованих планів експериментів

Вартість реалізації планів експерименту, ум. од.	Методи оптимізації				
	Початковий план	Зозулиний пошук	Випадковий пошук	Аналіз перестановок	Алгоритм світлячків
Початкова	29,4	–	–	–	–
Оптимальна	–	21,5	29,4	24,7	23,4

Виграші у вартості реалізації експериментів за оптимізованими планами наведено у табл. 5.

Таблиця 5 - Виграші у вартості реалізації експериментів

Виграш у вартості реалізації експериментів	Методи оптимізації			
	Зозулиний пошук	Випадковий пошук	Аналіз перестановок	Алгоритм світлячків
Порівняно з початковим планом	1,37	1,00	1,19	1,25

Таким чином, на прикладі дослідження пристрою контролю якості діелектричних матеріалів показано ефективність методу зозулиного пошуку.

Висновок. Порівняння результатів дослідження дозволяє зробити висновок, що метод зозулі є ефективнішим за метод світлячків і потребує меншої кількості ітерацій для розв'язання задачі. Тому для оптимізації чотирьохфакторного плану експерименту економічно доцільніше використовувати метод зозулиного пошуку. Метою подальших досліджень є аналіз інших алгоритмів та вибір методу оптимізації, який буде найбільш ефективним.

Список літератури

1. Кошовий М.Д., Бурлеєв О.Л., Пампуха О.І. Аналіз методів оптимізації планування багатофакторного експерименту за вартісними та часовими показниками. Зб. пр. військ. ін-ту Київського нац. ун-ту ім. Тараса Шевченка. К.:ВІКНУ, 2022. №75. С.94-107.
2. Кошевой Н.Д., Костенко Е.М. Оптимальное по стоимостным и временным затратам планирование эксперимента: монография. Полтава: издатель Шевченко Р.В., 2013. 316с.
3. Бичков А.В., Кошовий М.Д. Застосування методу зозулиного пошуку для оптимізації планів чотирьохфакторних експериментів. Інтегровані інтелектуальні робототехнічні комплекси (ІРТК – 2023). Шістнадцята міжнародна науково-практична конференція. Збірка тез. К.:НАУ, 2023. С 253-256._

Кураксін Д.В.,

аспірант кафедри інтелектуальних вимірювальних систем та інженерії якості,
Національний аерокосмічний університет ім. М.С. Жуковського
«Харківський авіаційний інститут»,
e-mail: kuraksin23@gmail.com, тел. +38(063)420-03-55

Кошовий М.Д., д.т.н., професор,

професор кафедри інтелектуальних вимірювальних систем та інженерії якості,
Національний аерокосмічний університет ім. М.С. Жуковського
«Харківський авіаційний інститут»,
e-mail: m.koshovyi@khai.edu, тел. +38(050)769-09-29

ЗАСТОСУВАННЯ ТА ПОРІВНЯННЯ АЛГОРИТМІВ БДЖОЛИНОЇ ТА МУРАШИНОЇ КОЛОНІЙ ДЛЯ ОПТИМІЗАЦІЇ ПЛАНІВ ЧОТИРЬОХФАКТОРНИХ ЕКСПЕРИМЕНТІВ

***Abstract.** To reduce costs when conducting four-factor tests, the methods of ant and bee colony are proposed.*

***Key words:** ant colony method, bee colony method, cost reduction, optimization.*

Постановка проблеми. Підвищення ефективності експериментальних досліджень, направлених на побудову математичних моделей об'єктів, є актуальною проблемою. Для її вирішення необхідно оптимізувати за вартісними та часовими витратами плани багатofакторних експериментів. Для цього можуть бути застосовані різні методи оптимізації, які прийшли до нас з навколишнього світу, як наприклад методи бджолоїної та мурашиної колоній.

Аналіз останніх джерел дослідження і публікацій. Аналіз методів, які застосовуються для оптимізації планування багатofакторних експериментів за вартісними та часовими показниками, наведений в роботі [1]. Деякі із них застосовувалися для дослідження вихрострумowego перетворювача товщини діелектричних покриттів на металевих поверхнях [2]. Спроба застосування різних алгоритмів може надати низку переваг. Кожний алгоритм має свої переваги та недоліки, наприклад для алгоритму бджолоїної колонії це ефективність для вирішення задач з багатьма перемінними та різними типами функцій. В той же час алгоритм мурашиної колонії потребує меншу кількість ітерацій для знаходження оптимального варіанту, що, в свою чергу, потребує меншої кількості обчислювальної потужності. Застосування таких методів може дати точніші результати, ніж традиційні методи.

Мета роботи - дослідити працездатність та ефективність застосування алгоритму бджолоїної колонії для оптимізації за вартісними та часовими показниками планів чотирьofакторних експериментів та порівняти із алгоритмом мурашиної колонії.

Основні матеріали дослідження. У роботі [2] із залученням методів аналізу перестановок та випадкового пошуку досліджено вихрострумовой перетворювач, який використовують і як індивідуальний засіб контролю, і у складі системи контролю товщини діелектричних покриттів на металевих поверхнях. Доцільно побудувати оптимальні за вартісними витратами плани експериментів з використанням алгоритму мурашиної та бджолоїної колоній.

При дослідженні вихрострумowych перетворювачів як критерії оптимізації було обрано такі техніко-економічні показники: δ – похибка виміру, %; S – чутливість, мВ/мм; P – енергоспоживання, мВт; H_{max} – максимальна межа виміру, мм; M – маса, г.

Домінуючими факторами, що впливають на ці показники, були такі: X_1 – діаметр сердечника, мм; X_2 – висота осердя, мм; X_3 – кількість витків; X_4 – частота напруги живлення, Гц.

Початковий план повного факторного експерименту(ПФЕ) для дослідження вихрострумового перетворювача наведено в табл.1.

Таблиця 1 - Початковий план ПФЕ

№	X1	X2	X3	X4
1	-1	-1	-1	-1
2	+1	-1	-1	-1
3	-1	+1	-1	-1
4	+1	+1	-1	-1
5	-1	-1	+1	-1
6	+1	-1	+1	-1
7	-1	+1	+1	-1
8	+1	+1	+1	-1
9	-1	-1	-1	+1
10	+1	-1	-1	+1
11	-1	+1	-1	+1
12	+1	+1	-1	+1
13	-1	-1	+1	+1
14	+1	-1	+1	+1
15	-1	+1	+1	+1
16	+1	+1	+1	+1

Вартість змін значень рівнів факторів від «-1» до «+1», від «+1» до «-1», від «0» до «+1», від «0» до «-1» наведено у табл. 2.

Таблиця 2 - Вартість змін значень рівнів факторів

Зміни рівнів факторів	Вартість змін, ум. од.			
	X1	X2	X3	X4
від «-1» до «+1»	7,9	8,8	4,9	0,2
від «+1» до «-1»	6,9	7,4	1,55	0,2
від «0» до «-1»	8,65	9,55	5,65	0,2
від «0» до «+1»	6,15	6,65	0,8	0,2

Таблиця 3 – Оптимізований ПФЕ мурашиним алгоритмом

№	X1	X2	X3	X4
2	1	-1	-1	-1
6	1	-1	1	-1
10	1	-1	-1	1
14	1	-1	1	1
4	1	1	-1	-1
8	1	1	1	-1
12	1	1	-1	1
16	1	1	1	1
3	-1	1	-1	-1
7	-1	1	1	-1
11	-1	1	-1	1
15	-1	1	1	1
9	-1	-1	-1	1
5	-1	-1	1	-1
13	-1	-1	1	1
1	-1	-1	-1	-1

Таблиця 4 – Результати порівняння методу мурашиної колонії із класичними методами оптимізації

Метод	Вартість ум. од.	Виграш
Початковий план	204,5	1
Аналіз перестановок [2]	112,85	1,81
Випадковий пошук [2]	101,8	2,01
Мурашиної колонії [3]	91,4	2,24

Слід відзначити, що результат був знайдений методом аналізу перестановок на 6915453 варіанті плану [2]. Така кількість обчислень займає набагато більшого часу, ніж метод мурашиної колонії, і вимагає більшої обчислювальної потужності апаратури.

Вартість реалізації експерименту за планом (табл.5), отриманим застосуванням алгоритму бджолоїної колонії, та результати порівняння із іншими методами оптимізації наведено в табл.6.

Таблиця 5 – Оптимізований ПФЕ бджолоїним алгоритмом

Метод	Вартість ум.од.	Виграш
Початковий план	204,5	1
Аналіз перестановок [2]	112,85	1,81
Випадковий пошук [2]	101,8	2,01
Мурашиної колонії [3]	91,4	2,24
Бджолоїної колонії	84,55	2,41

Висновок. За результатами дослідження можна констатувати наступне:

- метод бджолоїної колонії дає кращий результат оптимізації ніж метод мурашиної колонії;

- метод бджолоїної колонії на рішення задачі потребував більшу кількість ітерацій ніж метод мурашиного пошуку, що, в свою чергу, потребує більшої обчислювальної потужності;

- при виборі методу оптимізації необхідно враховувати точність, кількість ітерацій, обчислювальну потужність, вартість (час) реалізації експерименту.

Подальші дослідження будуть направлені на вирішення задачі компромісного вибору методу оптимізації для реальних об'єктів.

Література

1. Кошовий М.Д., Бурлесєв О.Л., Пампуха О.І. Аналіз методів оптимізації планування багатofакторного експерименту за вартісними та часовими показниками. Зб. пр. військ. ін-ту Київського нац. ун-ту ім. Тараса Шевченка. К.:ВІКНУ,2022.№75. С.94-107.

2. Кошевой Н.Д., Костенко Е.М. Оптимальное по стоимостным и временным затратам планирование эксперимента : монография. Полтава: Шевченка Р.В., 2013. 316с.

3. Кураксін Д.В., Кошовий М.Д., Застосування алгоритму мурашиної колонії для оптимізації планів чотирьох факторних експериментів. Інтегровані інтелектуальні робототехнічні комплекси (ПРТК – 2023). Шістнадцята міжнародна науково-практична конференція. Збірка тез. К.:НАУ,2023. С 275-277.

Сідляренко А.І.,
керівник освітнього підрозділу ТОВ "АЙТІ ЛЕНД",
e-mail: sidljarenko@gmail.com, тел. +38 (050) 380 5987

УДОСКОНАЛЕННЯ ОРГАНІЗАЦІЙНО-ІНФОРМАЦІЙНОЇ ВЗАЄМОДІЇ В АВТОДОРОЖНІЙ ГАЛУЗІ

***Abstract.** The article shows the improvement of organizational and information interaction in the road industry by building an innovative information and analytical system for automating the processes of collection, analysis and primary processing of analytical data, which is based on a new systematic approach to monitoring the condition of roads of various types and types, as well as capital structures on them and the main difference of which is that indicators of the economic condition of roads are considered, which are used for analytical reports and planning of works on the construction, reconstruction and repair of highways of general importance.*

***Keyword:** information and analytical system, organizational and information interaction, monitoring, management of the road industry*

Як показала практика сьогодення, висока значимість для державного розвитку автодорожньої галузі (особливо для держави, що знаходиться у стані війни), відносить цю галузь до складу критичної інфраструктури держави і потребує особливого статусу щодо забезпечення безпеки та підтримання її елементів у належному стані [1].

Відомо [2], що до початку воєнних дій в Україні, задля забезпечення України автомобільними дорогами на рівні європейських країн необхідно було побудувати і модернізувати майже 200 тис. кілометрів, у тому числі більше 60% на регіональному рівні. Для налагодження міждержавних зв'язків необхідне будівництво автомагістралей світового рівня з бетонним або асфальтобетонним покриттям і багаторядним рухом.

При чому, зважаючи на масштабність і різноманітність даних в системі управління дорожнім господарством Укравтодору, а також постійні динамічні зміни інформаційних потоків, можемо виділити такі пріоритетні завдання: моніторинг стану автомобільних доріг загального користування, забезпечення своєчасного оновлення дорожнього покриття та впровадження інформаційних технологій для підвищення ефективності управління, розподіл ресурсів на виконання пріоритетних робіт.

Як раз створення такої інформаційно-аналітичної системи (ІАС) моніторингу для прийняття рішень в управлінні державними дорогами є однією з ключових складових європейської та світової інтеграції України [3], що, в цілому, веде до удосконалення організаційно-інформаційної взаємодії в автодорожній галузі.

Метою цієї роботи є визначення передумов організації такого удосконалення шляхом побудови ІАС для автоматизації процесів збирання, аналізу та первинного оброблення аналітичних даних.

Основним інтефейсом для інформаційно-організаційної взаємодії для ІАС або систмки підтримки прийняття рішень (СППР) є заповнення форми звітності. Інформаційні потоки занесення та редагування даних у формах звітності можна представити в схематичній формі (рис.1).

В центральному апараті управління автодорожньою галуззю створюються певні структури форм звітності, які направляються регіональним службам для їх заповнення, або в межах самого центрального апарату при зборі та агрегації інформації з кількох відділів, департаментів, управлінь тощо.

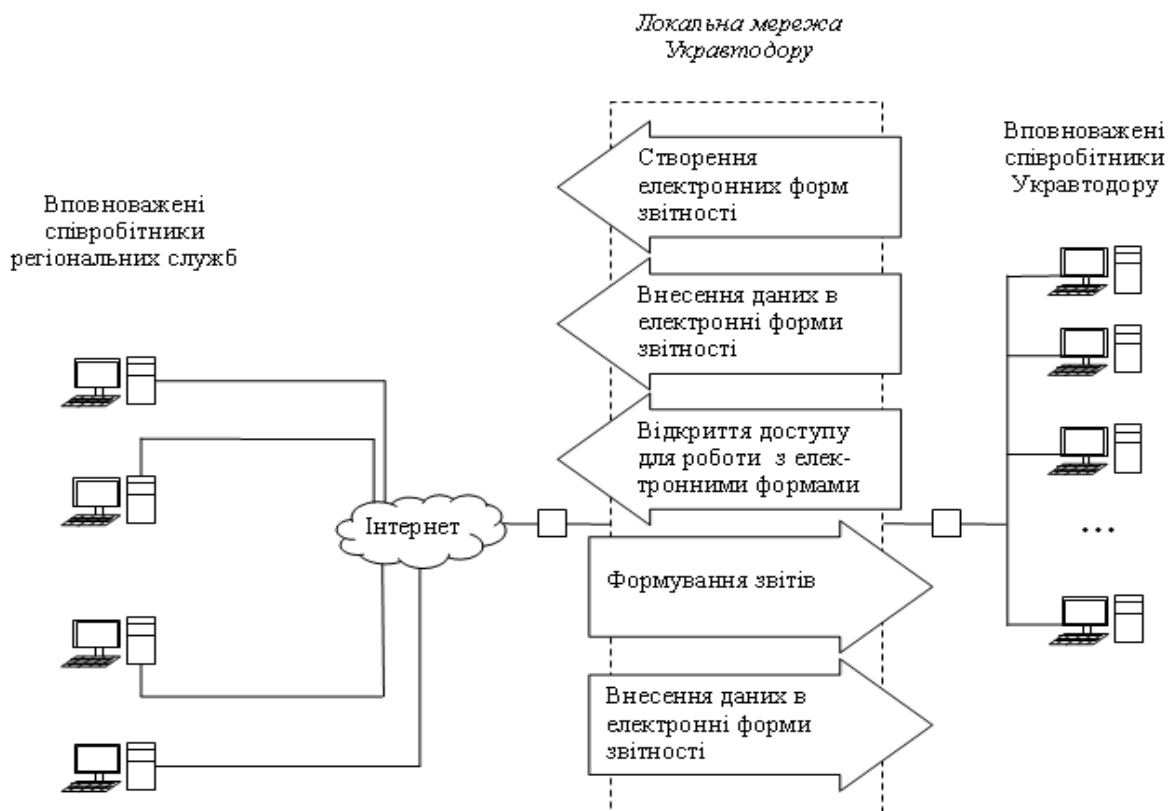


Рис.1. Інформаційний обмін між робочими місцями організації через електронні форми звітності

Дані, що містяться в звітах є вхідними даними для побудови системи моніторингу стану автомобільних доріг. Тому, автором запропоновано новий системний підхід до моніторингу стану автомобільних доріг різного підпорядкування та типу, а також капітальних споруд на них. Головною його відмінністю є те, що розглядаються показники економічного стану доріг (заплановані, отримані та витрачені кошти, а також фізичні дані, які є цільовими для цих коштів), які використовуються для аналітичних звітів та планування робіт щодо будівництва, реконструкції та ремонту автомобільних доріг загального значення. Схема руху даних в такій системі зображено на рис.2.

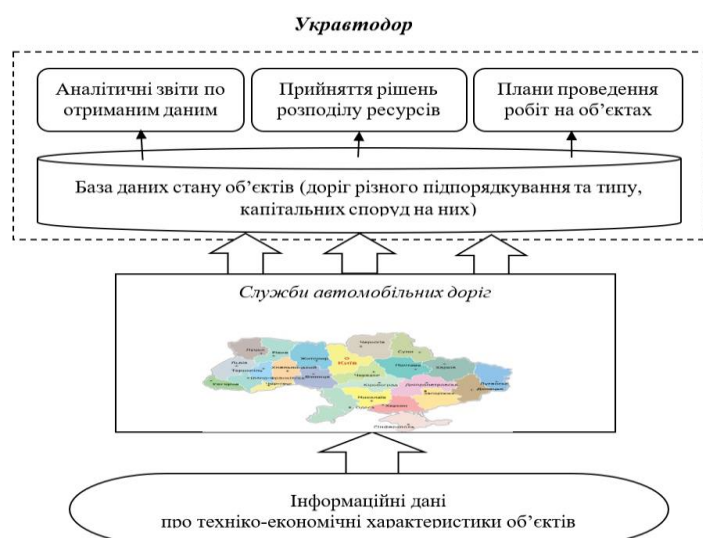


Рис.2. Загальна схема інформаційних зв'язків в ІАС

З різних наборів даних, що зберігаються та обробляються в службах автомобільних доріг в регіонах вибираються дані для загальної бази даних, а за допомогою розроблених

математичних моделей та алгоритмів проводиться оброблення цих даних, результатами якої будуть аналітичні звіти, плани проведення робіт та розподілу ресурсів (коштів, техніки, робітників тощо). Для автоматизації цього процесу і створюється ІАС, рис.3.

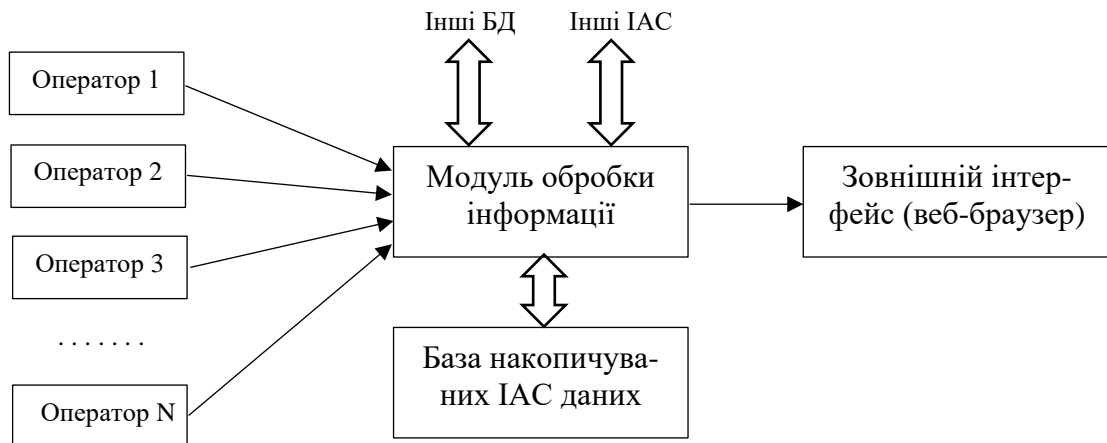


Рис. 3. Структурна схема ІАС моніторингу дорожньо-транспортного господарства

Така ІАС має відповідати наступним основним вимогам:

- реалізована як централізована система з віддаленим "тонким" клієнтом на базі Веб-браузера;
- характеризується відкритістю, модульністю побудови, інтегрованістю, гнучкістю, надійністю, технологічністю, спадкоємністю та можливістю здійснення ізольованої розробки;
- забезпечує доступ до всіх інформаційних ресурсів ІАС з урахуванням встановлених прав доступу за рахунок забезпечення ефективного оброблення інформації, що надходить;
- забезпечує оптимальне розподілення оброблення даних в обчислювальній мережі для підвищення ефективності її функціонування;
- забезпечує вільне змінювання масштабу та пристосовується до зміни кількості користувачів.

Буде забезпечувати:

- простоту використання і встановлення клієнтських компонентів;
- єдиний інтерфейс роботи користувачів з компонентами системи;
- організацію доступу користувачів до компонентів та інформаційних ресурсів системи у відповідності до їхніх посадових обов'язків;
- проведення аналізу даних, формування таблиць та діаграм для звітів та інших аналітичних документів.

ІАС побудована таким чином, щоб допускати поетапне створення і впровадження в експлуатацію окремих складових частин, забезпечувати обмін даними з існуючими інформаційними системами, іншими організаціями та установами, інформація яких за узгодженням використовується Укравтодором.

Програмне забезпечення призначене для реалізації алгоритмів підтримки процесів ведення, зберігання, оновлення, обміну, збору та аналітичної обробки даних.

Система управління базою даних ІАС забезпечує:

- безперебійне оброблення всіх операцій, здійснення всіх операцій в режимі транзакцій;
- безперебійну роботу системи в режимі он-лайн (без зупинки роботи системи) у разі збою комп'ютерної техніки та (або) обладнання;
- розмежування доступу операторів інформаційної системи до її різних частин;
- створення резервних копій баз даних та відновлення баз даних із резервних копій;
- конвертування баз даних в інші формати даних.

ІАС розроблена з урахуванням можливостей модифікації та розвитку, пов'язаних із:

- впровадженням нових інформаційних технологій та задач;
- підключенням до системи нових користувачів;
- розвитком інформаційної інфраструктури об'єктів, що взаємодіють з системою;
- впровадженням в систему нових технічних та програмних засобів.

Інформаційне забезпечення виконує наступні функції:

- ведення та накопичення бази даних;
- швидкий пошук та доступ до необхідних даних;
- забезпечення оброблення даних різних звітних періодів (за ряд років).

Інформаційне забезпечення ІАС враховує наступні основні принципи:

- централізоване управління даними загального користування, що накопичуються в системі;
- багатоцільове використання даних загального користування різними категоріями користувачів.

Інформаційне забезпечення ІАС відповідає наступним основним вимогам:

- зберігає інформацію в обсязі, потрібному та достатньому для вирішення завдань та функцій системи;
- забезпечує копіювання і зберігання масивів інформації у відповідності із вимогами до зберігання інформації;
- забезпечує мінімальний обсяг ручного введення вхідних даних;
- забезпечує можливість розширення інформаційних масивів із врахуванням перспектив розвитку системи.

Таким чином, в роботі показане удосконалення організаційно-інформаційної взаємодії в автодорожній галузі шляхом побудови інноваційної інформаційно-аналітичної системи для автоматизації процесів збирання, аналізу та первинного оброблення аналітичних даних в основі якої знаходиться новий системний підхід до моніторингу стану автомобільних доріг різного підпорядкування та типу, а також капітальних споруд на них і головною відмінністю якого є те, що розглядаються показники економічного стану доріг, які використовуються для аналітичних звітів та планування робіт щодо будівництва, реконструкції та ремонту автомобільних доріг загального значення.

Список літератури

1. Про критичну інфраструктуру: Закон України від 05.12.2022 р. № 1882-IX URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1882-20#Text> (дата звернення: 01.09.2023).
2. Т. О. Погуца, "Аналіз програми розвитку доріг на 2018 – 2022 роки," Офіційний сайт інституту інноваційної освіти КНУБА. URL: <https://iino.knuba.edu.ua/bloh/147-analiz-prohramy-rozvytku-dorih-na-2018-2022-roky> (дата звернення: 01.09.2023)
3. "Україна на шляху до ЄС: реалії і перспективи", Національна безпека і оборона, №1-2, 2022 URL: https://razumkov.org.ua/images/journal/NSD187-188_2022_ukr_full.pdf (дата звернення: 01.09.2023).

Секція 6

ІНФОРМАЦІЙНО-ВИМІРЮВАЛЬНА ТЕХНІКА ТА СИСТЕМИ ЕКОЛОГІЧНОГО МОНІТОРИНГУ

УДК 504.064.36

Антоненко С.В.,

здобувач освітньо-наукового рівня доктора філософії
кафедра приладобудування, мехатроніки та комп'ютеризованих технологій
Черкаський державний технологічний університет
e-mail: antonenkosv@protonmail.com

Бондаренко М.О., д.т.н., професор,

завідувач кафедри приладобудування, мехатроніки та комп'ютеризованих технологій,
Черкаський державний технологічний університет
e-mail: maxxium23@gmail.com, тел. +38 (063) 377 9073

СИСТЕМА МОНІТОРИНГУ ТА ПРОГНОЗУВАННЯ РІВНЯ ЗАБРУДНЕННЯ АТМОСФЕРНОГО ПОВІТРЯ

***Abstract:** The text emphasizes the importance of forecasting air pollution due to the increasing levels of contamination and its detrimental impact on health, the environment, and society at large. Statistical and stochastic analyses establish models for pollution prediction, and the use of artificial intelligence in this context shows promise for more accurate results. Utilizing monitoring and data analysis, including meteorological information, aids in visualizing pollution on a city map for both current and projected conditions.*

***Keyword:** air pollution, forecasting, monitoring, pollution distribution map*

Щорічне точне передбачення та прогноз забруднення повітря є важливим та необхідним завданням. Тому, збільшення рівня забруднення повітря, що спостерігається останнім часом, є фундаментальною проблемою в багатьох частинах світу.

Як відомо [1], забруднення повітря відбувається через зміну складу повітряних речовин таким чином, що якість повітря зазвичай містить забруднююче повітря з такими складами, як CO_x , NO_x , SO_x , SPM (завислі речовини), O_x і різні важкі метали.

Загалом, джерела забруднення повітря поділяють на два типи [2]: природне забруднення через виверження вулканів і лісові пожежі, що призводять до викидів SO_2 , CO_2 , CO , NO_2 і сульфатів як забруднювачів повітря, і антропогенне забруднення через певну діяльність людини, наприклад спалювання нафти, викиди промислових виробничих процесів і транспортні викиди, основним забруднювачем повітря яких є частинки пилу розмірами не більше 2,5 мкм ($\text{PM}_{2.5}$).

Цим забруднювачам приділяється багато уваги через їх руйнівний вплив на здоров'я людини та навколишнє середовище. Різноманітні дослідження [3] свідчать, що забруднення повітря призводить до респіраторних та серцево-судинних захворювань, що призводять до загибелі тварин і рослин, кислотних дощів, зміни клімату, глобального потепління тощо, що робить економічні втрати та ускладнює виживання суспільства у світі. У світовому рейтингу факторів ризику смертності $\text{PM}_{2.5}$ посідає 5 місце і становить 7,6% від загальної кількості смертей через збільшення забруднення повітря.

Через різні фактори статус $\text{PM}_{2.5}$ може непередбачувано часто змінюватися. У зв'язку з цим, доцільно застосовувати стохастичний аналіз таких даних, що через фактори невизначеності використовується у гідрологічних характеристиках. З цієї причини дослідники пропонують різноманітні методи стохастичного підходу для визначення моделі поширення $\text{PM}_{2.5}$. Один із них використовує стохастичну модель ланцюга Маркова [4], у

якій на наступний стан впливає лише поточний стан і він вільний від попереднього стану. При цьому, матриця можливостей переходу визначається методом оцінки максимальної правдоподібності.

Загальні підходи до прогнозування рівня забруднення повітря включають прості емпіричні підходи, статистичні підходи і, нарешті, підходи, засновані на фізиці. Кожен підхід має, як свої переваги, так і недоліки. Сьогодні відомо, що найбільш часто використовуваним в таких задачах прогнозування є статистичний підхід. Так, прогнозування забруднення повітря за допомогою моделей штучного інтелекту ближче до статистичних підходів, ніж основні підходи, згадані вище. Очікується [5], що застосування нейронної мережі в моделях прогнозування часових рядів забезпечить точніші та надійніші результати проти коливань даних. Одна з гнучкості моделі нейронної мережі, як непараметричної моделі полягає в тому, що немає необхідності перевіряти припущення моделі. Головне, що потрібно враховувати, це формування моделі для отримання найменшої можливої помилки.



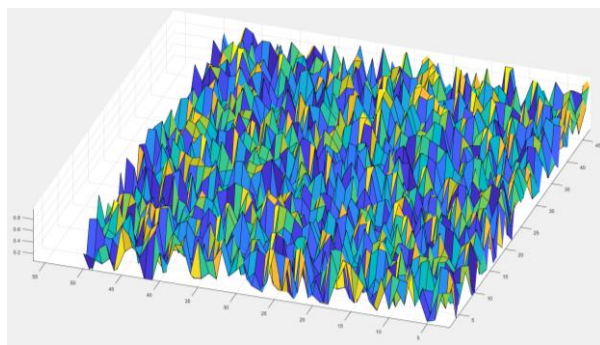
Рис. 1. Алгоритм роботи системи моніторингу

Для реалізації задачі прогнозування рівня забруднення повітря, автомати розроблена система моніторингу, який дозволяє спрогнозувати рівень забруднення повітря, використовуючи нейромережеву модель, рис.1.

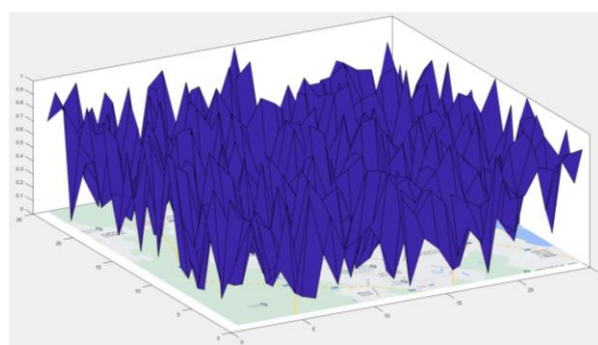
Принцип роботи розробленої системи моніторингу полягає в наступному. Система моніторингу збирає інформацію про забруднення та передає її на сервер. До цих показників додаються метеорологічні дані.

Вся отримана інформація перетворюється у вигляд необхідний для роботи моделі. Далі, за допомогою ланцюгів Маркова розраховуються ймовірності зміни станів, після чого інформація проходить через нейромережу.

Отримані дані візуалізуються на мапі міста, наглядно показуючи поточний розподіл забруднень (рис.2.а) та прогнозований рівень забруднень в майбутньому (рис.2.б).



а



б

Рис. 2. Результати роботи системи моніторингу: мапа розподілу забруднень повітря в момент проведення вимірювання (а) та прогнозовані дані (б)

Таким чином, в роботі показана необхідність та доцільність розроблення та застосування системи моніторингу та прогнозування рівня забруднення атмосферного повітря, алгоритм роботи якої ґрунтується на застосуванні нейронної мережі в моделях прогнозування часових рядів.

В той же час встановлено, що використання розробленої авторами системи моніторингу дозволяє оперативно збирати та аналізувати дані про такі забруднення, включаючи метеорологічну інформацію, а також допомагає візуалізувати забруднення на карті міста як для поточних, так і для прогнозованих умов.

Список літератури

1. L. Bai, J. Wang, X. Ma, and H. Lu, "Air pollution forecasts: an overview," *International Journal of Environmental Research and Public Health*, vol. 15, no. 4, p. 780, 2018.
2. R. Tiwari, S. Upadhyay, P. Singhal, U. Garg, and S. Bisht, "Air pollution level prediction system," *International Journal of Innovative Technology and Exploring Engineering*, vol. 8, no. 6C, 2019.
3. A. C. Kemp, B. P. Horton, J. P. Donnelly, M. E. Mann, M. Vermeer, and S. Rahmstorf, "Climate related sea-level variations over the past two millennia," *Proceedings of the National Academy of Sciences*, vol. 108, no. 27, pp. 11017–11022, 2011.
4. R. E. Caraka, R. C. Chen, T. Toharudin, B. Pardamean, H. Yasin and S. H. Wu, "Prediction of Status Particulate Matter 2.5 Using State Markov Chain Stochastic Process and HYBRID VAR-NN-PSO," in *IEEE Access*, vol. 7, pp. 161654-161665, 2019, doi: 10.1109/ACCESS.2019.2950439.
5. D. Kothandaraman, N. Praveena, K. Varadarajkumar, B. Madhav Rao, Dharmesh Dhabliya, Shivaprasad Satla, and Worku Abera" Intelligent Forecasting of Air Quality and Pollution Prediction Using Machine Learning" *Hindawi Adsorption Science & Technology* Volume 2022, Article ID 5086622, 15 pages.

Артеменко А.М.,

магістрант кафедри приладобудування, мехатроніки і комп'ютеризованих технологій
Черкаський державний технологічний університет

Тичков В.В., к.т.н., доцент,

доцент кафедри приладобудування, мехатроніки і комп'ютеризованих технологій
Черкаський державний технологічний університет

v.tychkov@chdtu.edu.ua

Трембовецька Р.В., д.т.н., доцент,

доцент кафедри приладобудування, мехатроніки і комп'ютеризованих технологій
Черкаський державний технологічний університет

r.trembovetska@chdtu.edu.ua

Гальченко В.Я., д.т.н., професор,

професор кафедри приладобудування, мехатроніки і комп'ютеризованих технологій
Черкаський державний технологічний університет

halchvl@gmail.com

ВДОСКОНАЛЕННЯ АВТОМАТИЗОВАНОЇ СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ ТЕРМІЧНОЇ ПЕРЕРОБКИ РЕЗИНИ

Abstract. *The paper presents a comparative analysis of the technical characteristics and combustion process of single drops of liquid hydrocarbons obtained by steam gasification of worn-out automobile tires with traditional liquid energy fuel - oil fuel oil. Steam gasification can be considered as an effective method of recycling worn-out tires to produce liquid hydrocarbon fuel that can be used as boiler fuel.*

Keywords: *Automation, gasification, recycling, rubber*

Вступ. Щодня все більше загострюється проблема забруднення навколишнього середовища. Оскільки період розкладання багатьох виробів набагато перевищує термін їх використання, а методи утилізації все ще недостатньо розвинені, це питання залишається актуальним. До того ж, існує обмежений запас вичерпних ресурсів, тому, крім утилізації, ще більш актуальним є питання переробки та вторинного використання відходів.

Одним із найпоширеніших видів відходів є гумотехнічні відходи. Згідно з дослідженнями більшу частину відпрацьованої гуми складають зношені шини. Утилізація шин є світовою проблемою, яка посилюється разом із зростанням парку транспортних засобів. За оцінками, щорічне світове виробництво шин становить близько 1,5 млрд. одиниць, що становить близько 17 млн. тон зношених шин [1], і, крім того, темпи їх виробництва продовжують зростати, оскільки їх попит у країнах швидко зростає. Шини повинні бути належним чином утилізовані, щоб зменшити їх вплив на довкілля; проте більшу частину часу утилізація відбувається шляхом спалювання, що є найшвидшою та найпростішою процедурою утилізації.

При спалюванні шин утворюється велика кількість викидів, у тому числі широкий набір вуглеводнів. При цьому також утворюються рідкі відходи, що містять токсичні хімічні речовини та з'єднання важких металів, здатні викликати несприятливі здоров'ю людини наслідки [2]. Виходячи з цього, останніми роками були проаналізовані різні шляхи поводження з гумотехнічними відходами.

Найбільш поширеними з яких вважаються поховання відходів, повторне використання у вигляді джерела енергії, регенерація та переробка з метою одержання корисних речовин. Згідно з дослідженнями європейської асоціації виробників шин та гуми, останній метод набирає все більшої популярності [3].

Отже, метою досліджень є вдосконалення автоматизованої системи управління термічної переробки резини.

З метою покращення процесу переробки необхідно використовувати комплексну систему контролю технологічного процесу. Для цього було проведено розробку автоматизованої системи управління установкою.

На ранніх етапах роботи було розроблено функціональну схему автоматизації. Вона дозволила позначити значні технологічні рішення для представленої установки. Після чого було здійснено підбір технічних засобів реалізації АСУ.

На цьому етапі роботи було прийнято рішення надавати перевагу закордонним контрольно-вимірювальним приладам.

Наступним етапом була розроблена та впроваджена SCADA система. Це дозволило точніше зрозуміти специфіку процесу, і навіть точніше відстежувати параметри роботи.

При аналізі газофазних продуктів горіння (CO , CO_2 , NO_x та SO_2) для зразків рідких вуглеводнів, отриманих в результаті парової газифікації зношених автомобільних шин на відміну від нафтового мазуту, було зафіксовано менші значення концентраційних максимумів виділення зазначених газофазних сполук. В основному це пов'язано з різним елементним складом груп, досліджуваних зразків, а також відмінністю кінетики їхнього процесу горіння.

Висновки. В роботі виконано порівняльний аналіз технічних характеристик та процесу горіння одиночних крапель рідких вуглеводнів, отриманих методом парової газифікації зношених автомобільних шин із традиційним рідким енергетичним паливом – нафтовим мазутом.

Виходячи з результатів визначення характеристик та складу досліджуваних зразків рідких вуглеводнів, можна зробити висновок, що палива, отримані в результаті парової газифікації зношених автомобільних шин, у порівнянні з нафтовим мазутом характеризуються порівнянною теплотворною здатністю, меншою щільністю, в'язкістю та вмістом сірки, що свідчить про можливість їх застосування як котельне паливо.

При запаленні одиночних крапель досліджуваних зразків рідких вуглеводнів при температурі гріючого середовища до $700\text{ }^\circ\text{C}$ встановлено, що при $T = 450\text{ }^\circ\text{C}$ час затримки запалення зразків порівняно з нафтовим мазутом у середньому вище на 15 %.

З підвищенням температури гріючого середовища до $700\text{ }^\circ\text{C}$ час затримки запалювання всіх зразків, що розглядаються, скорочується за експоненційною залежністю. При цьому в температурному інтервалі $550 - 700\text{ }^\circ\text{C}$ запалення зразків рідких вуглеводнів, на відміну від нафтового мазуту, відбувається швидше в середньому на 56 %.

Таким чином парова газифікація може розглядатися як ефективний метод переробки зношених автомобільних шин з отриманням рідкого вуглеводневого палива, яке може бути використане як котельне паливо.

Список літератури

1. Thomas, B. S., & Gupta, R. C. (2016). A comprehensive review on the applications of waste tire rubber in cement concrete. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 54, 1323-1333.
2. Caldwell, D. G. (2023). Automation in Food Manufacturing and Processing. In *Springer Handbook of Automation* (pp. 949-971). Cham: Springer International Publishing..
3. Low, J. H., Khin, P. M., Han, Q. Q., Yao, H., Teoh, Y. S., Zeng, Y., ... & Yeow, R. C. H. (2021). Sensorized reconfigurable soft robotic gripper system for automated food handling. *IEEE/ASME Transactions On Mechatronics*, 27(5), 3232-3243.

Григоренко І.В., к.т.н., доцент,

професор кафедри інформаційно-вимірювальних технологій і систем
Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут»
e-mail: grigmaestro@gmail.com, тел. +38 (050) 642-75-02

Кондрашов С.І., д.т.н., професор,

професор кафедри інформаційно-вимірювальних технологій і систем
Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут»
e-mail: serhii.kondrashov@khp.edu.ua, тел. +38 (098)-269-08-64

Опришкін О.С., аспірант

кафедри інформаційно-вимірювальних технологій і систем
Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут»
e-mail: Aleksandr.Opryshkin@cit.khpi.edu.ua, тел. +38 (097) 889-41-93

Григоренко С.М., к.т.н., доцент,

доцент кафедри комп'ютерні та радіоелектронні системи контролю та діагностики
Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут»
e-mail: sngloba@gmail.com, тел. +38 (050) 137-77-73

ІНФОРМАЦІЙНО-ВИМІРЮВАЛЬНА СИСТЕМА ДЛЯ КОНТРОЛЮ РЕЖИМІВ ПОМЕЛУ ЗЕРНА КАВИ

Abstract. *The developed information and measurement system on the Arduino Nano 3.0 platform is presented. using a temperature sensor and a module with a Hall sensor to control the revolutions of the motor shaft of the Mahlkönig EK 43 coffee grinder in order to determine the factor influence on the homogeneity of coffee grain grinding to assess their informational significance.*

Key words: *information and measurement system, factor influence, coffee bean, measurement, sensor.*

Проблеми, що пов'язані з визначенням режимів помелу зерна кави, цікавлять вчених з різних країн світу [1, 2]. Аналіз показав зацікавленість світової наукової спільноти у вирішенні проблем, що пов'язані з процесом помелу зерна кави. У світових базах зустрічається достатньо публікацій про різні аспекти обробки та виготовлення натуральної кави із зерна, але ряд питань залишаються не вирішеними на сьогодні і потребують дослідження і розв'язання.

Одним з таких питань є визначення факторного впливу на однорідність помелу зерна кави, тобто – які чинники впливають і як само їх вплив відображається на однорідності помелу і смакових якостях напою.

Для розв'язання цієї задачі був обраний серійний екземпляр кавомолки *Mahlkönig EK 43* і для неї було розроблено інформаційно-вимірювальну систему (ІВС) для контролю режимів її роботи.

У роботі [3] встановлено фактори, що впливають на однорідність помелу, а саме це – час помелу, швидкості обертання валу двигуна кавомолки, температура на статорі двигуна, бо вона розігріває усю кавомолку і змінює вологість зерна кави, що також впливає на однорідність помелу.

Виходячи з сказаного, для ІВС було взято датчики температури і кількості обертів валу двигуна. До складу стенду ІВС увійшли: платформа *Arduino Nano 3.0*, електромагніт (*Electromagnet*), що здатний утворювати коливання бункера із набором сит (*Set of sieve*), модуль із датчиком Холла (*Sensor 1*), датчик температури *DS18B20 (Sensor 2)*, цифровий відліковий пристрій *LCD 1602 (DRD)*, блок живлення.

З метою підключення до персонального комп'ютера існує *USB Mini – B*, який встановлено на платі *Arduino Nano 3.0*. Саме за допомогою нього записується програма у

мікроконтролер з персонального комп'ютера. Для програмування *Arduino* було використано мову *C++*, з деякими особливостями. Структурно-функціональна схема ІВС для кавомолки *Mahlkönig EK 43* представлено на рис. 1.

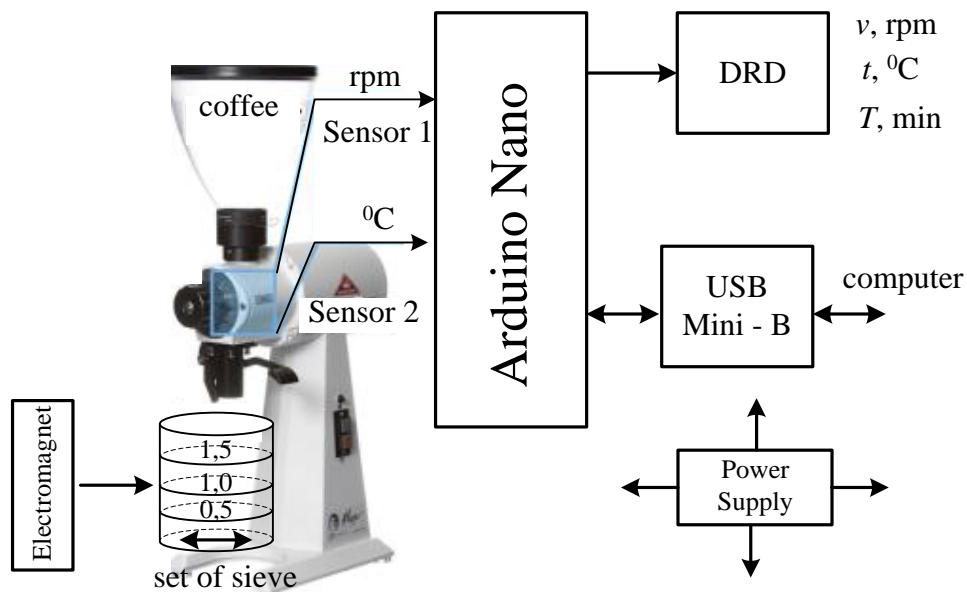


Рис. 1 - Структурно-функціональна схема ІВС для кавомолки *Mahlkönig EK 43*

Якість помелу оцінювалася за допомогою бункера із набором сит. Він надав можливість визначити і розділити гранулометричний склад помеленої кави методом просіювання скрізь набір сит з отворами 1,5 мм, 1,0 мм і 0,5 мм. Вимірювання проводилися з відстанню між жорнами (0,5 і 1,0 мм), які у процесі роботи підтримувалися постійними. Початкова вологість зерна кави була 12 %RH. Як одна порція було використано 80 грам обсмаженого зерна кави. Оберти валу двигуна підтримувались на рівні 850 об/хв. Це значення було встановлено як найефективніше у попередніх дослідженнях [3].

Проведено серії вимірювань, які дозволили визначити якість помелу кави у залежності від швидкості обертання жорен і часу помелу. На підставі отриманих статистичних даних експериментів виникла можливість у майбутньому оцінити кількість очікуваної вимірювальної інформації від кожного із показників контролю та провести ранжирування цих показників у порядку зменшення кількості очікуваної від них інформації.

Список літератури

1. Jonathan D. Walston, Daniel L. Short, M. Affan Badar An Experimental Design on Coffee Extraction Factors Impacting the Measurable Percent of Total Dissolved Solids in Solution. *Asia-Pacific Journal of Management Research and Innovation*, 2023. p. 1 – 11. DOI: 10.1177/2319510X221136690.
- 2 Christopher Murray, Thamara Laredo Effect of Home Grinding on Properties of Brewed Coffee. *Journal of Food Research*, published by Canadian Center of Science and Education; Vol. 4, № 1; 2015 DOI: <https://doi.org/10.5539/jfr.v4n1p77>.
3. Григоренко І. В., Кондрашов С. І., Опришкін О. С. Формування тестових впливів для першого рівня інформаційно-вимірювальної системи. *Вісник Національного технічного університету «ХПІ»*. Серія: Нові рішення в сучасних технологіях. – Харків: НТУ «ХПІ». 2023. № 1 (15). С. 19 – 26.

Стеннік О.Ю.,

науковий співробітник ДП «Укрметртестстандарт»,
e-mail: metrology@protonmail.com, тел.: +380 445226655

Міхаль О.О., д.т.н.,

провідний науковий співробітник Інституту електродинаміки НАНУ

ВПЛИВ СТРУМІВ ЗМІЩЕННЯ НА ОПІР СТОВПА РІДИНИ У ДИФЕРЕНЦІЙНИХ
ДВОЕЛЕКТРОДНИХ КОНДУКТОМЕТРИЧНИХ КОМІРКАХ

Abstract. This article discusses a differential method for measuring the electrolytic conductivity of liquids using a two-electrode conductivity cell. A formula is given for calculating the measurement error caused by the relative permittivity of the liquid. Graphs of error dependences for different frequencies of measuring signals indicate a significant influence on the measurement result for low-concentrated solutions at frequencies above 1 kHz. The research results obtained were used to correct the constant of a precision conductivity cell.

Key words: conductometry, conductivity cell, measurement error, impedance, two-electrode cell.

Об'єктом вимірювання в кондуктометрії є рідина, що проводить електричний струм. В якості рідини виступають розчини сильних електролітів, що у воді дисоціюють повністю на окремі іони.

Для прецизійних вимірювань, як правило, використовують хлорид калію. Провідники із іонним типом провідності називають провідниками другого роду. За електролітичною (питомою) провідністю (далі – ЕПР) провідники другого роду займають проміжне положення між металами та діелектриками. Але вода як розчинник є тим середовищем, в якому поряд із іонами речовин, що дисоціюють та іонами від автодисоціації самої води, присутні також молекули води (недисоційовані), які утворюють подвійний електричний шар, сольватні оболонки іонів, а також присутні у дифузному шарі [1]-[2].

Електрична модель цих процесів представлена еквівалентною схемою на Рис. 1. Інформативним параметром схеми є об'ємний опір R_B , інші параметри – неінформативні. Для ефективного придушення електрохімічного імпедансу у прецизійній кондуктометрії використовують диференційний метод.

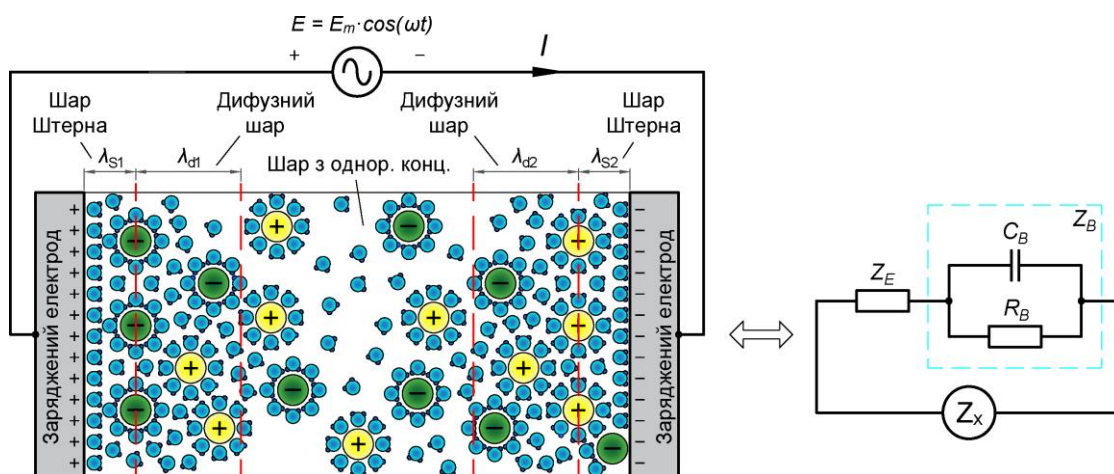


Рис 1. Спрощене зображення кондуктометричної комірки та її еквівалентної електричної схеми

Хоча диференційний метод вимірювання дозволяє придушити електрохімічний імпеданс Z_E (рис. 1), але існує два аспекти, що спотворюють результати вимірювань.

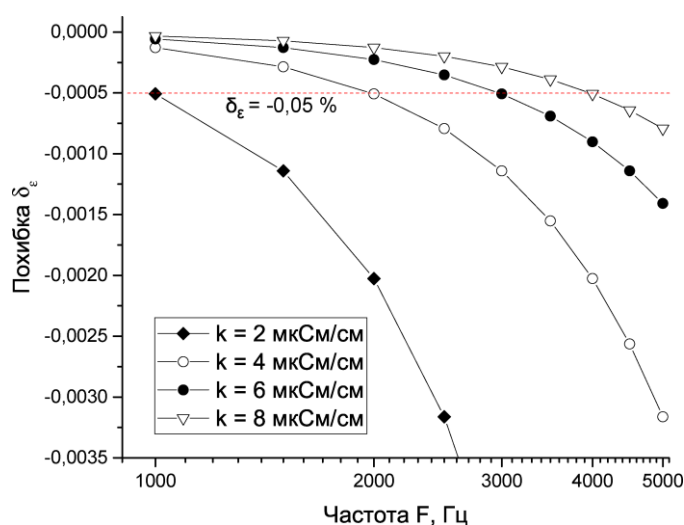
Перший – це необхідність для підвищення ефективності диференційного методу використовувати імпедансну модель кондуктометричної комірки.

Другий пов'язаний із наявністю у водних розчинах діелектричної проникності ϵ_r . Відповідно виникає зсув фази між струмом провідності та струмом зміщення.

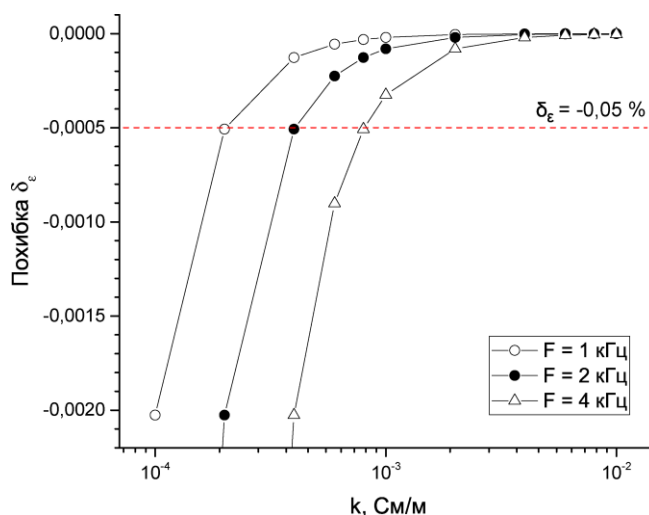
В електричній моделі об'ємного імпедансу це відображається ємністю C_B [3]. Паралельний тип схеми заміщення об'ємного імпедансу призводить до того, що в імпедансній моделі результат вимірювання залежить від частоти. Для оцінки цього явища обчислена похибка δ_ϵ :

$$\delta_\epsilon = -\frac{tg^2 \varphi}{1 + tg^2 \varphi}, \quad (1)$$

де $\omega \epsilon_0 \epsilon_r / k = tg \varphi$ – можна вважати тангенсом фазового кута між струмами провідності та зміщення. В доповіді наведені група залежностей похибки δ_ϵ як функції частоти або ЕПР k (См/м) (рис. 2).



(а)



(б)

Рис 2. Залежності похибки δ_ϵ : (а) – як функції частоти та (б) – як функція ЕПР

Отже похибка δ_ϵ (1) є методичною похибкою. Вона залежить як від частоти вимірювального сигналу так і ЕПР та може досягати суттєвих значень, тому аби отримати

результат наближений до ідеального, необхідно вносити поправку до результату вимірювання опору стовпа рідини або ж враховувати дану похибку в бюджеті непевності вимірювань.

Результати досліджень використовувалися для корекції константи прецизійної кондуктометричної комірки. В доповіді наведені особливості конструювання та зовнішній вигляд комірки.

Список літератури

1. K. Oldham, J. Myland, *Electrochemical science and technology* (First Edition). Academic Press Limited, London, 1994, ISBN: 0-12-525545-4, pp. 309-321.

2. C. Brett, A. Brett, *Electrochemistry principles, methods, and applications*. Oxford University Press, Bookcraft Limited, Midsomer Norton, 1993, ISBN: 0-19-855389-7, pp. 44-53.

3. C. Thirstrup, L. Deleebeeck, Review on Electrolytic Conductivity Sensors, *IEEE Trans. Instrum. Meas.*, 70, (2021), pp. 1-22. DOI: <http://doi.org/10.1109/TIM.2021.3083562>

Філімонов С.О., к.т.н., доцент
Черкаський державний технологічний університет
e-mail: s.filimonov@chdtu.edu.ua

Ященко С.С., аспірант
Черкаський державний технологічний університет

МЕТОД ВИЗНАЧЕННЯ ПОРІД ҐРУНТУ ЗА ДОПОМОГОЮ SMART ПЛУГА

***Abstract.** The factors affecting the condition of the soil were analyzed. Methods of analysis of soil rocks are analyzed. The capabilities of the smart plow with respect to the analysis of soil rocks have been analyzed. An analysis of soil rocks was carried out with the help of a smart plow*

***Key words:** piezo effect, exogenous, anthropogenic, smart plow*

Вступ. Сільське господарство є однією з найважливіших галузей економіки, оскільки має вирішальне значення для продовольчої безпеки країни. Саме технологічні розробки в цьому секторі сприяють ефективному економічному зростанню та добробуту нації і людей в цілому [1].

Сільське господарство – це галузь, яка потребує інновацій та вдосконалення через постійно зростаючий попит на сільськогосподарську продукцію. Нажаль, сільське господарство залежить не тільки від розвитку технологій в цій галузі, а ще й від ряду других факторів в цілому таких, як екзогенні та антропогенні. Аналіз впливу цих факторів на сільське господарство дозволяє передбачити та запобігти частково або повністю їхньому негативному впливу залишаючи лише позитивний результат.

Рослинництво залишається основним сектором світового сільського господарства через його важливу роль у забезпеченні населення планети продуктами харчування та сировиною для деяких галузей промисловості. Рослинництво можна розділити на кілька секторів, включаючи вирощування зернових (зернове господарство), вирощування цукрових культур, вирощування олійних культур, вирощування непродовольчих (технічних) культур та вирощування плодкових культур.

Дослідження впливу різних факторів на сільське господарство а саме рослинництво, є складний і як правило довгий процес не тільки через використання різноманітного обладнання а й через кількісний аналіз повних річних циклів. Тобто щоб впевнитися в результатах потрібно циклічно проводити дослідження впродовж кількох років, спостерігаючи за змінами в отриманих результатах досліджень. Створення нових пристроїв та способів аналізу стану ґрунту, дозволять спростити та покращити методи аналізу стану ґрунтових порід, що спростить дослідження впливу різних факторів на сільське господарство.

Перед посадкою використовують сукупність прийомів механічної дії на верхній шар ґрунту, з метою підвищення його родючості та оптимізації умов для розвитку рослин. Подрібнення орного шару дозволяє поліпшити водо і повітропроникність землі, активувати діяльність мікроорганізмів, захистити поле від бур'янів і захворювань рослин [2].

Основним органом обробки ґрунту в сільському господарстві є плуг.

Ґрунт являє собою середовище з різними шарами щільності, особливо це стосується місць, де розташована плужна подошва [3].

Аналізи процесів обробки ґрунту виконується переважно окремими датчиками та системами, які загалом не використовуються в пугах при обробці ґрунту.

В сільському господарстві для визначення шарів ґрунту з різною щільністю вже використовується такі окремі датчики та системи вимірювання як пенетрометр.

Пенетрометр – це прилад, яким визначають щільність ґрунту перед його обробкою [4].

Мета роботи – розробка нового методу визначення порід ґрунту за їх щільністю за

рахунок використання SMART плуга.

SMART плуг – вдосконалений звичайний плуг, в якому використовуються явища прямого та зворотного п'єзоефекту, а також сучасної електроніки, що дозволять спростити та автоматизувати процес аналізу щільності порід ґрунту та розрізняти їх за видами (чорнозем, глина та пісок). Дана система здатна працювати в двох режимах, в режимі датчика та актуатора.

Суть запропонованого метода полягає в наступному. На відвалі плуга закріплена п'єзоелектрична система, яка в процесі оранки реєструє силу впливу ґрунту на плуг.

Оскільки за фізичними ознаками різні породи ґрунтів відрізняються одна від одної, то дані отримані в режимі датчика, повинні відображати цю різницю. Це означає, що їх можливо аналізувати за допомогою електронних компонентів smart плуга, для створення електронної бібліотеки порід ґрунтів та ідентифікувати їх за складом під час оранки.

Для підтвердження працездатності запропонованого методу нами проведено ряд експериментальних досліджень, які підтвердили можливість розрізняти породи ґрунтів за їх фізичними властивостями (ознаками) такими як щільність ґрунту та їх види.

Щільність ґрунту — це маса одиниці об'єму абсолютно сухого ґрунту з природною вологістю і непорушеним станом. Величина залежить від мінерального складу (зі збільшенням кількості мінералів, що складають породу, її щільність зростає), вологості (підвищення обумовлює зростання щільності), пористості (зниження цього показника веде до підвищення щільності), вмісту гумусу та структури [5].

На рисунку 1 зображено три види ґрунту чорнозем, глина та пісок, які спресовані в ємність з наступними характеристиками: $d - \varnothing 90$ мм та $h - 70$ мм, об'єм ємності $V = 445.32$ см³. При цьому вага чорнозему становить 0.414 кг, глини 0.424 кг, піску 0.528 кг.



Рис. 1 Породи ґрунтів для дослідів в однаковій ємності: 1 – чорнозем, 2 – глина, 3 – пісок

Суть даного експерименту полягає в наступному. Зважені породи ґрунтів склалися у спеціальні пакети та розташовувалися на відповідній відстані від smart плуга, та за рахунок маятникової системи, створювалась сила яка прикладалася до відвалу плуга, що частково відповідає силі дії ґрунту на плуг при оранці.

В процесі дослідження результати фіксувалися за допомогою осцилографа. Отримані результати являють собою амплітудно-частотні характеристики які виникали при ударному навантаженні різними породами ґрунту на smart плуг в режимі датчика.

Для всіх зразків дослідження був використаний один діапазон чутливості вимірювання а саме 100mV на одну клітину.

На рисунку 2 представлено осцилограми експериментального дослідження при ударному навантаженні глини, чорнозему, піску на smart плуг.

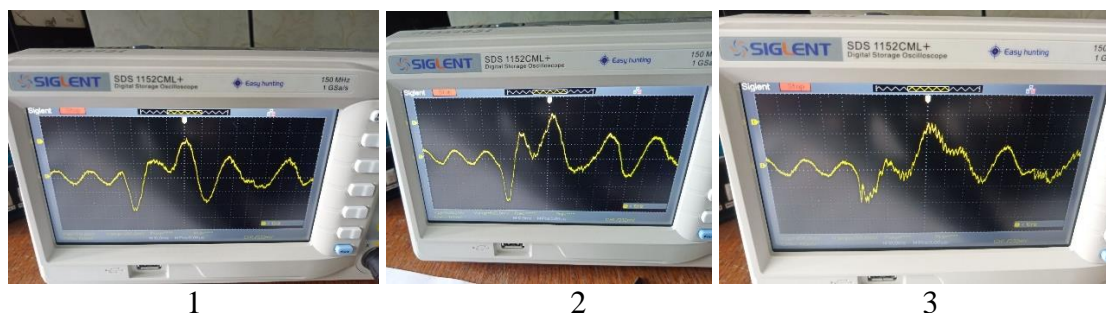


Рис. 2. Осцилограми експериментального дослідження при ударному навантаженні 1 – глини (500mV), 2 – чорнозему (620mV), 3 – піску (460mV) на smart плуг в режимі датчика

Висновки.

Таким чином, експериментальні дослідження показали можливість розрізняти породи ґрунтів за їх фізичними властивостями (ознаками) таких як щільність ґрунту, завдяки використанню smart плуга, що в подальшому дозволить автоматизувати аналіз закономірностей впливу екзогенних та антропогенних факторів.

Список літератури

1. Филимонов С.А., Батраченко А.В., Яценко С.С., Филимонова Н.В. Розрахунок сил, що виникають при створенні вібрацій за допомогою smart piezoceramics, та дослідження їх розподілу у плужному відвалі // "Вісник Черкаського державного технологічного університету". –2020. – №2. – С.21-28.
2. Обробіток ґрунту: що собою представляє і яке має значення [Електронний ресурс]. — URL:<http://surl.li/knkie> (дата звернення: 02.09.2023) — Назва з екрана
3. Moroz A. Development of Automatic Contactless Ultrasound Method of Soil Density Analysis /Moroz A. Filimonov S. // Central European Researchers Journal, Vol.7 Issue 2 CERES - 2021
4. Пенетрометр [Електронний ресурс]. — URL:<http://surl.li/ksecb> (дата звернення: 02.09.2023) — Назва з екрана
5. Щільність ґрунту [Електронний ресурс]. — URL:<https://superagronom.com/slovník-agronoma/shchilnist-gruntu-id20116> (дата звернення: 02.09.2023) — Назва з екрана

Секція 7
**ІННОВАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ У МЕДИЧНОМУ
ПРИЛАДОБУДУВАННІ**

УДК 621.3 : 616-71

Клочко Т.Р., к.т.н., с.н.с.,
доцент кафедри комп'ютерно-інтегрованих технологій виробництва приладів
Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»
e-mail: t.klochko@kpi.ua, тел. +38 (063) 389-18-63

**ІНТЕГРОВАНІЙ СЕНСОРНИЙ МОДУЛЬ АВТОМАТИЗОВАНОГО КОМПЛЕКСУ
КОМПЕНСАЦІЇ ПОРУШЕНЬ ФУНКЦІЙ РУХОВОГО АПАРАТУ ЛЮДИНИ**

Abstract. *Directions for creating integrated technical means for automated medical equipment are described in this article. The relevance and features of sensor modules, which are designed to compensate for violations of the functional state of human locomotive apparatus, are determined. The proposed complex for determining the parameters of field structures of objects is based on the principles of TONTOR technology.*

Key words: *integrated technical means, TONTOR technology, human locomotive apparatus, field structures of objects.*

Постановка проблеми. Сучасний стан країни внаслідок проведення війни, яку розв'язала РФ на територіях України, наразі потребує розробок технічних засобів відновлення працездатності людини, що пов'язано з багатьма випадками отримання поранень, втрати можливості руху, втрати кінцівок саме внаслідок бойових дій, аварійних ситуацій на виробництві. Призначення таких технічних засобів полягає у відновленні втрачених функцій рухового апарату людини внаслідок застосування автоматизованих модулів реєстрації та обробки інформації від об'єктів.

Для подолання наслідків різного роду порушень функціонального стану дії кінцівок людини внаслідок захворювань кісткової системи, нервової системи, а також ампутацій, іноді застосовують трансплантацію здорової кінцівки (або її частини), протезування та застосування штучних засобів підтримки. Ці засоби здебільшого здатні лише частково відновити її сенсорно-моторні функції кінцівок організму.

Аналіз існуючих сучасних науково-технічних досягнень доводить актуальність проблеми, пов'язаної з досить активно створюваними розробками штучних моделей кінцівок та технічних засобів контролю їх працездатності в різних умовах застосування. Це пов'язано із зростанням необхідності відновлення рухових функцій організму та можливості реабілітації, що має важливе значення для сучасного стану української медицини в умовах війни та подальшої ліквідації її наслідків.

Наразі відомі технічні засоби, які мають на меті створення біонічних систем протезних пристроїв, що пристосовують до тіла пацієнта. Водночас, застосування адаптивного фізіологічного функціоналу має властивість саме біонічного протезу. При цьому, як наприклад у дослідних роботах [1, 2] використовують датчики сили, щоб реєструвати варіації моделей жорсткості м'язів навколо кінцівки під час різних рухів, захоплення інших об'єктів.

Проте ці моделі, виконуючи контроль рухів механічного модулю, не враховують похибки орієнтації, пов'язані з взаємодіями різних об'єктів, наближення контактних поверхонь. За допомогою технічних засобів протеза кінцівки можна забезпечувати

зворотний зв'язок у режимі реального часу у вигляді швидкості пристрою. Робота [3] доводить можливість оцінки прикладеної сили в динамічних рухах руки за різними типами траєкторії в її плоскому робочому просторі. Показано у [4], що датчики можуть вимірювати нормальні сили, спричинені скороченням/розслабленням м'язів. Застосовані також технології моніторингу інформації про підтримування взаємодії людини з машиною на основі електроміографії, силової міографії та електроімпедансної томографії [5]. Використовують також сенсори, наприклад, оптоволоконний датчик для неінвазивної ідентифікації положення рук [6], ємнісний датчик [7] для визначення тискових навантажень, адаптований до будь-якого розміру та форми, що додатково застосовано в обладнанні, яке можна носити кожного дня.

Водночас, і досі не дослідженим залишається визначення формотворення, типу матеріалів та ідентифікації типу контактної поверхні різних об'єктів, що наближаються та контактують з кінцівками з порушеним станом, а отже, наявна аварійна ситуація при контактній взаємодії при перевищенні динамічного навантаження на штучні модулі кінцівки.

Таким чином, створення засад дії сенсорного модулю біонічного комплексу, який забезпечує підтримку порушення функціонального стану кінцівок організму на основі аналізу інтегрованих сигналів польових структур об'єктів, є **метою цього дослідження**. Тобто створення засад дії автоматизованого інтегрованого комплексу, який призначено для підтримки життєдіяльності людини інтегрованими технічними засобами, для реабілітації після отриманих травматичних пошкоджень, перенесених захворювань.

Запропонована робота ґрунтується на засади теорії ТОНТОР (тонке торкання) [8], яке визначає особливості взаємодії польових структур об'єктів технічного та біологічного походження за допомогою концепції отримання інформаційних сигналів від комплексу інтегрованих відчутників ТОНТОР [9].

Аналітичні моделі визначення вхідних сигналів системи з інтегрованою ідентифікацією типу поверхні об'єктів контакту на засадах аналізу польових структур об'єктів дозволяють здійснити аналіз процесів перетворення вхідних сигналів у вихідні сигнали руху комплексу підтримки нормального функціонального стану кінцівок пацієнтів. Особливості роботи комплексу сенсорів відбуваються на основі аналізу інтегрованих електромагнітних полів, в тому числі оптичного діапазону, притаманних взаємодіючим об'єктам.

При цьому формалізовані моделі функціонування комп'ютерно-інтегрованої системи ідентифікації об'єктів та підтримки роботи штучних кінцівок на підставі визначених засад векторних полів об'єктів надають основні положення конструкційних особливостей модулів контролю та вимірювання для різновидів об'єктів взаємодії.

Таким чином, визначено, що при конструюванні подібних модулів для автоматизованих медичних компенсаційних комплексів необхідно враховувати можливість впливу просторово-часових похибок координат при переході від моделі сенсорного модулю до реальних об'єктів, як [10], при вимірюванні відстані між поверхнями, а також при виготовленні комплексу та його експлуатації в реальних умовах.

Отже, забезпечення вимірювання величини наближення поверхні об'єктів та моменту їх можливого торкання в автоматичному режимі підвищує точність ідентифікації просторово-часових координат розташування об'єктів взаємодії, тобто сенсорів вимірювального мехатронного модулю та поверхні об'єкта ідентифікації.

Пропонована концепція визначення та ідентифікації об'єктів взаємодії повинна забезпечувати та надавати відповідному керуючому блоку інтегрованого сенсорного комплексу інформацію про цілий комплекс кінцівок, тобто верхні та нижні, в цифровому вигляді, виключаючи суб'єктивний чинник сприйняття інформації та керування рухами.

Висновки

Запропоновано формалізовані аналітичні моделі функціонування сенсорного комплексу для автоматизованого визначення просторово-часових координат розташування

поверхонь об'єктів взаємодії при застосуванні в комплексі компенсації втраченого або порушеного нормального стану дії опорно-рухової системи організму людини.

Основні результати дослідження призначені для підвищення якості життя пацієнтів з порушенням або втратою нормального стану рухового апарату в частині дії рухового апарату організму пацієнта. Таким чином, перспективи завершеної роботи матимуть значення завершеного комплексного рішення щодо створення нової інтегрованої системи компенсації порушень функціонального стану кінцівок пацієнта, які виникають внаслідок різних причин травматологічного характеру або захворювань.

Список літератури

1. Chuanxin M. Niu. Neuromorphic Model of Reflex for Realtime Human-Like Compliant Control of Prosthetic Hand / Chuanxin M. Niu, Qi Luo, Chih-hong Chou, Jiayue Liu, Manzhao Hao & Ning Lan // *Annals of Biomedical Engineering*. – 2021. - Vol. 49. - P. 673–688.
2. Xiao Z.G. Review of Force Myography Research and Development / Xiao Z.G., Menon C. A // *Sensors (Basel)*. – 2019. - 19(20):4557.
3. Zakia U. Estimating exerted hand force via force myography to interact with a biaxial stage in real-time by learning human intentions: A preliminary investigation. / Zakia U., Menon C. // *Sensors*. – 2020. - 20:2104.
4. Muhammad Raza Ul Islam. Effective Multi-Mode Grasping Assistance Control of a Soft Hand Exoskeleton Using Force Myography / Muhammad Raza Ul Islam and Shaoping Bai // *Front. Robot. AI. Sec. Biomedical Robotics*. – 2020. – Vol. 7:567491.
5. Zheng Z. A Review of EMG-, FMG-, and EIT-Based Biosensors and Relevant Human-Machine Interactivities and Biomedical Applications / Zheng Z., Wu Z., Zhao R., Ni Y., Jing X., Gao S. // *Biosensors*. – 2022. – Vol. 12(7):516.
6. Fujiwara E., Suzuki C.K. Optical fiber force myography sensor for identification of hand postures / Fujiwara E., Suzuki C.K. // *Journal of Sensors*. – 2018. - 2018: Article ID 8940373. - 1–10 pages.
7. Luo Y. Flexible capacitive pressure sensor enhanced by tilted micropillar arrays / Luo Y., Shao J., Chen S., Chen X., Tian H., Li X., Wang L., Wang D., Lu B. // *ACS Appl. Mater. Interfaces*. – 2019. – Vol. 11. - 17796–17803 pages.
8. Скицюк В.І. Технологія ТОНТОР : монографія / В.І. Скицюк, К.Г. Махмудов, Т.Р. Клочко. - Київ: Техніка, 1993. - 95 с., іл.
9. Відчутники контрольно-вимірювальних систем: монографія / Г.С. Тимчик, В.І. Скицюк, М.А. Вайнтрауб, Т.Р. Клочко. - Київ: НТУУ «КПІ» ВПІ ВПК «Політехніка», 2008. – 240 с.
10. V. Skytsiouk, T. Klotchko. Basic principles of spatial position of imaginary and real TONTOR step // *Bull. Kyiv Polytech. Inst. Ser. Instrum. Mak.* - 2022. - Is. 63 (1). - P. 100-106.

Тігаренко О.С.,

магістрант кафедри приладобудування, мехатроніки і комп'ютеризованих технологій
Черкаський державний технологічний університет

Тичков В.В., к.т.н., доцент,

доцент кафедри приладобудування, мехатроніки і комп'ютеризованих технологій
Черкаський державний технологічний університет

v.tychkov@chdtu.edu.ua

Трембовецька Р.В., д.т.н., доцент,

доцент кафедри приладобудування, мехатроніки і комп'ютеризованих технологій
Черкаський державний технологічний університет

r.trembovetska@chdtu.edu.ua

Гальченко В.Я., д.т.н., професор,

професор кафедри приладобудування, мехатроніки і комп'ютеризованих технологій
Черкаський державний технологічний університет

halchvl@gmail.com

ВДОСКОНАЛЕННЯ ВОЛЬТАМПЕРОМЕТРИЧНОГО ВИЗНАЧЕННЯ КОНЦЕНТРАЦІЇ ГЛЮКОЗИ В СИВОРОТЦІ КРОВІ

Abstract. *The analysis of studies of voltammetric determination of glucose concentration in blood serum was carried out, the physical processes and regularities occurring in the electrochemical sensor were studied. Glucose solutions in a wide range of concentrations were prepared. For each of the concentrations, 9 cycles of oxidation-reduction voltammetry were measured using planar electrodes with a potential scan [- 1.5 V, + 1.5 V] and a step of 0.025 V. The I(C) dependence was constructed for two types of electrodes: planar and volumetric.*

Keywords: *voltammetry, blood serum, glucose*

Вступ. Достовірність та надійність інформації про склад біологічних об'єктів та технологічних розчинів залежить від властивостей простих аналітичних пристроїв, що визначають шуканий компонент та правильно реагують на зміну його концентрації. Подібним приладом в електрохімічних системах є електрод, на поверхні якого одночасно можна здійснювати операції концентрування, поділу та визначення речовини. Стан поверхні електрода впливає особливості протікання електродних процесів, створюють аналітичний сигнал. Властивості поверхні електрода залежать від природи матеріалу, методів його виготовлення та способів обробки поверхні.

Оскільки сигнал-відгук в електрохімічній системі формується на межі розділу фаз електрод/розчин і залежить від стану поверхні електрода, яка визначається природою матеріалу, присутністю модифікуючих речовин, його однорідністю тощо, від правильного підбору індикаторного електрода багато в чому залежить результат експерименту. З цієї причини приділяється велика увага матеріалу електродів, способів модифікування та регенерації його поверхні, що визначає робочу область потенціалів, величину сигналу-відгуку та можливість досягнення встановлених метрологічних характеристик. Вимоги до електродів досить високі: в першу чергу, вони зобов'язані гарантувати протікання електрохімічної реакції з високою швидкістю при малих перенапругах.

Отже, **метою досліджень** є дослідження планарних та об'ємних електродів на основі характеристик розчинів глюкози, одержаних методом вольтамперометрії.

Для проведення експерименту використовувалися два типи електродів: об'ємні та планарні. В якості планарного електрода було обрано вимірювальні тест-смужки для глюкометра ТМ GAMMA Diamond. Даний вид містить три золотих електродів на кінці яких нанесений фермент глюкозооксидаза, при взаємодії з яким розчини глюкози стають

електрично активними. На одній смужці плівки разом з індикаторним електродом можна виготовити і електрод порівняння, слід тільки до барвника додати, наприклад, хлорид срібла. Якщо таку смужку полімерної плівки з надрукованими на ній електродами опустити в аналізований розчин, отримаємо електрохімічний перетворювач.

В якості об'ємних електродів були обрані – вуглецевий робочий індикаторний електрод, перевагою якого є досить висока хімічна та електрохімічна інертність у водних розчинах та хлоридсрібний електрод - електрод порівняння, який складається із срібного дроту (спіраль), покритого малорозчинною сіллю AgCl, і опущеної в розчин KCl 1M концентрації. В якості допоміжного електроду використали платинову проволочку.

Висновки. Проведено аналіз досліджень вольтамперометричного визначення концентрації глюкози в сировотці крові, вивчено фізичні процеси та закономірності, що відбуваються в електрохімічному перетворювачі. Приготовлені розчини глюкози у широкому діапазоні концентрацій. Для кожної з концентрацій виміряно 9 циклів вольтамперограм окислення-відновлення з використанням планарних електродів з розгорткою потенціалів [- 1,5 В, + 1,5 В] та кроком 0,025 В. Побудовано залежність I(C) для двох типів електродів: планарних та об'ємних.

Зі збільшенням концентрації глюкози в розчині значення струму, що протікає через електрод, збільшується. Ця закономірність простежується під час використання обох типів електродів. Структура поверхні планарного електрода змінюється з наступним циклом. Робоча поверхня об'ємного електрода залишається постійною під час проведення експерименту. Планарний електрод має більшу чутливість у порівнянні з об'ємними, оскільки сила струму в планарних електродах значно більша, ніж в об'ємних. У електродному процесі граничний струм має змішаний дифузійно-кінетичний характер. Таким чином, було досліджено взаємодію комбінованих структур електрохімічного дифузійного перетворювача з рідинним та твердофазним елементами.

Список літератури

1. Vanderlaan, E. L., Nolan, J. K., Sexton, J., Evans-Molina, C., Lee, H., & Voytik-Harbin, S. L. (2023). Development of electrochemical Zn²⁺ sensors for rapid voltammetric detection of glucose-stimulated insulin release from pancreatic β -cells. *Biosensors and Bioelectronics*, 235, 115409.
2. Yasir, A. S., Hameed, A. S., Ridha, N. J., Alosfur, F. K. M., Tahir, K. J., & Madlol, R. A. (2023). Enhancement of voltammetric properties of silver nanoparticles doped ZnO nanorods for glucose biosensing. *Journal of Materials Science: Materials in Electronics*, 34(4), 315.
3. Geetha, M., Maurya, M. R., Al-maadeed, S., Muthalif, A. A., & Sadasivuni, K. K. (2022). High-precision nonenzymatic electrochemical glucose sensing based on CNTs/CuO nanocomposite. *Journal of Electronic Materials*, 51(9), 4905-4917.
4. Si, Y., Li, J., Jhung, S. H., & Lee, H. J. (2022). Recent research trends in voltammetric sensing platforms for hormones and their applications to human serum analyses. *Analytical Sciences*, 38(1), 11-21.
5. Saeed, U., Batool, R., Hussain, D., Majeed, S., Najam-ul-Haq, M., & Fatima, B. (2022). MOF-based electrochemical sensors for glucose. In *Metal-Organic Frameworks-Based Hybrid Materials for Environmental Sensing and Monitoring* (pp. 207-216). CRC Press.
6. Khosravi Ardakani, H., Gerami, M., Chashmpoosh, M., Omidifar, N., & Gholami, A. (2022). Recent progress in nanobiosensors for precise detection of blood glucose level. *Biochemistry Research International*, 2022.
7. Zhang, J., Kuang, Z., Li, H., Li, S., & Xia, F. (2022). Electrode surface roughness greatly enhances the sensitivity of electrochemical non-enzymatic glucose sensors. *Journal of Electroanalytical Chemistry*, 919, 116541.

Секція 8
**МЕТРОЛОГІЧНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ,
ВИПРОБУВАННЯ ТА СЕРТИФІКАЦІЯ
ТЕХНІКИ**

УДК 007.5:629.7.017.1

Бондаренко Ю.Ю., к.т.н., професор,
с.н.с. НДВ ЛХДО РК(С) НДУ В РАТС

Державний науково-дослідний інститут випробувань і сертифікації озброєння та
військової техніки

e-mail: julybo110976@gmail.com, тел. +38 (063) 458-85-59

Соболєв В.В.,

с.н.с. – старший інженер-випробувач НДВ В РК(С) НДУ В РАТС

Державний науково-дослідний інститут випробувань і сертифікації озброєння та
військової техніки

Ясенко Л.С.

м.н.с. – інженер НДВ В РК(С) НДУ В РАТС

Державний науково-дослідний інститут випробувань і сертифікації озброєння та
військової техніки

**ОЦІНЮВАННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ЗАСТОСУВАННЯ РОБОТИЗОВАНИХ
КОМПЛЕКСІВ (СИСТЕМ) В ПРОЦЕСІ ВИПРОБУВАНЬ**

Abstract. *The active involvement of robotic (complex) systems of various purposes in the performance of combat tasks requires evaluation and forecasting of the effectiveness of their use at the stage of making a decision on the admission of these samples of weapons and military equipment to operation. In the publication, on the example of a sample of the reconnaissance unmanned aircraft complex of the 1st class, the approach to evaluating the effectiveness of the use of robotic complexes (systems) of military purpose in the process of their testing is disclosed.*

Key words: *application efficiency, weapons and military equipment, robotic complexes (systems), efficiency criteria, tests, stages of combat tasks*

В умовах агресії рф особливо актуальним постає питання оцінювання та прогнозування ефективності застосування різних типів озброєння та військової техніки (ОВТ) для виконання типових задач підрозділами Збройних Сил України (ЗСУ).

Враховуючи активне залучення до виконання бойових завдань роботизованих (комплексів) систем (РК(С)) різного призначення оцінювання ефективності їх застосування набуває особливого значення.

Загалом під ефективністю застосування об'єкту розуміють його здатність забезпечувати певну результативність в процесі використання за призначенням, яку визначаються як відношення отриманого ефекту/результату до витрат, які забезпечили цей результат.

Для оцінювання ефективності, як правило, використовують наперед визначені критерії, що найсуттєвіше впливають на очікуваний кінцевий результат.

Існують різні підходи до оцінювання ефективності, які обумовлені як безпосередньо самими об'єктами дослідження, їх характеристиками і особливостями застосування, так і тими критеріями, які визначені як міра оцінки ефективності.

Наприклад, існує підхід до експертного оцінювання ефективності застосування роботизованих комплексів (систем) за допомогою методики техніко-економічного порівняння альтернативних зразків таких комплексів.

Метою цієї публікації є демонстрація підходу до оцінювання ефективності застосування роботизованих комплексів (систем) військового призначення в процесі їх випробувань.

До роботизованих комплексів (систем) військового призначення, що наразі залучаються до виконання бойових завдань ЗСУ, в залежності від сфери застосування відносять: безпілотні авіаційні комплекси (БпАК); безпілотні наземні роботизовані комплекси (БНРК); морські безекіпажні апарати (МБА).

Під ефективністю застосування РК(С) військового призначення ми розуміємо здатність комплексу (системи) виконувати покладені на них бойові завдання з максимально можливим позитивним результатом їх виконання.

Загалом оцінка ефективності РК(С) військового призначення проводиться з метою:

- перевірки відповідності значень тактико-технічних характеристик (ТТХ) та експлуатаційних характеристик, визначених як показники ефективності роботизованої системи, значенням цих показників, що задані в технічних умовах (ТУ), оперативнотактичних вимогах (ОТВ) або оперативнотактичних вимогах (ОСВ) на конкретний зразок ОВТ;

- виявлення основних бойових і експлуатаційних якостей РК(С) для відпрацювання рішення щодо запуску їх у серійне виробництво або прийняття на озброєння;

- відпрацювання рекомендацій щодо підвищення ефективності РК(С) та вдосконалення способів їх бойового застосування;

- оцінки ефективності РК(С) після вдосконалення роботизованих систем.

Випробування РК(С), їх складових частин і елементів з метою визначення ефективності повинні виконуватися за єдиною програмою, яка включає в себе лабораторні, наземні, льотні, морські та інші випробування в залежності від призначення конкретного типу РК(С).

Подальша оцінка ефективності РК(С) буде здійснюватися з використанням математичних залежностей, які включають значення параметрів складових частин і елементів РК(С), умов бойового застосування, за яких мають місце вказані значення параметрів, або число залікових реалізацій (при визначенні параметрів ефективності прямим методом).

Основними етапами оцінки ефективності РК(С) військового призначення під час організації та проведення їх випробувань в умовах максимально наближених до бойових є:

- вибір типових бойових завдань і способів їх вирішення;

- вибір критеріїв оцінки ефективності (якості) вирішення бойових завдань;

- визначення основних умов бойового застосування, за яких оцінюється ефективність РК(С) та/або її складових частин, елементів;

- визначення порядку розрахунків показників ефективності;

- врахування надійності складових частин та елементів РК(С) при проведенні розрахунків показників ефективності.

На першому етапі оцінки здійснюється вибір типових бойових завдань і способів їх вирішення. Під час цього етапу деталізуються завдання, які вирішуються за допомогою РК(С). При цьому враховується, що кожне з визначених типових бойових (розвідувальних) завдань може вирішуватись декількома способами.

Як правило, в умовах обмеженого обсягу та термінів проведення випробувань перевірки та оцінки під час їх проведення підлягають не більше одного-двох способів вирішення типових завдань, при цьому визначення пріоритетності способів вирішення завдань покладається на головного конструктора зразка РК(С).

Наприклад, завдання проведення оптико-електронної розвідки в оптичному діапазоні розвідувальним БпАК І класу передбачатиме оцінювання двох часткових завдань: завдання пошуку та завдання визначення (уточнення) координат цілі.

Першочерговими об'єктами розвідки виступатимуть комплекси розвідки та РЕБ, танкові та мінометні підрозділи. Як спосіб ведення повітряної розвідки буде використано

пошук об'єкта (цілі) у визначеному районі. А кількісні вимоги до повноти інформації визначатимуться визначеною вірогідністю розпізнавання типу P_T основних простих об'єктів (окремого танка, окремої спецмашини тощо).

На другому етапі здійснюється вибір критеріїв оцінки ефективності (якості) вирішення бойових завдань. За критерії оцінки ефективності РК(С) військового призначення приймаються тактико-технічні характеристики (ТТХ), визначені як найбільш вагомими для виконання покладених завдань; оцінки бойових можливостей за умов, що максимально наближені до реального використання (експлуатування); окремі вимоги, які висувуються замовником (користувачем) для успішного вирішення поставлених завдань. Перелік критеріїв оцінки ефективності завжди зумовлюється характером умов і завдань, які вирішуються.

Ефективність як окремих складових частин, так і РК(С) в цілому може бути визначена методом експертної оцінки результатів порівняння можливостей окремих складових частин або роботизованих систем за визначеними критеріями з вимогами до них, які витікають із вирішення типового завдання.

Наприклад, критеріями ефективності для розвідувального БпАК I класу можуть бути наступні ймовірності:

- ймовірність підготовки БпЛА до польоту в заданий час – $P_{\text{підг}}$;
- ймовірність виявлення засобами ППО – $P_{\text{вияв}}$;
- ймовірність ураження – $P_{\text{ураж}}$;
- ймовірність впливу засобами РЕБ – $P_{\text{РЕБ}}$;
- ймовірність дослідження заданого району розвідки – $P_{\text{д}}$;
- ймовірність виявлення цілі – $P_{\text{в}}$;
- ймовірність розпізнавання цілі за типом – $P_{\text{т}}$;
- ймовірність визначення координат з похибкою не більше заданої – $P_{\text{к}}$.

При цьому необхідно враховувати, що частина зазначених ймовірностей за своїх максимальних значень сприятиме збільшенню ефективності, а частина – зменшенню.

Крім того, необхідно застосовувати наступні часткові критерії, що також опосередковано мають вплив на показники ефективності та будуть попередньо отримані в процесі проведення випробування зразка РК(С).

Для розвідувального БпАК I класу такими частковими критеріями можуть бути:

- час підготовки до першого та повторного вильоту;
- віддаленість району ведення розвідки при заданій тривалості роботи в районі

$R = f(T_p)$;

- середньоквадратична похибка визначення координат об'єктів розвідки;
- ширина полоси розвідки (кут огляду місцевості) і ефективна ширина полоси розвідки, яка відповідає ширині полоси місцевості, що розвідується і в межах якої виконуються задані тактичні вимоги щодо повноти і достовірності інформації, яка отримується з урахуванням потрібної точності визначення координат об'єктів;

- дальність передачі розвідувальної інформації за каналами зв'язку з борта БпЛА із забезпеченням потрібної якості зображення, яке реєструється на пульті керування та контролю;

- тактичний радіус БпЛА;
- діапазон висот та швидкостей застосування;
- тривалість польоту;
- середній час напрацювання на відмову.

Наступний етап оцінювання ефективності передбачає визначення основних умов бойового застосування, за яких проводиться оцінювання.

Умови бойового застосування РК(С) характеризуються низкою факторів, які можуть бути зведені у дві групи:

- фактори, дані про які, змінюються відносно повільно протягом певного часу (метеоумови, типи гідрологічних умов, прозорість атмосфери, освітлення місцевості тощо);

– фактори, дані про які уточнюються кожні півроку-рік (висоти та швидкості бойового застосування, райони бойових дій, типові цілі та їх характеристики, вид протидії тощо).

Наприклад, для розвідувального БпАК I класу, визначення критеріїв оцінки ефективності повинні проводитися у польотах з типовими швидкостями і на типових висотах. Визначення лінійної роздільної здатності на місцевості необхідно проводити як мінімум на двох режимах: на максимальній висоті та мінімальній швидкості, а також на мінімальній висоті та максимальній швидкості. Можливість застосування засобів розвідки розвідувального БпАК у тих чи інших умовах метеовидимості визначається тим електромагнітним діапазоном, в якому він працює.

При цьому необхідно враховувати, що за умов доброї метеовидимості розвідка може вестися всіма засобами сучасного комплексу повітряної розвідки; за умов поганої метеовидимості (димка, пил і т.п.) – лише за допомогою засобів ІЧ діапазону; а за відсутності метеовидимості – виключно за допомогою засобів, які працюють в радіодіапазоні. Така характеристика метеовидимості є умовною, але достатньою для оцінки ефективності. Природне освітлення місцевості також має суттєвий вплив на можливість застосування засобів повітряної розвідки, які працюють у видимому діапазоні довжини хвиль без штучного підсвітлення місцевості.

З метою підвищення достовірності результатів оцінки ефективності бойового застосування РК(С) в цілому, необхідно проводити зазначену оцінку послідовно на окремих етапах вирішення основних завдань зразком РК(С). Згадані етапи та відповідні часткові критерії (показники) ефективності на кожному етапі визначаються заздалегідь і вони будуть різнитися в залежності від призначення і бойових завдань РК(С).

Наприклад, для розвідувального БпАК I класу етапи і часткові критерії (показники) ефективності притаманні кожному з них можуть бути наступні:

I етап – підготовка до вильоту (час підготовки до першого та повторного вильоту – $T_{\text{заг}}$; ймовірність підготовки БпЛА до польоту в заданий час);

II етап – вихід в район проведення розвідки (ймовірність виявлення засобами ППО – $P_{\text{вияв}}$; ймовірність ураження – $P_{\text{ураж}}$; ймовірність впливу засобами РЕБ – $P_{\text{РЕБ}}$; віддаленість району ведення розвідки при заданій тривалості роботи в районі $R = f(T_p)$; тактичний радіус БпЛА; діапазон висот та швидкостей застосування);

III етап – пошук та розпізнавання визначеної цілі (ймовірність дослідження заданого району розвідки – P_d ; ймовірність виявлення цілі – P_v ; ймовірність розпізнавання цілі за типом – P_t ; ймовірність визначення координат з похибкою не більше заданої – P_k ; середньоквадратична похибка визначення координат об'єктів розвідки; ширина полоси розвідки (кут огляду місцевості) і ефективна ширина полоси розвідки, яка відповідає ширині полоси місцевості, що розвішується та в межах якої виконуються задані тактичні вимоги щодо повноти і достовірності інформації, яка отримується з урахуванням потрібної точності визначення координат об'єктів; дальність передачі розвідувальної інформації каналами зв'язку з борта БпЛА із забезпеченням потрібної якості зображення, яке реєструється на пульті керування та контролю; тривалість польоту);

IV етап – повернення (ймовірність виявлення засобами ППО – $P_{\text{вияв}}$; ймовірність ураження – $P_{\text{ураж}}$; ймовірність впливу засобами РЕБ – $P_{\text{РЕБ}}$; ймовірність посадки в “домашній” точці із заданими координатами).

Як правило, визначення часових, швидкісних, висотних критеріїв ефективності та критеріїв ефективності щодо дальності не становить значних труднощів і методики їх розрахунків широко висвітлені у відповідній літературі [1].

Разом з тим для якісної оцінки ймовірнісних критеріїв ефективності на перший план виступає повнота наявних статистичних даних, які не завжди можна накопичити у зв'язку з обмеженим часом проведення випробувань зразків РК(С) та необхідних засобів (наприклад, радіолокаційних станцій, засобів РЕБ противника, а також засобів для підтвердження ТТХ). При цьому ймовірнісні характеристики оцінки ефективності бойового застосування РК(С) при визначених завданнях та умовах їх виконання можна

розрахувати, застосовуючи експериментальні дослідження та відповідний математичний апарат теорії ймовірності.

Визначення зазначених ймовірностей здійснюється за розрахунковими формулами, які будуть розкриті в інших публікаціях авторів.

На останньому етапі оцінки ефективності застосування РК(С) необхідно визначити її надійність, враховуючі всі складові частини та елементи РК(С):

$$P(t) = P_1(t)P_2(t) \dots P_n(t) = \prod_{k=1}^n P_k(t), \quad (1)$$

де P_k – це елемент РК(С);

n – загальна кількість елементів РК(С);

t – час роботи елемента РК(С).

Наприклад, для визначення надійності елемента БПЛА необхідно скористатися формулою (2):

$$P_k(t) = e^{-\frac{t_{брк}}{\tau}}, \quad (2)$$

де $t_{брк}$ – час бойової роботи елемента k ;

τ – середній час нальоту на відмову елемента k .

Крім того, щоб забезпечити обчислення ймовірностей безвідмовної роботи елементів при N випробувань з певною довірчою ймовірністю, необхідно користуватися таблицею Г.2 ДСТУ 3004-95.

Оскільки кожна наступна подія залежить від успішного виконання попередньої, загальна ймовірність успішного виконання бойового завдання (рис. 1) буде обчислюватися як добуток всіх ймовірностей подолання перешкод та успішності виконання кожного етапу, що відображено формулами (3), (4).

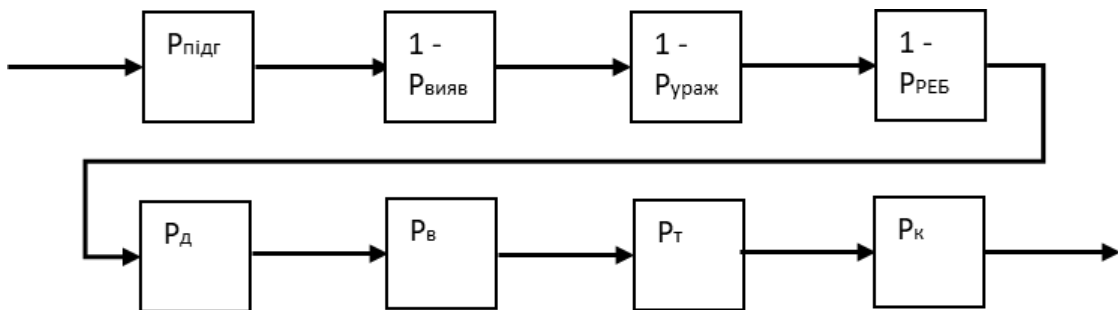


Рис. 1. Послідовність врахування ймовірностей подолання перешкод та успішності виконання етапів вирішення основних завдань зразком БПЛА

$$P = P_{\text{підг}} Q_{\text{вияв}} Q_{\text{ураж}} Q_{\text{РЕБ}} P_{\text{д}} P_{\text{в}} P_{\text{т}} P_{\text{к}} \dots, \quad (3)$$

$$P = P_{\text{підг}} (1 - P_{\text{вияв}}) (1 - P_{\text{ураж}}) (1 - P_{\text{РЕБ}}) P_{\text{д}} P_{\text{в}} P_{\text{т}} P_{\text{к}} \dots, \quad (4)$$

де $P_{\text{підг}}$ – ймовірність підготовки БПЛА до польоту в заданий час;

$P_{\text{вияв}}$ – ймовірність виявлення засобами ППО;

$P_{\text{ураження}}$ – ймовірність ураження;

$P_{\text{РЕБ}}$ – ймовірність впливу засобами РЕБ;

$Q_{\text{вияв}}$ – ймовірність не виявлення засобами ППО;

$Q_{\text{ураження}}$ – ймовірність не ураження;

$Q_{\text{РЕБ}}$ – ймовірність відсутності впливу засобів РЕБ;

$P_{\text{д}}$ – ймовірність дослідження заданого району розвідки;

$P_{\text{в}}$ – ймовірність виявлення цілі;

P_T – ймовірність розпізнавання цілі за типом;

P_K – ймовірність визначення координат з похибкою не більше заданої.

Висновки. Активне залучення до виконання бойових завдань роботизованих (комплексів) систем різного призначення вимагає оцінювання та прогнозування ефективності їх застосування на стадії прийняття рішення про допуск зразка ОВТ до експлуатації. В публікації на прикладі зразка розвідувального БпАК І класу розкрито підхід до оцінювання ефективності застосування роботизованих комплексів (систем) військового призначення в процесі їх випробувань.

Список літератури

1. Сорокін Д.М., Яровенко О.Г. Фактори і критерії розпізнавання типової цілі в оптико-електронних системах повітряної розвідки (спостереження). *Збірник наукових праць Державного науково-дослідного інституту авіації*. 2022. Вип. 18 (25).

Кузьміч О.Є.,

начальник науково-дослідної лабораторії,
Державний науково-дослідний інститут випробувань і сертифікації
озброєння та військової техніки
E-mail: alesvit71@ukr.net, тел. +38(0739112492)

Андрушко М.В.,

старший науковий співробітник науково-дослідного відділу,
Державний науково-дослідний інститут випробувань і сертифікації
озброєння та військової техніки
E-mail: nikolayandrushko64@gmail.com, тел. +38(0987885476)

Аркушенко П.Л., к.т.н., ст. досл.,

начальник науково-дослідного відділу,
Державний науково-дослідний інститут випробувань і сертифікації
озброєння та військової техніки
E-mail: apl1981@ukr.net, тел. +38(0960639803)

АНАЛІЗ МОЖЛИВОСТЕЙ ЗАСТОСУВАННЯ АКСЕЛЕРОМЕТРІВ ТА БОРТОВОЇ ВИМІРЮВАЛЬНОЇ СИСТЕМИ ДЛЯ ДІАГНОСТУВАННЯ ТЕХНІЧНОГО СТАНУ ГАЗОТУРБІННИХ ДВИГУНІВ БРОНЕТЕХНІКИ

***Abstract.** The article presents one of the possible approaches to solving the problem of assessing the technical condition of gas turbine engines of armored vehicles, namely, an operational assessment of its technical condition based on the use of vibration monitoring of rotating components. The effectiveness of this approach is based on the results of analyzing the statistical data of vibration recorded over a certain time interval.*

***Keywords:** vibration, monitoring, technical condition*

Сучасний парк Збройних Сил України характеризується наявністю озброєння та військової техніки різного функціонального призначення, як нового так і модернізованого (значна частина якого є іноземного виробництва), параметри роботи якого потребують вимірювань під час проведення функційних випробувань та експлуатації.

Газотурбінні двигуни доволі часто застосовуються на сучасних зразках бронетехніки. Прикладом такого застосування є танки Abrams та Т-80, а також бронетехніка (ЗСУ-23-4 “Шилка” та інше), яка обладнана газотурбінним двигуном невеликих розмірів в якості допоміжної силової установки.

Експлуатація газотурбінних двигунів (ГТД), які мають в своєму складі ротор що обертається з доволі високою частотою, на бронетехніці проходить в жорстких умовах (наявність пилу в повітрі, товчкові удари при русі та інше). Тому, ГТД під час експлуатації потребують періодичного виконання робіт по діагностуванню технічного стану, або постійного моніторингу.

Моніторинг вібрації є добре зарекомендованим методом для діагностування та запобігання катастрофічних відмов компонентів, що обертаються, а п'єзоелектричні акселерометри виявилися кращими первинними перетворювачами для вимірювання вібрації.

Рівень вібрації ГТД є одним із важливих показників “здоров'я” двигуна. Підвищення рівня вібрації вказує на виникнення та розвиток проблем пов'язаних з складовими ГТД. Вчасне виявлення даних проблем допоможе уникнути дорого вартісного ремонту або руйнування ГТД.

Застосування системи аналогічної системі моніторингу працездатності та обліку напрузованості (HUMS), яка застосовується для моніторингу технічного стану авіаційних

ГТД, або попросту кажучи бортової компактної вимірювальної системи, в сукупності з акселерометрами для контролю вібрації двигуна (двигунів), наприклад, акселерометрами типу 4511 виробництва компанії Hottinger Brüel & Kjær, дозволить отримувати достовірну інформацію про поточну вібрацію ГТД та відслідковувати тенденції до її зміни.

Акселерометри, які будуть застосовуватися в якості датчиків вібрації, повинні відповідати наступним вимогам:

- бути несприйнятливими до пилу, вологості, електромагнітним перешкодам;
- конструкція датчиків повинна забезпечувати високу міцність та надійність перетворювача;
- вони повинні працювати безперервно в складних умовах навколишнього середовища;
- бути досить чутливими, щоб виявляти відмови підшипників і шестерень на етапі їх зародження;
- мати високу резонансну частоту 43 кГц та вище.

Аналіз накопичених статистичних даних вібрації впродовж певного часового інтервалу дозволить порівняти ці значення, зробити висновок про наявність тенденцій до зміни вібрації в часі та здійснити оперативну оцінку технічного стану ГТД на підставі інформаційного кількісного критерію, що в свою чергу надасть змогу вчасно прийняти рішення на проведення робіт з технічного обслуговування і виконати оперативну заміну зношених складових ГТД.

В цілому даний підхід дозволить підтримувати парк бронетехніки обладнаної ГТД в справному і бойовому стані та завчасно планувати роботи з технічного обслуговування двигунів даного типу.

Список літератури

1. Андрушко М.В. Обґрунтування методів аналізу та обробки вимірювальної інформації під час випробувань / Андрушко М.В., Шейн І.В. // Збірник наукових праць Державного науково-дослідного інституту випробувань і сертифікації озброєння та військової техніки, 2019.– Вип. № 1(1). – С.5-9. DOI: 10.37701/dndivsovt.1.2019.01.

2. Кузьміч О.Є. Розгляд алгоритму експлуатації авіаційної техніки державної авіації України “за станом” з використанням наземних засобів технічного контролю та систем бортових вимірювань / Кузьміч О.Є., Аркушенко П.Л., Андрушко М.В., Гайдак І.Г., Пащенко С.В. // Збірник наукових праць Державного науково-дослідного інституту випробувань і сертифікації озброєння та військової техніки, 2021.– Вип. № 3(9). – С.73-78. DOI: 10.37701/dndivsovt.9.2021.10.

3. Андрушко М.В. Особливості використання програмних засобів SCADA та Catman в інформаційно-вимірювальній системі для проведення випробувань ОВТ /М.В.Андрушко, О.Є.Кузьміч, П.Л.Аркушенко, А.М.Андрушко // Збірник наукових праць ДНДІ СВС ОВТ. – Чернігів: ДНДІ СВС ОВТ, 2023. – №15(1).– С. 8-14. DOI: 10.37701/dndivsovt.15.2023.10.

4. Аркушенко П.Л. Обґрунтування необхідності застосування сучасних інформаційно-вимірювальних систем для підвищення якості проведення випробувань технічно складних систем /П.Л. Аркушенко, М.В. Андрушко, І.В. Шейн, О.Є. Кузьміч // Комплексне забезпечення якості технологічних процесів та систем (КЗЯТПС – 2022) : матеріали тез доповідей XII Міжнародної науково-практичної конференції (м. Чернігів, 26–27 травня 2022 р.): у 2 т. / Національний університет “Чернігівська політехніка” [та ін.]; відп. за вип.: Єрошенко Андрій Михайлович [та ін.]. – Чернігів : НУ “Чернігівська політехніка”, 2022. – Т. 2. – С. 209.

Потапов О.І., старший науковий співробітник,
Державний науково-дослідний інститут випробувань і сертифікації
озброєння та військової техніки
e-mail: pai81@ukr.net, тел.+38093-063-3144

Садаєв А.Ю., молодший науковий співробітник,
Державний науково-дослідний інститут випробувань і сертифікації
озброєння та військової техніки
e-mail: sadaevandrij@gmail.com, тел.+38093-084-41-10

Ратушний С.В., провідний інженер,
Державний науково-дослідний інститут випробувань і сертифікації
озброєння та військової техніки
e-mail: inshutar@ukr.net, тел.+38095-313-0408

Гузій Є.О., науковий співробітник,
Державний науково-дослідний інститут випробувань і сертифікації
озброєння та військової техніки
e-mail: zhenya@gmail.com, тел.+38097-985-74-04

АНАЛІЗ МОЖЛИВОСТІ ЗАСТОСУВАННЯ СПРОМОЖНОСТЕЙ ШТУЧНОГО ІНТЕЛЕКТУ ПРИ ПРОВЕДЕННІ ВИПРОБУВАНЬ

***Abstract.** In modern conditions, artificial intelligence (hereinafter AI) is widely used in tests in various fields. It can help automate software testing, predict the results of experiments, analyze large amounts of data, and even run virtual simulations to test new ideas or hypotheses.*

***Keywords:** testing, weapons and military equipment, AI capabilities.*

Можливість застосування спроможностей штучного інтелекту (далі – ШІ) при проведенні випробувань озброєння та військової техніки у системі наукової та науково-технічної діяльності (далі – ННТД) є актуальним питанням.

В період збройної агресії росії проти України розвиток наукових робіт, а саме втілення спроможностей ШІ, є дуже важливим питанням, щодо зменшення витрат часу на деяких етапах при проведенні випробувань.

Агресія російської федерації проти України значно загострила потреби Збройних Сил України та інших складових сил оборони в сучасних зразках озброєння та військової техніки (далі – ОВТ). Відповіддю на цей виклик стало істотне зростання пропозицій новітніх розробок оборонного призначення від вітчизняної науки й промисловості. При цьому як ніколи важливим стало питання раціонального розподілу коштів на розробку перспективних проєктів зі створення новітніх зразків ОВТ на основі якісного та об'єктивного оцінювання науково-технічного рівня таких проєктів.

У статті запропоновано методичний підхід до модульного кількісного оцінювання спроможностей наукових підрозділів Збройних Сил України, в основу якого покладено модульний підхід до побудови та оцінювання наукових підрозділів з можливістю використання ШІ на прикладі застосування у Північноатлантичному Альянсі.

Практика країн, що запровадили на державному рівні оборонне планування на основі спроможностей, показує, що оцінювання спроможностей за елементами системи DOTMLPF-I із застосуванням ШІ забезпечує високу ефективність проведення випробувань, більш ефективну та гнучку роботу під час випробувань та виконання завдань.

Оцінюванню спроможностей за елементами системи DOTMLPF-I присвячено багато наукових праць [1, 2, 3].

Зазначене вище актуалізує необхідність розробки методології оцінювання спроможностей наукових (випробувальних) підрозділів ЗС України наближеної до стандартів НАТО.

Результати кількісного розрахунку спроможностей, із застосуванням ШІ, можна перевести у загальноприйнятну шкалу оцінок спроможностей НАТО за допомогою вербально-числової шкали Харрінгтона [4, 5, 6, 7, 8, 9].

Числові значення отримані на основі статистичного аналізу мають достатню кількість даних, завдяки чому шкала Харрінгтона має універсальне застосування і може використовуватися при аналізі використання ШІ при проведенні випробувань.

Можливості застосування ШІ дуже важливі і різноманітні. Вони включають автоматизацію завдань, прогнозування трендів, медичну діагностику, управління виробництвом, розвиток автономних систем та багато іншого, але саме застосування ШІ виявляється складним и багатограним питанням, яке охоплює етичні, соціальні та технічні аспекти, які потребують ретельного вивчення та розгляду для досягнення збалансованого та корисного використання цієї технології, щоб максимізувати позитивний вплив та уникнути можливих негативних наслідків.

Деякі країни, які є членами НАТО, можуть мати дослідницькі групи та проекти, пов'язані з розвитком та застосуванням ШІ у військовій сфері. Наприклад, США мають програми, спрямовані на вивчення автономних систем, розробку алгоритмів ШІ для аналізу розвідувальних даних та управління дронами. Інші країни-члени НАТО, такі як Велика Британія, Франція та Ізраїль, також активно досліджують та впроваджують ШІ у військовій сфері для поліпшення технологій розвідки, безпеки та управління бойовими системами. Питання використання ШІ є дуже специфічним та багатограним і потребує ретельного розгляду з всіма його особливостями при випробувальних роботах (експериментах).

В рамках застосування для випробувань військової техніки ШІ має важливе значення. Він може бути використаний для:

1. Симуляцій та моделювання – штучний інтелект допомагає створювати реалістичні віртуальні середовища для випробувань, дозволяючи випробувати різні сценарії та обставини без реального ризику.

2. Аналізу даних – величезний обсяг даних з сенсорів, датчиків і віджетів може бути оброблений за допомогою алгоритмів штучного інтелекту для виявлення аномалій, прогнозування витрат ресурсів та здійснення швидкого рішення.

3. Автономності – штучний інтелект може забезпечити автономне функціонування військової техніки, такої як дрони або роботи, для виконання завдань без участі людини.

4. Підвищення продуктивності – інтелектуальні алгоритми можуть оптимізувати розклади та послідовності випробувань, що сприяє зменшенню часу та витрат.

5. Діагностики та підтримці рішень – ШІ може допомогти виявляти дефекти та забезпечувати відповідні рекомендації, щодо підтримки техніки в робочому стані.

Ці технології допомагають забезпечити більш точні, ефективні та надійні випробування військової техніки та скоротити час на виявлення недоліків та їх усунення на 20% – 30%, а іноді і більше.

Недосконалість взаємодії на законодавчому рівні та недостатнє фінансування один з основних недоліків який зустрічається на шляху впровадження ШІ в випробувальну діяльність. Необхідно працювати над створенням адекватних правових рамок та забезпечення достатнього фінансування для досліджень та розвитку, щоб забезпечити безпечно та вдале впровадження цієї технології у різних сферах.

Застосування ШІ доволі складне питання та потребує подальшого удосконалення та опрацювання на рівні спроможності ШІ.

У статті проаналізоване питання щодо можливості використання ШІ при проведенні випробувань та надані рекомендації та можливість використання спроможностей ШІ у системі ННТД.

Висновки.

1. Модульний підхід до побудови системи наукового забезпечення, із застосуванням ШІ, сприяє підвищенню спроможностей наукових (випробувальних) підрозділів та

військово-наукових закладів на всіх рівнях наукового забезпечення, а саме у випробувальній діяльності, та вплине на розвиток у напрямку до наукових підрозділів держав – членів НАТО.

2. Оцінювання спроможностей наукових (випробувальних) підрозділів ЗС України за модульним принципом, із використанням ШІ, є досягнення сумісності з багатонаціональними підрозділами НАТО та ООН.

3. Запропоноване удосконалення методики модульної оцінки спроможностей наукових (випробувальних) підрозділів, із застосуванням ШІ, ЗС України дозволяє кількісно оцінювати їх та дає змогу визначити ступінь наближення спроможності до необхідного рівня.

Список літератури

1. Посібник. Основи оборонного менеджменту у діяльності Збройних Сил України, 2021

2. ВСТ 01.040.009 -2021 Оборонне планування. Порядок організації проведення оцінювання спроможностей.

3. Поняття спроможностей для управлінців. Матеріали лекцій Національного університету оборони щодо оборонного планування на основі спроможностей. С. – 27. Професор кафедри оборонного менеджменту к.т.н., доцент Корендович В.С., Старший викладач кафедри оборонного менеджменту к.т.н п/п-к Ясенко Сергій Анатолійович

4. Nikulin A., Klimova I., Mrackova E. Practical Approach to Assessment of Effectiveness and Efficiency of Management Systems for Occupational Safety. Preprints 2020. URL: <https://www.preprints.org/manuscript/202008.0152/v1> (дата звернення: 16.08.2023)

5. Quirante T., Sebastian P., Ledoux Y. A trade-off function to tackle robust design problems in engineering. Journal of Engineering Design. 2012. Vol 24. P. 1-18

6. Voitenko L. V., Kopilevych V. A. Optimization of the analytical reagent (Ar) Co₃(PO₄)₂·8H₂O synthesis conditions using the Harrington's desirability function. Біоресурси і природокористування. 2014. Т. 6. № 3-4. С. 27-35

7. Дідіченко В. П. Методичний підхід до кількісного оцінювання достатності спроможностей організаційної одиниці (сукупності сил і засобів) складу військ (сил). Системи озброєння і військова техніка. 2019. № 1. С. 85-89.

8. Дідіченко В.П., Соломицький О.І. Методичний підхід до кількісного оцінювання показників спроможностей з'єднань (частин) протиповітряної оборони. Наука і техніка Повітряних Сил Збройних Сил України. 2019. № 2(35). С. 27-32.

9. Доктрина з організації оцінювання (сертифікації) в Збройних Силах України: затв. начальником Генерального штабу від 4.10.2020 р. ВКП 7-00(03).02. 33 с.

Тертишнік Є. М., науковий співробітник,
Державний науково-дослідний інститут випробувань і сертифікації озброєння та
військової техніки

e-mail: tertushnik1983@gmail.com, тел.+38093-327-52-68

Мішок А.А., науковий співробітник,
Державний науково-дослідний інститут випробувань і сертифікації озброєння та
військової техніки

e-mail: mishok673@gmail.com, тел.+38093-242-01-99

Садаєв А.Ю., молодший науковий співробітник,
Державний науково-дослідний інститут випробувань і сертифікації озброєння та
військової техніки

e-mail: sadaevandrij@gmail.com, тел.+38093-084-41-10

Гузій Є.О., науковий співробітник,
Державний науково-дослідний інститут випробувань і сертифікації озброєння та
військової техніки

e-mail: zhenya@gmail.com, тел.+38093-084-41-10

ВИВЧЕННЯ МОЖЛИВОСТЕЙ ВИКОРИСТАННЯ СУЧАСНОЇ БОРТОВОЇ РЕЄСТРУЮЧОЇ СИСТЕМИ ІНОЗЕМНОГО ВИРОБНИЦТВА ДЛЯ ВИПРОБУВАННЯ АВТОМОБІЛЬНОЇ ТА БРОНЕ ТЕХНІКИ ТИПУ VBOX 3i RTK СИСТЕМИ RACELOGIC ADAS

Abstract. *A study on the possibilities of using the modern on-board registering system (data logger) of VBOX TYPE for testing of automotive equipment and armored vehicles for various functional purposes is presented in the article.*

Key words: *on-board registering system of VBOX type, testing of automotive equipment and armored vehicles.*

Постановка проблеми Аналіз використання бортових реєструючих систем для випробування автомобільної та броньованої техніки (далі – ОБТ), показує, що останнім часом провідними країнами світу розроблено багато сучасних реєструючих систем (далі – РС), які активно впроваджуються для проведення вимірювань та обробки їх результатів під час проведення випробувань, як ОБТ в цілому, так і його складових частин. РС потребують досконалого вивчення з метою закупівлі та використання для проведення випробувань. Більшість систем та комплексів вимірювань параметричної інформації, які експлуатуються в науково-дослідних лабораторіях Збройних Сил та підприємствах промисловості України є морально застарілими та призначені для вимірювання аналогових параметрів і бінарних сигналів роботи систем та не можуть адаптуватися під інші види техніки. Одним з можливих шляхів вирішення цього питання є закупівля сучасних РС широкого спектру застосування іноземного виробництва. [1]

Актуальність цієї статті обумовлена тим, що в умовах широкомасштабної війни розв'язаної російською федерацією на територію України до Збройних Сил України надходить багато різних зразків автомобільної та броньованої техніки, як нові, так і модернізовані, параметри роботи яких потрібно виміряти та оцінити під час випробувань.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Питання вивчення можливостей використання аналогічних сучасних, універсальних, модульних вимірювальних систем для проведення випробувань ОБТ були розглянуті в статтях збірника наукових праць Державного науково-дослідного інституту випробувань і сертифікації озброєння та військової техніки [2]

Сучасні РС призначені для оцінки великої кількості (сотень і навіть тисяч) взаємопов'язаних параметрів і відносяться до класу складних технічних систем.

Метою досліджень було вивчення технічних характеристик сучасних РС, можливостей їх застосування для проведення випробувань автомобільної та бронетанкової техніки.

З цією метою були проаналізовані технічні характеристики, принципи роботи РС іноземного виробництва, щодо проведення вимірювань параметрів роботи системи під час проведення випробувань зразків ОБТ.

Викладення основного матеріалу. Сучасні РС призначені для оцінки великої кількості (сотень і навіть тисяч) взаємопов'язаних та взаємодіючих параметрів і відносяться до класу складних технічних систем.

Вивчення міжнародного та вітчизняного досвіду застосування таких систем показує, що особливої уваги потребують РС, які побудовані за принципами роботи систем VBOX 3i RTK системи RACELOGIC ADAS, виробництва Німеччини та можуть бути застосовані для вимірювань багатьох різноманітних параметрів, насамперед цифрових.

Розглянемо більш детально її характеристики, принципи побудови та можливості застосування для проведення випробувань ОБТ. [3]

Сучасні системи, що використовуються для випробування автомобілів, являють собою вимірювальні комплекси, що включають в себе модулі для підключення датчиків, перетворення аналогових сигналів датчиків в цифрову форму, зберігання отриманої інформації в цифровому вигляді і зв'язку з зовнішніми комп'ютеризованими пристроями. Зазначені модулі можуть бути окремими, а можуть інтегровані в єдиний блок. [4,5]

Системи VBOX застосовує кожен великий виробник автомобілів і шин у світі для випробування продукції.

VBOX 3i RTK – це версія реєстратора даних з подвійною антеною, яка може використовуватися разом з диференціальною базовою станцією RTK для отримання точності позиціонування менше 2 см.

Цей реєстратор даних поєднує в собі всі переваги зведеної антени GPS-налаштування із супутниковим відстеженням ГЛОНАСС і може бути використаний у будь-якій кількості випробувань автомобіля, де позиційна точність та повторюваність мають найбільше значення.

VBOX 3i RTK є ключовим блоком збору даних тестових систем RACELOGIC ADAS для вимірювання відстані пройденої транспортним засобом, часу до зіткнення, положення в смузі руху з точністю менше 2 см.

Реєстратор має наступні можливості щодо підключення:

2х антен GPS та GLONASS. Перша антена для виміру параметрів часу, швидкість, відстань та положення. Друга антена для виміру параметрів кута ковзання, кроку або кутанахилу (залежно від орієнтації антени);

два інтерфейси шини даних CAN. Перший для підключення до шини CAN модулів RACELOGIC таких як TC8 (модуль термопар) та FIM03 (модуль введення лічильника та імпульсів). Другий інтерфейс шини CAN для реєстрування до 16 сигналів CAN з іншого джерела CAN (наприклад, транспортної шини CAN, лазерних датчиків висоти або датчика керма та інших);

VBOX 3i RTK реєстратор сумісно з універсальними модулями введення RACELOGIC VBOX або безпосередньо з шини CAN транспортного засобу за допомогою бази даних RACELOGIC Vehicle CAN вимірює зі швидкістю 100 проб на секунду наступні параметри:

частота обертів двигуна та температура систем двигуна та трансмісії від штатних датчиків автомобіля;

температура систем (агрегатів) автомобіля та елементів конструкції від під'єднаних датчиків температури (термопар);

швидкість руху автомобіля;

відстань та час (розгону автомобіля, пройденого шляху, гальмування)

просторове положення/координати (довгота, широта) автомобіля;
кут (ковзання, тангажу нахилу)
кут повороту рульового колеса та поворотний момент рульового колеса
параметри штатних датчиків автомобіля з CAN шини;
параметрів від штатних датчиків швидкості обертів коліс ABS, датчиків частоти обертів, датчиків витрати пального;
тиск (зусилля) на органи керування (педалі);
параметри зусиль елементів конструкції від тензOMETричних датчиків зусилля на рульовому колесі, зусилля на педалі, витрати палива, тощо.

VBOX Test Suite – пакет програмного забезпечення для аналізу та детального вивчення даних VBOX з інтуїтивно зрозумілим інтерфейсом, який доступний для всіх користувачів. Програмне забезпечення може бути використано в автономному режимі, для аналізу після тесту, або в режимі он-лайн, що дозволить бачити дані в реальному часі. Високий рівень автоматизації призводить до значного скорочення часу обробки, збереження та представлення інформації у вигляді необхідному для аналізу.

Висновки:

1. Сучасні вимірювальні системи, які використовуються для вимірювання параметрів на автомобільній та бронетехніці в більшості своєму є універсальними та їх можна використовувати для вимірювання параметрів під час випробувань інших видів ОВТ.

2. Аналіз технічних характеристик та особливості використання сучасних універсальних реєстраторів даних показав, що вимірювальна система (реєстратор), яка побудована за модульним принципом:

дозволить спростити, автоматизувати процес виконання вимірювань, мінімізувати кількість помилок, що виникають в ході їх проведення;

модульний принцип побудови системи є універсальним та дозволить забезпечити процес вимірювань при проведенні випробувань не тільки автомобільної та бронетехніки їх складових, а також здійснювати вимірювання параметрів в системах різного функціонального призначення, насамперед цифрових (статичних, динамічних характеристик об'єктів, температури, тиску, вібрацій, перевантажень та інших показників);

дозволить скоротити час на прийняття рішення щодо доцільності постачання нових та продовження ресурсу існуючих (модернізованих) зразків різних типів ОВТ до ЗСУ

Список літератури

1. Національний стандарт України. Колісні транспортні засоби. Вимоги щодо безпечності технічного стану та методи контролювання./ ДСТУ 3649:2010. [Чинний від 2010-12-11]. – К.: Держстандарт України, 2010. – 39с. (Державний стандарт України).

2. Тертишнік Є.М. Аналіз можливостей використання сучасної універсальної модульної вимірювальної системи серії Quantumx для проведення випробувань озброєння та військової техніки різного функціонального призначення. / Є.М. Тертишнік, І.В. Шейн, О.І. Потапов, Н.В. Сокоринська // Збірник наукових праць Державного науково-дослідного інституту випробувань і сертифікації озброєння та військової техніки. – Чернігів: 2022. – Вип. № 1(11) 2022. – С. 127-136.

3. Иванов А.М. Испытания колесных транспортных средств. Учебное пособие./ А.М. Иванов, С.Р. Кристальный, Н.В. Попов, А.Р. Спиков М. – МАДИ, – 2018.– С.96-118.

4. Современные измерительные системы и их возможности (на примере продукции фирмы imc). [Електрон.ресурс]/Sensorika – Режим доступу: <http://www.sensorika.com/>.

5. VBOX 3i Dual Antenna RTK High positional accuracy for ADAS Testing (VB3iSLR-V5) [Електрон.ресурс]/ RACELOGIC – Режим доступу: <http://www.vboxautomotive.co.uk/>.

Хуторна М.Е., д.е.н., професор,
провідний науковий співробітник науково-дослідного відділу
Державний науково-дослідний інститут випробувань і сертифікації
озброєння та військової техніки
e-mail: lmiroslava7@gmail.com, тел. +38 (097) 499-24-29

Чередніков О.М., к.т.н., доцент,
провідний науковий співробітник науково-дослідного відділу
Державний науково-дослідний інститут випробувань і сертифікації
озброєння та військової техніки
e-mail: cheronov@ukr.net, тел. +38 (073) 016-01-52

СТРУКТУРА МОДЕЛІ ОЦІНЮВАННЯ ТА ПРОГНОЗУВАННЯ ЯКОСТІ ЛЬОТНО-ТЕХНІЧНОГО ОБМУНДИРУВАННЯ

Abstract. *The work considers an approach to formalizing the testing process for building the structure of an information model for testing prototypes of flight technical uniforms (LTO), designed to protect the flight and technical composition of aviation of the Armed Forces of Ukraine from the influence of adverse environmental factors and the creation of protective equipment and other support systems vital activities, the necessary conditions for the personnel to perform their functional duties.*

Key words: *flight-technical uniform, information model of tests.*

Методологія оцінювання якості зразків льотно-технічного обмундирування розглядається на основі загальних тенденцій та підходів використання інформаційних технологій, особливо в контексті розвитку авіаційної техніки та безпеки польотів. Інформаційні моделі можуть допомогти в оцінці якості та визначенні оптимальних параметрів обмундирування. Розробка інформаційних моделей для оцінювання якості обмундирування може стимулювати наукові дослідження у сфері ергономіки, біомедичної інженерії та суміжних галузей взаємодії людини з технікою.

Встановлення достовірних формальних оцінок дослідних зразків льотно-технічного обмундирування (ЛТО) базується на удосконаленій методиці збору апріорної інформації функціональних кількісних і якісних показників, перетворення її та надання в зручному вигляді для оформлення протоколів та акту випробувань.

Метою розробки інформаційних моделей для оцінювання якості обмундирування є вирішення наукових задач подальших досліджень у сфері ергономіки, біометрики та взаємодії людини з технікою. Інформаційні моделі відіграють важливу роль у прогнозуванні якості ЛТО, забезпечуючи збір, аналіз та інтерпретацію даних для виявлення залежностей та тенденцій. Ці моделі допомагають визначати важливі фактори, які впливають на якість ЛТО, і робити прогнози на основі зібраних даних. Існує кілька підходів до формалізації процесу випробувань та оцінки якості ЛТО.

Основними напрямками поглиблення теоретико-методологічних засад випробувань та оцінювання якості зразків ЛТО є подальший розвиток наукового понятійного апарату шляхом авторського визначення поняття «якість ЛТО» на основі введення нових атрибутивних параметрів та визначення причинно-наслідкових закономірностей між технологічними, фізико-механічними, фізіолого-гігієнічними, ергономічними, естетичними та експлуатаційними характеристиками зразка ЛТО та такими детермінантами його якості як надійність, ефективність, безпековість і комфортність [1-3].

У широкому розумінні якість продукції визначається базовими компонентами надійності, безпеки та ефективності. При цьому під надійністю ЛТО розуміємо його здатність відповідати всім тактико-технічним вимогам замовника незалежно від умов та

факторів зовнішнього впливу. Безпеку тлумачимо як набір характеристик ЛТО, які забезпечують збереження життя та здоров'я льотчиків при виконанні своїх функціональних обов'язків. Своєю чергою, під ефективністю розуміємо такий набір характеристик, які формують передумови до виконання поставлених завдань (бойових, рятувальних, пошуково-розвідувальних та ін.) як у нормальних (планових), так і позаштатних (аварійних) ситуаціях.

Стосовно технічних, фізико-механічних, фізіолого-гігієнічних, ергономічних, естетичних та експлуатаційних характеристик, то це складові якості ЛТО нижчого порядку, які, взаємодіючи між собою, формують певний рівень надійності, безпеки та ефективності ЛТО, а отже рівень його якості, враховуючи не тільки функціональність, а й зручність використання.

Формалізацію процесу випробувань дослідних зразків льотного обмундирування представимо інформаційною моделлю, яка у загальному вигляді подана на рис. 1 [4,5].

Зазначимо, що під формуванням інформаційної моделі оцінювання якості ЛТО за процесним підходом мислимо деталізацію змісту процесу А4, зображеного на рис. 1. Метою дослідження є обґрунтування поглиблення теоретико-методологічних засад випробувань та оцінювання якості ЛТО в умовах інноваційних технологічних чинників

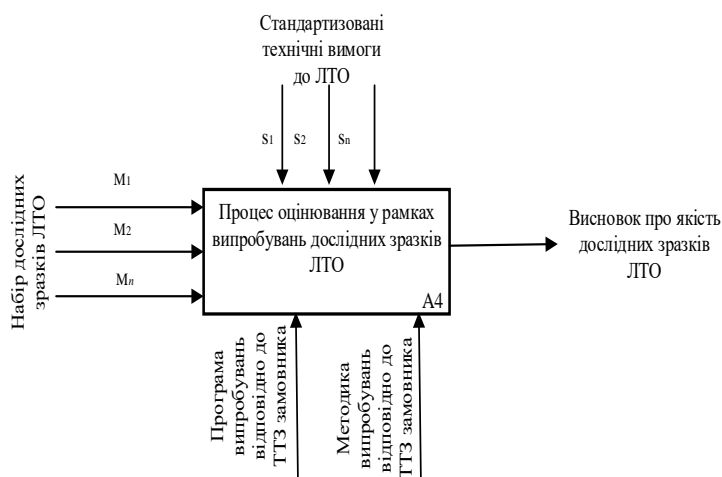


Рис. 1. Концептуальне представлення інформаційної моделі випробувань дослідних зразків ЛТО

впливу, сучасних викликів і загроз національній безпеці та обґрунтування методології обробки експертних оцінок дослідних зразків ЛТО задля підвищення їх достовірності.

Точність оцінювання якості зразків надасть дієві інструменти для прогнозування їх технічного стану при виконанні бойового завдання, підвищить знання про вплив основних небезпечних факторів на стан здоров'я та безпеку польотів.

Для формалізації процесу оцінювання якості дослідних зразків та розробки структури

моделі оцінювання та прогнозування якості ЛТО визначено наступні кроки.

1. Визначення критеріїв оцінювання якості, що включають такі параметри, як зносостійкість, міцність, вага, стійкість до тертя, вогнестійкість та інші властивості, які є важливими для тріади «надійність - безпечність - ефективність».

2. Розробка методів вимірювання або експертного оцінювання кожного критерію, які дозволять отримати точні і надійні результати.

3. Визначення метрик оцінювання кожного критерію, що включають такі показники, як середнє значення, дисперсію, коефіцієнт варіації та інші показники, які дозволяють оцінити варіабельність досліджуваного параметра.

4. Виконання вимірювань, експертна обробка даних для кожного зразка ЛТО згідно з розробленими методами та обробка експериментальних даних, використовуючи визначені метрики, для отримання числових значень для кожного критерія.

5. Порівняння результатів з контрольними (заявленими, стандартизованими) значеннями., які вже використовуються у льотній практиці. Отримані результати порівнюються з контрольними значеннями, щоб оцінити, наскільки добре дослідні зразки відповідають вимогам.

6. Після порівняння результатів з контрольними значеннями, необхідно проаналізувати отримані дані і прийняти рішення про якість дослідних зразків льотного

обмундирування. Якщо результати виявилися задовільними і відповідають вимогам, то можна рекомендувати дослідні зразки для використання.

7. Заключним етапом є визначення показника «Глобальний пріоритет», що дозволяє ранжувати дослідні зразки ЛТО за критерієм вагомості забезпечення якості ЛТО, визначені у тривимірному просторі «надійність - безпечність - ефективність», за допомогою якого забезпечується кваліфіковане застосування принципів проведення випробувань та вдосконалюються нові моделі ЛТО та матеріали.

Розраховують нормований вектор матриці вагомості (A_i)

$$A_i = \frac{\sqrt[n]{\prod_{j=1}^n a_{ij}}}{\sum_{i=1}^n \sqrt[n]{\prod_{j=1}^n a_{ij}}} \quad (1)$$

та індекс узгодженості (I_y)

$$I_y = \frac{|\lambda_{max} - n|}{(n-1)}, \quad (2)$$

Для кожної матриці вагомості впливу характеристик дослідних зразків ЛТО на компоненти його якості визначається нормований вектор матриці вагомості за формулою (1) та відношення узгодженості (B_y) матриці вагомості за формулою (2).

Таблиця – Структура матриці вагомості впливу дослідних зразків ЛТО на компоненти його якості

Дослідний зразок ЛТО	Вагомість впливу характеристик ЛТО на:			Глобальний пріоритет
	надійність (R)	безпечність (S)	ефективність (E)	
	Числові значення вектора вагомості оціночних критеріїв (A_i)			
	$a_{general}^{R_norm}$	$a_{general}^{S_norm}$	$a_{general}^{E_norm}$	
M_1	r_1^{norm}	s_1^{norm}	e_1^{norm}	$glob_1^{pr}$
M_2	r_2^{norm}	s_2^{norm}	e_2^{norm}	$glob_2^{pr}$
M_3	r_3^{norm}	s_3^{norm}	e_3^{norm}	$glob_3^{pr}$
M_4	r_4^{norm}	s_4^{norm}	e_4^{norm}	$glob_4^{pr}$
...
M_n	r_n^{norm}	s_n^{norm}	e_n^{norm}	$glob_n^{pr}$

Таким чином, інформаційні моделі можуть допомогти в оцінці якості та визначенні оптимальних параметрів ЛТО. Розвиток методології оцінювання пов'язаний з покращенням прогнозування ергономіки та зручності обмундирування. Вказані у дослідженні особливості алгоритмізації робіт потрібно враховувати при виборі інформаційно-методичних підходів, на базі яких буде побудовано методики випробувань.

Розроблений підхід оцінки ЛТО можливо застосувати для визначення достовірної оцінки характеристик об'єкту випробувань за статистичними критеріями з прийнятою ймовірністю. Головним науковим результатом дослідження є обґрунтування теоретико-методологічних положень концепції експертної оцінки озброєння та військової техніки на прикладі ЛТО.

Список літератури

1. Алгоритм ергономічної оцінки дослідних зразків льотно-технічного обмундирування / Андрієнко О.В., Бояров В.Т., Кайдаш К.І., Чередніков О.М., Хмель Є.В. // Збірник наукових праць Державного науково-дослідного інституту випробувань і сертифікації озброєння та

- військової техніки / ДНДІ ВС ОВТ. – Чернігів: Брагинець О.В., 2021. – Вип. № 4(10). – С.5-13.
2. Тенденції удосконалення екіпіровки військового льотчика / *І.М. Ключніков, А.Г. Єрилкін, О.М. Марченко* // Наука і техніка Повітряних Сил ЗСУ. – Харків: ХНУПС, 2017. – 311 с.
3. *Хмель Є.В., Корольов О.О., Андрієнко О.В., Бойченко О.І.* (2022). Концептуальний підхід до визначення вимог до фізико-механічних властивостей тканин для виготовлення льотно-технічного обмундирування для авіації Збройних Сил України. Наукові праці Державного науково-дослідного інституту випробувань і сертифікації озброєння та військової техніки, (12), 145-151.
4. *Червотока О.В., Геращенко М.О., Лапто І.М.* Аналіз методичного апарату проведення лабораторних випробувань речового майна. Проблеми якості оборонної продукції: організаційні, технічні та фінансово-економічні аспекти : матеріали IV Всеукраїнської науково-практичної конференції (Київ, 30 червня 2022 року) / ред. І.М. Ткач; Національний університет оборони України імені Івана Черняхівського. Київ, 2022. С. 167-169.
5. Формалізація процесу випробувань дослідних зразків льотно-технічного обмундирування / *Хуторна М.Е., Пантелєєва Н.М., Чередніков О.М., Шевченко Д.Т., Хмель Є.В.*// Проблеми інформації та управління. 2022.– №4(72)–С.67-72.
6. *Хмель Є.В., Корольов О.О., Чередніков О.М.* Комплексна оцінка недоліків льотно-технічного обмундирування для льотного складу авіації повітряних сил. Наукові праці Державного науково-дослідного інституту випробувань і сертифікації озброєння та військової техніки, (Вип. № 4(14), С.156-167.
7. Інформаційна модель випробувань дослідних зразків льотно-технічного обмундирування / *Хуторна М., Чередніков О., Пантелєєва Н., Андрієнко О.* // // Технічні науки та технології : науковий журнал / Національний університет «Чернігівська політехніка». Чернігів: НУ «Чернігівська політехніка», 2023. – № 1(31). – С.61-67.
8. *Камак Ю.О., Пантелєєва Н.М., Хуторна М.Е., Чередніков О.М., Андрієнко О.В.* // Механізм реалізації методології випробувань якості льотно-технічного обмундирування. Збірник наукових праць Національної академії Державної прикордонної служби України. Серія: військові та технічні науки. 2023. – №2(91). – С. 55-63.

ШЛЯХИ РЕАЛІЗАЦІЇ ОСВІТНІХ ТЕХНОЛОГІЙ ЗА СПЕЦІАЛЬНОСТЯМИ ТЕХНІЧНОГО ПРОФІЛЮ

UDC 37:004.588; 004.85

Hmyria V., PhD, Associate Professor
Leading Research Scientist

State Scientific Research Institute of Armament and Military Equipment
Testing and Certification,
viktoryagmirya@ukr.net

Romanovskya L., Senior Researcher

State Scientific Research Institute of Armament and Military Equipment
Testing and Certification,
ludmila08romanovska@gmail.com

NATIONAL SECURITY AS AN INTEGRAL PART OF THE COUNTRY'S INDEPENDENCE

Abstract. *National security policy formally describes a country's understanding of the guiding principles, values, interests, goals, strategic situation, threats, risks and challenges to protecting and ensuring national security.*

Key words: *national security, strategy, development, regions, documents*

The current aggravation of almost all international political processes gives us a clear picture of the fact that the phrase "bipolar world", forgotten in the years after the Cold War, is once again returning to geopolitics, and the imaginary division of countries and regions into two camps, depending on the political course and support of one of the parties to the global confrontation, is beginning to appear on the political map of the world. [1]

National security policy, or national security doctrine, is the framework that defines how a country ensures the security of the state and its citizens. National security policy formally describes a country's understanding of the guiding principles, values, interests, goals, strategic situation, threats, risks and challenges to protecting and ensuring national security. A national security policy is usually based on a country's constitution, basic documents and legislation. The policy clarifies the actions and responsibilities of state institutions in ensuring security and the rule of law. [2]

The National Institute for Strategic Studies has identified the following priority national and national-state interests of Ukraine:

1. Ensuring sovereignty and territorial integrity.
2. Overcoming the economic crisis.
3. Achieving national harmony, political and social stability and social stability.
4. Preservation of the gene pool of the people, strengthening the health of citizens.
5. Creation of a democratic society.
6. Integration of Ukraine into the European and world community.
7. Ensuring environmentally safe living conditions.
8. Creation of an integrated system of national security.

At the same time, the internal and external sovereign needs of the state to ensuring national security as a certain state of protection of the individual, society and the state from internal and external threats are realized through strategic national priorities.

Strategic national priorities as the most important areas of the strategic national priorities as the most important directions for ensuring national security should be the basis for determining

the tasks of the most important social, political and economic transformations in the state, in accordance with them, safe conditions should be created for the realization of constitutional rights and freedoms of citizens of the Russian Federation, and realization of constitutional rights and freedoms of Ukrainian citizens realization of sustainable development of the country, preservation of territorial integrity and sovereignty of the State.

At the same time, the strategic national priorities as the most important directions of ensuring national security are subdivided in the

Strategy into two groups:

- 1) main priorities of national security;
- 2) priorities of sustainable development.

National defense, state and public security are defined as the main priorities of Ukraine's national security public security.

The security and defence sector of Ukraine, in accordance with the provisions of the aforementioned Law of Ukraine "On National Security of Ukraine", is a system of state authorities, the Armed Forces of Ukraine, other military formations established in accordance with the laws of Ukraine, law enforcement and intelligence agencies, state special purpose bodies with law enforcement functions, civil protection forces, whose activities are aimed at protecting the national interests of Ukraine from threats. [1]

The National Security Strategy of Ukraine, approved by the Decree of the President of Ukraine № 392/2020 of September 14, 2020, states:

"A person, his or her life and health, honor and dignity, inviolability and security are the highest social value in Ukraine. The implementation of this provision of the of the Constitution of Ukraine is the main goal of the state policy of national security policy".

Threats to the national security of Ukraine are phenomena, trends and factors that make it impossible or difficult to realize the national interests and preservation of national values of Ukraine. [3]

Unfortunately, Ukraine has never had a national security strategy, nor a clear geopolitical strategy. Today we can talk about such strategies mainly in the long term.

The development of such strategies at various levels is a vital necessity for Ukraine if it wants to turn from an object of geopolitical games of great powers into a subject of geopolitics, that is, into an independent player that determines its own goals and acts on the world stage (of course, taking into taking into account both its own capabilities and the parameters of the environment). This is fully consistent with the geopolitical potential and capabilities of Ukraine as one of the largest European countries. [4]

National interests and values correlated with them, as well as target guidelines, should form the basis of an integrated national security strategy, the effective integration of which should be ensured by joint efforts of the executive and legislative branches of government.

References

1. [Національна безпека України: Складові елементи та виклики сьогодення. ГО «Український мілітарний центр» : сайт. URL: <https://mil.in.ua/uk/blogs/natsionalna-bezpeka-ukrayiny-skladovi-elementy-ta-vyklyky-sogodennya/> \(date of the application: 29.08.2023\).](https://mil.in.ua/uk/blogs/natsionalna-bezpeka-ukrayiny-skladovi-elementy-ta-vyklyky-sogodennya/)

2. Criteria for Good Governance in the Defence Sector : International Standards and Principles. Centre for Integrity in the Defence Sector : site. URL: <http://ukrainesecuritysector.com/publication/criteria-good-governance-defence-sector-international-standards-principles/> (date of the application: 29.08.2023).

3. Шахов В. А., Лагодіна В. О. Українська еліта про стратегію національної безпеки на перспективу. Українська еліта та її роль в державотворенні : зб. наук. пр. Української академії державного управління при Президентові України. Київ, 2000. 206 с.

4. Про національну безпеку України : Закон України від 21 черв. 2018 р. № 2469-VIII. URL: <http://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2469-19> (дата звернення: 29.08.2023).

Демчук Я.В., здобувач освітнього ступеня магістр,
кафедра приладобудування, мехатроніки та комп'ютеризованих технологій
Черкаський державний технологічний університет
e-mail: valsorya.ambrela@gmail.com, тел. +38 (097) 339-75-79

Туз В.В., к.т.н., доцент,
доцент кафедри приладобудування, мехатроніки та комп'ютеризованих технологій
Черкаський державний технологічний університет
e-mail: v.tuz@chdtu.edu.ua, тел. +38 (093) 525-47-62

РОЗУМНА ЛАБОРАТОРІЯ

Abstract. *In order to provide educational institutions with a more convenient and efficient tool for conducting practical classes, laboratory work, as well as for performing scientific experiments and qualification works for educational seekers at higher quality and progressive levels, an innovative approach to automating the educational process has been proposed - the implementation of the "Smart Laboratory" concept.*

Keywords: *Smart Laboratory, Educational Process Automation, Innovative Approach, Practical Classes, Laboratory Work, Scientific Experiments, Qualification Works, Modern Technologies, Software, Department of Instrumentation, Mechatronics, Computerized Technologies, Air Quality Control System, GSM Module for Remote Control, Alternative Power Sources, Quality of Education, Student Motivation, Engineering Specializations, Science and Technology, Learning Efficiency, Research, Competitiveness, Attractiveness to Prospective Students.*

Сучасний розвиток технологій невіддільно впливає на сфери освіти та науки, спонукаючи пошук інноваційних підходів до навчального процесу. Однією з важливих задач є забезпечення якісної та ефективної підготовки здобувачів освіти в інженерних спеціальностях. Одним з відповідних рішень є впровадження концепції "Розумної лабораторії", яка надає зручний та передовий інструмент для проведення практичних занять, лабораторних робіт та досліджень. Ідея створення розумної лабораторії вже має певний науковий фундамент, але деякі аспекти цієї концепції залишаються недостатньо вивченими. Саме на ці аспекти зосереджується дана доповідь.

Головною метою даного дослідження є аналіз можливостей та переваг впровадження розумної лабораторії в навчальний процес вищих навчальних закладів.

Для більш детального аналізу впровадження розумної лабораторії у навчальний процес ми розглядаємо конкретний приклад – кафедру приладобудування, мехатроніки та комп'ютеризованих технологій (ПМКТ). Ця лабораторія має включати в себе різноманітні модулі та системи. Завдяки використанню сучасних технологій та програмного забезпечення, реалізована на кафедрі ПМКТ розумна лабораторія дозволить автоматизувати процеси збирання та аналізу даних, створюючи при цьому комфортні умови, як для здобувачів освіти, так і для викладачів.

Так, розумна лабораторія включатиме в себе різноманітні модулі та системи, як-то: систему контролю якості повітря (визначення вологості, температури та інших параметрів в приміщенні), GSM-модуль для віддаленого керування та прийому інформації, модулі для підключення альтернативних джерел живлення (сонячних панелей, інверторних електростанцій, дизель-генераторів тощо). Також дана система передбачатиме інтеграцію штучного інтелекту, що значно розширить функціональні можливості розумного будинку

та поліпшить взаємодію користувача із об'єктами автоматизації в лабораторії. Схема впровадження "Розумної лабораторії" для кафедри приладобудування, мехатроніки та комп'ютеризованих технологій, що зображена на рисунку 1.

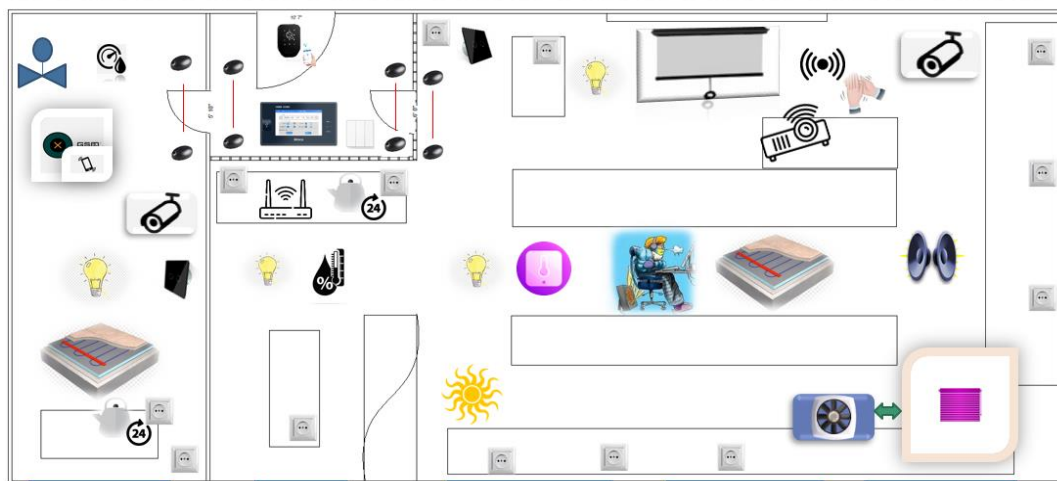


Рисунок 1 – Схема впровадження "Розумної лабораторії" для кафедри приладобудування, мехатроніки та комп'ютеризованих технологій

Крім того, вищезазначений інноваційний підхід надає можливість значно покращити якість навчання та підвищити мотивацію здобувачів вищої освіти інженерних спеціальностей (в першу чергу, тих, що навчаються на кафедрі ПМКТ) до вивчення наукових дисциплін, допомагаючи здобувачам освіти більш ефективно та детально зрозуміти, як теоретичні аспекти, так і практичні способи реалізації інтелектуальних технологій в побуті та у виробництві.

Висновки. Таким чином, розумна лабораторія є інноваційним технологічним рішенням, яке дозволить значно покращити якість вищої освіти, модернізувати її, що дозволить здобувачам вищої освіти більш детально зрозуміти теоретичні аспекти і сприяти поглибленому вивченню практичних способів реалізації інтелектуальних технологій в реальному житті, а викладачам ефективно використовувати сучасні навчальні технології та ресурси, чим сприяти підвищенню конкурентоздатності та привабливості кафедри ПМКТ для майбутніх абітурієнтів.

Список літератури

1. Розумний дім [Електронний ресурс]. — Режим доступу: https://uk.wikipedia.org/wiki/Розумний_дім#.D0.86.D1.81.D1.82.D0.BE.D1.80.D1.96.D1.8F_.D1.81.D1.82.D0.B2.D0.BE.D1.80.D0.B5.D0.BD.D0.BD.D1.8F (дата звернення: 10.08.2023). — Назва з екрана.
2. Волосова Т. А. Технологія «Розумний дім»: майбутнє вже поруч. У: Маркетинг і контролінг: сучасні виклики підприємств / Волосова Т. А. – Київ : Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», 2017 – 5 с.
3. Vandome N. / Smart Homes in Easy // Steps – 2018. – P. 1–192.
4. Spivey, D. / Smart Home Automation with Linux and Raspberry Pi // Wiley – 2015. – P. 1–360.

Ячна І.Г.,

науковий співробітник науково-організаційного відділу
Державного науково-дослідного інституту випробувань і сертифікації
озброєння та військової техніки
e-mail: ptaszek@ukr.net, тел. +38(063) 238-59-33;

Гайдак І.Г.,

науковий співробітник науково-організаційного відділу
Державного науково-дослідного інституту випробувань і сертифікації
озброєння та військової техніки
e-mail: it4ok84@gmail.com, тел. +38(096) 698-32-89;

Нікітченко А.О.,

молодший науковий співробітник науково-організаційного відділу
Державного науково-дослідного інституту випробувань і сертифікації
озброєння та військової техніки
e-mail: maks137713@ukr.net, тел. +38(097) 363-30-95

РОЛЬ ОСВІТИ В ПІДГОТОВЦІ ЗДОБУВАЧІВ ЗА СПЕЦІАЛЬНІСТЮ ВІЙСЬКОВІ НАУКИ

Abstract. *The development of state policy in the field of science and technology is shaped by the integration of science and knowledge-intensive production to prioritize the development of scientific research and the creation of innovative developments in the relevant sectors of the country's activities.*

Key words: *education, science, scientific and technical activities, Ministry of Defence of Ukraine, skills, knowledge, competencies*

Розвиток державної політики у сфері науки та техніки формується під впливом інтеграції науки і наукомісткого виробництва з метою пріоритетного розвитку наукових досліджень та створення інноваційних розробок у відповідних галузях діяльності країни.

Україна має можливість наблизитися за технологічним рівнем до розвинених країн світу, проте постає питання у підготовці інтелектуального потенціалу, який би забезпечував даний розвиток. Саме заклади вищої освіти та наукові установи можуть забезпечити підготовку висококваліфікованих, інтелектуально розвинених, професійних наукових кадрів.

Військова освіта у провідних країнах світу формується під впливом таких основних складових, як: національні інтереси країни; забезпечення національної безпеки країни; загальнодержавні вимоги до підготовки офіцерських кадрів; закономірності, тенденції та принципи військової освіти за різними галузями та спеціалізаціями; мета вищої військової освіти; система вищої військової освіти; фінансове забезпечення вищої військової освіти; освітньо-кваліфікаційні вимоги до військових кадрів; інноваційно-технологічна складова підготовки військових кадрів; матеріально-технічна база підготовки наукових кадрів військової галузі; контроль якості військової освіти; моніторинг військово-освітньої діяльності; коригування процесу підготовки військових фахівців.

Основними цілями освітньо - наукової програми для підготовки здобувачів доктора філософії в наукових установах, які знаходяться у підпорядкуванні Міністерства оборони України, є:

- підвищення обороноздатності держави, авторитету армії в суспільстві, створення матеріальних, інтелектуальних і духовних цінностей;

- задоволення освітніх потреб особистості, суспільства та країни у підготовці військових фахівців, спроможних ефективно виконувати покладені на них завдання в мирний та воєнний час;

- підготовка фахівців, здатних вирішувати значущі проблеми військово-технічної політики, з урахуванням стратегічного курсу країни;

- збалансування знань і вмінь щодо науково-дослідної, випробувальної, науково-практичної та науково-організаційної діяльності, а також забезпечення його професійного розвитку як військового фахівця-науковця;

- удосконалення системи, пріоритетна підтримка її як структури, що забезпечує відтворення кадрового потенціалу військовими формуваннями.

Закономірності освітньо - наукової програми зумовлюються:

- загальнонаціональними інтересами, інтересами національної безпеки та оборони;

- освітніми потребами особистості;

- науково-технічними можливостями країни;

- національними традиціями, національним і світовим досвідом;

- потребами військ;

- ефективністю управлінської діяльності, злагодженістю функціонування всіх структурних складових;

- станом військово-теоретичних та випробувальних досліджень;

- рівнем науково-педагогічного потенціалу та станом інфраструктури науково-дослідних установ;

- станом морально-психологічного, фінансово-економічного, матеріально-технічного й інформаційного забезпечення системи підготовки наукових кадрів.

Організація підготовки наукових кадрів науковими установами системи Міністерства оборони України характеризується такими основними компонентами:

- жорсткий відбір кадрів для навчання за освітньо-науковою програмою підготовки здобувачів доктора філософії й наявна система відрядження тих здобувачів, які не своєчасно виконують індивідуальний план у процесі навчання;

- відповідність змісту підготовки здобувача посадовому призначенню, сучасному рівню розвитку науки і практики, підготовка за фахом відповідно до рівнів освіти та ланок управління (теоретична, практична), підвищення кваліфікації та перепідготовка (включаючи вищу військову освіту);

- застосування інтегрованих навчальних систем у наукових установах, інформаційно-комунікаційних технологій для ефективного підготовки здобувачів доктора філософії;

- створення оптимальних умов для оволодіння знаннями, уміннями та навичками, ретельний контроль якості освіти;

- відповідність матеріально-технічного, фінансового, інформаційного, дидактичного забезпечення завданням щодо підготовки здобувачів доктора філософії.

Організаційно-педагогічні та наукові умови підготовки майбутніх докторів філософії в наукових установах у системі Міністерства оборони України.

Проаналізувавши сучасний стан підготовки наукових кадрів вищої кваліфікації в системі Міністерства оборони України, зазначимо, що таку підготовку здійснюють наступні ЗВО і наукові установи: Національний університет оборони України, Національна академія Національної гвардії України, Національна академія сухопутних військ імені гетьмана Петра Сагайдачного, Військова академія, Харківський національний університет Повітряних Сил імені Івана Кожедуба тощо. Відповідно до оновлення підходів до здійснення освітньої діяльності на третьому (освітньо-науковому) рівні вищої освіти наукові установи повинні продовжити підготовку наукових кадрів військової освіти з урахуванням внесених змін.

Якісна підготовка майбутніх докторів філософії військової освіти залежить від організації науково-педагогічних умов. Перш за все, у науковій установі повинні, на регулярній основі, здійснюватися науково-дослідні роботи (НДР), науково-освітні проекти

тощо, до виконання яких необхідно залучати ад'юнктів. Такі дослідження повинні визначити терміни виконання, склад керівника та виконавців науково-дослідної теми, сформовані та конкретизовані проміжні та кінцеві результати. Крім того, наукові дослідження повинні відповідати пріоритетним тематичним напрямам, які затверджені науковою установою, на базі якої проводиться підготовка докторів філософії.

Обґрунтований методичний підхід оцінювання підготовки наукових кадрів в наукових установах в системі Міністерства оборони України дає можливість визначити реальний рівень відповідності підготовленості здобувачів доктора філософії встановленим нормативним вимогам на всіх етапах опанування здобувачами освітньо-наукової програми. Запропонований підхід оцінювання показників дозволяє розробити діагностичний інструментарій, та отримати об'єктивні результати перевірки досягнень здобувачів. Проте, враховуючи зміни в освітній сфері, можна стверджувати, що даний підхід є базовим для певного етапу підготовки здобувачів доктора філософії та може бути удосконалений відповідно до вимог освітнього процесу.

Список літератури

1. Приходько Ю. Підготовка військових фахівців у провідних країнах світу. Педагогічні науки: теорія, історія, інноваційні технології. 2017. № 3 (67). С. 285–299.
2. Лузан П., Тітова О., Мося І., Пашенко Т. Методика оцінювання якості підготовки фахівців у закладах фахової передвищої освіти. Професійна педагогіка. 2021. № 1 (22). С. 169–184. – DOI: <https://doi.org/10.32835/2707-3092.2021.22.169-184>.
3. Лузан П. Г., Каленський А. А., Пашенко Т. М., Мося І. А., Ямковий О. Ю. Методичні основи оцінювання якості підготовки фахівців у закладах фахової передвищої освіти : метод. посібник. Житомир : Полісся, 2021. 301 с.
4. Розвиток сучасної науки та освіти : реалії, проблеми якості, інновації : матер. II Міжнародної наук.-практ. інтернет-конф. (Мелітополь, 25-27 травня 2021 р.) / ред. кол. : В. М. Кюрчев, Н. Л. Сосницька, М. І. Шут та ін. Мелітополь: ТДАТУ, 2021. 394 с.
5. Спірін О. М., Носенко Ю. Г., Яцишин А. В. Сучасні вимоги і зміст підготовки наукових кадрів вищої кваліфікації з інформаційно-комунікаційних технологій в освіті. Інформаційні технології і засоби навчання. 2016. № 6 (56). С. 219–239.

АВТОРСЬКИЙ ПОКАЖЧИК

Andronovych H.	<i>Ph.D., Associate Professor at the Department of Food Technologies, Cherkasy State Technological University</i>	34
Barsov Valery	<i>Doctor of Technical Science, professor, National Aerospace University “Kharkiv Aviation Institute”</i>	39
Barz Cristian	<i>PhD, Associate Professor Eng., Technical University of Cluj-Napoca, North University Centre of Baja Mare Technical University of Cluj-Napoca, Baja Mare (Romania)</i>	114
Bazilo C.	<i>D.Sc., Professor, Cherkasy State Technological University</i>	34
Bembenek Michal	<i>D.Sc.Tech., Professor, AGH University of Science and Technology of Krakow (Poland)</i>	107
Demenskyi O.M.	<i>Junior Researcher, V. Lashkaryov Institute of Semiconductor Physics, National Academy of Sciences of Ukraine, Laboratory of Materials for Optoelectronics</i>	109
Hmyria V.	<i>PhD, Associate Professor, Leading Research Scientist, State Scientific Research Institute of Armament and Military Equipment Testing and Certification</i>	162
Hotra Oleksandra	<i>Dr hab. inż., Professor, Katedra Elektroniki i Techniki Informacyjnych, Lubelska, Lublin (Poland)</i>	45
Iskra O.	<i>master’s student at the Department of Space Engineering University of Ukraine “Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute”</i>	8
Gajdzik Bożena	<i>Dr hab. inż., Professor PS, Faculty of Materials Engineering, Department of Industrial Informatics the Silesian University of Technology, Gliwice (Poland)</i>	37
Krasnov V.A.	<i>Ph. D., Senior Researcher, V. Lashkaryov Institute of Semiconductor Physics, National Academy of Sciences of Ukraine, Laboratory of Materials for Optoelectronics</i>	109
Kurylenko Yu.	<i>Senior Lecturer at the Department of Food Technologies, Cherkasy State Technological University</i>	34
Machnik Ryszard	<i>D.Sc.Tech., Professor, Head of the Department of Manufacturing Systems, AGH University of Science and Technology of Krakow (Poland)</i>	107
Ovdiyuk Eugene	<i>graduate student, assistant, National Aerospace University “Kharkiv Aviation Institute”</i>	39
Pashechko Mykhailo	<i>Dr hab. inż., Professor, Katedra Podstaw Techniki, Politechnika Lubelska, Lublin (Poland)</i>	42
Romanovskya L.	<i>Senior Researcher, State Scientific Research Institute of Armament and Military Equipment Testing and Certification</i>	162

<i>Shutov S.V.</i>	<i>Ph. D., Senior Researcher, V. Lashkaryov Institute of Semiconductor Physics, National Academy of Sciences of Ukraine, Laboratory of Materials for Optoelectronics</i>	109
<i>Wójcicka-Migasiuk Dorota</i>	<i>Dr hab. inż., Professor, Katedra Podstaw Techniki, Dziekan Wydziału Podstaw Techniki, Politechnika Lubelska, Lublin (Poland)</i>	45
<i>Yerochin S. Yu.</i>	<i>Researcher, V. Lashkaryov Institute of Semiconductor Physics, National Academy of Sciences of Ukraine, Laboratory of Materials for Optoelectronics</i>	109
<i>АльТанакчі Ахмед</i>	<i>здобувач освітньо-наукового рівня доктор філософії, Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу</i>	42
<i>Андрєєв Д.А.</i>	<i>здобувач вищої освіти освітнього рівня магістр, Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут»</i>	64
<i>Андрушко М.В.</i>	<i>старший науковий співробітник науково-дослідного відділу, Державний науково-дослідний інститут випробувань і сертифікації озброєння та військової техніки</i>	150
<i>Антоненко С.В.</i>	<i>здобувач освітньо-наукового рівня доктора філософії, Черкаський державний технологічний університет</i>	126
<i>Аркушенко П.Л.</i>	<i>к.т.н., ст. досл., начальник науково-дослідного відділу, Державний науково-дослідний інститут випробувань і сертифікації озброєння та військової техніки</i>	150
<i>Артеменко А.М.</i>	<i>здобувач вищої освіти освітнього рівня магістр, Черкаський державний технологічний університет</i>	129
<i>Балакін О.М.</i>	<i>здобувач вищої освіти освітнього рівня бакалавр, Черкаський державний технологічний університет</i>	11, 13, 16
<i>Бандура А.І.</i>	<i>д.фіз.-мат.н., професор, професор кафедри вищої математики, Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу</i>	47
<i>Баранов А.Д.</i>	<i>здобувач вищої освіти освітнього рівня бакалавр, Черкаський державний технологічний університет</i>	11, 13, 16
<i>Бачеріков Д.С.</i>	<i>здобувач освітньо-наукового рівня доктор філософії, Черкаський державний технологічний університет</i>	93
<i>Биков В.М.</i>	<i>д.т.н., с.н.с, професор, Харківський національний університет імені В.Н. Каразіна</i>	48, 98

Бичков А.В.	здобувач освітньо-наукового рівня доктор філософії, Національний аерокосмічний університет ім. М.Є. Жуковського "Харківський авіаційний інститут"	116
Богдан Г.А.	к.т.н., доцент кафедри автоматизації та систем неруйнівного контролю, Національний технічний університет України "Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського"	52
Бондаренко М.О.	д.т.н., професор, завідувач кафедри, Черкаський державний технологічний університет	126
Бондаренко Ю.Ю.	к.т.н., професор, старший науковий співробітник, Державний науково-дослідний інститут випробувань і сертифікації озброєння та військової техніки	144
Бурова З.А.	к.т.н., доцент, Національний університет біоресурсів і природокористування України	54
Бурсала О.О.	старший науковий співробітник, Державний науково-дослідний інститут випробувань і сертифікації озброєння і військової техніки	66
Василевська В.В.	інженер відділу моніторингу і діагностики об'єктів енергетики, Інститут загальної енергетики НАН України	54
Васильченко В.Ю.	ст. викладач кафедри технології та обладнання машинобудівних виробництв, Черкаський державний технологічний університет	62
Виноградов О.С.	здобувач вищої освіти, Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова, Миколаїв	57
Власенко Н.П.	здобувач вищої освіти освітнього ступеня магістр, Черкаський державний технологічний університет	60
Войтов В.М.	здобувач освітньо-наукового рівня доктор філософії, Національний університет "Одеська політехніка"	104
Гавриш О.С.	к.ф.-м.н., доцент, Черкаський державний технологічний університет	11, 13, 16
Гайдак І.Г.	науковий співробітник науково-організаційного відділу, Державного науково-дослідного інституту випробувань і сертифікації озброєння та військової техніки	166
Гальченко В.Я.	д.т.н., професор, Черкаський державний технологічний університет	24, 78, 86, 88, 102, 129, 142
Гармаш В.В.	к.т.н., доцент кафедри автоматизації та інтелектуальних інформаційних технологій, Вінницький національний технічний університет	100
Глуценко М.О.	здобувач освітньо-наукового рівня доктор філософії, Національний технічний університет України "Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського"	52

<i>Гончаров А.В.</i>	<i>к.т.н., професор, проректор, Черкаський державний технологічний університет</i>	11
<i>Гордієнко В.І.</i>	<i>д.т.н., с.н.с., професор, Черкаський державний технологічний університет</i>	62
<i>Грїчанюк О.М.</i>	<i>к.т.н., старший науковий співробітник, Харківський національний університет Повітряних Сил ім. І. Кожедуба</i>	48, 98
<i>Григоренко І.В.</i>	<i>к.т.н., доцент, професор кафедри інформаційно-вимірювальних технологій і систем, Національний технічний університет “Харківський політехнічний інститут”</i>	64, 131
<i>Григоренко С.М.</i>	<i>к.т.н., доцент, доцент кафедри комп’ютерні та радіоелектронні системи контролю та діагностики, Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут»</i>	131
<i>Гриджук Я.С.</i>	<i>д.т.н., доцент, Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу</i>	42
<i>Гринюк Д.О.</i>	<i>здобувач вищої освіти освітнього рівня магістр, Черкаський державний технологічний університет</i>	13
<i>Гузій Є.О.</i>	<i>науковий співробітник, Державний науково-дослідний інститут випробувань і сертифікації озброєння та військової техніки</i>	152, 155
<i>Демчук Я.В.</i>	<i>здобувач вищої освіти освітнього ступеня магістр, Черкаський державний технологічний університет</i>	164
<i>Денисов Ю.О.</i>	<i>д.т.н., професор, Національний університет “Чернігівська політехніка”</i>	66
<i>Жуков Л.Ф.</i>	<i>д.т.н., с.н.с., п.н.с. відділу моніторингу та діагностики об’єктів енергетики, Інститут загальної енергетики НАН України</i>	69, 72
<i>Зівенко О.В.</i>	<i>к.т.н., доцент, Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова, Миколаїв</i>	57
<i>Казанцев Б.С.</i>	<i>здобувач вищої освіти, Національний технічний університет “Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського”</i>	19
<i>Кириленко О.М.</i>	<i>асистент кафедри комп’ютерних систем управління, Вінницький національний технічний університет</i>	100
<i>Клочко Т.Р.</i>	<i>к.т.н., с.н.с., доцент кафедри комп’ютерно-інтегрованих технологій виробництва приладів, Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»</i>	139
<i>Ковтун С.І.</i>	<i>д.т.н., старший дослідник, завідувач відділу моніторингу і діагностики об’єктів енергетики, Інститут загальної енергетики НАН України</i>	54

Ковшар Н.Є.	здобувач освітньо-наукового рівня доктор філософії, Національний аерокосмічний університет ім. М.Є. Жуковського «Харківський авіаційний інститут»	75
Кожушко Я.М.	к.т.н., ст. досл., п.н.с. – провідний інженер-випробувач, Державний науково-дослідний інститут випробувань і сертифікації озброєння та військової техніки	48, 98
Кондрашов В.С.	здобувач вищої освіти освітнього рівня магістр, Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут»	64
Кондрашов С.І.	д.т.н., професор, професор кафедри інформаційно-вимірювальних технологій і систем, Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут»	131
Кондур Т.І.	здобувач освітньо-наукового рівня доктор філософії, Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу	42
Корнієнко А.Л.	н.с. відділу безперервного лиття та деформаційних процесів, Фізико-технологічний інститут металів та сплавів НАН України	72
Костенко А.П.	здобувач вищої освіти освітнього рівня магістр, Черкаський державний технологічний університет	11
Костенко О.М.	д.т.н., професор, проректор, Полтавський державний аграрний університет	75
Кошовий М.Д.	д.т.н., професор, Національний аерокосмічний університет ім. М.Є. Жуковського „Харківський авіаційний інститут”	75, 116, 119
Краєвий С.А.	здобувач вищої освіти освітнього рівня магістр, Черкаський державний технологічний університет	78
Кузьміч О.Є.	начальник науково-дослідної лабораторії, Державний науково-дослідний інститут випробувань і сертифікації озброєння та військової техніки	150
Кураксін Д.В.	здобувач освітньо-наукового рівня доктор філософії, Національний аерокосмічний університет ім. М.Є. Жуковського “Харківський авіаційний інститут”	119
Лаврухін В.В.	здобувач освітньо-наукового рівня доктор філософії, Національний університет “Одеська політехніка”	104
Лобунько О.П.	к.т.н., с.н.с., Національний технічний університет “Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського”	19
Lobunko O.	Candidate of Technical Sciences, Senior Research Officer, Associate Professor at the Department of Space Engineering University of Ukraine “Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute”	8

Малінін В.Ю.	здобувач освітньо-наукового рівня доктор філософії, Інститут металофізики ім. Г.В. Курдюмова НАН України	114
Мацак Б.В.	здобувач вищої освіти освітнього рівня магістр, Черкаський державний технологічний університет	102
Міхаль О.О.	д.т.н., провідний науковий співробітник Інституту електродинаміки НАНУ	133
Мішок А.А.	науковий співробітник, Державний науково-дослідний інститут випробувань і сертифікації озброєння та військової техніки	155
Михайлів А.Б.	здобувач освітньо-наукового рівня доктор філософії, Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу	42
Млинко Б.Б.	к.т.н., доцент, Тернопільський національний технічний університет ім. І. Пулюя	32
Молочков В.М.	здобувач освітньо-наукового рівня доктор філософії, Національний університет "Одеська політехніка"	104
Молчанов А.О.	здобувач освітньо-наукового рівня доктор філософії, Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу	111
Назаренко С.К.	здобувач освітньо-наукового рівня доктор філософії, Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу	114
Немченкова О.Г.	здобувач вищої освіти освітнього рівня магістр, Черкаський державний технологічний університет	16
Нікітченко А.О.	молодший науковий співробітник науково-організаційного відділу, Державного науково-дослідного інституту випробувань і сертифікації озброєння та військової техніки	166
Нікольський В.В.	д.т.н., професор, професор кафедри технічної експлуатації флоту, Національний університет «Одеська морська академія»	80
Нікольський М.В.	к.т.н., ст. викладач кафедри автоматизації суднових енергетичних установок, Національний університет «Одеська морська академія»	80
Обруч Ю.Ю.	завідувач відділу комп'ютерно-технічних та телекомунікаційних досліджень, Черкаський науково-дослідний експертно-криміналістичний центр МВС України	13, 16
Оженко Є.М.	к.т.н., ст. викладач кафедри автоматизації суднових енергетичних установок, Національний університет «Одеська морська академія»	80

Опришкін О.С.	здобувач освітньо-наукового рівня доктор філософії, Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут»	131
Отрош Ю.А.	д.т.н., професор, начальник кафедри пожежної профілактики в населених пунктах, Національний університет цивільного захисту України	82
Петренко Д.О.	м.н.с. відділу безперервного лиття та деформаційних процесів, Фізико-технологічний інститут металів та сплавів НАН України	69, 72
Піскун М.О.	здобувач вищої освіти освітнього рівня магістр, Черкаський державний технологічний університет	86
Пилипенко О.Т.	здобувач освітньо-наукового рівня доктор філософії, Національний аерокосмічний університет ім. М.С. Жуковського “Харківський авіаційний інститут”	75
Потапов О.І.	старший науковий співробітник, Державний науково-дослідний інститут випробувань і сертифікації озброєння та військової техніки	152
Прилипко Д.О.	здобувач вищої освіти освітнього рівня магістр, Черкаський державний технологічний університет	22
Присяжнюк П.М.	к.т.н., доцент, доцент кафедри зварювання, Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу	111
Присяжнюк Ю.Я.	методист інституту інженерної механіки, Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу	47, 111
Радзиховський В.М.	к.ф.-м.н., провідний науковий співробітник, Державний науково-випробувальний центр “Айсберг”, м. Київ	48
Ратушний С.В.	провідний інженер, Державний науково-дослідний інститут випробувань і сертифікації озброєння та військової техніки	152
Романів М.М.	здобувач освітньо-наукового рівня доктор філософії, Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу	107
Роп’як Л.Я.	д.т.н., доцент, Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу	37, 45, 47, 96, 107, 114
Рудаков С.В.	к.т.н., доцент, доцент кафедри пожежної профілактики в населених пунктах, Національний університет цивільного захисту України	82
Садаєв А.Ю.	молодший науковий співробітник, Державний науково-дослідний інститут випробувань і сертифікації озброєння та військової техніки	152, 155

Сапожніков С.К.	<i>науковий співробітник, Державний науково-дослідний інститут випробувань і сертифікації озброєння та військової техніки</i>	90
Сідляренко А.І.	<i>керівник освітнього підрозділу ТОВ "АЙТІ ЛЕНД"</i>	122
Сіренко К.А.	<i>м.н.с. відділу безперервного лиття та деформаційних процесів, Фізико-технологічний інститут металів та сплавів НАН України</i>	72
Ситніков В.С.	<i>д.т.н., професор, Державний університет "Одеська політехніка"</i>	104
Ситніков Т.В.	<i>здобувач освітньо-наукового рівня доктор філософії, Національний університет "Одеська політехніка"</i>	104
Слободянюк М.В.	<i>к.т.н., ст. викладач інституту ВМСУ, Національний університет «Одеська морська академія»</i>	80
Соболев В.В.	<i>с.н.с. – старший інженер-випробувач науково-дослідного відділу випробувань роботизованих комплексів (систем), Державний науково-дослідний інститут випробувань і сертифікації озброєння та військової техніки</i>	144
Спірін Д.А.	<i>н.с. – інженер-випробувач, Державний науково-дослідний інститут випробувань і сертифікації озброєння та військової техніки</i>	48, 98
Стеннік О.Ю.	<i>науковий співробітник, Державне підприємство "Укрметртестстандарт"</i>	133
Стрілецький Ю.Й.	<i>д.т.н., доцент, Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу</i>	45
Тарас І.П.	<i>к.т.н., доцент, доцент кафедри інженерної та комп'ютерної графіки, Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу</i>	111
Тертишнік Є.М.	<i>науковий співробітник, Державний науково-дослідний інститут випробувань і сертифікації озброєння та військової техніки</i>	155
Титаренко О.С.	<i>здобувач вищої освіти освітнього рівня магістр, Черкаський державний технологічний університет</i>	142
Тимошенко О.В.	<i>здобувач вищої освіти освітнього рівня магістр, Черкаський державний технологічний університет</i>	88
Тичков Д.В.	<i>науковий співробітник, Державний науково-дослідний інститут випробувань і сертифікації озброєння та військової техніки</i>	90
Тичков В.В.	<i>к.т.н., доцент, Черкаський державний технологічний університет</i>	24, 78, 86, 88, 102, 129, 142
Тичкова Н.Б.	<i>здобувач освітньо-наукового рівня доктора філософії, Черкаський державний технологічний університет</i>	24

Трембовецька Р.В.	<i>д.т.н., доцент, Черкаський державний технологічний університет</i>	24, 78, 86, 88, 102, 129, 142
Туз В.В.	<i>к.т.н., доцент, Черкаський державний технологічний університет</i>	60, 164
Фриз М.Є.	<i>к.т.н., доцент, Тернопільський національний технічний університет ім. І. Пулюя</i>	32
Філімонов С.О.	<i>к.т.н., доцент, Черкаський державний технологічний університет</i>	93, 136
Філімонова Н.В.	<i>к.т.н., доцент, Черкаський державний технологічний університет</i>	93
Хуторна М.Е.	<i>д.е.н., професор, провідний науковий співробітник науково-дослідного відділу, Державний науково-дослідний інститут випробувань і сертифікації озброєння та військової техніки</i>	158
Чередніков О.М.	<i>к.т.н., доцент, провідний науковий співробітник науково-дослідного відділу, Державний науково-дослідний інститут випробувань і сертифікації озброєння та військової техніки</i>	158
Щербак Л.М.	<i>д.т.н., професор, провідний науковий співробітник, Інститут загальної енергетики НАН України</i>	32
Шовкопляс М.В.	<i>здобувач освітньо-наукового рівня доктор філософії, Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу</i>	45
Шуляр Б.Р.	<i>к.т.н., докторант кафедри комп'ютеризованого машинобудування, Івано-Франківський національний технічний університет</i>	96
Шурубайло Д.І.	<i>здобувач освітньо-наукового рівня доктора філософії, Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу</i>	37
Ясенко Л.С.	<i>м.н.с. – інженер науково-дослідного відділу випробувань роботизованих комплексів (систем), Державний науково-дослідний інститут випробувань і сертифікації озброєння та військової техніки</i>	144
Ячна І.Г.	<i>науковий співробітник науково-організаційного відділу, Державного науково-дослідного інституту випробувань і сертифікації озброєння та військової техніки</i>	166
Яценко С.С.	<i>здобувач освітньо-наукового рівня доктор філософії, Черкаський державний технологічний університет</i>	136